



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA DETECCIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA Y PROTECCIÓN DE CULTIVOS

---

Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN: Sistemas Embebidos

AUTOR: Alex Francisco Palate Chango

TUTOR: Ing. Mg. Santiago Mauricio Altamirano Meléndez

Ambato - Ecuador

Octubre, 2015

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el Tema:

“SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA DETECCIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA Y PROTECCIÓN DE CULTIVOS.”, del señor, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Octubre de 2015

EL TUTOR

---

Ing. Mg. Santiago Mauricio Altamirano Meléndez

## **AUTORÍA**

El presente trabajo de investigación titulado: SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA DETECCIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA Y PROTECCIÓN DE CULTIVOS. Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Octubre de 2015

Alex Francisco Palate Chango

---

CC: 2000080560

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato octubre, 2015

---

Alex Francisco Palate Chango

CC: 2000080560

## **APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORES**

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Carlos Alberto Serra Jiménez e Ing. Santiago Marcos Collantes Vaca, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado **SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA DETECCIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA Y PROTECCIÓN DE CULTIVOS**, presentado por el señor **ALEX FRANCISCO PALATE CHANGO** de acuerdo al numeral 9. 1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. José Vicente Morales Lozada

---

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Carlos Alberto Serra Jiménez

Ing. Santiago Marcos Collantes Vaca

---

**DOCENTE CALIFICADOR**

---

**DOCENTE CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo en primer lugar, a mis padres Juan Carlos y María Laura, que gracias a ellos y a su apoyo, me han incentivado para que día a día pueda vencer las dificultades que se han presentado a lo largo de mi carrera estudiantil, a mis hermanas Carolina, Jennifer que son el motor y motivo para luchar y no detenerme hasta alcanzar mis propósitos y en particular a Lady Jazmín que desde el cielo siempre me ha estado cuidando, a mi familia en general por sus consejos y su ejemplo y finalmente pero no menos importante, a mi novia que ha complementado gran parte de mi vida.

Alex Francisco Palate Chango

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme guiado y brindado salud y fortaleza, a mi familia y a mis padres en particular ya que desde el primer día que empecé mi carrera estudiantil me han apoyado para que pueda estar hoy en día preparándome para enfrentarme a la vida profesional. También agradezco a mi Tutor que ha sido un pilar fundamental para el desarrollo del proyecto, a mis docentes que me han enseñado que no es solo importante lo académico sino también lo humano y profesional y me han inculcado valores y virtudes con su ejemplo.

Alex Francisco Palate Chango

## ÍNDICE

<b>APROBACIÓN DEL TUTOR.....</b>	<b>II</b>
<b>AUTORÍA.....</b>	<b>III</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR .....</b>	<b>IV</b>
<b>APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORES.....</b>	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>VI</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XIV</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS.....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>EL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. TEMA.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3. DELIMITACIÓN .....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.5. OBJETIVOS .....	3
1.5.1. General .....	3
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	5
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	6
2.2.1. La Erupción volcánica.....	6
2.2.2. El pH .....	9
2.2.3. Medidores de pH .....	9
2.2.4. Sistemas electrónicos .....	12
2.2.5. Sistemas de protección .....	12
2.2.6. Los Aspersores .....	16
2.2.7. Recomendaciones para protección vegetal ante caída de ceniza volcánica. ..	19
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>21</b>

<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>21</b>
3.1. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
3.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	21
3.4. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	22
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>23</b>
<b>DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....</b>	<b>23</b>
4.1. ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE PH DE LA CENIZA VOLCÁNICA.....	23
4.1.1 Vulcanismo Actual de los Andes Ecuatorianos .....	23
4.1.3. Zonas Vulnerables.....	27
4.1.5. Análisis de las muestras y el pH.....	31
4.2. ESTABLECIMIENTO DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA, Y OBTENCIÓN DE LOS NIVELES DE PH DE LA CENIZA A TRAVÉS DE PH-METRO. ....	36
4.2.1 Parámetros del sistema para la medición de pH. ....	36
4.2.2 Niveles de Potencial de Hidrógeno (pH) de la ceniza volcánica del Volcán Tungurahua. ....	38
4.3. PROGRAMACIÓN DEL PH-METRO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LA RELACIÓN DE PRESENCIA DE CENIZA EN BASE A LOS RANGOS OBTENIDOS. ....	41
4.3.1. Programación para Arduino .....	43
4.4. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DETECTOR DE CENIZA. ....	45
4.4.1. Descripción de las partes del sistema electrónico detector de ceniza volcánica... ..	46
Colector de Ceniza .....	46
4.5. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO PARA PROTECCIÓN DE CULTIVOS. ....	65
4.5.1. Sistema de protección. ....	66
4.6. CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO DE ACOPLAMIENTO, PARA LA ACTIVACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EN BASE A LA TABLA DE RANGOS DE PRESENCIA DE CENIZA OBTENIDOS.....	70
4.7. COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO. ....	72
4.8. IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO FINAL.....	75
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>78</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS Y APÉNDICES .....</b>	<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Composición de las partículas encontradas en nubes de ceniza de erupciones recientes de cuatro volcanes (de Prata).....	7
<b>Tabla 2:</b> Tiempos de caída de partículas esféricas.....	8
<b>Tabla 3:</b> Salida del electrodo de pH, y el valor del pH de relación del pH-metro.....	10
<b>Tabla 4:</b> Comparación de algunos pH-Metros.....	11
<b>Tabla 5:</b> Superficie regable por un solo aparato sobre una dosis de 40 mm.....	19
<b>Tabla 6:</b> Zonas de mayor riesgo de caída de ceniza del volcán Tungurahua.....	28
<b>Tabla 7:</b> Parámetros establecidos para el sistema.....	37
<b>Tabla 8:</b> Variables Utilizadas para el sistema.....	37
<b>Tabla 9:</b> Valores Promedio de pH Muestra C1.....	39
<b>Tabla 10:</b> Valores Promedio de pH Muestra C2.....	40
<b>Tabla 11:</b> Valores Promedio de pH Muestra C3.....	40
<b>Tabla 12:</b> Valores Promedio de pH Muestra C4.....	40
<b>Tabla 13:</b> Tabla de variables y asignación, utilizada en la programación.....	43
<b>Tabla 14:</b> Especificaciones de la Electroválvula RCS 2.....	50
<b>Tabla 15:</b> Especificaciones del Interruptor.....	51
<b>Tabla 16:</b> Características de la Electroválvula CWX 150.....	55
<b>Tabla 17:</b> Distribución de pines.....	58
<b>Tabla 18:</b> Conexión placa del electrodo con Arduino nano.....	59
<b>Tabla 19:</b> Distribución de pines LCD 16 x 2.....	61
<b>Tabla 20:</b> Características Eléctricas del LCD. [35].....	62
<b>Tabla 21:</b> Conexión de pines LCD y Arduino Nano.....	63
<b>Tabla 22:</b> Comparación de costos.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig.1:</b> Acolchado negro en cultivo de fresón .....	13
<b>Fig.2:</b> Colocación mecanizada de cubierta flotante en agro textil. ....	14
<b>Fig.3:</b> Esquema de los distintos elementos de una estructura de líneas rectas. ....	15
<b>Fig.4:</b> Esquema de los distintos elementos de una estructura de líneas curvas. ....	15
<b>Fig.5:</b> Diagrama de funcionamiento de un aspersor de media presión con una distribución 18 x18 metros. (Aspersor RAIN-BIRD). ....	17
<b>Fig.6:</b> Protección por aspersión de agua con melaza de panela.....	19
<b>Fig.7:</b> Volcanes Cuaternarios del Ecuador Continental .....	24
<b>Fig.8:</b> Mapa topográfico del Volcán Tungurahua .....	26
<b>Fig.9:</b> Mapa topográfico del Volcán Tungurahua .....	27
<b>Fig.10:</b> Dispersión de la ceniza Durante el periodo eruptivo de Julio-Agosto 2013.....	28
<b>Fig.11:</b> Lugares en donde se obtuvieron las muestras de ceniza volcánica.....	29
<b>Fig.12:</b> Fotografía de la Parroquia Cotaló del cantón Pelileo.....	30
<b>Fig.13:</b> Buffer de pH 4, 00.....	34
<b>Fig.14:</b> Ceniza Volcánica Pillate-Cotaló Octubre 2014 .....	34
<b>Fig.15:</b> Graduación de la ceniza en la balanza analítica.....	35
<b>Fig.16:</b> Graduación del Buffer en la Balanza analítica.....	35
<b>Fig.17:</b> Obtención del pH de las muestras a través del sensor .....	36
<b>Fig.18:</b> Niveles de pH para muestras de ceniza de 2 gr.....	38
<b>Fig.19:</b> Niveles de pH para muestras de ceniza de 20 gramos .....	39
<b>Fig.20:</b> Diagrama de flujo para Sistema detector de ceniza .....	42
<b>Fig.21:</b> Diagrama de flujo para Sistema detector de ceniza .....	44
<b>Fig.22:</b> Programación en LabView.....	44
<b>Fig.23:</b> Diagrama de bloques del Sistema electrónico .....	45
<b>Fig.24:</b> Esquema general del prototipo detector de ceniza .....	46
<b>Fig.25:</b> Sensor de pH Analógico v1.0 de DFROBOT. ....	47
<b>Fig.26:</b> Dimensiones del electrodo. ....	47
<b>Fig.27:</b> Placa de circuito para sensor de pH y dimensiones .....	47
<b>Fig.28:</b> Soluciones estabilizadoras. ....	48
<b>Fig.29:</b> Agua destilada. ....	48
<b>Fig.30:</b> Electroválvula a 110 v .....	49
<b>Fig.31:</b> Interruptor de plástico tipo flotador .....	51
<b>Fig.32:</b> Agitador Vertical. ....	53
<b>Fig.33:</b> Electroválvula CWX 150 .....	54

<b>Fig.34:</b> Sensores Ópticos tipo barrera. ....	55
<b>Fig.35:</b> Sensores Infrarrojo: Emisor-Receptor. ....	56
<b>Fig.36:</b> Arduino Nano. ....	56
<b>Fig.37:</b> Distribución de pines de Arduino Nano ....	58
<b>Fig.38:</b> Diagrama de conexión pH-metro y arduino nano.....	60
<b>Fig.39:</b> LCD 16 x 2. ....	60
<b>Fig.40:</b> Diagrama de Conexión Arduino Nano y LCD 16 x 2.....	62
<b>Fig.41:</b> Sensor detector de Lluvia ....	64
<b>Fig.42:</b> Colector y recipientes.....	64
<b>Fig.43:</b> Detector de ceniza volcánica.....	65
<b>Fig.44:</b> Esquema general del SPA. ....	68
<b>Fig.45:</b> Aspersión de agua en cultivos.....	69
<b>Fig.46:</b> Aspersor de largo alcance. ....	69
<b>Fig.47:</b> Esquema general del circuito ....	70
<b>Fig.48:</b> Simulación del Circuito de Acoplamiento ....	71
<b>Fig.49:</b> Simulación Circuito pH-metro.....	71
<b>Fig.50:</b> Construcción del circuito ....	72
<b>Fig.51:</b> Simulación Final del Sistema Electrónico ....	73
<b>Fig.52:</b> Diseño de la placa.....	74
<b>Fig.53:</b> Verificación del funcionamiento del sistema electrónico ....	74
<b>Fig.54:</b> Implementación del diseño Final.....	76
<b>Fig.55:</b> Implementación del sistema de protección.....	76
<b>Fig.56:</b> Simulación del diseño Final.....	77
<b>Fig.57:</b> Detector de ceniza volcánica.....	76

## RESUMEN

En el presente proyecto se desarrolla y construye el prototipo de un sistema electrónico que propone una nueva forma de detección de cenizas volcánicas al analizar una cantidad predeterminada de muestra, que se almacena en un colector al momento de su caída y que posteriormente es analizada por medio de una sonda de pH para verificar que sea ceniza volcánica.

Este sistema fue desarrollado a partir de una sonda de pH diseñada especialmente para los controladores de Arduino, con esta sonda se ha determinado los niveles de potencial de Hidrógeno que tiene la ceniza volcánica en un medio de referencia de estado líquido (buffer, agua destilada). Se ha obtenido un promedio de los niveles de pH y se ha desarrollado un algoritmo que mediante la programación en la tarjeta de Arduino permite la comparación de estos valores.

Luego de la detección viene la activación del sistema de protección, se construyó un circuito sencillo que permite el acoplamiento entre las dos partes del sistema electrónico, el método de protección utilizado fue el de aspersion que se aplica luego de la caída, limpiando las hojas y vigorizando la conducción de alimentos dentro de la planta y así puedan realizar su fotosíntesis. Para esto se utilizó un aspersor comercial.

La programación está realizada en el ambiente de programación que ofrece Arduino, mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring), el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing) y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa.

## ABSTRACT

In the present project is developed and built the prototype of an electronic system that detects a predetermined amount of volcanic ash, which is stored in a collector at the time of his fall and which is subsequently analyzed by means of a pH probe to verify that it is volcanic ash.

This system was developed from a pH probe designed especially for drivers Arduino; with this probe has determinate potential levels of hydrogen having volcanic ash in a medium reference liquid (buffer, distilled water). Was obtained an average of these levels and developed an algorithm by card programming Arduino allows detection of volcanic ash.

After detection is activation of the protection system, a simple circuit that allows coupling between the two parts of the electronic system built protection method used was spray applied after the fall, and cleaning the leaves invigorating driving food inside the plant so they can do their photosynthesis. For this a commercial sprayer was used.

Programming is done in the Arduino programming environment that provides, with Arduino programming language (based on Wiring), the Arduino development environment (based on Processing) and the boot loader that is executed on the plate.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

<b>Aspersión</b>	Modalidad de riego, en forma de lluvia localizada.
<b>Bars</b>	Unidad de presión.
<b>Buffer</b>	Tienen la propiedad de mantener estable el pH de una disolución.
<b>Des ionizada</b>	Agua a la cual se le han quitado sodio, calcio, hierro, etc.
<b>ESA</b>	Agencia Espacial Europea.
<b>Escorias</b>	Materiales de origen volcánico.
<b>Piroclástico</b>	Materiales sólidos de ciertos tipos de erupciones volcánicas.
<b>Litmus</b>	Papel Tornasol.
<b>Lixiviación</b>	Proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.
<b>MAGAP</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
<b>Materia inerte</b>	Aquellos elementos que tienen un pH neutro.
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno.
<b>pH-metro</b>	Es un sensor utilizado para medir el pH de una disolución utilizado en el método electroquímico.
<b>SNGR</b>	Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos
<b>SBLT</b>	Lixiviación por lotes
<b>Tefra</b>	Productos volcánicos que se expulsan por la chimenea volcánica.
<b>Zeolitas</b>	Son minerales aluminosilicatos micro porosos que destacan por su capacidad de hidratarse y deshidratarse reversiblemente.

## INTRODUCCIÓN

El sistema electrónico detector de ceniza hasta la actualidad no se encuentra de forma comercial, solo ciertas compañías de aviación como Airbus e EasyJet, cuentan con sistemas sofisticados, además de los sensores satelitales IASI y AIRS que reportan nubes de ceniza monitoreadas desde el espacio, de aquí nace la idea de crear un prototipo que sea capaz de cumplir con los requerimientos y al mismo tiempo tenga costo accesible, las aplicaciones que se pueda dar a este sistema, depende esencialmente de las necesidades del usuario, pero para el presente proyecto como una alternativa se ha dirigido al sector agrícola debido a los devastadores efectos que causa la ceniza a los sembríos en cada erupción volcánica.

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional a lo largo de todo el territorio continental ecuatoriano existen 84 volcanes de edad cuaternaria, tres de ellos tuvieron actividad el último año en agosto del 2014 y se los considera como “volcanes en erupción”. Estos volcanes son: Reventador, Tungurahua y Sangay.

De la necesidad de mitigar los efectos de la caída de ceniza volcánica del volcán Tungurahua en zonas de producción y cultivos a la intemperie, se ha llevado a cabo el estudio de los niveles de pH de la ceniza de este volcán, frente un medio de referencia, proceso que sirve para determinar si existe o no presencia de ceniza, y en el primer caso llevar a cabo el proceso para protección del cultivos.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1.Tema**

Sistema electrónico para la detección de ceniza volcánica y protección de cultivos.

#### **1.2. Planteamiento del problema**

La actividad volcánica es una fuente natural de contaminación, la cual aporta una cantidad considerable de contaminantes, principalmente a la atmósfera. Dentro de los principales riesgos volcánicos destacan la emisión de ceniza y gases, relacionándose con la cantidad y el número de exposiciones a dichos eventos. [1]

Las cenizas volcánicas son perjudiciales por diferentes motivos y se introducen por todos lados en el interior de viviendas, lugares de trabajo, estudio, etc. Además la ceniza humedecida aumenta a más del doble de su peso en seco y puede generar colapso de techos y caída de canaletas. Los depósitos de ceniza empapados pueden endurecerse formando costras que se adhieren mucho a las superficies, dificultando el proceso de limpieza y generando la obstrucción de cañerías, red de agua pluvial, sistemas de cloacas, carreteras y alcantarillado de las calles. [2]

La inhalación de la ceniza puede provocar enfermedades pulmonares por exposición prolongada al aire libre, causar daños oculares o provocar trastornos gastrointestinales por la ingestión de agua contaminada con flúor y posiblemente con metales pesados, que son los compuestos de la ceniza volcánica, o por la ingesta de alimentos contaminados.

Como los gases retenidos en las cenizas se liberan lentamente, pueden provocar daños medioambientales, sobre todo en las zonas donde la ceniza es importante produciendo efectos tóxicos en las plantas [3].

En el Ecuador son cinco las provincias que se ven directamente afectadas por las cenizas del volcán: Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, Azuay y Cañar, según el levantamiento estadístico de la dirección provincial del ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (Magap) más de 3.000 hectáreas han sido afectadas por la caída de ceniza del volcán Tungurahua estos últimos años. En la Provincia de Tungurahua según

(Magap) la ceniza del volcán ha afectado a 2.000 hectáreas de pastos y cultivos de tubérculos, los principales daños se registran en los cantones de Mocha, Quero, Tisaleo, Pelileo y las zonas altas de Ambato. [4]

La caída de ceniza volcánica sobre terrenos agrícolas, cuando ésta no es superior a los 8 centímetros de espesor es benéfica ya que los minerales que componen la ceniza sirven como abono a estos suelos, pero al rebasar este espesor los problemas a la agricultura se hacen presentes ya que no permiten el paso de los rayos solares a las plantas impidiendo la fotosíntesis de la misma, lo que impide el desarrollo de las plantas. El daño en los animales se deriva del consumo de alimento que contiene cenizas volcánicas ya que las mismas se comportan como un material abrasivo en las vías respiratorias y sistema digestivo, especialmente en las provincias aledañas al volcán , los efectos producidos por la emanación de cenizas son incuantificables, sólo en Pelileo , donde las cabezas de ganado afectadas sumaron 4.990, cerdos 3.442 , animales menores 67.280, y15.450 aves, debido a que ingieren el pasto contaminado por ceniza, también la mayor parte de los cultivos quedan en pésimo estado, lo que significa pérdidas considerables de dinero para el productor.[5]

Se considera que los cultivos afectados por la caída de ceniza del volcán Tungurahua, es uno de los principales problemas que afronta la producción agrícola y ganadera ya que los propietarios de los huertos se ven obligados a la cosecha prematura para salvar su inversión provocando el aumento de precios en los mercados.[6]

### **1.3. Delimitación**

**Área Académica:** Física y Electrónica.

**Líneas de Investigación:** Sistemas Electrónicos

**Sublínea de investigación:** Sistemas embebidos.

**Delimitación espacial:** El proyecto se realizará en la ciudad de Ambato.

**Delimitación Temporal:** El presente proyecto de investigación tendrá una duración de 6 meses, a partir de su aprobación por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

#### **1.4. Justificación**

Puesto que la provincia de Tungurahua está localizada en una zona de alto riesgo y vulnerable a los efectos de las erupciones del volcán Tungurahua y específicamente a los efectos de la caída de ceniza en el sector agropecuario, se plantea el presente proyecto, que ayudará a disminuir las pérdidas de animales, económicas y materiales causadas por la caída de ceniza volcánica en los cultivos, potreros y viveros. Para eso se plantea diseñar un sistema detector de ceniza volcánica, por medio de un pH-metro digital, para obtener el valor de pH de la ceniza en una disolución, una vez definido el valor de referencia de pH se procesará este dato y posteriormente se podrán activar mecanismos de cubiertas a modo de vivero, factible para áreas no muy extensas, pero si lo requiere se puede utilizar el modo de aspersion para cubrir mayor área, todo esto funcionaría de forma automática. [7]

Teniendo en cuenta todas las variables se utilizara el software y hardware más apropiados para el procesamiento de datos del pH-metro y posteriormente para implementación del sistema y realización del respectivo control.

Con la ejecución de este proyecto los beneficiarios directos van a ser el sector agrícola, ganadero e industrial aledañas al volcán Tungurahua. La presente investigación es factible puesto que, cuenta con el material bibliográfico, recursos humanos y tecnológicos mismos que, son indispensables para la realización del proyecto.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. General**

- Implementar un prototipo del sistema electrónico para la detección de ceniza volcánica y protección de cultivos.

##### **1.5.2. Específicos**

- Establecer los niveles de presencia de ceniza volcánica en el agua a través del pH.
- Diseñar el mecanismo de protección de cultivos ante caída de ceniza volcánica.

- Diseñar el circuito de acoplamiento para la activación de las cubiertas, a través del nivel de pH del agua con presencia de ceniza volcánica.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema electrónico.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### **2.1. Antecedentes Investigativos**

En el proyecto de síntesis de zeolitas, a partir de cenizas volantes de centrales termoeléctricas de carbón, a cargo del Sr. Juan Carlos Umaña Peña del Departamento de Ingeniería Minera y Recursos Naturales de la Universidad Politécnica de Catalunya , persigue obtener la optimización de los rendimientos de síntesis de zeolitas a partir de cenizas volantes, mejorar la técnica de conversión y diseñar un proceso viable de aplicación a escala industrial, obteniendo un producto final de alta calidad ambiental.[8]

En el proyecto de investigación a cargo de Flavia Ruggieri del Departamento de Geoquímica de la Universidad de Barcelona, analiza el impacto ambiental geoquímico de los antiguos depósitos de ceniza de los volcanes que entraron en erupción hace cientos de miles y varios millones de años en la Puna sur y las áreas vecinas (Argentina). El objetivo principal de esta investigación es estudiar el peligro ambiental geoquímico causado por diferentes tipos de cenizas volcánicas, en general, y de los Andes, en particular. El cuerpo principal de esta investigación es el de proponer una metodología probada para una sola prueba de lixiviación por lotes (SBLT) con agua desionizada para obtener información sobre el comportamiento de lixiviación a corto plazo de las cenizas volcánicas, identificación, cualitativa y cuantitativamente, siendo los elementos potencialmente peligrosos tanto de los volcanes que recientemente han entrado en erupción como las cenizas volcánicas antiguas. [9]

La aerolínea EasyJet, el fabricante de aviones Airbus y la compañía tecnológica Nicarnica Aviation han terminado la primera gran fase de pruebas de la tecnología Avoid ("evitar" en inglés), que mediante un sistema de infrarrojos permite divisar nubes de polvo que se acerquen al avión con tiempo de antelación suficiente para desviar la

trayectoria. Eso evitaría un cierre del espacio aéreo generalizado. Ambas compañías decidieron probar los equipos de detección de cenizas volcánicas Avoid en su avión de pruebas A340-300 a la velocidad y la altitud de los aviones comerciales. [10]

AerLingus ha diseñado una nueva forma de detección de nubes de cenizas y un sistema de previsión que reducirá la interrupción de la aviación en caso de una erupción volcánica en Europa.

La Agencia Espacial Europea (ESA) ha invertido 2,1 millones de euros en el proyecto, que está dirigido por el Instituto Noruego de investigación del aire, utiliza los satélites y los modelos de pronóstico para detectar nubes de ceniza y predecir sus movimientos.[11]

En el proyecto de investigación a cargo Diego Narváez del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, se realiza un estudio granulométrico, morfológico y de componentes realizado en las secuencias de ceniza pertenecientes a las fases eruptivas del volcán Tungurahua de marzo y julio del 2013 y demuestran que sus partículas guardan características asociadas al dinamismo eruptivo bajo el cual se formaron. [12]

## **2.2. Fundamentación teórica**

### **2.2.1. La Erupción volcánica.**

Una erupción volcánica es una emisión violenta en la superficie terrestre de materias procedentes del interior del volcán. Exceptuando los géiseres, que emiten agua caliente, y los volcanes de lodo, que se deben a emanaciones de gas relacionadas con los yacimientos petroleros. Las erupciones son consecuencia del aumento de la temperatura en el magma que se encuentra en el interior del manto terrestre, por tanto son inevitables, esto ocasiona una erupción volcánica en la que se expulsa la lava hirviendo que tiene el magma y puede generar derretimiento de hielos y glaciares, los derrumbes, los aluviones, etc. [13]

### **La ceniza volcánica**

La ceniza volcánica es una composición de partículas de roca y vidrio (tefra), de un tamaño menor de 2 milímetros de diámetro, eyectadas durante una erupción volcánica. La tefra está constituida por fragmentos de roca y lava que han sido expulsados hacia la

atmósfera y que luego caen nuevamente sobre la superficie terrestre. Las partículas son transportadas hacia arriba por medio de columnas eruptivas, las cuales consisten de una zona inferior de empuje por gases, y una zona superior convectiva. En una misma erupción pueden darse distintas formaciones de las cenizas. [14]

**Tabla 1:** Composición de las partículas encontradas en nubes de ceniza de erupciones recientes de cuatro volcanes (de Prata) incluyendo al volcán Tungurahua. [15]

Materia constituyente	Porcentaje de peso				
	Fuego,1974	Monte Sta. Helena, 1980	El Chichon, 1982	Galunggung, 1982	Tungurahua 1999
SiO <sub>2</sub>	52.30	71.40	68.00	61.30	58.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.70	14.60	15.90	7.10	17.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO	9.10	2.40	1.60	7.10	6.91
CaO	9.40	2.60	2.12	5.70	6.58
Na <sub>2</sub> O	3.90	4.30	4.56	4.00	4.04
MgO	3.40	0.53	0.25	1.70	3.68
K <sub>2</sub> O	0.80	2.00	5.05	1.50	1.71
TiO <sub>2</sub>	1.20	0.37	0.29	1.30	0.89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	–	0.99	0.00	0.33	0.35

### Composición de las cenizas volcánicas

Esencialmente las nubes de cenizas volcánicas están constituidas por partículas finas de roca pulverizada, cuya composición corresponde a la del magma en el interior de los volcanes. Por consiguiente, la composición de las nubes de cenizas volcánicas varía de un volcán a otro. No obstante, en términos generales, están predominantemente constituidas por sílice (> 50%) junto con cantidades más pequeñas de óxidos de aluminio, hierro, calcio y sodio, dichas partículas fueron encontradas en nubes de ceniza de erupciones recientes de cuatro volcanes como se indica en la Tabla 1. El sílice es una forma de silicato vítreo y examinado por exploración microscópica de electrones se parece a cascos de vidrio de bordes agudos.

## Suelos de ceniza volcánica

Los suelos de ceniza volcánica comprenden el 0,84% de la superficie terrestre sobre el nivel del mar o 124.000 ha. Estos suelos se distribuyen únicamente en zonas de volcanes activos o recientemente extintos. 60% de los suelos de ceniza se hallan en países tropicales. A pesar de cubrir solo una pequeña parte de la superficie terrestre los suelos de ceniza son un importante recurso debido a la gran cantidad de población que vive sobre ellos.

## Tiempo de duración aproximado de caída de ceniza

Los tiempos de caída de partículas esféricas desde diversas alturas por acción exclusiva de la gravedad se indican en la Tabla 2.

Puede observarse que en tales condiciones ideales hay un cambio marcado de tiempos de permanencia de las partículas de cenizas volcánicas en la atmósfera que varía de días a horas para partículas de tamaños entre  $\sim 5 \mu\text{m}$  y  $\sim 10 \mu\text{m}$ . [15]

**Tabla 2:** Tiempos de caída de partículas esféricas desde diversa alturas solo por efectos de la gravedad (de Prata) [15]

Altura ( $\text{m} \times 10^3$ )	r=1.0 $\mu\text{m}$	r=2.0 $\mu\text{m}$	r=5.0 $\mu\text{m}$	r=10 $\mu\text{m}$	r=50 $\mu\text{m}$	r =100 $\mu\text{m}$
	semanas	días	días	horas	horas	minutos
2	8	15	2	14	0.6	9
5	21	37	6	36	1.4	21
8	34	59	10	57	2.3	34
10	42	74	12	71	2.9	43
12	51	89	14	86	3.4	51
15	64	111	18	107	4.3	64
20	85	149	24	143	5.7	86

### 2.2.2. El pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio  $[H_3O^+]$  presentes en determinadas sustancias.

### Medición del pH

El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, también conocido como pH-metro, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno. El pH de una disolución se puede medir también de manera aproximada empleando indicadores: ácidos o bases débiles que presentan diferente color según el pH. Generalmente se emplea papel indicador, que consiste en papel impregnado con una mezcla de indicadores cualitativos para la determinación del pH. El indicador más conocido es el papel de litmus o papel tornasol. Otros indicadores usuales son la fenolftaleína y el naranja de metilo.

### 2.2.3. Medidores de pH

Hay varios tipos de medidores de pH sin embargo todos funcionan de manera similar. En general los medidores de pH tienen los siguientes componentes que deben ser identificados.

- **Electrodo.**-El electrodo se proyecta hacia abajo y está unido al cuerpo del medidor de pH por un cable. Dentro de esta combinación el electrodo es un electrodo de cristal que contiene una abrazadera sensible al pH y un electrodo de referencia. El electrodo de referencia tiene una solución de electrolitos como KCl. Cantidades diminutas de la solución de electrolitos fluyen en la solución de la muestra completando el circuito eléctrico.
- **Lectura dial o digital.**- Esta pantalla indica el pH de la solución que se está valorando.
- **Botón de temperatura.**-Dependiendo del modelo si es el caso es necesario ajustar la temperatura de la solución experimental.
- **Graduación de pH.** El botón de graduación ajusta el electrodo al pH de la solución buffer particular.

## El pH-metro

El pH-metro es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución. La determinación de pH consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de protones. En consecuencia se conoce muy bien la sensibilidad y la selectividad de las membranas de vidrio frente al pH. Una celda para la medida de pH consiste en un par de electrodos, uno de calomel (mercurio, cloruro de mercurio) y otro de vidrio, sumergidos en la disolución de la que queremos medir el pH. La varita de soporte del electrodo es de vidrio común y no es conductor, mientras que el bulbo sensible, que es el extremo sensible del electrodo, está formado por un vidrio polarizable (vidrio sensible de pH). Se llena el bulbo con la solución de ácido clorhídrico 0.1M saturado con cloruro de plata. El voltaje en el interior del bulbo es constante, porque se mantiene su pH constante (pH 7) de manera que la diferencia de potencial solo depende del pH del medio externo. [16]

En la Tabla 3 se puede observar los valores en mili voltios en relación a los valores de pH para la sonda de medición SKU. SEN0161.

**Tabla 3:** Salida del electrodo de pH, y el valor del pH de relación del pH-metroSKU: SEN0161 [28]

VOLTAGE (mV)	pH value	VOLTAGE (mV)	pH value
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-118.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

**Tabla 4:** Comparación de algunos pH-Metros

Tipo	Marca	Rango-pH	Resolución	Temperatura	
Lab 850	SCHOTT	-2,0-19,9	0,01 pH	-0.5-120°C	
Handylab PH 11	SCHOTT	-2,0-19,9	0.05 pH	-0.5-105°C	
pH-Metro digital	EXTECH	0-14	0.01 pH	0-50°C	
ph-Metro pH100	EXTECH	0-14	0.05 pH	0-50°C	
Industrial Código Abierto	VORICE	0-14	+/-0.1 pH	0-60°C	
Sensor pH para arduino	DFROBOT	0-14	+/-0.1 pH	0-60°C	

**Elaborado por:** El Investigador

Después de la comparación de algunos pH-metros expuestos en la Tabla 4, se puede notar que existen varios tipos, algunos de ellos son utilizados para mediciones de laboratorio y otros para operaciones industriales, existen dos pH-metros que operan con código abierto, el Industrial de marca VORICE y el Sensor de pH de marca DFROBOT este último fue diseñado específicamente para trabajar con Arduino y por su costo accesible y sus características es más el indicado para el prototipo.

#### **2.2.4. Sistemas electrónicos**

Un sistema electrónico es un conjunto de circuitos que interactúan entre sí para obtener un resultado. Una forma de entender los sistemas electrónicos consiste en dividirlos en las siguientes partes:

- Las entradas son Sensores (o transductores) electrónicos o mecánicos que toman las señales (en forma de temperatura, presión, etc.) del mundo físico y las convierten en señales de corriente o voltaje.
- Los circuitos de procesamiento de señales son dispositivos electrónicos conectados juntos para manipular, interpretar y transformar las señales de voltaje y corriente provenientes de los transductores.
- Las salidas de un sistema electrónico son actuadores u otros dispositivos (también transductores), que convierten las señales de corriente o voltaje en señales físicamente útiles.[17]

#### **2.2.5. Sistemas de protección**

El objetivo de los sistemas de protección es poner fuera de servicio lo más rápido posible cualquier equipo de un sistema que comience a operar en una forma anormal. El propósito, es también, limitar el daño que puede ocasionarse en los equipos, y sacar de servicio el equipo lo más rápido posible para mantener la integridad y estabilidad del sistema.

#### **Características de un sistema de protección**

Para que un sistema de protección pueda realizar sus funciones en forma satisfactoria debe cumplir con las siguientes características:

La sensibilidad consiste en detectar pequeñas variaciones en el entorno del punto de equilibrio, de ajuste, o de referencia, con mínima zona muerta o de indefinición. La selectividad consiste en detectar un determinado tipo de anomalía o falla en un componente o equipo del sistema de potencia y no operar ante otro tipo de anomalía o ante anomalías en otros equipos.

La rapidez de un sistema de protección es un parámetro que permite minimizar el tiempo de las anomalías y los retardos no deseados.

La confiabilidad (Reliability) es la probabilidad de cumplir la función encargada sin fallar, durante un período de tiempo. [18]

### **Tipos de Protecciones para cultivos**

Todas las especies vegetales tienen un rango óptimo para cada parámetro ambiental. La colocación de una pantalla o protección junto a la planta altera las condiciones ambientales que afectan a toda la planta o a una parte de ella.

- La posición de la pantalla o protección, respecto a la planta determina el tipo de protección (CPA, 1992). Cuando la pantalla se coloca sobre el suelo y debajo de los órganos aéreos de la planta tenemos el acolchado, en la Fig.1 se puede observar el acolchado en cultivos de fresón.
- Los cortavientos constituyen pantallas o protecciones laterales.
- Cuando las pantallas se colocan sobre las plantas, a modo de cubierta tenemos un tercer tipo de protecciones: invernaderos túneles y cubiertas flotantes.



**Fig.1:** Acolchado negro en cultivo de fresón [19]

- Cubiertas flotantes también conocidas como cubiertas planas y acolchados flotantes, la protección está apoyada directamente sobre las plantas, sin estructura que la soporte, en la Fig. 2 se puede observar la colocación de cubiertas flotantes en agro textiles.



**Fig.2:** Colocación mecanizada de cubierta flotante en agro textil. [19]

- Los túneles bajos son pequeñas estructuras que soportan la pantalla que provee protección temporal, al cultivo con una altura que no excede, aproximadamente, de un metro; en ellas las prácticas culturales se efectúan desde el exterior.
- De acuerdo a la secretaria de Gestión de Riesgos otro método de protección para cultivos ante caída de ceniza es disolver un litro de melaza o miel de panela en 200 litros de agua y aplicar con bomba a las hojas, para restablecer y vigorizar la conducción de alimentos dentro de la planta.

### **Tipos de Estructuras**

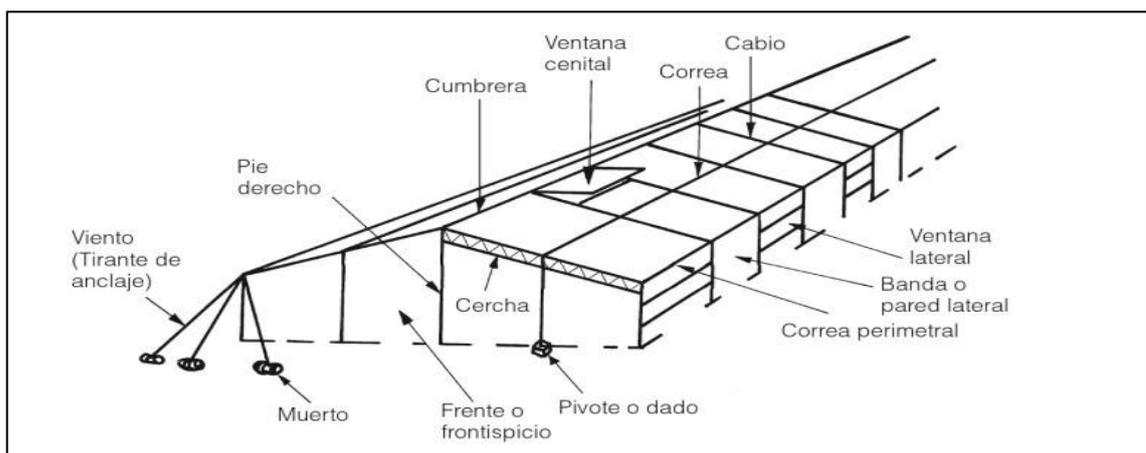
La estructura es el armazón del invernadero, constituidas por pies derechos, vigas cabos, correas etc., que soportan la cubierta, la lluvia, el viento, la nieve, los apartados que se instalan y los tutores de las plantas.

Las estructuras de los invernaderos deben reunir las condiciones siguientes:

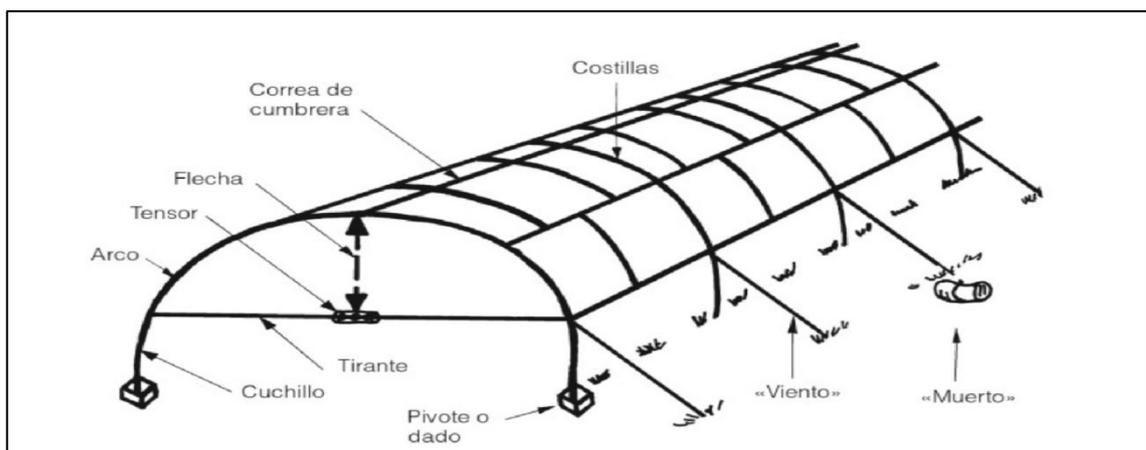
- Ligeras y resistentes.
- De material económico y de fácil conservación.
- Susceptibles de poder ser ampliadas.
- Que ocupen poca superficie.
- Adaptables y modificables a los materiales de cubierta.

La estructura del invernadero es uno de los elementos constructivos que mejor se debe estudiar, desde el punto de vista de solidez y economía a la hora de definirse por un determinado tipo de invernadero.

En los cálculos de los materiales necesarios en la construcción de la estructura de un invernadero, es preferible sobre dimensionar los distintos elementos constructivos y no quedar escasos de material por abaratar los costos de la instalación. Para mayor claridad se expone a continuación dos esquemas de invernadero uno de estructura recta (Fig. 3) y otro de líneas curvas (Fig. 4), donde quedan claramente expresados los distintos elementos de estos dos tipos de invernadero.



**Fig.3:** Esquema de los distintos elementos de una estructura de líneas rectas. [20]



**Fig.4:** Esquema de los distintos elementos de una estructura de líneas curvas. [20]

## **Materiales empleados en las estructuras**

Los materiales más utilizados en la construcción de las estructuras de los invernaderos son: madera, hierro, aluminio, alambre galvanizado y hormigón armado.

Es difícil encontrar un tipo de estructura que utilice solamente una clase de material; lo más común es emplear varios materiales para una misma estructura, siendo variable este ejemplo mixto de material.

Las estructuras de los invernaderos que se construyen en la actualidad se combinan los materiales siguientes: madera y alambre, hierro y alambre, hierro y madera, hormigón y madera, hormigón y hierro; hormigón, hierro alambre y madera.

Las estructuras de madera también utilizan en alambre galvanizado, unas veces como material accesorio y otras como elemento constructivo fundamental.

La madera que más se emplea es eucalipto, castaño y pino, casi siempre se utiliza el rollizo para los pies derechos.

La estructura de hierro se auxilia de alambre galvanizado y de listones de madera para la sucesión del plástico. [19]

### **2.2.6. Los Aspersores**

#### **Generalidades**

Los aspersores empleados son en general regadores rotativos. Una boquilla calibrada controla el chorro, la cabeza del aspersor está animada de un movimiento rotativo que permite regar la superficie interior de un círculo cuyo alcance corresponde al alcance máximo del chorro.

Generalmente, el movimiento rotativo es discontinuo, asegurado por impulsiones periódicas provocadas por el chorro que golpea la cuchara provista de un batidor y que provoca por reacción la rotación del aspersor. El batidor vuelve sobre el chorro bien mediante un resorte (batidor de giro horizontal), bien por su propio peso (batidor de giro vertical)

No obstante existen algunos aspersores con movimiento rotativo continuo asegurada por una turbina que mueve la cabeza del aspersor y es impulsada por el chorro. Por otra parte ciertos aparatos pueden estar equipados de un dispositivo que limita el riego a un sector circular de amplitud regulable.

La función del aspersor es asegurar una buena pulverización del chorro en gotitas finas, con un reparto lo más uniforme posible de la lluvia sobre toda la superficie regada. Esta

uniformidad de riego se consigue con un adecuado recubrimiento parcial de los círculos mojados

Los diferentes tipos de aspersores rotativos pueden clasificarse:

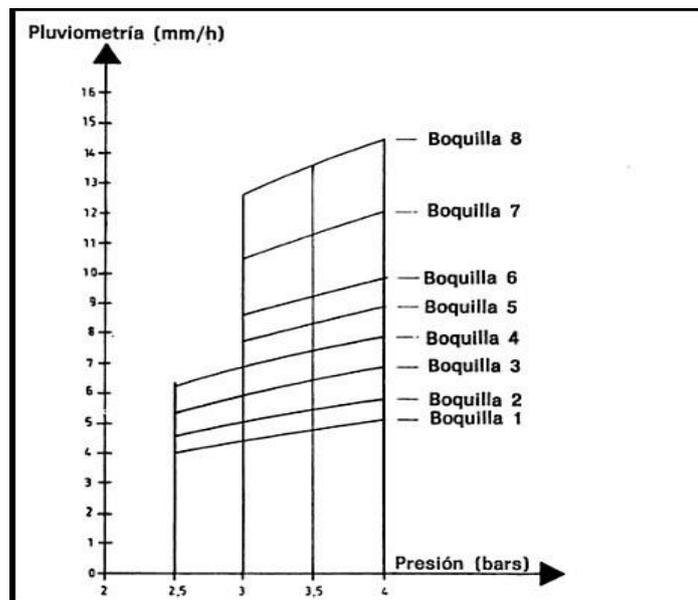
- Según su serie de presión y servicio
- Según que sean fijos o móviles durante la posición o postura de riego.

### **Aspersores de posición fija, de baja y media presión.**

Los aspersores de baja y media presión (1,5 a 4 bars) constituyen el material más antiguo y el más usado. Su rusticidad y lo módico de su precio garantizan su éxito. Con el fin de mejorar la uniformidad del reparto de lluvia, el aspersor se equipa a veces de una segunda boquilla opuesta a la primera y de características diferentes. La diversidad de material existente permite cubrir una serie importante de condiciones de funcionamiento:

- Caudal de los aspersores: 0,6 a 6 metros cúbicos por hora.
- Separación de los aspersores de 6 a 24 m.
- Pluviometría de riego: 4 a 20 milímetros por hora.

A título de ejemplo en la Fig. 5 se encuentran los diagramas de funcionamiento relativos a un aspersor normalmente empleado, según un a distribución de 18 x 18 metros.



**Fig.5:** Diagrama de funcionamiento de un aspersor de media presión con una distribución 18 x18 metros. (Aspersor RAIN-BIRD). [20]

## **Aspersores de posición fija, de alta presión.**

### **Cañones de Riego**

Los cañones de riego funcionan a alta presión (4 a 6 bars) y proporcionan caudales importantes a gran alcance.

Los modelos más pequeños permiten la implantación de separaciones de 36 a 42 m, con presiones de funcionamiento del orden de 4 bars. Los caudales suministrados son del orden de 4 bar. Los caudales suministrados son del orden de 15 a 30 metros cúbicos por hora, con pluviometrías de riego bastante elevadas: 8 a 14 milímetros por hora. Los cañones más importantes funcionan a 5 a 6 bars y permiten obtener separaciones que varían normalmente entre 63 y 90 m. Las pluviometrías obtenidas son importantes (10 a 20 mililitros por hora), lo mismo que los caudales suministrados (35 a 100 metros cúbicos por hora). Estos aparatos van montados sobre un soporte o un pequeño remolque, que facilita el desplazamiento entre posición y posición. En suelos ligeros, permiten cubrir superficies importantes con inversiones relativamente modestas.

### **Aspersores Automáticos.**

Los dispositivos mencionados hasta aquí funcionan en posición fija; la casi totalidad de los aspersores automotrices aseguran un riego en banda con desplazamiento continuo del aspersor.

Los aspersores automotrices se componen de tres elementos.

1. El aspersor propiamente dicho: Se trata de un cañón de riego o de un aspersor gigante.
2. La conducción flexible de alimentación del aspersor. Su longitud es del orden de los 200 a 300 m, con un diámetro variable de 33 a 110 mm. Puede ser de polietileno (enrollado sobre el tambor) o en caucho reforzado (acompaña al aspersor sobre el suelo).
3. El órgano tracción del aspersor.

La dosis de riego se modula actuando sobre la velocidad de avance del aparato que es regulable dentro del intervalo de 5 a 30 m por hora. En la Tabla 5 se expone un ejemplo para una superficie regable con una dosis de 40mm.

Como orientación, se puede calcular la superficie regable por un solo aparato sobre la base de una dosis de 40 mm, suministrada en 10 días, con un tiempo de funcionamiento medio de 22 horas sobre 24 y de 8 días sobre los 10. Resultan los datos siguientes, relativos a las condiciones de empleo inferiores a las cualidades máximas: [20]

**Tabla 5:** Superficie regable por un solo aparato sobre una dosis de 40 mm. [20]

Importancia del Modelo	Caudal	Anchura de la banda regada (m)	Superficie regable en 10 días ( ha )
Modelos pequeños (Ø 50mm)	9	30	4
Modelos medianos (Ø 75mm)	26	54	12
Modelos grandes (Ø 110mm)	62	72	27

En la Fig.6 se puede observar la aspersión del agua con aspersores de pequeños diámetros colocados en diferentes sectores para cubrir toda el área.



**Fig.6:** Protección por aspersión de agua con melaza de panela  
Elaborado por: El Investigador

### 2.2.7. Recomendaciones para protección vegetal ante caída de ceniza volcánica.

#### De la cruz roja ecuatoriana

- Jardines bajo un techo plástico: Tanto las plantas exteriores como las que florecen en macetas deben ser guardadas bajo techo, los jardines de las casas deben ser protegidos con plásticos gruesos a manera de invernaderos, inmediatamente después de que termine el fenómeno retirar las cubiertas.
- Parques: El Municipio solo realizará la limpieza de los parques grandes, las pequeñas áreas verdes deben ser limpiados por los vecinos/as del sector.
- La ceniza es la principal enemiga del suelo: Los daños que puede causar la ceniza en la flora son incalculables, existe la probabilidad que los cultivos mueran al contacto con la ceniza. La capa de ceniza no permitirá que las plantas realicen la fotosíntesis, además, alterará las condiciones químicas del suelo, por

lo tanto las plantas pequeñas deben ser cubiertas con plásticos a manera de viveros. [21]

### **De la secretaria de gestión de riesgos**

- Sacudir la ceniza de las hojas y lavarlas con agua, utilizando mangueras o aspersores.
- Disolver un litro de melaza o miel de panela en 200 litros de agua y aplicar con bomba a las hojas, para restablecer y vigorizar la conducción de alimentos dentro de la planta.[22]

### **Propuesta de Solución**

Se plantea implementar un sistema electrónico que detecte la presencia de ceniza volcánica, el cual permitirá activar mecanismos de protección, para reducir los efectos de la caída de ceniza volcánica.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Modalidad de la investigación**

El presente trabajo se enmarcó dentro del tipo de investigación aplicada, debido a que busca la solución de un problema y el desarrollo de ideas para conseguir la disminución de pérdidas económicas causadas por los efectos de la ceniza, por medio de la puesta en práctica de conocimientos teóricos para llegar a un diseño esquemático y finalmente a la implementación de un sistema electrónico.

El estudio a realizarse se basó en las siguientes modalidades:

Investigación bibliográfica, porque se obtuvo información de libros, revistas, manuales que se constituyeron como soporte teórico.

Investigación documental, puesto que se recolectó, seleccionó y utilizó documentos para deducir resultados coherentes de la investigación.

Investigación de campo, ya que estuvo basado en una estrategia de recolección de datos directa de la realidad, se visitó los lugares donde el problema se da en mayor intensidad.

Investigación experimental, se realizó un proceso sistemático con las muestras recolectadas, se analizó y realizó diferentes pruebas hasta conseguir los resultados deseados.

#### **3.2. Recolección de información**

Se recopiló información de fuentes bibliográficas, artículos, tesis y páginas de internet que contenían información referente al tema de investigación, así como la guía del tutor, varios profesores de la FISEI - UTA, personal encargado del Observatorio Vulcanológico del Tungurahua (OVT) ubicado en el sector de Guadalupe, Provincia de

Tungurahua y del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, además de los experimentos que se llevó a cabo.

### **3.3. Procesamiento de la información**

- Recolección de información de libros, revistas, artículos y publicaciones.
- Revisión crítica de la información obtenida, que ayudará a plantear estrategias para la solución del problema a través de la propuesta.
- Lectura de artículos, libros y páginas de internet relacionados con el tema de investigación.
- Interpretación de resultados con el apoyo de fundamentos teóricos para cada aspecto del desarrollo del proyecto.

### **3.4. Desarrollo del proyecto**

- Análisis de los niveles de pH de la ceniza volcánica.
- Establecimiento de los parámetros del sistema, y obtención de los niveles de pH de la ceniza a través de pH-metro.
- Programación del pH-metro para el establecimiento de la relación de presencia de ceniza en base a los rangos obtenidos.
- Elaboración de la tabla de rangos de presencia de ceniza con la aplicación del pH-metro.
- Construcción del prototipo del sistema electrónico detector de ceniza.
- Construcción del prototipo para protección de cultivos.
- Construcción del circuito de acoplamiento, para la activación o desactivación de las cubiertas en base a la tabla de rangos de presencia de ceniza obtenidos.
- Comprobación del funcionamiento del sistema electrónico.
- Implementación del diseño final.
- Presentación del informe final y defensa el proyecto.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

#### **4.1. Análisis de los niveles de pH de la ceniza volcánica.**

Para el funcionamiento del sistema electrónico, el análisis de los niveles que tiene el pH de la ceniza volcánica en un sistema de volumen de agua, fue el paso fundamental para el diseño y construcción del prototipo, ya que a partir de este análisis se procedió a elegir el procedimiento más indicado y óptimo incluyendo programación y construcción del prototipo.

La obtención del material piroclástico (ceniza) para su posterior análisis y un breve estudio sobre las principales características del Volcán Tungurahua fueron bases fundamentales para la inicialización del proyecto.

#### **4.1.1 Vulcanismo Actual de los Andes Ecuatorianos**

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (Bernard y Andrade, 2011) a lo largo de todo el territorio continental Ecuatoriano existen 84 volcanes de edad cuaternaria que se muestran en la Fig.7 .Tres de ellos tuvieron actividad el último año en agosto del 2014 y se los considera como “volcanes en erupción”. Estos volcanes son: Reventador, Tungurahua y Sangay. De los cuales se ha escogido el volcán Tungurahua para realizar los estudios de los niveles de pH de la ceniza debido a su emisión frecuente de material piroclástico y consecuentemente las afectaciones a la provincia de Tungurahua.

Además de los volcanes en erupción, cinco volcanes se consideran “activos” debido a que sus últimas erupciones ocurrieron hace menos de 500 años y son Cayambe, Guagua Pichincha, Chacana, Sumaco y Cotopaxi. Por último, 17 volcanes se consideran Potencialmente activos y los restantes “dormidos o extintos”. [23]

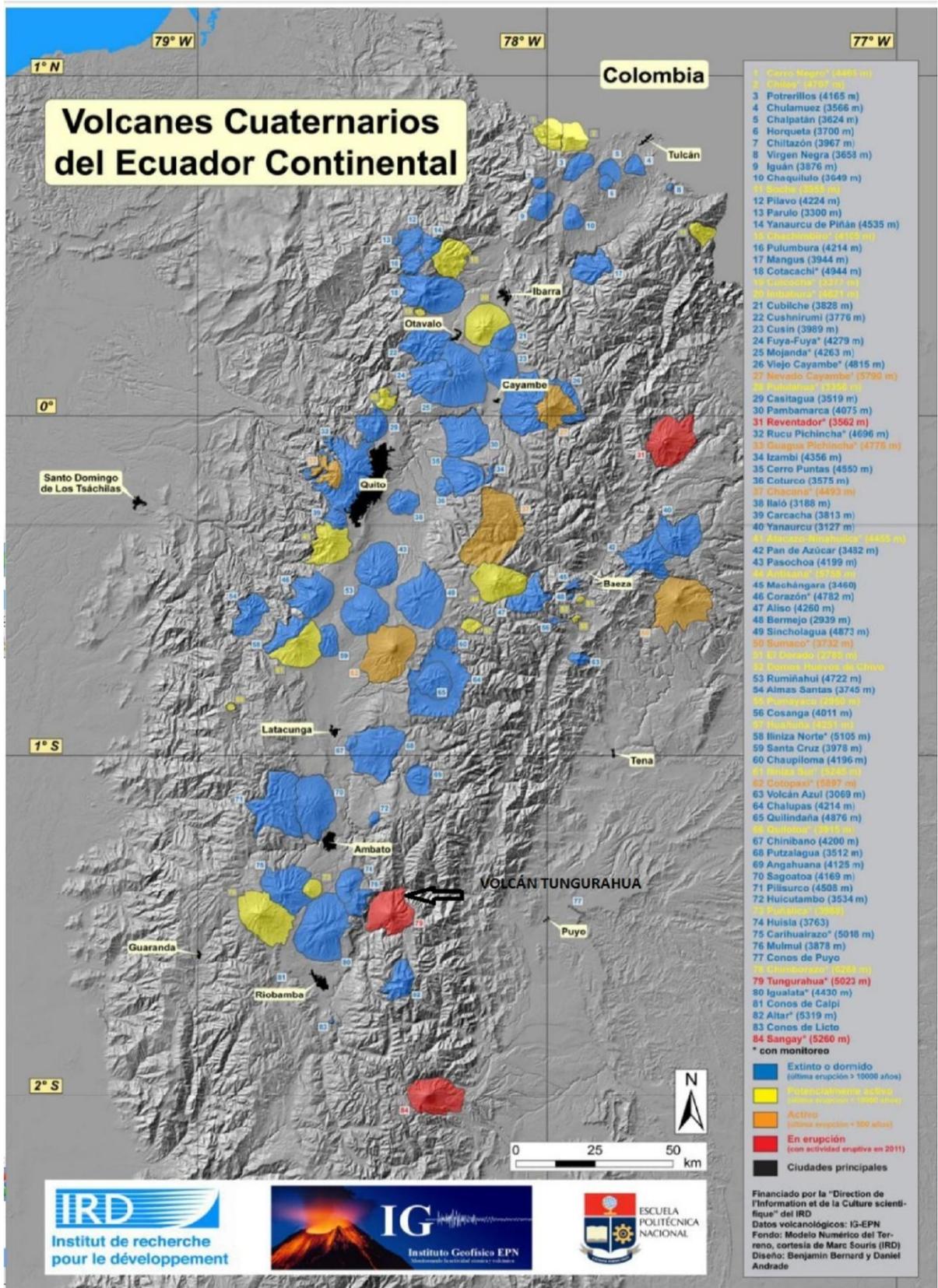


Fig.7: Volcanes Cuaternarios del Ecuador Continental [23]

#### **4.1.2. Ubicación y Características del Volcán Tungurahua**

El volcán Tungurahua se ubica entre las provincias de Tungurahua y Chimborazo. Su cumbre (5023 msnm) se encuentra a 30 km al sureste de la ciudad de Ambato y a 8 Km de Baños.

La topografía circundante varía entre 2000 y 3800 metros de elevación, características de la cordillera Real sobre la cual se formó este volcán. Posee una formación cónica caracterizada por su gran relieve (aprox. 3200 m) y cuyo diámetro basal es de 14 km. Su cráter es de aproximadamente 300 m de diámetro y cerca de 100 m de profundidad.

Este volcán es drenado por numerosas quebradas que desembocan en los ríos Puebla al sur y al Suroeste, Chambo al Occidente y Pastaza al Norte y Noreste. Una densa vegetación cubre todos los flancos, especialmente entre 2000 y 3800 m de elevación, en la Fig. 8 se muestra el mapa topográfico del volcán Tungurahua.

Más de una docena de pequeñas comunidades se localizan en las faldas del volcán Tungurahua, principalmente en el flanco occidental entre las cuales se encuentran: Chonglotus, Bilbao, Yuibug, Puela y Palitahua. Una carretera de segundo orden que conecta la ciudad de Penipe con la zona de los Pájaros es la principal vía de conexión entre estos dos poblados.

El Volcán Tungurahua es uno de los centros volcánicos más activos del Territorio Ecuatoriano con una altura de 5.016 metros sobre el nivel del mar. La información histórica disponible sobre las erupciones del Volcán Tungurahua, anteriores a 1773 es poco confiable, probablemente alrededor de 1641 ocurrió un evento pero sin confirmación. En todo caso la erupción del 23 de abril de 1773, tiene reportes referentes a los fenómenos que se produjeron, así: se registró la formación de flujos piroclásticos, lahares y flujos de lava, provocando la reubicación de Baños al sitio actual. Posteriormente, en Enero de 1886 erupciona el Volcán, expulsando productos volcánicos como flujos piroclásticos y lahares que descendieron por los ríos Ulba y Puela generando en el clímax de la erupción, una columna eruptiva estimada en 25.000 metros de altura; las ciudades de Riobamba y Ambato fueron afectadas por la caída de ceniza. El Proceso Eruptivo culminó con la salida de flujos de lava en el flanco occidental del Volcán (Cusúa). Esta situación, en la gente, de aquella época, había provocado espanto, miedo afianzando su devoción en el milagro y amparo de la Virgen

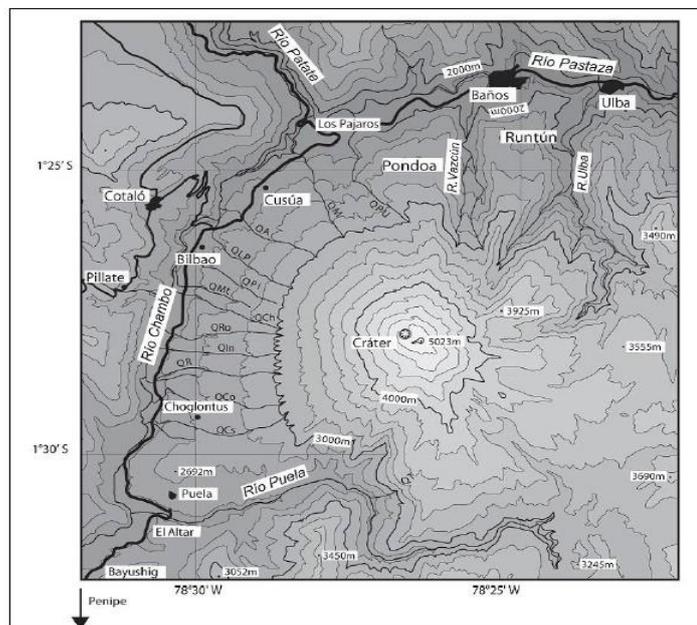
de Agua Santa. Hecho que se puede observar en los cuadros existentes en la Basílica del Santuario.

La última erupción del Volcán Tungurahua que registra la historia va desde 1916 a 1925 con flujos piroclásticos que descendieron entre otras, por las quebradas de Bascún y Ulba, que ahora forman parte del Casco Urbano de la Ciudad de Baños de Agua Santa.

La historia eruptiva muestra que el inicio de la actividad del Volcán Tungurahua es muy rápido y por otro lado, la duración de todo el Proceso puede prolongarse por años, aumentando el Impacto en la Población.

Según el Mapa de Peligros Volcánicos del Volcán Tungurahua, publicado en 1988 por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, determina que los habitantes de Cotaló viven en la Zona de Riesgo.

En agosto de 1999 el Volcán Tungurahua experimentó una reactivación, en septiembre del mismo año se declaró la Alerta Amarilla y el 16 de octubre del mismo año se declaró la Alerta Naranja. Previamente se desplazaron 3.588 personas de la Parroquia de Cotaló y otras poblaciones de la Zona de Riesgo. La Dirección Nacional de Defensa Civil declaró Alerta Naranja a Cotaló a las poblaciones y sectores ubicados en la Zona de Riesgo, lo cual no se ha modificado hasta la fecha.



**Fig.8:** Mapa topográfico del Volcán Tungurahua [23]

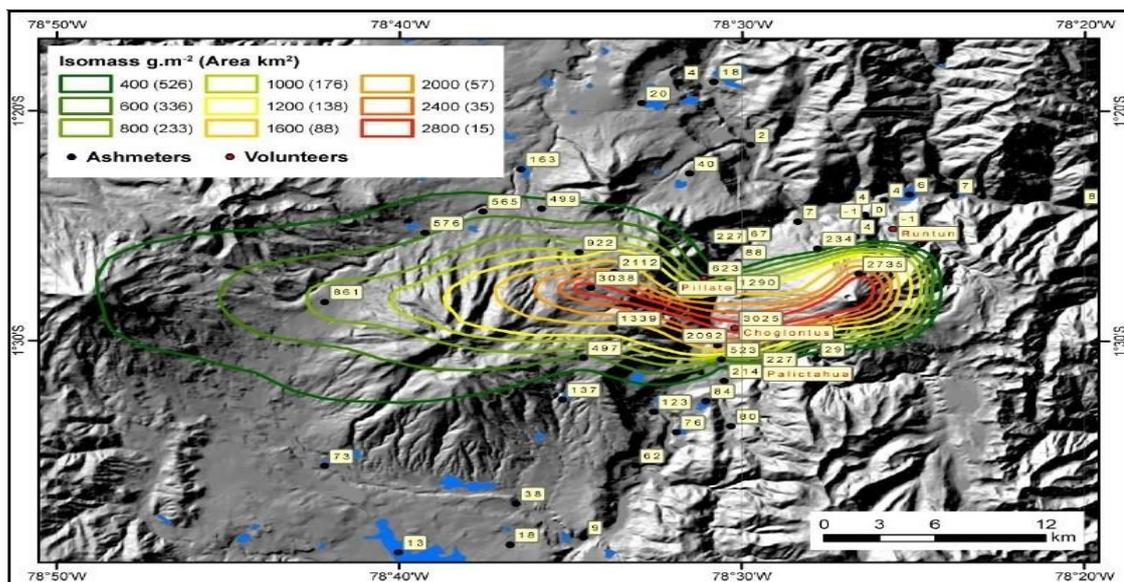
En la Fig.9 se puede observar una fotografía tomada el 1 de febrero del 2014 de la erupción del volcán Tungurahua que alcanzó una nube de ceniza de aproximadamente 10km, la imagen fue tomada desde la ciudad de Pelileo.



**Fig.9:** Mapa topográfico del Volcán Tungurahua [23]  
**Elaborado por:** El Investigador

#### **4.1.3. Zonas Vulnerables**

De acuerdo a los informes de MAGAP y a los antecedentes de dispersión de ceniza del Volcán Tungurahua del periodo julio-agosto del 2013 proporcionados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, las zonas más vulnerables a sus efectos son principalmente las provincias de Tungurahua, (Ambato, Pelileo, Patate, Baños, Cevallos, Mocha, Tisaleo, Quero, Rio Blanco), Chimborazo y parte de la provincia de Bolívar aunque con condiciones climáticas extremas los efectos se reflejan en la zona norte y sur del volcán inclusive en algunas provincias de la costa ecuatoriana. En la Fig.10 se muestra el mapa topográfico y el registro de dispersión de ceniza volcánica emitida en el periodo eruptivo de julio -agosto del 2013. [24]



**Fig.10:** Dispersión de la ceniza Durante el periodo eruptivo de Julio-Agosto 2013. [23]

De acuerdo a los reportes emitidos por la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos, MAGAP y recopilación de información de varias revistas y periódicos de la localidad, en la Tabla 6 se tabulan los principales lugares considerados de alto riesgo de afectación por la ceniza del volcán Tungurahua.

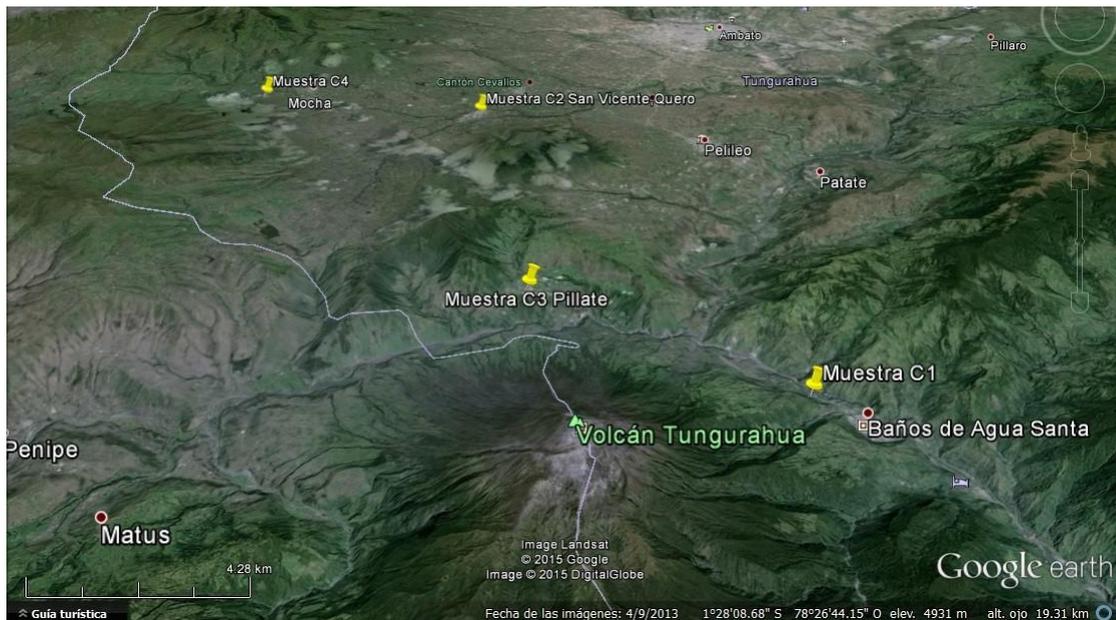
**Tabla 6:** Zonas de mayor riesgo de caída de ceniza del volcán Tungurahua

Provincia	Cantones	Sectores
Tungurahua	Pelileo	Pillate, Cotaló, Huambalo.
	Mocha	Mocha, Santa Marianita, Pinguili
	Cevallos	Cevallos
	Ambato	Picaihua, Totoras, Pishilata, Ambato
	Quero	Quero, Yanayacu, Benitez, San José del Guanto, Shaushi
	Tisaleo	Tisaleo, Quinchicoto.
	Patate	Guadalupe, Pondoá, Juive
	Baños	Juive Grande, Los Pájaros.
Chimborazo	Guano	Santa Fe
	Penipe	Penipe
Cañar	Azogues	El Tambo, Biblián, Suscal
Los Ríos		Mocache, Quinsaloma, Valencia y Quevedo
Bolívar		Guaranda
Manabí		El Carmen
Guayas		Bucay, Milagro

**Elaborado por:** El Investigador

#### 4.1.4. Obtención de las muestras

Puesto que las zonas más afectadas por el volcán Tungurahua según informes de MAGAP y de la Secretaria de Gestión de Riesgos , son los cantones de Pelileo, Mocha, Quero, Cevallos además de las zonas altas de las provincias Tungurahua y Chimborazo, las muestras de cenizas se tomaron de estas zonas, especialmente de una de las zonas más afectadas que es Pillate comunidad de Cotaló del cantón Pelileo, considerando que en esta zona la presencia de ceniza se da en mayor cantidad por cada erupción volcánica, y como la composición geoquímica de la ceniza del volcán Tungurahua según estudios realizados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de Quito a través del Geólogo Diego Rivadeneira en su estudio de Dinamismos Eruptivos de los periodos de actividad de Marzo y Julio del 2013 , las muestras de ceniza presentan características homogéneas por tanto no se tuvo la necesidad de analizar el pH de gran cantidad de muestras. Para llevar a cabo los primeros análisis, se recopiló muestras de ceniza de cuatro lugares diferentes y su ubicación se muestra en la Fig.11, estos lugares fueron, San Vicente de Quero, Baños de Agua Santa, Pillate de Pelileo y Santa Marianita del Cantón Mocha.

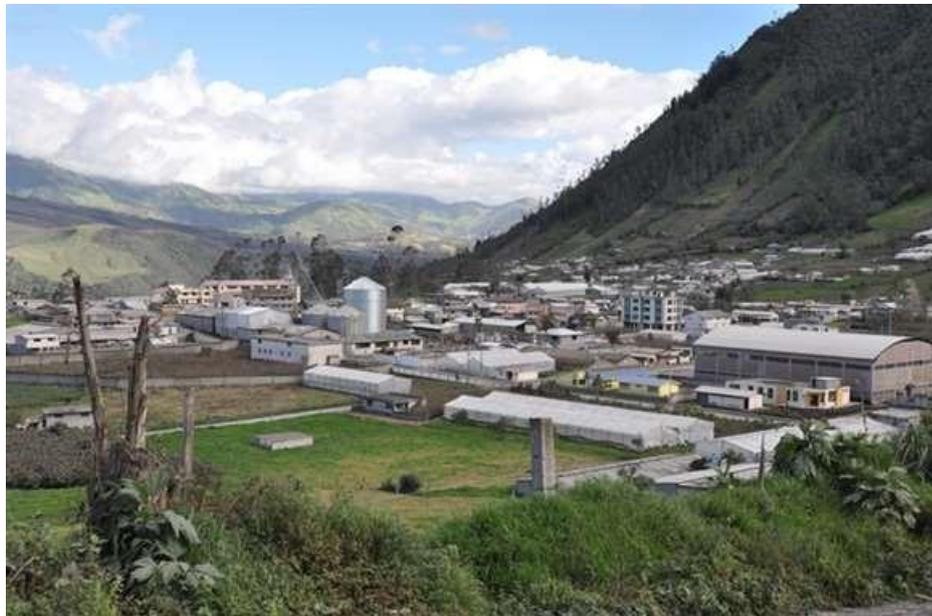


**Fig.11:** Lugares en donde se obtuvieron las muestras de ceniza volcánica.  
**Elaborado por:** El Investigador

Las muestras de ceniza de los cuatro lugares se obtuvieron en diferentes periodos de erupción para verificar que las propiedades de pH sean homogéneas.

- Muestra C1: La muestra de Baños de Agua Santa se obtuvo por cortesía de un habitante de la localidad recogida de la erupción de diciembre del 2013.
- Muestra C2: Recogida por cortesía de un habitante de la localidad en la parroquia San Vicente del cantón Quero esta muestra data de Agosto de 2014.
- Muestra C3: Las muestras más recientes fueron recolectadas por el autor del proyecto en la comunidad de Pillate, que fueron de la última erupción hasta ese momento en octubre del 2014.
- Muestra C4: Recolectada de la parroquia Santa Marianita del Cantón Mocha en Agosto del 2014.

En la Fig.12 se muestra la parroquia Cotaló a la que pertenece la comunidad de Pillate y que es uno de los lugares más afectados por caída de ceniza, puesto que se encuentra a las faldas del volcán Tungurahua.



**Fig.12:** Fotografía de la Parroquia Cotaló del cantón Pelileo  
**Elaborado por:** El Investigador

#### **4.1.5. Análisis de las muestras y el pH.**

##### **Métodos de Prueba**

###### **Método A**

Las medidas del pH de los suelos en ambas suspensiones, en agua y en una solución de cloruro de calcio, son hechas con un potenciómetro, usando un sistema de electrodos sensitivos al pH. El potenciómetro es calibrado con soluciones estabilizadoras (buffer) de pH conocido. Este método se basa en la Norma INV E-131-07.

###### **Método B**

Consiste en usar un papel sensible. El papel sensible al pH es una medida menos precisa y se debe usar únicamente para hacer un estimativo aproximado del pH del suelo. Se debe usar el método de electrodos para obtener esta determinación, a no ser que se especifique el del papel sensible al pH. Este método se basa en la Norma INV E-131-07.

El método utilizado para las pruebas fue en Método A puesto que es el más adecuado, permite mayor precisión y además existen electrodos de medición para los controladores de Arduino que permiten llevar el registro de datos directamente a una hoja de cálculo, lo que sería imposible llevar a cabo con el Método B que consiste en utilizar el papel sensible.

##### **Equipos y Materiales**

Para el presente trabajo investigativo solo se mencionan los equipos y materiales que no son de uso común en el laboratorio analítico.

- Medidor de pH.
- Electrodo de vidrio.
- Balanza analítica con sensibilidad de 0,1 g.
- Recipiente de vidrio o plástico.
- Tarjeta Arduino.
- LabView.

##### **Reactivos**

- Agua destilada

- Soluciones amortiguadoras comerciales de valor de pH 4,0, pH 7,0 y pH 10,0 con certificados de trazabilidad.

### **Recolección, Preservación y almacenamiento de muestras.**

- Cantidad mínima de muestra: 2 g.
- Preservación: temperatura ambiente 10-18° C
- Tiempo máximo previo al análisis: las muestras deberán ser analizadas tan pronto como sea posible.

### **Calibración**

Debido a la extensa variedad de medidores de pH y accesorios, los procedimientos de operación detallados no se incluyen en este método. Cada analista debe estar familiarizado con todas las funciones del instrumento. Es recomendable una atención especial para el cuidado de los electrodos y la calibración a pH 1 y pH 12,45.

Cada sistema instrumento/electrodo, debe ser calibrado con un mínimo de dos puntos que abarquen el pH esperado de las muestras y con una diferencia mínima de tres unidades de pH. (pH 1,0, pH 4,0, pH 7,0 y pH 10,0), cuando se tengan muestras cuyo valor inicial del pH sea mayor a 11,0 entonces es necesario calibrar el equipo con las soluciones amortiguadoras de pH 7,0 y pH 12,45, cuando se tengan valores menores a 2,0 se debe calibrar el equipo con las soluciones amortiguadoras de valor pH 1,0 y pH 7,0, se deben realizar las calibraciones y las mediciones a  $25 \pm 1,0^\circ$  C. Repetir los ajustes en porciones consecutivas de las dos soluciones de calibración hasta que las lecturas se encuentren dentro de 0,05 unidades de pH del valor de la solución de calibración. [25]

### **Procedimiento**

Realización de las primeras pruebas.

1. Para llevar a cabo el análisis de las muestras de ceniza volcánica recolectadas fue necesario en primer lugar retirar las escorias o los elementos contaminantes indeseados de la ceniza que por lo general en el momento de su recolección es inevitable su contaminación, para eso se llevó a cabo el proceso de coladera que deja pasar la ceniza apartando los gránulos, piedras basura, etc.

2. Con la balanza analítica se graduó el volumen del agua destilada y el peso de las muestras de ceniza.
3. Se utilizó un recipiente de plástico que contenía una cantidad de 20ml de agua destilada, y ceniza en pequeña cantidad, se inició con 2 gr.
4. Se calibró el pH-metro con un buffer 7.00 para obtener un valor de pH real aproximado, puesto que el pH del agua destilada se aproxima a un valor de neutral de 7.00.
5. Se tomó el pH 7.00 como referencia inicial.
6. Se introdujo 2gr de ceniza en el mismo recipiente y se volvió a realizar la medición, el valor del pH sufrió un cambio mínimo.
7. Por consiguiente se le agregó mayor cantidad de ceniza 2, 4, 6, 8, 10, 15 y 20 gr, repitiendo el mismo procedimiento con las muestras de ceniza de los diferentes lugares, pero el valor de pH se mantuvo similar, no afectó en gran cantidad al pH original con lo que este resultado indicó que la ceniza es un material inerte y que no sufre grandes cambios de pH.
8. Se realizó el mismo procedimiento para la medición de pH de muestras del suelo y de diferentes características, en este caso el valor de pH cambió significativamente, de este resultado se obtuvo una característica fundamental para la diferenciación entre la ceniza volcánica y otros elementos, (tierra o polvo). Los resultados de esta medición se muestran en los Anexos.
9. Se realizó el mismo procedimiento pero ahora con una solución calibradora de pH 4.00
10. Se tomó el pH 4.00 como referencia inicial.
11. Con la misma cantidad de 20ml se introdujo 2, 4, 6, 8, 10, 15 y 20 gr de ceniza en el recipiente logrando así una contaminación del buffer secuencial hasta llegar a un gramo por cada mililitro de Buffer, y se volvió a realizar la medición, de igual manera el pH sufrió un cambio mínimo.
12. Se introdujo muestras de suelo de diferentes características y en las mismas proporciones de la ceniza volcánica para el caso el pH varió mucho más que con un pH 7.00 por lo que se trabajaría más eficientemente con un buffer de pH 4.00. Todos los resultados se los detallan en la sección de Anexos.

En la Fig.13 se puede observar la solución que se utilizó para calibrar el sensor de pH.



**Fig.13:** Buffer de pH 4, 00  
**Elaborado por:** El Investigador

Como muestra de la ceniza volcánica recogida de la comunidad de Pillate se almacenó cierta cantidad en recipientes, una vez liberado las escorias contaminantes a través de una coladera, Fig.14.



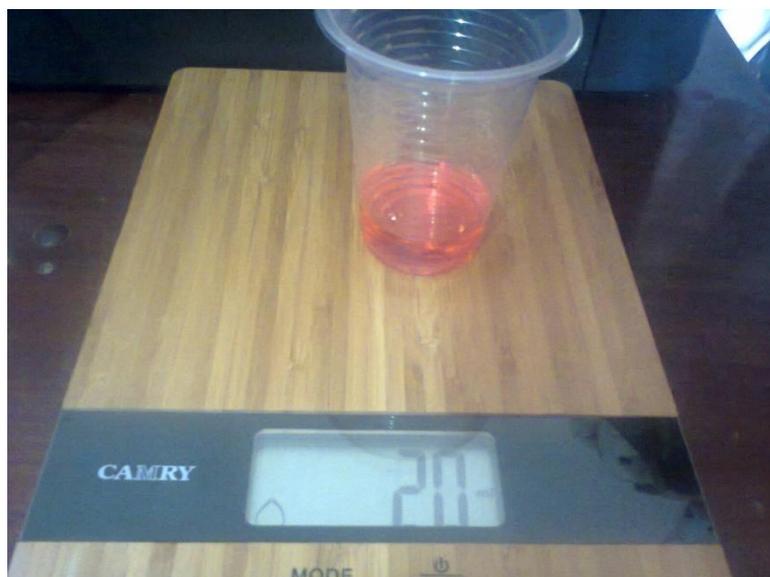
**Fig.14:** Ceniza Volcánica Pillate-Cotaló Octubre 2014  
**Elaborado por:** El Investigador

En la Fig.15 se muestra el procedimiento adecuado para calibrar el gramaje de las muestras, se utilizó la balanza digital para tener cantidades representativas y posteriormente realizar los análisis necesarios. El manejo de la muestra debe ser cuidadoso para evitar cualquier cambio o contaminación.



**Fig.15:** Graduación de la ceniza en la balanza analítica  
**Elaborado por:** El Investigador

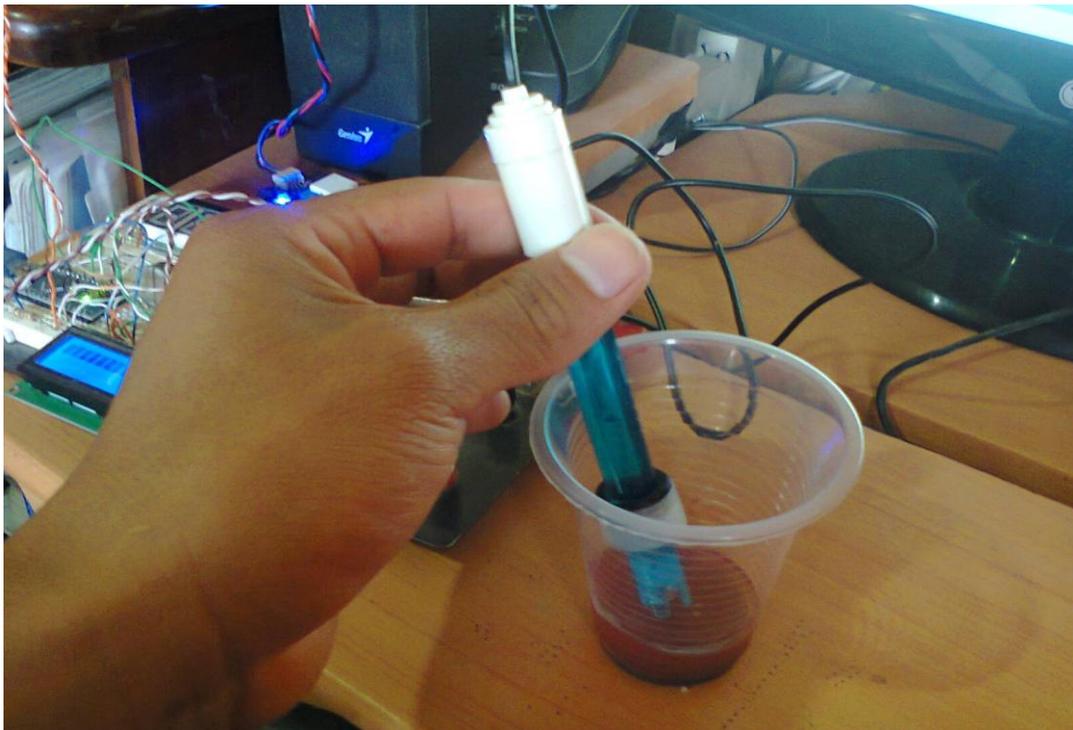
En la Fig.16 se puede observar la medición de volumen del Buffer de Calibración, para ello se utilizó la balanza digital que tiene también la opción de medir volumen.



**Fig.16:** Graduación del Buffer en la Balanza analítica  
**Elaborado por:** El Investigador

## 4.2. Establecimiento de los parámetros del sistema, y obtención de los niveles de pH de la ceniza a través de pH-metro.

Siempre que se trate de un sistema electrónico se debe definir los parámetros, variables y constantes a los cuales va a estar sujeto, previo a un análisis de las características de cada elemento que formará parte del sistema, y este caso para que exista un promedio de valores en el rango establecido de los niveles de potencial de hidrógeno. En la Fig. 17 se puede apreciar la obtención de los valores de potencial de Hidrogeno mediante la sonda de pH.



**Fig.17:** Obtención del pH de las muestras a través del sensor  
**Elaborado por:** El Investigador

### 4.2.1 Parámetros del sistema para la medición de pH.

Para un mejor desempeño del sistema electrónico se estableció una cantidad de volumen de solución de 20 ml considerada como idóneo, y cantidad de muestras de partículas de ceniza de diferentes gramajes, los resultados se presentan en el anexo A de Niveles de Potencial de Hidrógeno.

Las variables establecidas fueron: peso o gramaje de las partículas de ceniza, volumen (agua destilada y buffer estabilizador), tiempo de respuesta del pH-metro y temperatura.

Se optó por elegir una superficie de un tamaño y forma adecuados para que el electrodo de medición pueda interactuar fácilmente.

Posterior a las pruebas de laboratorio realizadas, en la Tabla 7 y Tabla 8 respectivamente se muestran los principales parámetros y variables utilizadas a los que se rige el sistema.

Se ha diseñado el colector para análisis con una capacidad máxima de 30 ml<sup>3</sup>, buffer estabilizador de pH 4.00, agua de preferencia de pH neutro.

Los valores de: rango de medición, tiempo de calibración y respuesta además de la temperatura, fueron tomados de acuerdo a las características de la sonda de medición de pH. El tiempo total de respuesta del sistema toma en cuenta la suma del tiempo total de todos los elementos que conforman el sistema.

La cantidad de muestra suficiente para realizar el proceso analítico varía de 10 hasta los 25g para representar en esta cantidad plenamente las propiedades a estudio del sistema. Es conveniente tomar al menos el doble de la cantidad mínima en previsión de algún error que pueda obligar a repetir el análisis. Además deben evitarse contaminaciones de la muestra, lo que obliga a trabajar con la sonda y colectores estériles.

**Tabla 7:** Parámetros establecidos para el sistema

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>
Capacidad de volumen del colector de análisis	20 ml <sup>3</sup>
Estabilizadores	Buffer pH4.00, Agua Destilada

**Elaborado por:** El Investigador.

**Tabla 8:** Variables Utilizadas para el sistema

<b>Variables</b>	<b>Valor Min</b>	<b>Valor Max</b>
Para la sonda de pH	Rango de Medición	0
	Tiempo de Calibración	10 seg
	Tiempo de Respuesta	30 seg (aprox)
Tiempo de respuesta del sistema	1 min (aprox)	3 min(aprox)
Cantidad de muestras de ceniza	2g	25 g
Volumen de Buffer	0	25 ml
Temperatura	0 °C	60°C

**Elaborado por:** El Investigador.

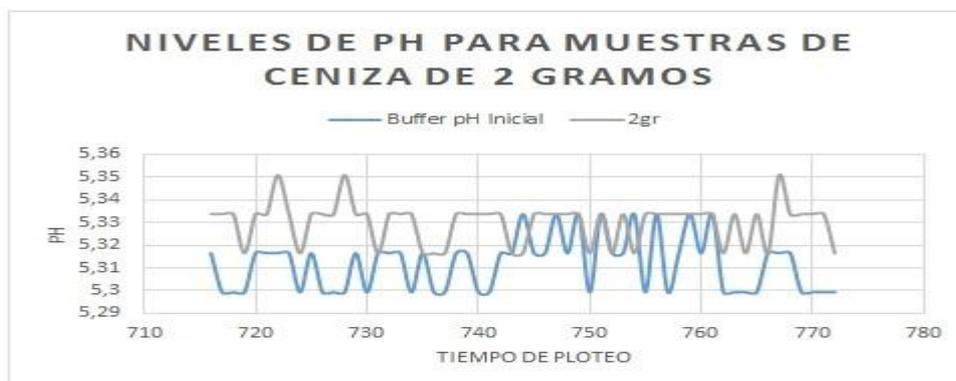
#### 4.2.2 Niveles de Potencial de Hidrógeno (pH) de la ceniza volcánica del Volcán Tungurahua.

Luego de haber definido los parámetros con los que funcionará el sistema y haber realizado las pruebas necesarias, se realizaron varias mediciones obteniendo una tabulación de los datos.

Los valores de pH que presentan las muestras de ceniza de los cuatros lugares (C1, C2, C3 y C4), con diferentes variaciones de peso en un buffer inicial de 4.00 pH presentan características de homogeneidad, los datos fueron obtenidos en un periodo aproximado de 100 segundos considerando que el tiempo de respuesta de la sonda de pH es menor a un minuto, para esto se llevó a cabo la programación en LabView para obtener el registro de datos y exportarlos a un documento de Excel para su posterior análisis. Los resultados se muestran en las Tablas de Niveles de Potencial de Hidrogeno en la sección de Anexos.

En las siguientes gráficas ploteadas a partir de los datos obtenidos y tabulados en las tablas de Niveles de Potencial de Hidrogeno de la Ceniza que se muestran en los Anexos, se puede apreciar el promedio de pH inicial que se tiene al medir solo el buffer y posteriormente el valor de pH que se tiene al medir el buffer con las muestras de ceniza de diferentes gramajes.

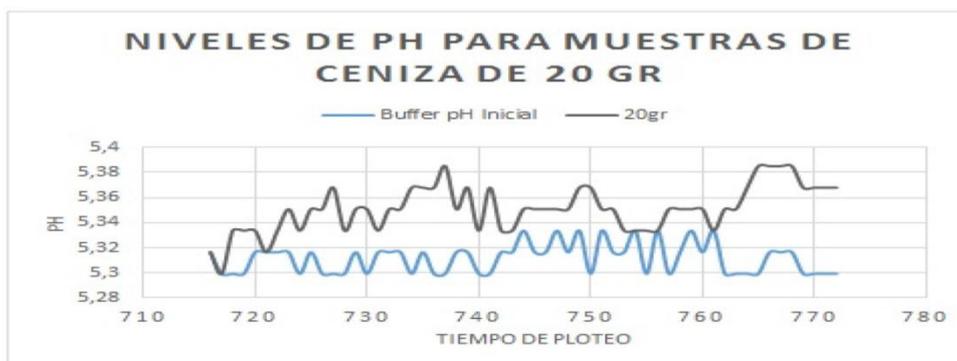
En la Fig.18 se grafican los valores para una muestra de ceniza de 2 gramos en un tiempo de ploteo de aproximadamente un minuto y se puede observar que el potencia de Hidrogeno tiene una variación mínima aproxima de 5,3pH hasta un nivel máximo de 5,35 pH.



**Fig.18:** Niveles de pH para muestras de ceniza de 2 gr

**Elaborado por:** El Investigador

De la misma manera se ha tomado como referencia los Niveles de potencial de Hidrogeno de la ceniza volcánica para una muestra de 20 gramos, en la Fig.19 se puede apreciar que el valor mínimo aproximado es de 5.3 pH y el valor máximo alcanzado es de aproximadamente 5.38 pH por lo que se puede apreciar que independientemente de la cantidad de muestra que se tome los valores de pH presentan homogeneidades.



**Fig.19:** Niveles de pH para muestras de ceniza de 20 gramos  
**Elaborado por:** El Investigador

Del análisis de las gráficas anteriores se concluyó que la variación de pH con ceniza es mínima se habla de variación de algunas centésimas que para la práctica no presentan mayor afectación.

### Valores promedio obtenidos

Los valores obtenidos del registro de mediciones tomados desde LabView fueron obtenidos en un periodo de un minuto y el promedio de estos se muestran en las siguientes tablas, también se determinó el porcentaje de variación tomando como referencia el promedio del pH de referencia y los valores de pH posteriores.

En la Tabla 9 se tabulan los valores promedio y el porcentaje de variación de la muestra C1 para los diferentes cantidades de muestra tomados.

**Tabla 9:** Valores Promedio de pH Muestra C1

	Muestras ceniza C1							
	Ph Inicial	2gr	4gr	6gr	8gr	10gr	15gr	20gr
Promedio pH	5,30621	5,327362	5,361948	5,363377	5,361662	5,362519	5,360233	5,360804
Porcentaje de variacion(%)		0,398621	1,05042	1,077354	1,045033	1,061194	1,0181	1,028873

**Elaborado por:** El Investigador

En la Tabla 10 se puede observar los valores promedio y el porcentaje de variación de la muestra C2 para los diferentes cantidades de muestra tomados.

**Tabla 10:** Valores Promedio de pH Muestra C2

		Muestras ceniza C2						
	Ph Inicial	2gr	4gr	6gr	8gr	10gr	15gr	20gr
Promedio pH	5,311355	5,327648	5,363948	5,363091	5,360518	5,362519	5,329077	5,352515
Porcentaje de variacion(%)		0,306748	0,990206	0,974061	0,925627	0,963298	0,333656	0,774943

**Elaborado por:** El Investigador

En la Tabla 11 se puede observar los valores promedio y el porcentaje de variación de la muestra C3 para los diferentes cantidades de muestra tomados.

**Tabla 11:** Valores Promedio de pH Muestra C3

		Muestras ceniza C3						
	Ph Inicial	2gr	4gr	6gr	8gr	10gr	15gr	20gr
Promedio pH	5,30621	5,327362	5,361948	5,361376	5,361662	5,362519	5,360233	5,360804
Porcentaje de variacion(%)		0,398621	1,05042	1,039647	1,045033	1,061194	1,0181	1,028873

**Elaborado por:** El Investigador

Se puede apreciar que para una cantidad de 20 gramos de muestra considerado como el valor de peso más alto tiene un porcentaje de variación de 1.62 %. En la Tabla 12 se puede apreciar los valores promedio para la muestra C4.

**Tabla 12:** Valores Promedio de pH Muestra C4

		Muestras ceniza C4						
	Ph Inicial	2gr	4gr	6gr	8gr	10gr	15gr	20gr
Promedio	5,067253333	5,018662	5,032096	5,023807	5,020377	5,097552	5,126421	5,149573
Porcentaje de variacion		-0,95894	-0,69382	-0,8574	-0,92509	0,597924	1,167644	1,624549

**Elaborado por:** El Investigador

### **4.3. Programación del pH-metro para el establecimiento de la relación de presencia de ceniza en base a los rangos obtenidos.**

La programación está realizada en el ambiente de programación que ofrece Arduino, mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring), el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing) y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa.

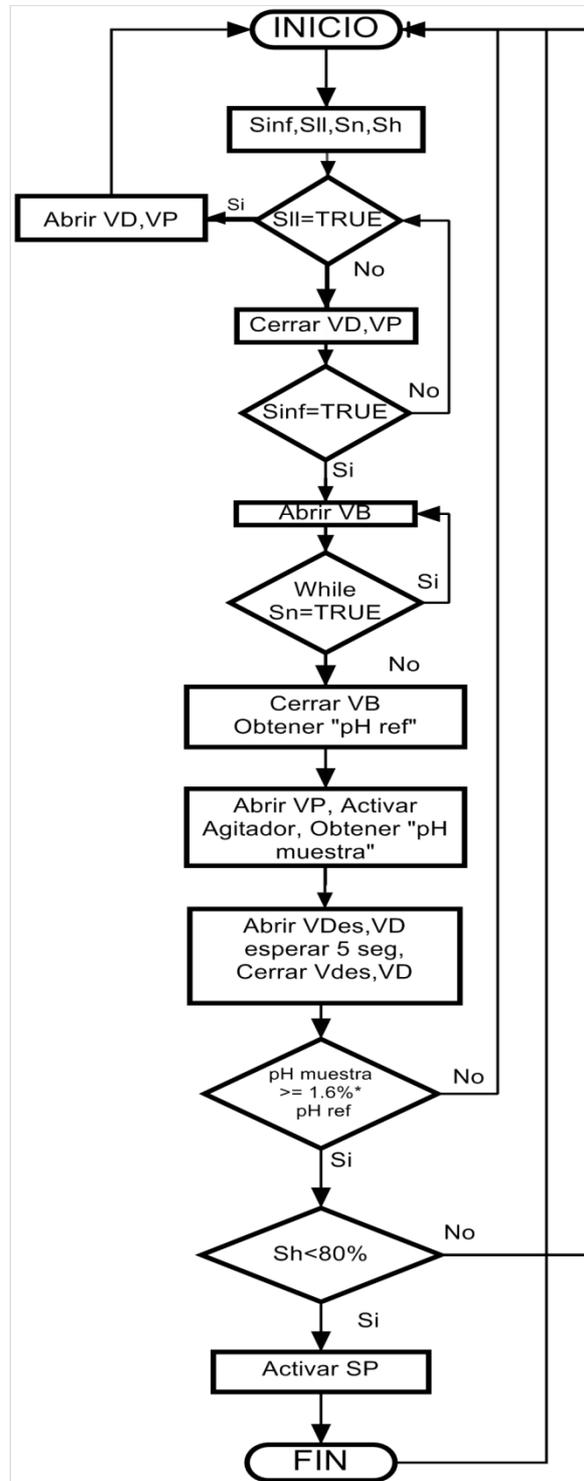
Se puede programar en diferentes ambientes siempre y cuando siga la lógica del diagrama de flujo en el que se expresa gráficamente las distintas operaciones con una secuencia cronológica para conseguir el propósito. En la Fig.20 se muestra el diagrama de flujo para la programación de la tarjeta Arduino. El prototipo construido puede interactuar en los siguientes ambientes:

Con LabView.- Permite observar el funcionamiento del sistema electrónico y los cambios de pH mediante la gráfica de la función y permite llevar un registro de datos en tiempo real también se puede exportar estos registros a una hoja de datos de Excel o a un archivo de texto.

Con Arduino.- Mediante la programación en la tarjeta de arduino nano, permite al sistema ser autónomo y no necesita de una PC para su funcionamiento, todos los sensores son controlados desde la tarjeta inteligente de Arduino previamente programado.

Se debe tomar en cuenta los valores de pH obtenidos para la programación en cualquiera de los dos ambientes antes mencionados y principalmente se debe tomar en cuenta el promedio de variación obtenido, este parámetro se puede observar en diagrama de flujo en la Fig.20.

En el siguiente diagrama de flujo se muestran las principales variables que se utilizan en el sistema electrónico, la lógica del programa ha sido interpretada en el lenguaje de arduino.cc.



**Fig.20:** Diagrama de flujo para Sistema detector de ceniza  
**Elaborado por:** El Investigador

### 4.3.1. Programación para Arduino

Para la utilización de la sonda que trabaja con Arduino de cualquier versión, en este caso con Arduino nano, el circuito principal de la sonda debe ser programado previamente para que funcione como pH-metro estableciendo las condiciones, los valores y parámetros principales que harán que el sistema sea estable.

La programación se llevó a cabo con las librerías que Arduino incluye, tales como “servo.h” para la válvula motorizada, así como “LiquidCrystal.h” para la pantalla LCD que funciona como interfaz, además se utilizó funciones de lectura de entradas analógicas (analogRead()) para lectura de los sensores y salidas digitales(digitalWrite()) para controlar los elementos de salida externos, también se utiliza la función delay() para el retardo necesario para ciertos elementos como como el agitador y la electroválvula mismos que se activan por determinados periodos de tiempo. En la siguiente tabla se muestra las variables utilizadas, su elemento de asignación y los pines de E/S de Arduino al que está asignado cada elemento. En la Tabla 13 se exponen las variables, su asignación al Pin E/S correspondientes.

**Tabla 13:** Tabla de variables y asignación, utilizada en la programación

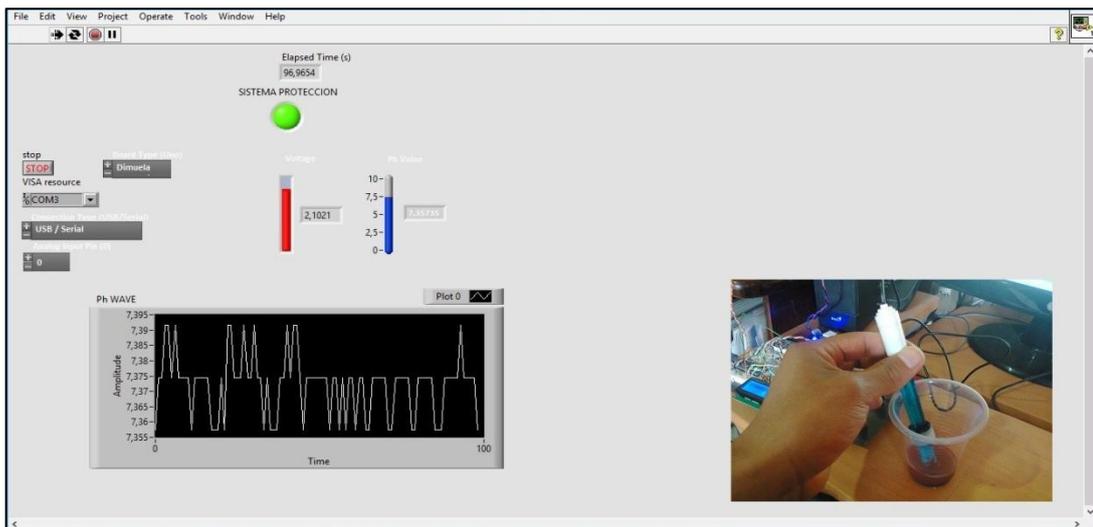
Variable	Asignación	Pin E/S Arduino
S0	Sensor pH	A0
S1	Sensor lluvia	A1
S2	Sensor Infrarrojo	A2
S3	Sensor nivel	A3
myservo	Servomotor	D9
	Válvula Q1	D10
	Válvula Q2	D13
	Válvula Q3	D8
	Agitador	D6
	SP	A5
	LCD	2 ,3,4,5,11, 12

**Elaborado por:** El Investigador

El código de programación para el funcionamiento de la sonda de pH y demás sensores en el entorno de Arduino se expone en la sección de Anexos.

### 4.3.2. Interfaz con LabView

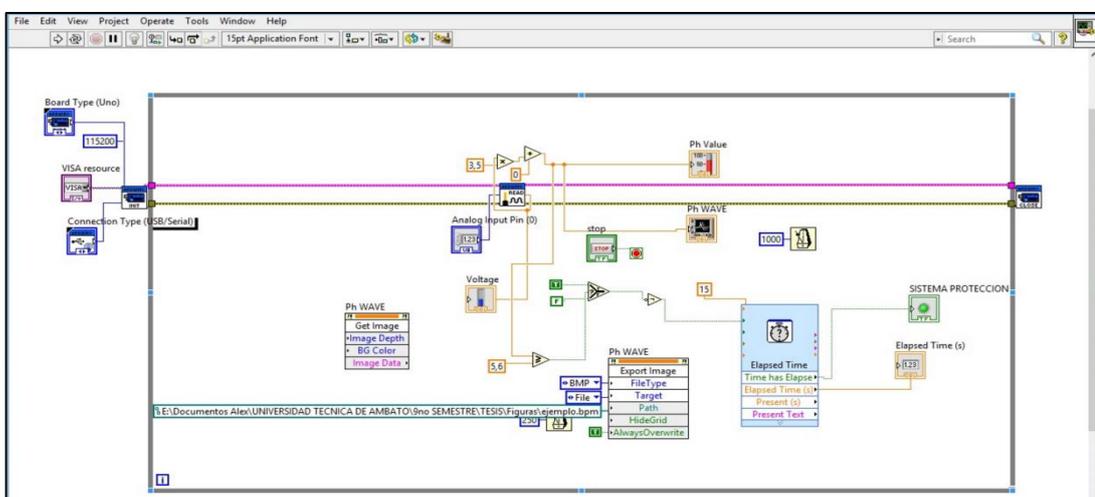
Aprovechando las características de la tarjeta Arduino se diseñó una interfaz gráfica a través de LabView con el propósito de obtener y observar mediante una gráfica la variación de pH que presenta el sensor y al mismo tiempo para exportar el registro de datos en una hoja de cálculo de Excel o en un documento de texto, para analizar los niveles de pH y sacar un promedio de variación. Parte de esta Interfaz se puede observar en la Fig.21.



**Fig.21:** Diagrama de flujo para Sistema detector de ceniza

Elaborado por: El Autor

Parte de la programación de la interfaz gráfica a través de LabView, Fig.22.



**Fig.22:** Programación en LabView

Elaborado por: El Investigador

#### 4.4. Construcción del prototipo del sistema electrónico detector de ceniza.

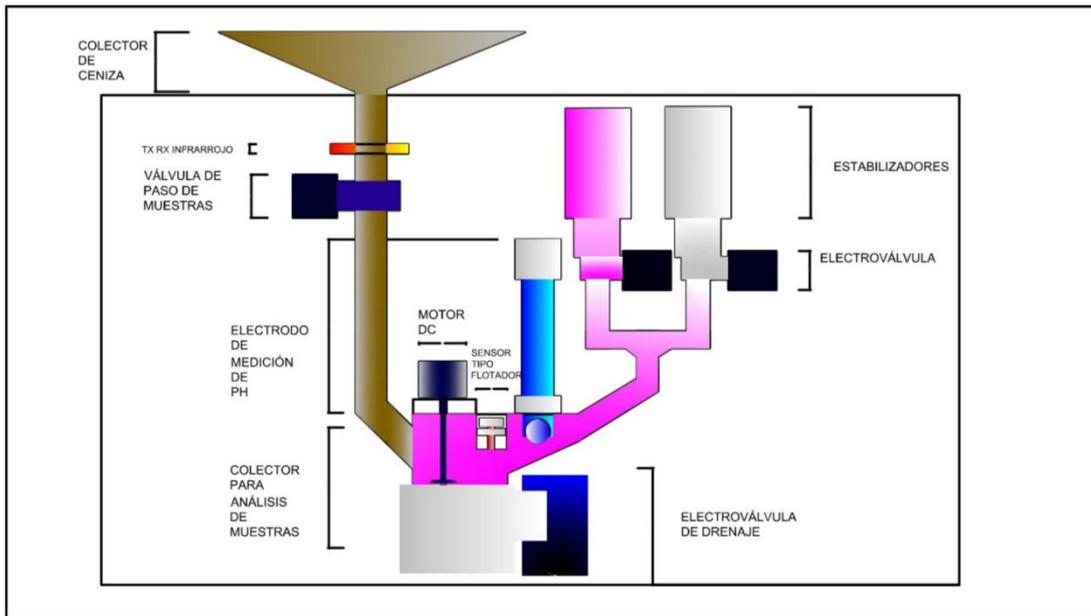
##### Esquema general

En la Fig.23 se expone el diagrama de bloques en los que está basado el sistema completo, empezando con la obtención de la muestra para su análisis y determinar si se trata de ceniza volcánica, los valores son analizados por la tarjeta de Arduino que está previamente programada, activando el sistema de protección para los cultivos, mediante el circuito de acoplamiento.



**Fig.23:** Diagrama de bloques del Sistema electrónico  
**Elaborado por:** El Investigador

En la Fig.24 se muestra el esquema y las partes principales que componen el prototipo del detector de ceniza volcánica, el cual recogerá las muestras de ceniza a través de una tolva colectora y las dejara pasar por el conducto, y al detectar una cantidad aproximada de 15 a 20 gramos de ceniza o de cualquier impureza que en este se deposite a través de un sensor infrarrojo (Tx y Rx) ubicados estratégicamente, abrirá la válvula para el paso de la muestra, y posteriormente dejarlas caer en el colector de análisis, previo a esto la sonda de pH se calibrará automáticamente mediante el buffer estabilizador. Luego que la sonda de pH haya realizado el análisis de las muestras comparando los valores previamente programados se abrirá la electroválvula de drenaje que eliminará las impurezas que pudiesen quedar con la ayuda del agua destilada que funcionará de la misma manera que el estabilizador para que el proceso se pueda repetir.



**Fig.24:** Esquema general del prototipo detector de ceniza  
**Elaborado por:** El Investigador

#### **4.4.1. Descripción de las partes del sistema electrónico detector de ceniza volcánica.**

##### **Colector de Ceniza**

El colector de ceniza diseñado para recoger las partículas de ceniza o de cualquier otro elemento que se deposite en este, con su forma cónica para evitar dificultades al momento de pasar por la válvula de paso de muestras.

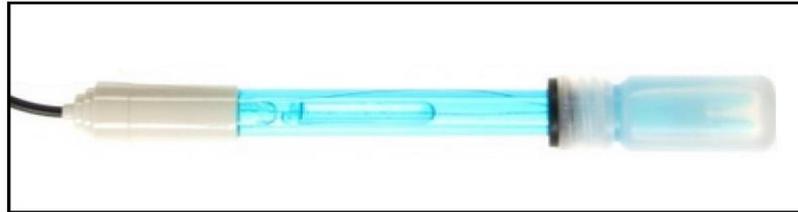
##### **Válvula de paso de muestras**

Diseñado específicamente para dejar pasar una cierta cantidad de muestra, es controlado por un sensor infrarrojo que está estratégicamente ubicado para activarse y abrir la válvula cuando en su interior se deposite una cantidad aproximada de 20g, inmediatamente se cierra la válvula y se repite el proceso.

##### **Medidor de pH Analógico v1.0**

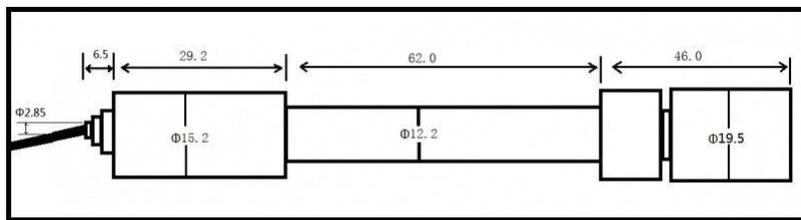
Cuenta con un LED que funciona como indicador de encendido, un sensor de pH 2,0 y conector BNC. Para usarlo, basta con conectar el sensor de pH con conector BNC y enchufar el puerto de interfaz de pH 2,0 en el puerto de entrada analógica de cualquier controlador Arduino. Si está pre-programado, obtendrá el valor del pH con facilidad.

Con el fin de garantizar la precisión de la sonda de pH, es necesario utilizar la solución estándar para calibrarlo, el período es de aproximadamente medio año. Si la solución a medir es acuosa y sucia, es necesario aumentar la frecuencia de calibración. En la Fig. 25 se puede observar la sonda de pH del fabricante DFROBOT.



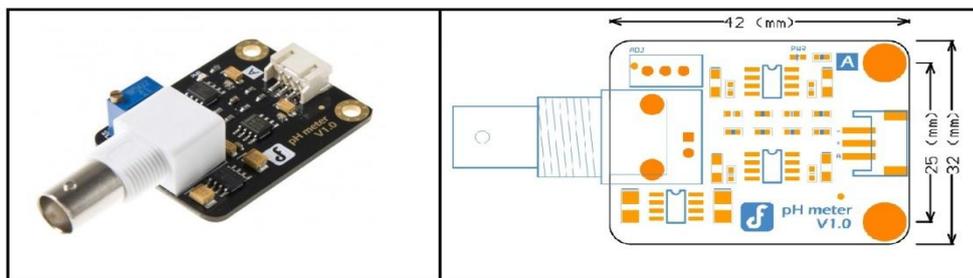
**Fig.25:** Sensor de pH Analógico v1.0 de DFROBOT. [28]

En la Fig.26 se puede observar las dimensiones del sensor de pH Analógico v 1.0 de la empresa DFROBOT.



**Fig.26:** Dimensiones del electrodo. [28]

Una de las ventajas de utilizar un conector BNC es que se puede conectar cualquier otro modelo de electrodo ya que la mayoría de fabricantes incluyen este conector, además la placa incluye la interfaz de pH 2.0 para acceder a cualquier controlador de Arduino con entrada analógica. En la Fig. 27 se exponen la placa del circuito y sus dimensiones.



**Fig.27:** Placa de circuito para sensor de pH y dimensiones [28]

## Estabilizadores

Debido a la necesidad de calibrar el electrodo de medición de pH se ha insertado en el prototipo las soluciones estabilizadoras que permiten estabilizar el electrodo cada vez que vaya a realizarse la medición de esta manera el electrodo se encontrará estable dando fiabilidad al sistema. En la Fig.28 se muestra un estabilizador Buffer 4.0.



**Fig.28:** Soluciones estabilizadoras. [29]

El agua destilada es una solución estabilizadora utilizada para limpiar el electrodo y el colector de análisis y por sus propiedades de pH es el más indicado para el uso respectivo. En la Fig.29 se muestra el agua destilada en su presentación de 500 ml.



**Fig.29:** Agua destilada. [29]

## Electroválvulas

Siempre que se trate de controlar automáticamente el caudal de los fluidos se utiliza electroválvulas. Las electroválvulas son auxiliares de mando que liberan, bloquean o desvían el paso de un fluido en función del cierre o apertura de su circuito eléctrico constituido por un electroimán.

La electroválvula multipropósito (Fig. 30), ideal para proyectos estudiantiles de electrónica, control de agua. Se debe utilizar tubos y accesorios de conexión rápida de 1/4 de pulgada, ideal para conexión a manguera convencional.

En el prototipo se utilizan dos electroválvulas o válvulas de selenoide que se activan con 110v por motivos de costo ya que son las más económicas en la localidad.



**Fig.30:** Electroválvula a 110 v [30]

En la Tabla 14 se muestran las especificaciones para la válvula normalmente cerrada desolenoidada del modelo RCS 2 que trabaja a frecuencia normal de 50 a 60 Hz.

**Tabla 14:** Especificaciones de la Electroválvula RCS 2

<b>Especificaciones de la Electroválvula RCS 2</b>	
Modelo	RCS 2
Tipo	Válvula de selenoide
Válvula	Normalmente Cerrado
Orificio	2.5 mm
Voltaje	110 v
Frecuencia	50 /60hz
Tamaño	1 /4"

**Elaborado por:** El Investigador

### **Colector para análisis de las muestras**

Este recipiente está diseñado para el análisis de las muestras que aquí se deposite y de acuerdo a la orden de la válvula de paso de muestras aquí caerá los 15 g de ceniza previo a esto y por la activación del mismo sensor infrarrojo la válvula encargada del paso de la solución estabilizadora se abrirá y dejará caer en el colector aproximadamente 20 ml estabilizando el electrodo.

### **Sensor de nivel**

Un interruptor de flotador es un dispositivo utilizado para detectar el nivel de líquido dentro de un tanque. El interruptor puede ser utilizado en una bomba, un indicador, una alarma u otros dispositivos. Interruptores de flotador van desde pequeñas a grandes y puede ser tan simple como un interruptor de mercurio dentro de un flotador o como Complejo como una serie de producción sensores ópticos o conductancia discretos salidas como el líquido alcanza muchos niveles diferentes dentro del tanque. Tal vez el tipo más común de interruptor de flotador es simplemente un flotador con una varilla que acciona un micro.

Para el presente proyecto el interruptor de tipo flotador fue implementado para la determinación del nivel de los estabilizadores dentro del colector de análisis de muestra.



**Fig.31:** Interruptor de plástico tipo flotador [30]

Las especificaciones para el interruptor de plástico tipo flotador se exponen en la Tabla 15.

**Tabla 15:** Especificaciones del Interruptor

DESCRIPCIÓN	Min	Max
Magnetic Reed tipo	1A1	2 A 1
Max Valoración de contacto	10 W	50 W
Max Voltaje de conmutación	100 V DC	220 V DC
Max Corriente de conmutación	0.5A	1.5 A
Max tensión de ruptura	220 V DC	300 V DC
Max carga Voltaje	1.0A	3.0 A
Máxima resistencia del contacto	100mW	100mW
Rango de temperatura ambiente	PP material	-10 ~ + 60 ° C
	Material de acero inoxidable	-30 ~ + 125 ° C
Rango de temperatura del líquido	PP material	-10 ~ + 85 ° C
	Material de acero inoxidable	-30 ~ + 125 ° C

**Elaborado por:** El Investigador

## Agitador

Un agitador sencillo es un instrumento que tiene la función de mezclar y revolver algunas sustancias por medio de la agitación manual. Un agitador es también conocido como mezclador, el cual, se trata de un dispositivo que se utiliza en los laboratorios de química y biología para mezclar líquidos o preparar disoluciones y suspensiones. Un agitador típico tiene una placa o superficie que oscila horizontalmente, propulsado por un motor eléctrico. Los líquidos que van a ser agitados están contenidos en vasos, tubos

que se colocan sobre la superficie vibrante o, a veces, en tubos de ensayo o viales que se insertan en los agujeros de la placa.

### **Tipos de agitadores**

Existen distintos tipos de agitadores, dentro de los cuales se encuentran:

- **Agitador vortex**

La superficie sobre la que se sitúa el recipiente que debe ser agitado es de caucho o goma, está colocada en una posición ligeramente excéntrica y al girar produce vórtices en el líquido.

- **Agitador de noria**

Los recipientes giran en un plano vertical, como una noria.

- **Agitador magnético**

Es una placa metálica sobre la que se coloca un vaso de precipitados o recipiente de fondo plano que contiene el líquido o la disolución que debe ser agitada. En ella se introduce el imán del agitador, una pequeña barra imantada cubierta de plástico inerte. Un motor eléctrico bajo la placa produce fuerzas magnéticas que ponen en rotación el imán, provocando el movimiento circular del líquido. La velocidad de rotación puede ser controlada. En muchos casos existe un sistema de calefacción eléctrico para controlar la temperatura.

- **Agitador orbital**

Son parecidos a los agitadores de bandeja. Una plataforma paralela a la superficie de la mesa está dotada con un movimiento orbital excéntrico.

- **Agitador de bandeja**

La bandeja posee un movimiento circular mediante un motor que lo controla. También pueden tener movimientos de balanceo o vibraciones. Se emplean para mover cultivos celulares. A veces tienen un control termostático adicional. El movimiento puede ser orbital o de balanceo.

- **Agitador de rodillos**

Una serie de rodillos muy juntos giran en un plano horizontal. Los tubos, convenientemente cerrados, se colocan sobre los rodillos y el líquido desliza sobre sus paredes. Usados en laboratorios de hematología, con muestras de sangre y anticoagulante.

- **Agitador vertical**

El eje de rotación es vertical. El extremo que se introduce en el recipiente con el líquido está terminado en paletas. Son parecidos a una batidora. Además también existen los siguientes agitadores:

- Agitadores con parrilla
- Agitadores simples
- Agitadores con diferentes velocidades[26]

Para el prototipo está implementado un agitador vertical construido a partir de un motor DC de 9 v. En la Fig.32 se puede observar el modelo de un agitador vertical.



**Fig.32:** Agitador Vertical. [26]

### **Electroválvula de drenaje**

Construida a partir de una válvula de bola, conocida también como válvula de esfera, la cual, tiene un mecanismo que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera

perforada. En la válvula de bola un macho esférico agujereado controla la circulación del líquido o fluido, por lo tanto, este tipo de válvulas representan una excelente opción en el sellado, pues la bola contacta de forma circunferencial y uniforme el asiento, el cual suele ser de materiales blandos. Las válvulas de bola se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Válvula de bola flotante.**-La válvula se sostiene sobre dos asientos en forma de anillos.
- **Válvula de bola guiada.**-La bola es soportada en su eje vertical de rotación por unos muñones. Estos absorben los esfuerzos que realizan la presión del fluido sobre la bola, liberando de tales esfuerzos el contacto entre la bola y el asiento por lo que el par operativo de la válvula se mantiene bajo.

La electroválvula CWX 150 es una Válvula de bola guiada y motorizada que funciona con 12VDC como se muestra en la Fig. 33 y está implementada en el prototipo, para drenar todo lo que se encuentre en el colector con la complicidad del agua destilada, para poder repetir el proceso de análisis.



**Fig.33:** Electroválvula CWX 150[31]

Las características físicas y eléctricas de la electroválvula CWX 150 se presentan en la Tabla 16.

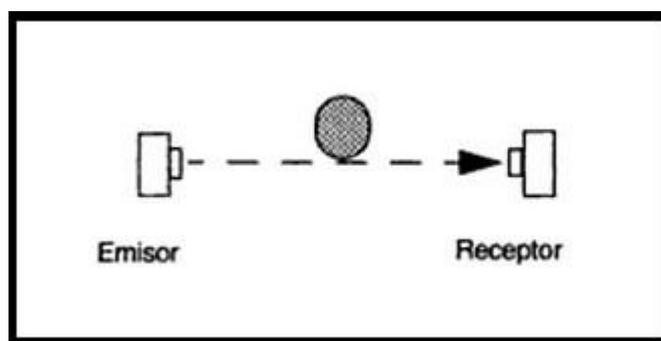
**Tabla 16:** Características de la Electroválvula CWX 150

<b>Especificaciones</b>	
Modelo	CWX 150
Tipo	Motorizada
Válvula	Normalmente Cerrado
Orificio	2.5 mm
Voltaje	24 VDC
Potencia	Max 2 W
Tamaño	1 ”
Configuración	CR05

**Elaborado por:** El Investigador

### **Sensores de presencia**

Se emplean sensores ópticos tipo barrera, para el presente prototipo sensores de infrarrojo, montando el emisor y receptor en el conducto recolector de ceniza, detectando la presencia de cierta cantidad de partículas que intersecan la línea entre emisor y receptor como se muestra en la Fig. 34., estos sensores son ubicados estratégicamente para activarse cuando se acumule una cantidad predeterminada de partículas en el conducto colector.



**Fig.34:** Sensores Ópticos tipo barrera. [32]

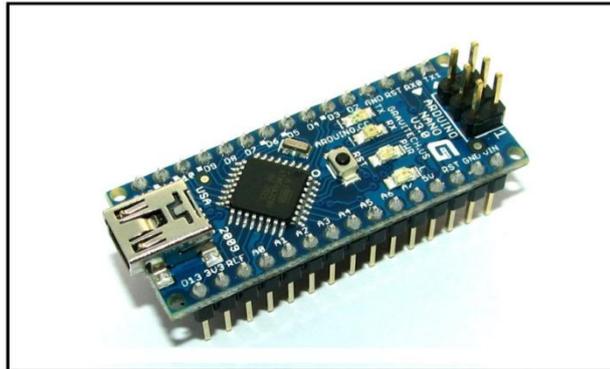
La Fig.35 se muestra el tipo de sensores infrarrojos utilizados con su emisor y receptor.



**Fig.35:** Sensores Infrarrojo: Emisor-Receptor. [33]

## **Arduino Nano**

El Arduino Nano es una placa pequeña, completa y tablero amistosa basada en el ATmega328 como se muestra en la Fig. 36. Tiene más o menos la misma funcionalidad del Arduino Duemilanove, pero en un paquete diferente. Le falta sólo un conector de alimentación de CC, y funciona con un cable USB Mini-B en vez de una normal. El Nano fue diseñado y está siendo producido por Gravitech.



**Fig.36:** Arduino Nano. [34]

## **Especificaciones:**

### **Potencia:**

El Arduino Nano puede ser alimentado a través de la conexión USB Mini-B, que varía entre 6V y 20V, no regulada con fuente de alimentación externa, o regulada con una fuente de alimentación externa de 5V. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente a la fuente de tensión más alta.

## Memoria

El ATmega168 tiene 16 KB de memoria flash para el almacenamiento de código, el ATmega328 tiene 32 KB de memoria. El ATmega168 tiene 1 KB de SRAM y 512 bytes de EEPROM, que pueden ser leídos y escritos con la librería EEPROM y finalmente el ATmega328 tiene 2 KB de SRAM y 1 KB de EEPROM.

## Entrada y salida

Cada uno de los 14 pines digitales del Nano se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando las diferentes funciones como `pinMode`, `digitalWrite`, y `digitalRead`. Operan a 5 voltios y cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia de pull-up que se encuentra desconectada por defecto y es de 20 a 50 kOhms. Además, algunos pines tienen funciones especializadas y se describen a continuación:

- De Serie: 0 (RX) y 1 (TX). utiliza para recibir (RX) y transmitir datos en serie (TX) TTL. Estos pines están conectados a los pines correspondientes del USB-to-TTL chip de serie FTDI.
- Interrupciones externas: Pin 2 y Pin 3, estos pueden ser configurados para activar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor.
- PWM: Pines 3, 5, 6, 9, 10, y 11 para salidas PWM de 8 bits con la función.
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) Estos pines compatibles con la comunicación SPI, que, aunque proporcionada por el hardware subyacente, actualmente no está incluido en el lenguaje Arduino.

El Nano tiene 8 entradas analógicas, cada una de las cuales proporcionan 10 bits de resolución es decir, 1024 valores diferentes. Los pines analógicos 6 y 7 no se pueden utilizar como pines digitales. Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

- I 2 C: Pin 4 (SDA) y pin 5 (SCL) son de comunicación y utilizan la librería `Wire`.
- AREF: Pin de referencia de tensión para las entradas analógicas.
- Restablecer: Pin para reiniciar el micro controlador. Normalmente se utiliza para añadir un botón de reinicio a los escudos que bloquean el uno en el tablero

## Distribución de pines del Arduino Nano

En la Fig.37 se muestra la distribución de pines para el controlador de Arduino en su versión Nano y en la Tabla 17 se describe el Tipo, Nombre y el número de Pin correspondiente para esta versión de Arduino.

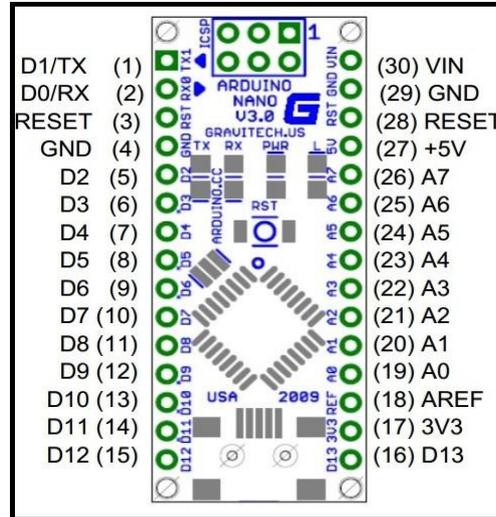


Fig.37: Distribución de pines de Arduino Nano [34]

Tabla 17: Distribución de pines

Pin No	Nombre	Tipo	Descripción
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital Input/Output port 0 to 13
3, 28	RESET	INPUT	Reset (Active Low)
4,29	GND	PWR	Supply Ground
17	3V3	OUTPUT	+3.3 V
18	AREF	INPUT	ADC Reference
19, 26	A0-A7	INPUT	Analog Input
27	+5V	OUTPUT OR INPUT	+5V from board regulator
30	VIN	PWR	Supply Voltaje

Elaborado por: El investigador

## Comunicación

- El Arduino Nano tiene una serie de variaciones para la comunicación ya sea con un ordenador, otro Arduino, u otros micro controladores.
- Los ATmega168 y ATmega328 proporcionan TTL UART (5V) de comunicación en serie, que está disponible en los pines digitales 0 (RX) y 1 (TX). Un FTDI FT232RL en los canales de esta comunicación serie a través de

USB y los drivers FTDI proporcionan un puerto COM virtual para el software en el ordenador.

- El software de Arduino incluye un monitor de serie que permite a los datos textuales sencillos ser enviados hacia y desde la placa Arduino. El Led de RX y TX en el tablero parpadean cuando se están transmitiendo datos a través del chip y conexión USB FTDI al ordenador. El ATmega168 y ATmega328 también soportan I2C y la comunicación SPI.
- El software de Arduino incluye una librería Wire para simplificar el uso del bus I2C.

### Programación

- El Arduino Nano puede ser programado con el software de Arduino. Los ATmega168 o ATmega328 en el Arduino Nano viene pre cargado con un gestor de arranque que le permite cargar nuevo código a la misma sin el uso de un programador de hardware externo.
- Se comunica utilizando el protocolo original STK500 que hace referencia a archivos de cabecera C. También puede pasar por alto el gestor de arranque y programar el micro controlador a través del ICSP (In-Circuit Serial Programming) cabecea utilizando Arduino ISP o similar.[27]

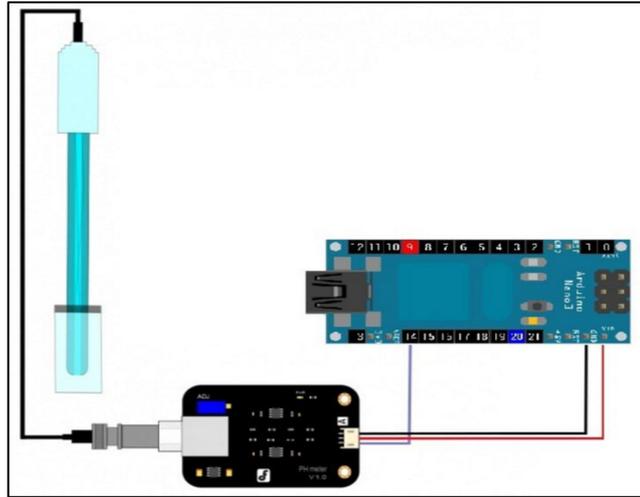
### Diagrama de conexión pH-metro con arduino nano

En la Tabla 18 se describen los pines de conexión entre el Circuito del pH-metro y el controlador de Arduino nano y en la Fig.38 se muestra el diagrama de conexión de los pines de alimentación y la señal analógica entre la placa del circuito del pH-metro digital y la placa de control de Arduino.

**Tabla 18:** Conexión placa del electrodo con Arduino nano

Circuito pH-metro		Arduino Nano	
No pin	Descripción	No Pin	Descripción
1	GND	4	GND
2	VCC	19	5 V
3	Salida Analógica	27	A0 Entrada de señal analógica

**Elaborado por:** El Investigador



**Fig.38:** Diagrama de conexión pH-metro y arduino nano  
**Elaborado por:** El Investigador

### Display LCD 16 x 2

Las pantallas de cristal líquido (LCD) como se muestra en la Fig. 39, se han popularizado mucho en los últimos años, debido a su gran versatilidad para presentar mensajes de texto (fijos y en movimiento), valores numéricos y símbolos especiales, su precio reducido, su bajo consumo de potencia, el requerimiento de solo 6 pines del PIC para su conexión y su facilidad de programación en lenguajes de alto nivel (por ejemplo, lenguaje C). Desde todo punto de vista el empleo del display LCD 16x2 (LCD 2x16) debería considerarse como la primera opción a la hora de decidir por un dispositivo de presentación alfanumérica, excepto cuando las condiciones de iluminación ambiental no sean las más favorables. En este último caso se debería pensar en el empleo de displays de 7 segmentos, que aunque no tienen la misma versatilidad tienen la ventaja innegable de sus mejores características de visibilidad aún en los ambientes más desfavorables.



**Fig.39:** LCD 16 x 2. [35]

En la actualidad existen diversos modelos de display LCD, aunque los más comunes son los LCD 16x2 (16 caracteres x 2 filas) o LCD 2x16, gobernados por el controlador Hitachi HD44780, que se ha convertido en el estándar de facto para las aplicaciones con micro controladores PIC.

### **Distribución de pines del LCD 16 x 2**

El LCD 16x2 tiene en total 16 pines (tomar en cuenta que la posición correcta del display es con los pines en la parte superior, aunque existen modelos en los que la posición correcta es con los pines en la parte inferior). La datasheet muestra 14 pines, los dos pines adicionales son el ánodo (15) y el cátodo (16) del LED de fondo. Debe notarse que el controlador Hitachi HD44780 se encuentra incorporado al circuito impreso del módulo LCD y sirve de interfaz entre la propia pantalla LCD y el micro controlador PIC. Por lo tanto, de todos los pines del HD44780 únicamente se tiene acceso a aquellos necesarios para la conexión al PIC y para el control de contraste. Ver la Tabla 19. [28]

**Tabla 19:** Distribución de pines LCD 16 x 2

<b>Pin No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Función</b>	<b>Descripción</b>
1	VSS	POWER	GND
2	VCC	POWER	+5 V
3	VEE	CONTRASTE	2-5 V
4	RS	COMANDO	REGISTRO
5	R/W	COMANDO	R/W
6	E	COMANDO	ENABLE
7	DB0	I/O	DATA LSB
8	DB1	I/O	DATA
9	DB2	I/O	DATA
10	DB3	I/O	DATA
11	DB4	I/O	DATA
12	DB5	I/O	DATA
13	DB6	I/O	DATA
14	DB7	I/O	DATA MSB
15	LED+		
16	LED-		

**Elaborado por:** El Investigador

## Características Eléctricas

En la Tabla 20 se puede observar varias de las características de la pantalla de cristal Líquida (LCD).

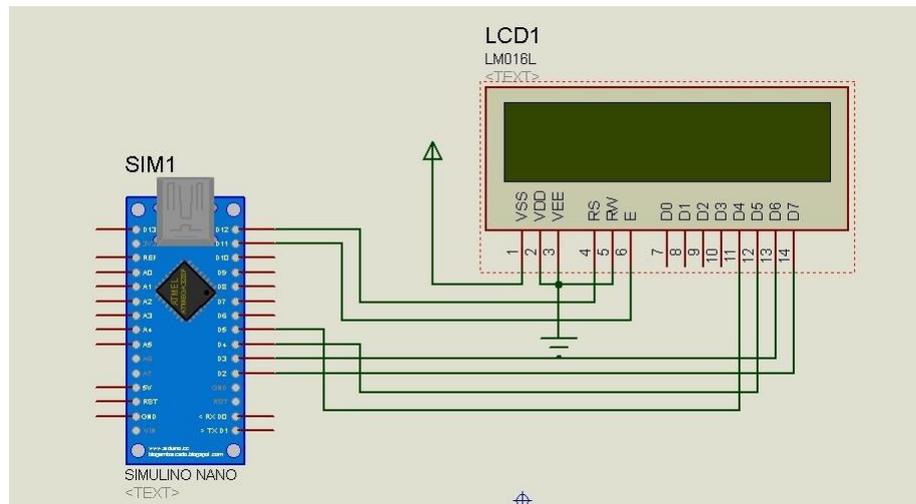
**Tabla 20:** Características Eléctricas del LCD. [35]

Electrical Characteristics Vdd = 5V±5%  
Vss = 0V

Item	Symbol	Condition	Standard value			Unit	Applicable terminal
			Min.	Typ.	Max.		
Power voltage	Vdd		4.5	5.00	5.5	V	Vdd
Input H - level voltage	V <sub>IH</sub>		2.2	—	Vdd	V	RS, R/W, E DB0—DB7
Input L - level voltage	V <sub>IL</sub>		-0.3	—	0.6	V	
Output H - level voltage	V <sub>OH</sub>	I <sub>OH</sub> = 0.205mA	2.4	—	—	V	DB0—DB7
Output L - level voltage	V <sub>OL</sub>	I <sub>OL</sub> = 1.2mA	—	—	0.4	V	
I/O leakage current	I <sub>IL</sub>	V <sub>in</sub> = 0~Vdd	-1	—	1.0	μA	RS, R/W, E DB0—DB7
Supply current	I <sub>dd</sub>	Vdd = 5V	2	—	—	mA	Vdd
LCD operating voltage	V <sub>LCD</sub>	Vdd—V0	3.0	—	11.0	V	V0

## Diagrama de Conexión Arduino Nano y LCD 16 x 2

Para visualizar el valor de pH que devuelve el sensor y para visualizar el estado de los sensores del sistema electrónico se integró una pantalla de cristal líquida y su diagrama de conexión se lo indica en la Fig. 40. La descripción de la conexión de los pines entre la pantalla LCD y el controlador de Arduino se exponen en la Tabla 21.



**Fig.40:** Diagrama de Conexión Arduino Nano y LCD 16 x 2  
**Elaborado por:** El Investigador

**Tabla 21:** Conexión de pines LCD y Arduino Nano

<b>LCD</b>	<b>ARDUINO NANO</b>
VSS	5 V
VDD	GND
VEE	GND
RS	D12
RW	GND
E	D11
DB4	D5
DB5	D4
DB6	D3
DB7	D2

**Elaborado por:** El Investigador

### **Sensor Detector de lluvia**

Este Sensor permite detectar gotas de lluvia. Convierte en números la señal de referencia de salida output AO. La salida analógica está conectada al puerto AD del micro controlador para detectar la intensidad de la humedad y la precipitación. [29]

El sensor de lluvia se ha insertado en sistema y es utilizado como sensor inicial, si este sensor se encuentra activado el sistema queda en reposo, puesto que la lluvia contribuye al lavado de las hojas y follajes y no será necesario la protección de cultivos por aspersión de agua, el sistema se activa cuando este sensor no detecta presencia de lluvia.

### **Características:**

- Voltaje de Operación: 3.3V-5 V
- Tamaño de PCB: 3.2cm x 1.4 cm
- Tamaño de celda :5cm x 4 cm
- Chip Comparador: LM393

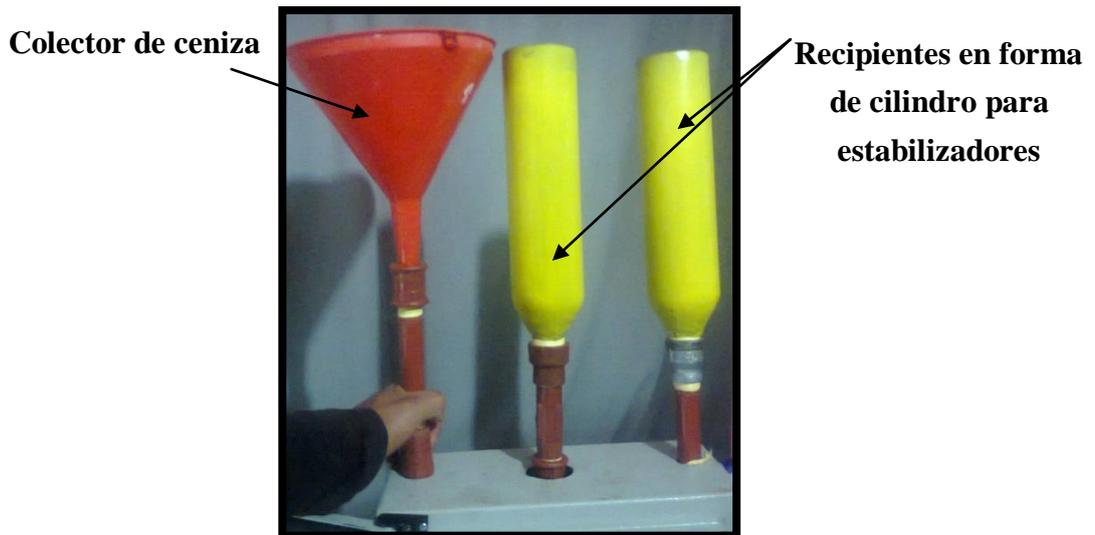


**Fig.41:** Sensor detector de Lluvia [29]

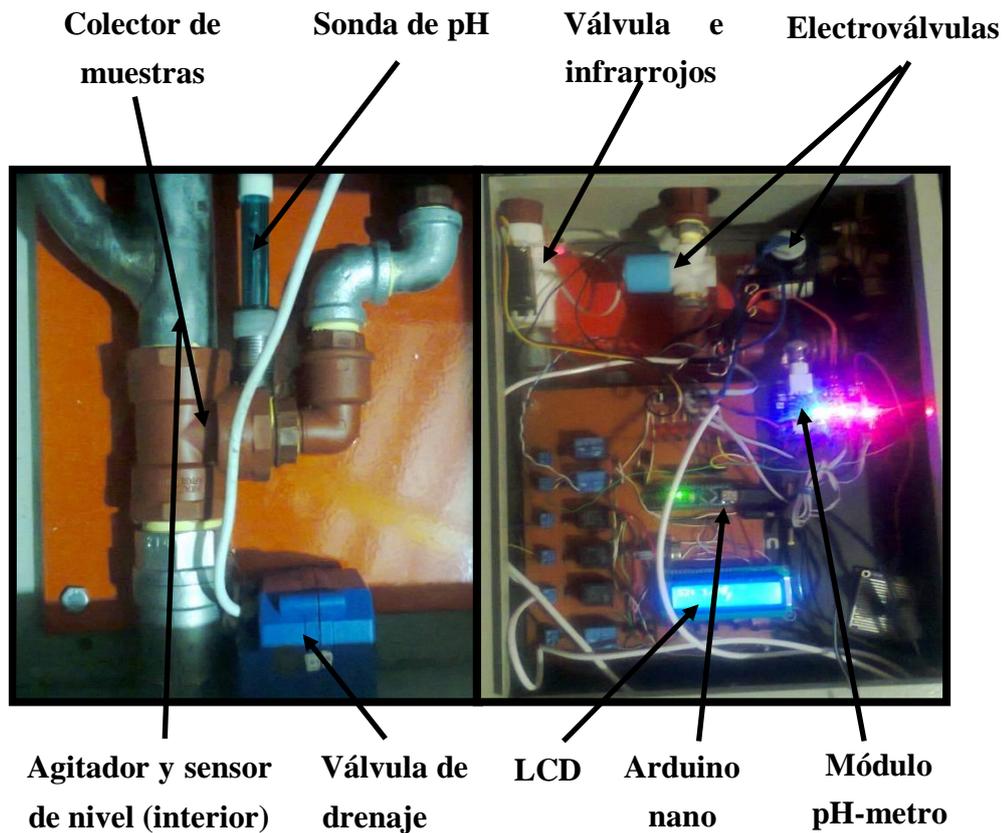
### **Diseño Final del detector de ceniza**

Finalmente se ha construido la primera parte del sistema que es el detector de ceniza volcánica con todos los elementos que lo conforman, en la Fig. 42 se muestra el colector de ceniza con su forma cónica para facilitar la recolección de ceniza y los recipientes que contendrán el buffer estabilizador y el agua destilada. Estos elementos se ubican en la parte superior del prototipo construido.

En la Fig. 43 se señalan la ubicación de los elementos utilizados para el paso de muestras y estabilizadores (izquierda) y la parte electrónica (derecha).



**Fig.42:** Colector y recipientes  
**Elaborado por:** El Investigador



**Fig.43:** Detector de ceniza volcánica.  
**Elaborado por:** El Investigador

#### **4.5. Construcción del prototipo para protección de cultivos.**

Previo a la construcción del prototipo para protección de cultivos se ha analizado algunas recomendaciones de varios organismos referentes a los efectos de caída de ceniza volcánica, a continuación se mencionan los más importantes:

Las recomendaciones para protección vegetal ante caída de ceniza volcánica de la Cruz Roja Ecuatoriana y de la Secretaría de Gestión de Riesgos mencionan lo siguiente:

- Los jardines de las casas deben ser protegidos con plásticos gruesos a manera de invernaderos, inmediatamente después de que termine el fenómeno retirar las cubiertas.
- Sacudir la ceniza de las hojas y lavarlas con agua, utilizando mangueras o aspersores.

- Disolver un litro de melaza o miel de panela en 200 litros de agua y aplicar con bomba a las hojas, para restablecer y vigorizar la conducción de alimentos dentro de la planta. [22]

Según el sistema de emergencia estatal del Instituto Mexicano del Seguro la caída de ceniza volcánica sobre terrenos agrícolas cuando esta no es superior a los 8 cm de espesor es benéfica ya que los minerales que componen la ceniza sirven como abono a estos suelos pero al rebasar este espesor los problemas a la agricultura se hacen presentes ya que no permiten el paso de los rayos solares a las plantas impidiendo la fotosíntesis de la misma, lo que impide el desarrollo de las plantas. [37]

Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria los céspedes y las plantas ornamentales herbáceas que tengan una cobertura de hasta 3 cm de material compactados deben ser descubiertos ya que la falta de luz provoca el amarilleo y luego su muerte. Las arbustivas y arbóreas ornamentales en general no sufrirán daños importantes, las lluvias y las nevadas contribuirán al lavado de ramas y follajes. [36]

#### **4.5.1. Sistema de protección.**

Para la ejecución del presente proyecto, tomando en cuenta las recomendaciones para la protección de cultivos expuestas en la sección anterior, se ha seleccionado el método de aspersión de agua, porque mediante este método se tiene mayor facilidad para cubrir áreas más extensas con menor presupuesto, dependiendo de la cantidad de aspersores y de la potencia del agua. Por otro lado el método de protección de cubiertas de plástico o de otros materiales similares planteadas inicialmente, está orientado para áreas no extensas puesto que la estructura en sí, es un limitante del área a protegerse incrementando considerablemente el costo de implementación, pero si el caso amerita se utilizaría este método, por tanto lo único que varía es el modo de protección dependiendo las necesidades y del área a protegerse.

En la Tabla 22 se realiza una comparación del costo aproximado entre el método de protección por aspersión [38] y el método de protección de cubiertas plásticas sin tomar en cuenta el costo de automatización. [39]

**Tabla 22:** Comparación de costos entre los métodos de protección

Área a proteger	Protección por Cubiertas		Protección por aspersión.		
	Solo la Estructura de Metal y Madera (Macrotunel)	Solo la estructura de Hierro (Macrotunel)	Aspersor Corto alcance	Aspersor Largo Alcance	Caudal (m3/h)
10 m2	\$ 285.60	\$ 371.20	\$ 43.30	\$ 22.80	1.2
50 m2	\$ 1428.00	\$ 1856.00	\$ 218.75	\$ 114.00	30
100 m2	\$ 2856.00	\$ 3712.00	\$ 436.00	\$ 228.00	120

**Elaborado por:** El Investigador

### **Protección por aspersión.**

Una vez que el sistema electrónico detector de ceniza volcánica esté funcionando de manera correcta se procede al siguiente punto que es el diseño del sistema de protección para los cultivos ante caída de ceniza.

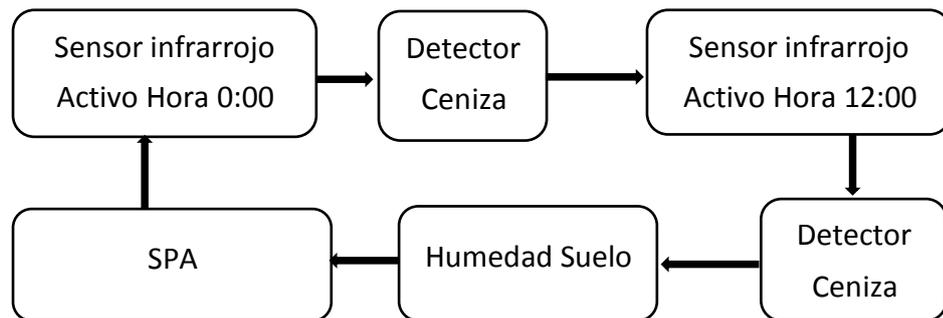
El método que se utilizó para la implementación del prototipo es el de aspersión de agua, de tal manera que funcione a modo de lluvia limpiando las hojas y vigorizando la conducción de alimentos dentro de la planta y puedan realizar su fotosíntesis, según recomendaciones de la Secretaría de Gestión de Riesgos para la protección de cultivos se debe aplicar este método con melaza o miel de panela en 200 litros de agua y aplicarlos con bombas.

Una de las ventajas de este modo de protección es que pueden utilizar la misma fuente de agua que utilizan para el riego optimizando y aprovechando los recursos de los cultivos que se riegan por aspersión.

### **Parámetros del sistema de protección**

Para la activación del sistema de protección de protección se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Acumulación de ceniza.- Desde el punto de vista de factores ambientales existe la probabilidad que exista acumulación de ceniza o de elementos similares arrastrados por las corrientes de viento y no sea necesario la activación del sistema. Para este inconveniente se ha tomado en cuenta en la programación del sistema electrónico el tiempo aproximado de caída de ceniza.
- Tiempo de caída de ceniza.- Es importante tomar en cuenta el tiempo aproximado de duración de caída de ceniza ya que puede durar desde unas horas hasta 1, 2 días dependiendo de las condiciones y el lugar [15]. Tomando en consideración que la granulometría de la ceniza del volcán Tungurahua no supera los 2mm de diámetro el tiempo aproximado de caída de ceniza se asocia a la Tabla 2 [23]. El tiempo programado para activarse el sistema de protección por aspersión dependerá del lugar en donde se desee implementar el prototipo, se ha propuesto un tiempo estimado de 12 horas, si en ese tiempo el sensor de infrarrojo se activa por segunda ocasión y sensor verifique que sea ceniza volcánica además de tomar en cuenta la humedad del suelo se procederá a activar el sistema de protección por aspersión (SPA) para evitar aluviones o desbordamiento de agua. En la Fig. 44 se puede apreciar el esquema propuesto.



**Fig.44:** Esquema general del SPA.  
**Elaborado por:** El Investigador

- Lluvia y Humedad.- Para factores climáticos como lluvia, humedad o temperatura se ha instalado un sensor de lluvia para el caso de lluvia y humedad, ya que cuenta con un módulo en el cual se puede regular la sensibilidad, para el caso de temperatura no existirá mayor inconveniente puesto que las características de temperatura de la sonda de pH y los elementos que

componen el sistema no presentan mayor inconveniente. Los detalles de las características de cada elemento se los puede encontrar en la sección de construcción del prototipo detector de ceniza volcánica.

Una de las ventajas de utilizar el modo de aspersión de agua es que se puede aprovechar los recursos de riego. En la Fig.45 se puede observar un ejemplo de la optimización de los recursos, aprovechando el medio de riego por aspersión, con el que cuentan gran parte del sector agrícola para los cultivos.



**Fig.45:** Aspersión de agua en cultivos

**Elaborado por:** El Investigador

### **Aspersor de Largo Alcance**

Mediante los nuevos y mejores productos que utilizan la última tecnología y que permiten a los agricultores obtener mayor producción con menos consumos. Existe una línea de aspersores de mayor alcance con necesidades de presión más bajas, fáciles de usar, versátiles, robustos que requieren muy poco mantenimiento y tienen mejor desempeño y versatilidad de empleo. En la Fig. 46 se muestra un aspersor comercial de largo alcance. [30]



**Fig.46:** Aspersor de largo alcance. [30]

## Ventajas

Las ventajas de utilizar este método de protección frente al método de cubrir los cultivos con cubiertas flotantes, son:

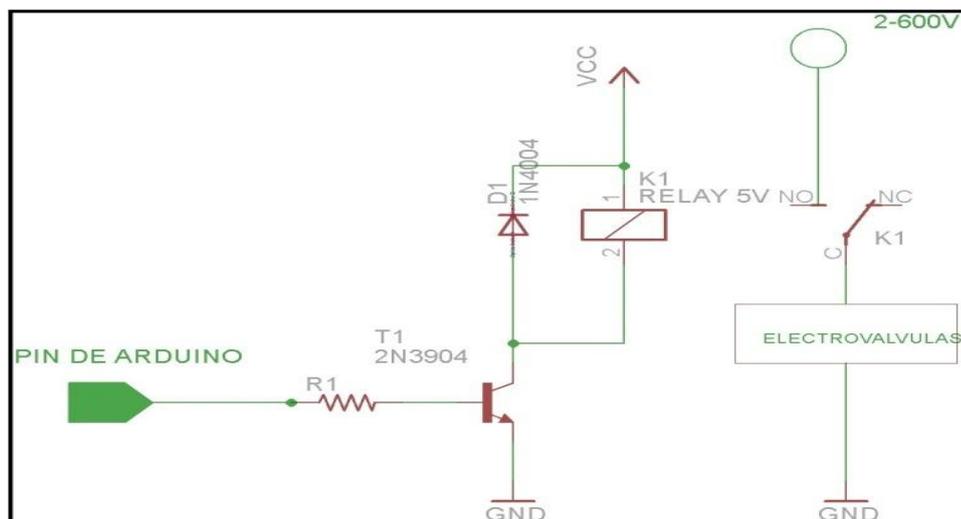
- Optimización de los recursos.
- Mayor área de protección.
- Menor Costo de implementación.
- Aprovecha los recursos de riego.

## Desventajas

- Necesita contar con una Fuente de Agua.

### 4.6. Construcción del circuito de acoplamiento, para la activación del sistema de protección en base a la tabla de rangos de presencia de ceniza obtenidos.

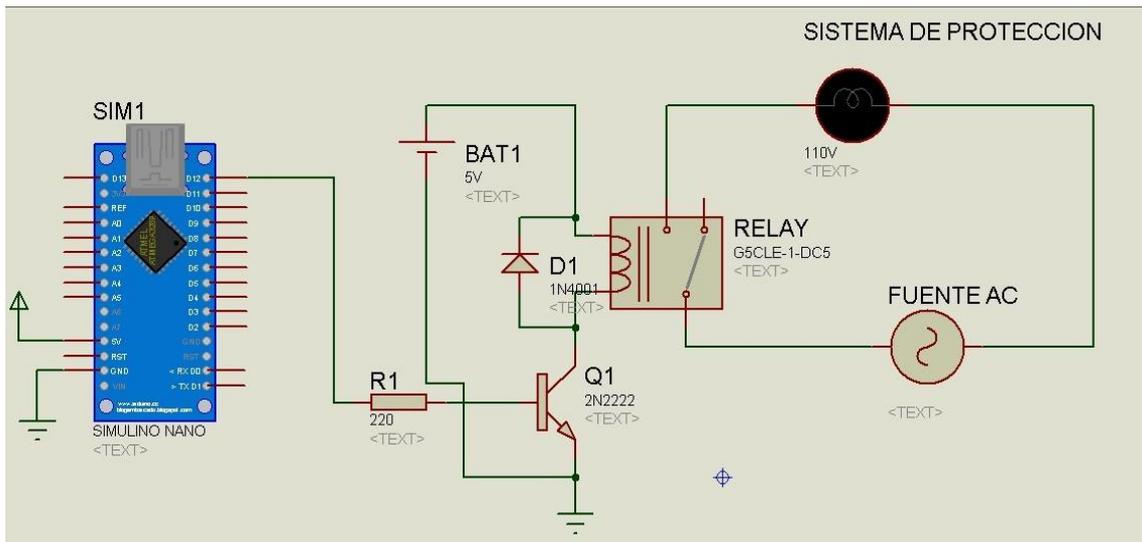
El medio utilizado para la interacción entre el detector de ceniza y el sistema de protección, es un circuito sencillo el cual se muestra en la Fig. 47, que sirve para acoplar todas las salidas de la tarjeta Arduino y a través de un relé accione las electroválvulas necesarias para completar el proceso, teniendo en cuenta las variables programadas y los rangos de pH preestablecidos.



**Fig.47:** Esquema general del circuito  
**Elaborado por:** El Investigador

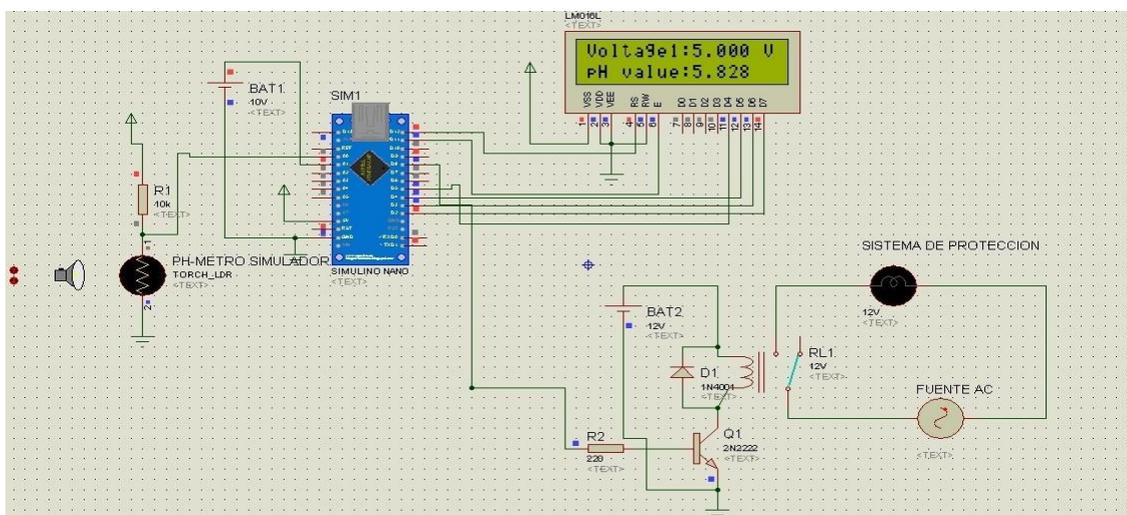
En la Fig. 48 se muestra la simulación realizada en Proteus 7.0 tomando en cuenta que se debe instalar las librerías para Arduino. La salida digital de Arduino proporciona una señal y a través de un transistor NPN activa la bobina de un relé normalmente abierto, dejando pasar la corriente para activar una electroválvula de 110 V y poner en acción el sistema de protección por aspersión para cultivos.

En la Fig. 49 se puede observar la simulación del pH-metro utilizando el elemento TORCH\_LDR que funciona como un sensor analógico y en la pantalla LCD se indican los valores del sensor.



**Fig.48:** Simulación del Circuito de Acoplamiento

**Elaborado por:** El Investigador

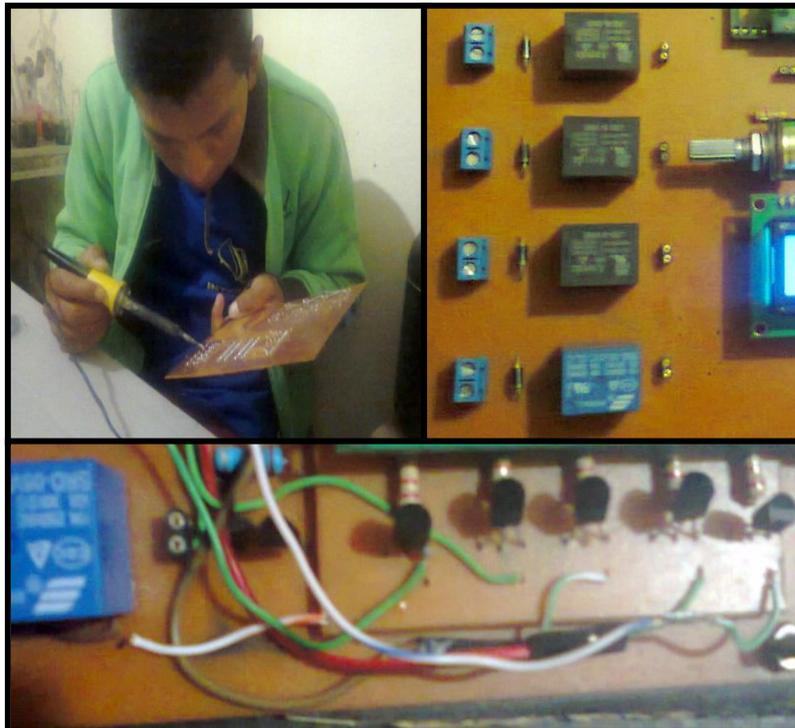


**Fig.49:** Simulación Circuito pH-metro

**Elaborado por:** El Investigador

La construcción de la placa y el circuito de acoplamiento se llevaron a cabo por el investigador en la Fig. 50 se puede apreciar una fotografía de la elaboración de la placa.

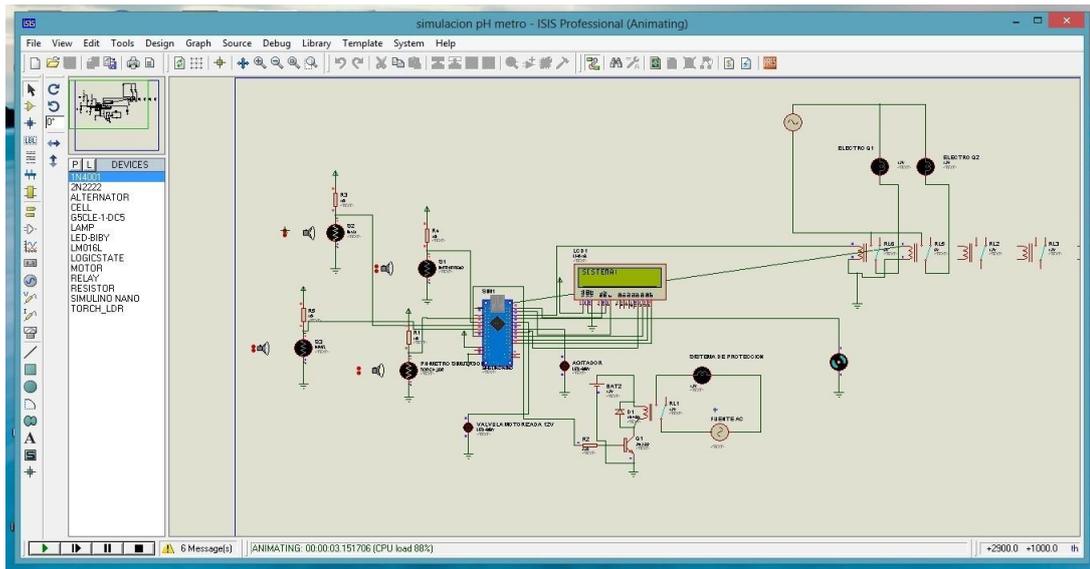
Una de las ventajas de este circuito es que puede ser implementado para activar varias alternativas como electroválvulas alarmas entre otras, ya que su salida cuenta con un relé de 5 v que es activado con una señal de la salida digital de arduino.



**Fig.50:** Construcción del circuito  
**Elaborado por:** El Investigador

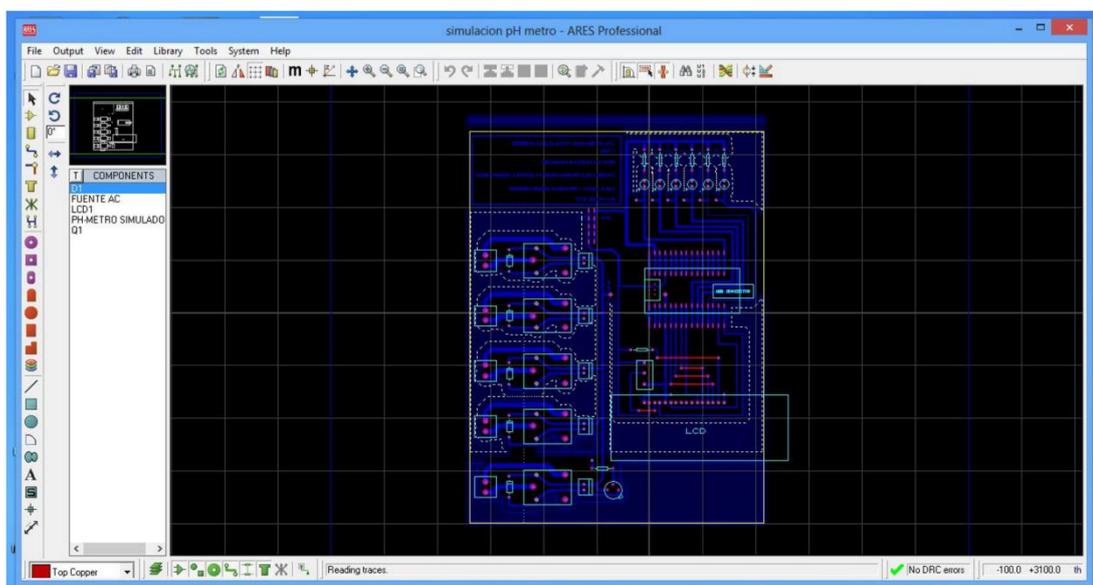
#### **4.7. Comprobación del funcionamiento del sistema electrónico.**

Previo a la implementación del sistema se realizó la simulación respectiva el software Proteus para verificar que la programación sea correcta, para simular los sensores analógicos se utilizó el componente TORCH\_LDR, para las electroválvulas se utilizó LAMP de 110 V con los relés activos y para la visualización una LCD 16 x 2. En la Fig.51 se puede observar parte de la simulación.



**Fig.51:** Simulación Final del Sistema Electrónico  
**Elaborado por:** El Investigador

Se realizó el diseño de la placa en ARES una herramienta de ISIS, que permite el ruteo de las pistas para circuitos electrónicos. Esta placa está diseñada a partir de la simulación en Proteus, en la cual está incorporada la tarjeta de Arduino Nano, el display LCD de 16 columnas por 2 filas y su calibrador de contraste, además cuenta con seis leds indicadores, seis buses de entradas para los sensores y seis relés de 5 V con sus respectivas borneras, el diseño final se puede observar en la Fig.52.



**Fig.52:** Diseño de la placa  
**Elaborado por:** El Investigador

## Resultados

Para verificar los valores de pH se realizó varias mediciones y se verificó los valores correctos y se procedió la implementación de los demás elementos que formaran parte del sistema. En la Fig. 53 se puede observar una simulación con ceniza volcánica.

- Los valores de pH de la ceniza volcánica se encuentra dentro del rango establecido.
- El Tiempo aproximado de respuesta para realizar el proceso de detección de ceniza luego de romper la línea de barrera de los sensores infrarrojos es menor a 2 min.
- La cantidad de buffer utilizada es de aprox. 20 ml y puede ser reutilizada.



**Fig.53:** Verificación del funcionamiento del sistema electrónico  
**Elaborado por:** El Investigador

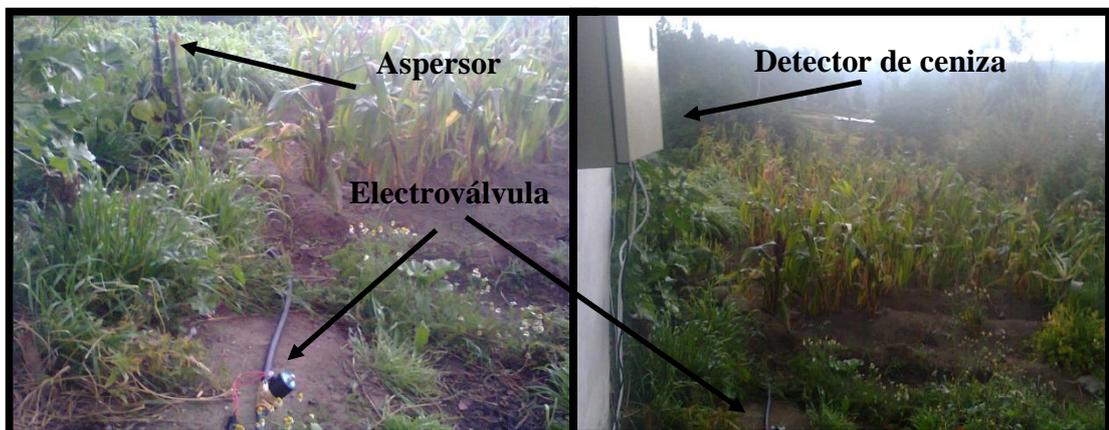
#### 4.8. Implementación del diseño final.

En la siguiente Fig. 54 se muestra el detector de ceniza volcánica que tiene una pantalla LCD para visualizar el estado del sistema, en la parte inferior también se puede observar el circuito de acoplamiento y potencia para activar el sistema de protección incluido en la placa.



**Fig.54:** Implementación del diseño final  
**Elaborado por:** El Investigador

En la Fig. 55 se puede observar el detector de ceniza, la electroválvula para activar el aspersor para plantación de maíz ubicado en el sector Mollepamba de la Parroquia Picaihua del cantón Ambato



**Fig. 55:** Implementación del Sistema de Protección  
**Elaborado por:** El Investigador

Se llevó a cabo una simulación de caída de ceniza puesto que no tuvo caída de ceniza por esa temporada se utilizó ceniza volcánica restante de la obtención de muestras para verificar que el sistema de protección por aspersión se active. En la Fig. 56 se puede observar parte de esta simulación.



**Fig.56:** Simulación del diseño final  
**Elaborado por:** El Investigador

En la Fig. 57 se puede observar es aspersor activado luego que el detector de ceniza volcánica le envió la señal de activación

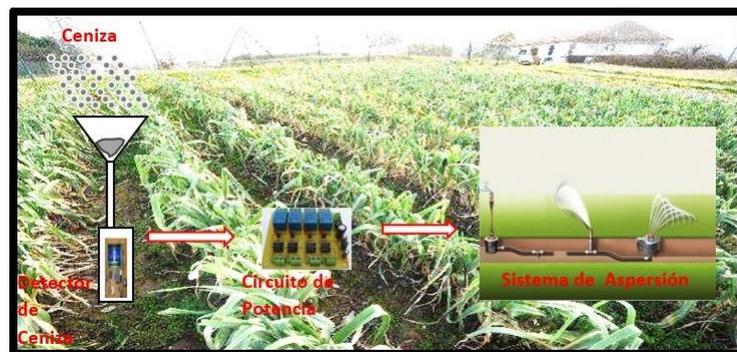


**Fig. 57:** Aspersor activado  
**Elaborado por:** El Investigador

Con el diseño e implementación del prototipo se cumplen los objetivos del proyecto planteados en el Capítulo 1, se ha estudiado las muestras de ceniza del volcán Tungurahua y determinado el método más apropiado para la detección de la misma, sin embargo el prototipo puede ser utilizado para otros volcanes realizando un breve estudio de las características de potencial de hidrógeno de la ceniza para la programación de la sonda de pH. Para la protección de las plantaciones se ha tomado en cuenta las recomendaciones de la Cruz Roja Ecuatoriana y de la Secretaria de Gestión de Riesgos y se ha seleccionado el método de aspersión de agua con miel de melaza, porque mediante este modo de protección se tiene mayor facilidad de cobertura para áreas más extensas, dependiendo de la cantidad de aspersores y de la potencia del agua, de tal manera que funcione a modo de lluvia limpiando las hojas y vigorizando la conducción de alimentos dentro de la planta y puedan realizar su fotosíntesis.

De esta manera se ha solucionado los problemas causados por los efectos de la ceniza volcánica en las plantaciones y en cultivos que así lo requieren, sin embargo las aplicaciones que se puede dar a este sistema, depende esencialmente de las necesidades del usuario, tales como modo de prevención ante caída de ceniza para evitar daños a la salud, también se puede emplear para activar alarmas comunitarias y prevención de riesgos, el estudio mismo de los cambios de potencial de hidrógeno que pueda tener las cenizas en cada proceso eruptivo, o el monitoreo de las áreas en donde la caída de ceniza es más frecuente entre otras.

En la Fig.58 se observa el modelo final del prototipo para su implementación en cualquier área de cultivos expuestos a la caída de ceniza volcánica.



**Fig.58:** Modelo Final  
**Elaborado por:** El Investigador

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

- A través de los valores de pH de características homogéneas que presentaron las muestras de ceniza en un medio de estado líquido se pudo diferenciar la misma de otros elementos similares.
- Las variaciones de pH respecto al buffer inicial son mínimas no superan el 2 por ciento.
- El valor de referencia de pH no muestra mayor estabilidad por la sensibilidad del sensor y afectaciones de diferentes factores como temperatura humedad, entre otros, sufre pequeñas variaciones por tanto no se puede establecer como una constante para la programación.
- El sistema electrónico detector de ceniza implementado, permite mitigar los problemas causados en los cultivos por la activación volcánica en el Ecuador, a través del análisis de la concentración de iones de Hidronio (pH), en una muestra de ceniza recolectada al momento de la caída. Verificada la ausencia de ceniza, se activa el método de protección para limpieza y vigorización de los cultivos.
- El sistema implementado tiene una infraestructura que se puede ser modificada para la utilización en futuras investigaciones como: sistema de alarma temprana sobre la caída de ceniza, sistema de registro de caída de ceniza, análisis de suelos, entre otras aplicaciones.
- El modo de protección de cubiertas plásticas, está orientado para mitigar los efectos de caída de ceniza volcánica en pequeñas áreas de plantación debido a que el presupuesto se incrementa por cada metro que cubra por esa razón se optó por el modo de protección por aspersión ya que es el más óptimo para mitigar

los efectos de la caída de ceniza en plantaciones de mayor extensión con menores presupuestos.

- El circuito de acoplamiento está disponible para activar otras alternativas o modos de protección dependiendo el caso y la necesidad.

## **RECOMENDACIONES**

- Para un sistema estable se recomienda trabajar con Buffer 4.0 debido a que al trabajar con agua los datos son inestables y es menos conveniente.
- Para evitar inconvenientes se recomienda implementar el prototipo en un lugar equilibrado, estable y fijo.
- Tomar en cuenta para la programación. El valor de referencia de pH, puesto que no es un valor que siempre va a estar constante y va a sufrir pequeñas variaciones.
- La detección de ceniza se puede aplicar para otras áreas de investigación, como supervisar las actividades eruptivas y caídas de ceniza, dar alertas a los habitantes aledaños sobre caída de ceniza, verificar cuales son los sectores en los que más se produce caía, llevar registros.
- Realizar un breve estudio sobre los antecedentes de caída de ceniza volcánica y las condiciones climáticas del lugar, previo a la implementación del sistema electrónico.

## **Anexos y Apéndices**

## Anexo A

Niveles de pH de la ceniza en un buffer 4, 00 para la muestra C1

pH Amplitude -		pH Nivel Amplitude - Ceniza Muestra C1						
Time - Plot 0	Buffer pH Inicial	2gr	4gr	6gr	8gr	10gr	15gr	20gr
815	5,3165	5,3165	5,3508	5,3508	5,36795	5,36795	5,3508	5,33365
816	5,2822	5,3165	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,33365
817	5,29935	5,33365	5,3508	5,3508	5,36795	5,36795	5,33365	5,33365
818	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,33365
819	5,29935	5,29935	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,3165	5,33365
820	5,3165	5,3165	5,3508	5,3508	5,36795	5,36795	5,3165	5,3165
821	5,29935	5,3165	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,33365	5,33365
822	5,3165	5,29935	5,3508	5,3851	5,3508	5,36795	5,33365	5,3508
823	5,29935	5,33365	5,3508	5,3851	5,3508	5,36795	5,33365	5,33365
824	5,29935	5,3165	5,36795	5,3851	5,36795	5,3851	5,3165	5,3508
825	5,29935	5,3165	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,33365	5,3508
826	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,36795
827	5,3165	5,3165	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,33365
828	5,2822	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,3508
829	5,2822	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,3508
830	5,29935	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,33365
831	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,3508
832	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3165	5,3508
833	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,36795
834	5,29935	5,3165	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,36795
835	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,33365	5,36795
836	5,2822	5,33365	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,33365	5,3851
837	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795	5,3508
838	5,2822	5,33365	5,36795	5,33365	5,3508	5,33365	5,3508	5,36795
839	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,33365	5,3508	5,36795	5,33365
840	5,3165	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,36795
841	5,33365	5,29935	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795	5,3851	5,33365
842	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,33365
843	5,29935	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,3508
844	5,33365	5,33365	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,3508
845	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508
846	5,3165	5,3165	5,3508	5,3508	5,36795	5,3508	5,3851	5,3508
847	5,3165	5,3165	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,3851	5,3508
848	5,3165	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795	5,3851
849	5,3165	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,3508	5,3851	5,36795
850	5,33365	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508
851	5,3165	5,33365	5,36795	5,33365	5,3508	5,33365	5,3851	5,36795
852	5,33365	5,3165	5,3508	5,3508	5,36795	5,3508	5,3851	5,36795
853	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851
854	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795
855	5,3165	5,3165	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,3851
856	5,3165	5,33365	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795	5,3851	5,3851
857	5,33365	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,40225
858	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,3508	5,3851
859	5,3165	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851
860	5,33365	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795
861	5,29935	5,3165	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795	5,3851	5,3851
862	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,36795	5,36795
863	5,29935	5,3165	5,3508	5,36795	5,3508	5,3508	5,3851	5,36795
864	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,3508	5,3851	5,3851
865	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,40225	5,3851
866	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,3851	5,36795
867	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,36795
868	5,29935	5,3165	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508
869	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,36795
870	5,29935	5,3165	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,3851
871	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,3851
872	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,3851
873	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,3851
874	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,3851

Elaborado por: El Investigador

## Anexo B

Niveles de pH de la ceniza en un buffer 4, 00 para la muestra C2

pH Amplitude - Buffer 4,00-20ml		pH Nivel Amplitude - Ceniza Muestra C2						
Time - Plot 0	Buffer pH Inicial	2gr	4gr	6gr	8gr	10gr	15gr	20gr
716	5,3165	5,33365	5,36795	5,3508	5,3508	5,36795	5,3165	5,3165
717	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,3508	5,29935
718	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,3508	5,33365	5,33365
719	5,29935	5,3165	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,3165	5,33365
720	5,3165	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,33365
721	5,3165	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,3508	5,3165	5,3165
722	5,3165	5,3508	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,33365	5,33365
723	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,33365	5,3508
724	5,29935	5,3165	5,36795	5,3508	5,3508	5,36795	5,3508	5,33365
725	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,3165	5,3508
726	5,29935	5,33365	5,3508	5,3508	5,3508	5,3508	5,3508	5,3508
727	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,36795
728	5,29935	5,3508	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,3165	5,33365
729	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,3508
730	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,3508
731	5,3165	5,3165	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,33365
732	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,3508
733	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,3508
734	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,36795
735	5,3165	5,3165	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795
736	5,29935	5,3165	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,3165	5,36795
737	5,29935	5,3165	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,3165	5,3851
738	5,3165	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,3508	5,33365	5,3508
739	5,3165	5,33365	5,3508	5,3508	5,3508	5,33365	5,3508	5,36795
740	5,29935	5,33365	5,36795	5,33365	5,33365	5,3508	5,33365	5,33365
741	5,29935	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795
742	5,3165	5,33365	5,33365	5,3508	5,3508	5,36795	5,33365	5,33365
743	5,3165	5,3165	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,33365
744	5,33365	5,3165	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,3508
745	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,3508
746	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,3508
747	5,33365	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,33365	5,3508
748	5,3165	5,33365	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,33365	5,3508
749	5,33365	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,33365	5,36795
750	5,29935	5,3165	5,3508	5,36795	5,36795	5,3508	5,33365	5,36795
751	5,33365	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,3508
752	5,3165	5,3165	5,36795	5,3508	5,3508	5,33365	5,3508	5,3508
753	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,33365	5,33365
754	5,33365	5,3165	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,33365
755	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,3508	5,36795	5,33365	5,33365
756	5,33365	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,33365
757	5,29935	5,33365	5,3508	5,3508	5,3508	5,36795	5,33365	5,3508
758	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,3508	5,3508
759	5,33365	5,33365	5,3508	5,3508	5,3508	5,3508	5,3508	5,3508
760	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,3508
761	5,33365	5,33365	5,3508	5,3851	5,36795	5,36795	5,29935	5,33365
762	5,29935	5,3165	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,3165	5,3508
763	5,29935	5,33365	5,3851	5,36795	5,3508	5,3508	5,3165	5,3508
764	5,29935	5,3165	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,3165	5,36795
765	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,29935	5,3851
766	5,3165	5,3165	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,29935	5,3851
767	5,3165	5,3508	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,2822	5,3851
768	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,3851
769	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,29935	5,36795
770	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,3165	5,36795
771	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,3508	5,36795	5,29935	5,36795
772	5,29935	5,3165	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795	5,29935	5,36795
773	5,29935	5,29935	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,29935	5,3851
774	5,3165	5,2822	5,3851	5,36795	5,36795	5,3508	5,29935	5,3851
775	5,29935	5,26505	5,36795	5,3851	5,3508	5,36795	5,29935	5,36795

Elaborado por: El Investigador

## Anexo C

Niveles de pH de la ceniza en un buffer 4, 00 para la muestra C3

pH Amplitude -		pH Nivel Amplitude -Ceniza Muestra C3						
Time - Plot 0	Buffer pH Inicial	2gr	4gr	6gr	8gr	10gr	15gr	20gr
815	5,3165	5,3165	5,3508	5,3508	5,36795	5,36795	5,3508	5,33365
816	5,2822	5,3165	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,33365
817	5,29935	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,3508	5,33365	5,33365
818	5,3165	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,33365	5,33365
819	5,29935	5,29935	5,3508	5,33365	5,36795	5,36795	5,3165	5,33365
820	5,3165	5,3165	5,3508	5,36795	5,36795	5,3508	5,3165	5,3165
821	5,29935	5,3165	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,33365	5,33365
822	5,3165	5,29935	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795	5,33365	5,3508
823	5,29935	5,33365	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795	5,33365	5,33365
824	5,29935	5,3165	5,36795	5,33365	5,36795	5,3851	5,3165	5,3508
825	5,29935	5,3165	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,33365	5,3508
826	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,33365	5,36795
827	5,3165	5,3165	5,36795	5,33365	5,36795	5,36795	5,33365	5,33365
828	5,2822	5,33365	5,3508	5,3508	5,36795	5,36795	5,33365	5,3508
829	5,2822	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,33365	5,3508
830	5,29935	5,33365	5,3508	5,3508	5,36795	5,36795	5,33365	5,33365
831	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,33365	5,3508
832	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,3165	5,3508
833	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,33365	5,36795
834	5,29935	5,3165	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,33365	5,36795
835	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,33365	5,36795
836	5,2822	5,33365	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,33365	5,3851
837	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,3508
838	5,2822	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,33365	5,3508	5,36795
839	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,33365	5,3508	5,36795	5,33365
840	5,3165	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,36795
841	5,33365	5,29935	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795	5,3851	5,33365
842	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,33365
843	5,29935	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,3508
844	5,33365	5,33365	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,3851	5,3508
845	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508
846	5,3165	5,3165	5,3508	5,3508	5,36795	5,3508	5,3851	5,3508
847	5,3165	5,3165	5,36795	5,36795	5,3508	5,3508	5,3851	5,3508
848	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,3851
849	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,3851	5,36795
850	5,33365	5,33365	5,36795	5,3851	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508
851	5,3165	5,33365	5,36795	5,3508	5,3508	5,33365	5,3851	5,36795
852	5,33365	5,3165	5,3508	5,36795	5,36795	5,3508	5,3851	5,36795
853	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851
854	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795
855	5,3165	5,3165	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508	5,3851
856	5,3165	5,33365	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795	5,3851	5,3851
857	5,33365	5,33365	5,36795	5,3851	5,3508	5,36795	5,36795	5,40225
858	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,3508	5,3508	5,3851
859	5,3165	5,33365	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851
860	5,33365	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795
861	5,29935	5,3165	5,3508	5,36795	5,3508	5,36795	5,3851	5,3851
862	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,3508	5,36795	5,36795
863	5,29935	5,3165	5,3508	5,36795	5,3508	5,3508	5,3851	5,36795
864	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,3508	5,3851	5,3851
865	5,3165	5,33365	5,36795	5,36795	5,3508	5,36795	5,40225	5,3851
866	5,3165	5,33365	5,36795	5,33365	5,3508	5,36795	5,3851	5,36795
867	5,3165	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,3851	5,36795
868	5,29935	5,3165	5,3508	5,3508	5,36795	5,36795	5,36795	5,3508
869	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,36795
870	5,29935	5,3165	5,36795	5,3851	5,36795	5,36795	5,3851	5,3851
871	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,3851
872	5,29935	5,33365	5,36795	5,3851	5,36795	5,36795	5,3851	5,3851
873	5,29935	5,33365	5,36795	5,3508	5,36795	5,36795	5,3851	5,3851
874	5,29935	5,33365	5,36795	5,36795	5,36795	5,36795	5,3851	5,3851

Elaborado por: El Investigador

## Anexo D

Niveles de pH de la ceniza en un buffer 4, 00 para la muestra C4

pH Amplitude -		pH Nivel Amplitude -Ceniza Muestra C4						
Time - Plot 0	Buffer pH	2gr	4gr	6gr	8gr	10gr	15gr	20gr
	Inicial							
914	5,09355	5,0078	5,09355	5,0078	5,02495	5,0764	5,0764	5,12785
915	5,05925	5,0078	5,02495	5,0421	5,0078	5,05925	5,1107	5,12785
916	5,05925	4,9735	5,0421	5,0078	5,02495	5,09355	5,0421	5,145
917	5,0421	4,9735	5,1107	5,02495	5,02495	5,1107	5,12785	5,09355
918	5,0421	5,0078	5,02495	5,0078	5,0421	5,0764	5,0764	5,19645
919	5,0421	5,0078	5,0421	5,0078	5,02495	5,09355	5,1107	5,145
920	5,05925	4,9735	5,0421	5,0078	5,02495	5,09355	5,1107	5,1107
921	5,0421	4,99065	5,02495	4,99065	5,0421	5,0764	5,12785	5,1107
922	5,05925	4,99065	5,0078	4,99065	5,0078	5,1107	5,09355	5,1793
923	5,0421	5,0078	5,0078	5,0078	5,0078	5,09355	5,12785	5,145
924	5,09355	4,9735	5,0078	5,0078	5,0078	5,09355	5,09355	5,145
925	5,02495	4,99065	5,0078	5,0078	5,0078	5,09355	5,1107	5,145
926	5,05925	4,99065	5,0078	4,99065	5,02495	5,09355	5,1107	5,16215
927	5,0421	5,0078	5,05925	5,0078	5,0078	5,09355	5,12785	5,19645
928	5,0764	4,99065	5,05925	5,02495	4,99065	5,1107	5,12785	5,12785
929	5,0764	4,99065	5,05925	5,0078	5,0078	5,1107	5,12785	5,16215
930	5,09355	5,0078	5,0078	5,0078	5,02495	5,1107	5,145	5,1793
931	5,0764	4,99065	5,0078	5,02495	4,9735	5,09355	5,09355	5,145
932	5,0421	5,0078	5,0078	5,02495	5,02495	5,05925	5,12785	5,1793
933	5,05925	5,0078	5,0078	5,02495	5,0078	5,09355	5,145	5,1793
934	5,0764	4,99065	5,0078	5,02495	5,02495	5,09355	5,12785	5,16215
935	5,0764	5,0078	5,0078	5,0764	5,02495	5,09355	5,1107	5,145
936	5,0764	5,0078	5,0078	5,0078	4,9735	5,09355	5,12785	5,145
937	5,09355	5,02495	5,05925	4,99065	5,0078	5,09355	5,12785	5,16215
938	5,0421	4,99065	5,05925	4,99065	5,02495	5,09355	5,1107	5,145
939	5,09355	5,0078	5,05925	4,99065	5,0421	5,0764	5,12785	5,1793
940	5,0764	5,0078	5,05925	4,99065	5,0421	5,09355	5,1107	5,12785
941	5,05925	5,0078	5,05925	4,99065	5,0421	5,09355	5,12785	5,145
942	5,09355	5,0078	5,0078	4,9392	5,05925	5,1107	5,12785	5,145
943	5,145	5,02495	5,0078	4,95635	5,0764	5,09355	5,1107	5,16215
944	5,0764	5,05925	5,05925	5,02495	5,0078	5,05925	5,0764	5,12785
945	5,0764	5,0078	5,0078	5,0078	5,05925	5,09355	5,1107	5,1107
946	5,0764	5,02495	5,0078	5,0421	4,9735	5,09355	5,1107	5,12785
947	5,0764	5,0764	5,05925	5,0421	5,0421	5,145	5,12785	5,0764
948	5,0421	5,0421	5,05925	5,0421	5,0421	5,09355	5,16215	5,19645
949	5,0764	5,0421	5,0078	5,05925	5,05925	5,1107	5,145	5,145
950	5,0764	5,02495	5,02495	5,0764	5,0421	5,1107	5,12785	5,145
951	5,0764	5,0421	5,02495	5,0078	5,0421	5,09355	5,0764	5,1107
952	5,0764	5,05925	5,02495	5,05925	4,95635	5,1107	5,12785	5,19645
953	5,05925	5,05925	5,02495	4,9735	4,99065	5,09355	5,145	5,0764
954	5,0421	5,0421	5,05925	5,0421	5,0078	5,09355	5,12785	5,16215
955	5,0764	5,05925	5,05925	5,0421	5,09355	5,09355	5,12785	5,1107
956	5,0764	5,0078	5,0078	5,05925	5,02495	5,1107	5,12785	5,19645
957	5,0764	5,05925	5,0421	5,0421	5,0421	5,09355	5,145	5,16215
958	5,05925	5,05925	5,0421	5,0421	5,1107	5,09355	5,09355	5,145
959	5,0764	5,0421	5,05925	4,95635	5,02495	5,09355	5,19645	5,12785
960	5,05925	5,02495	5,0078	4,99065	5,0421	5,16215	5,145	5,16215
961	5,05925	5,0078	5,0421	5,0078	5,0421	5,09355	5,1107	5,145
962	5,0764	5,0421	5,0421	5,0421	5,02495	5,1107	5,1107	5,145
963	5,05925	5,0421	5,0421	5,0421	5,0078	5,1107	5,1793	5,145
964	5,05925	4,9735	5,02495	5,05925	4,99065	5,0764	5,145	5,16215
965	5,0764	5,05925	5,02495	5,0764	4,9735	5,1107	5,145	5,16215
966	5,0764	5,0421	5,02495	5,0764	4,99065	5,1107	5,145	5,16215
967	5,0764	5,0421	5,0078	5,0764	4,99065	5,09355	5,16215	5,145
968	5,0764	5,0421	5,0078	5,05925	5,05925	5,09355	5,19645	5,1793
969	5,0421	5,02495	5,0078	5,0764	4,99065	5,09355	5,12785	5,16215
970	5,05925	5,0764	5,05925	5,0421	4,99065	5,09355	5,16215	5,16215
971	5,05925	5,0421	5,0078	5,05925	4,99065	5,1107	5,1793	5,16215
972	5,05925	5,02495	5,0078	5,02495	4,99065	5,1107	5,145	5,19645
973	5,05925	4,99065	5,05925	5,09355	4,99065	5,12785	5,1793	5,145

Elaborado por: El Investigador

## Anexo E

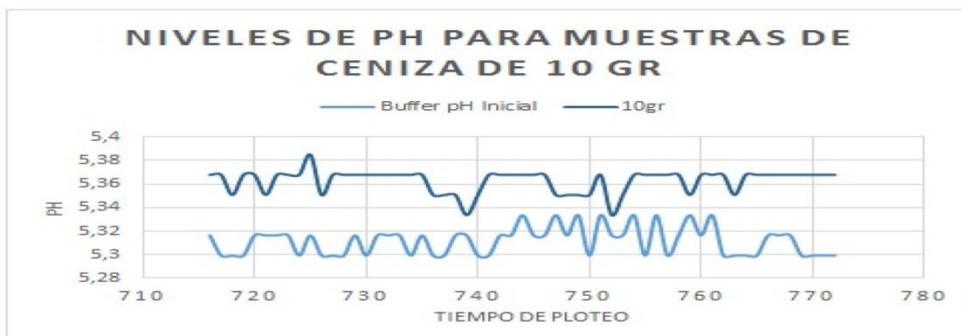
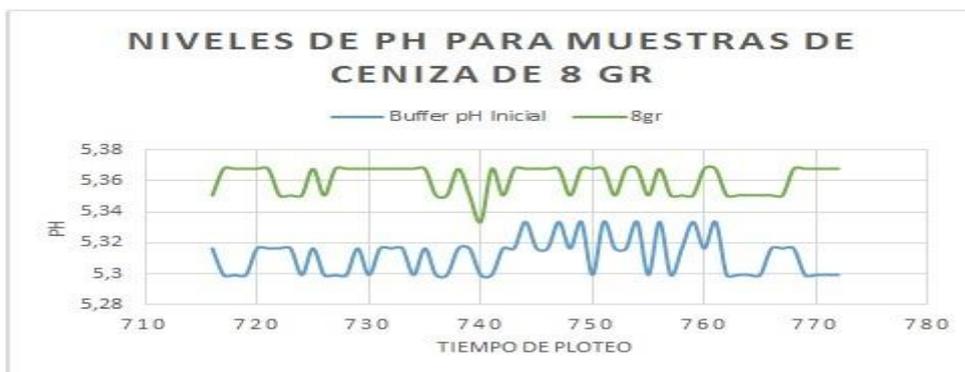
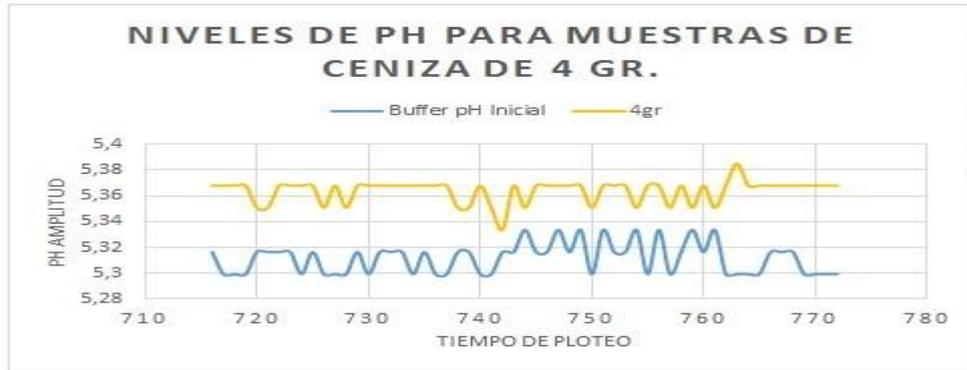
Niveles de Potencial de Hidrógeno para muestras de elementos similares a la ceniza volcánica.

Time - Plot 0	Amplitud pH- Plot 0	
	ceniza volcánica 15gr	Otros elementos(Tierra comun) 15gr
4526	5,33365	5,33365
4527	5,36795	5,5909
4528	5,3508	5,6938
4529	5,36795	5,7624
4530	5,3851	5,81385
4531	5,3851	5,84815
4532	5,3851	5,8653
4533	5,3851	5,8996
4534	5,3851	5,91675
4535	5,36795	5,9339
4536	5,3851	5,95105
4537	5,3851	5,95105
4538	5,36795	5,95105
4539	5,3851	5,98535
4540	5,36795	6,0025
4541	5,3851	5,98535
4542	5,3851	6,0025
4543	5,36795	6,01965
4544	5,3508	6,01965
4545	5,3508	6,0368
4546	5,3851	6,05395
4547	5,36795	6,05395
4548	5,3508	6,0711
4549	5,36795	6,0711
4550	5,36795	6,0711
4551	5,3851	6,05395
4552	5,36795	6,0711
4553	5,3851	6,08825
4554	5,3851	6,08825
4555	5,40225	6,1054
4556	5,3851	6,1054
4557	5,3851	6,1054
4558	5,36795	6,08825
4559	5,3851	6,1054
4560	5,36795	6,08825
4561	5,36795	6,1054
4562	5,3851	6,08825
4563	5,3851	6,12255
4564	5,36795	6,1054
4565	5,36795	6,12255
4566	5,3508	6,12255
4567	5,36795	6,12255
4568	5,3851	6,12255
4569	5,3851	6,1054
4570	5,36795	6,12255
4571	5,36795	6,12255
4572	5,36795	6,12255
4573	5,3851	6,1397
4574	5,36795	6,1397
4575	5,3851	6,15685
4576	5,3851	6,15685
4577	5,36795	6,1397
4578	5,36795	6,15685
4579	5,3851	6,15685
4580	5,3851	6,15685
4582	5,40225	6,15685
4583	5,40225	6,174
4584	5,36795	6,174
4585	5,3851	6,174
4586	5,40225	6,174
4587	5,40225	6,15685
4588	5,3851	6,174
4589	5,3851	6,174
4590	5,40225	6,19115
4591	5,3851	6,174
4592	5,40225	6,15685
4593	5,40225	6,174
4594	5,36795	6,15685
4595	5,40225	6,15685
4596	5,40225	6,174
4597	5,3851	6,174
4598	5,40225	6,15685
4599	5,40225	6,174
4600	5,40225	6,174
4601	5,40225	6,174
4602	5,40225	6,15685
4603	5,40225	6,174
4604	5,3851	6,174
4605	5,3851	6,174
Promedio	5,380598125	6,0702425

Elaborado por: El Investigador

## Anexo F

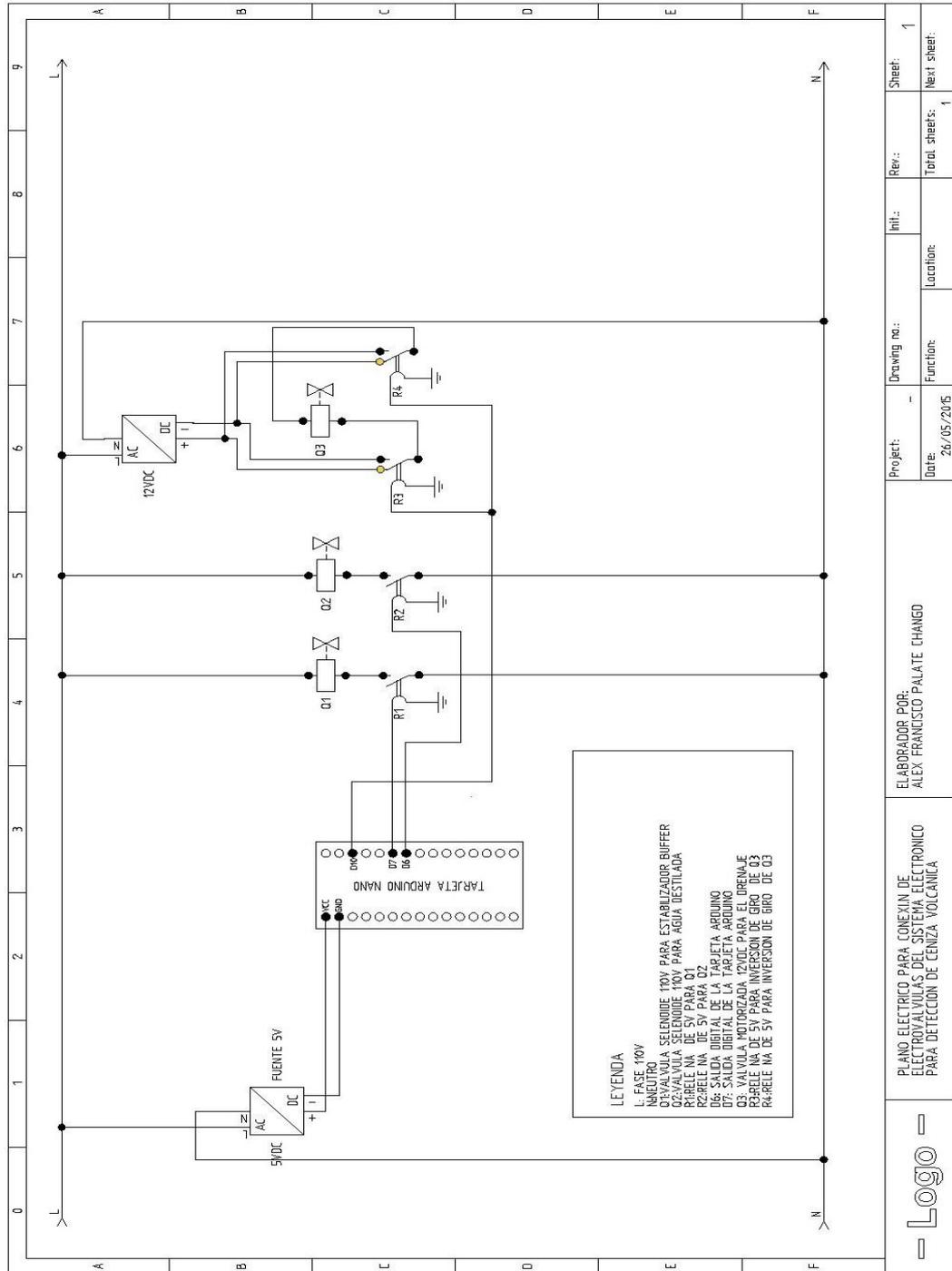
Grafica de los Niveles de pH para muestras de ceniza de diferentes gramajes.



Elaborado por: El Investigador

# Anexo G

## Diagrama eléctrico de la conexión de las electroválvulas



Elaborado por: El Investigador

## Anexo H

### Valores eléctricos para la sonda de medición

#### PH composite electrode manual

##### A. Purpose

The electrode is made of PH glass electrode and a silver/silver chloride reference electrode composition, the PH measuring elements which is used to measure water solution PH value.

##### B. Type and main technical parameters

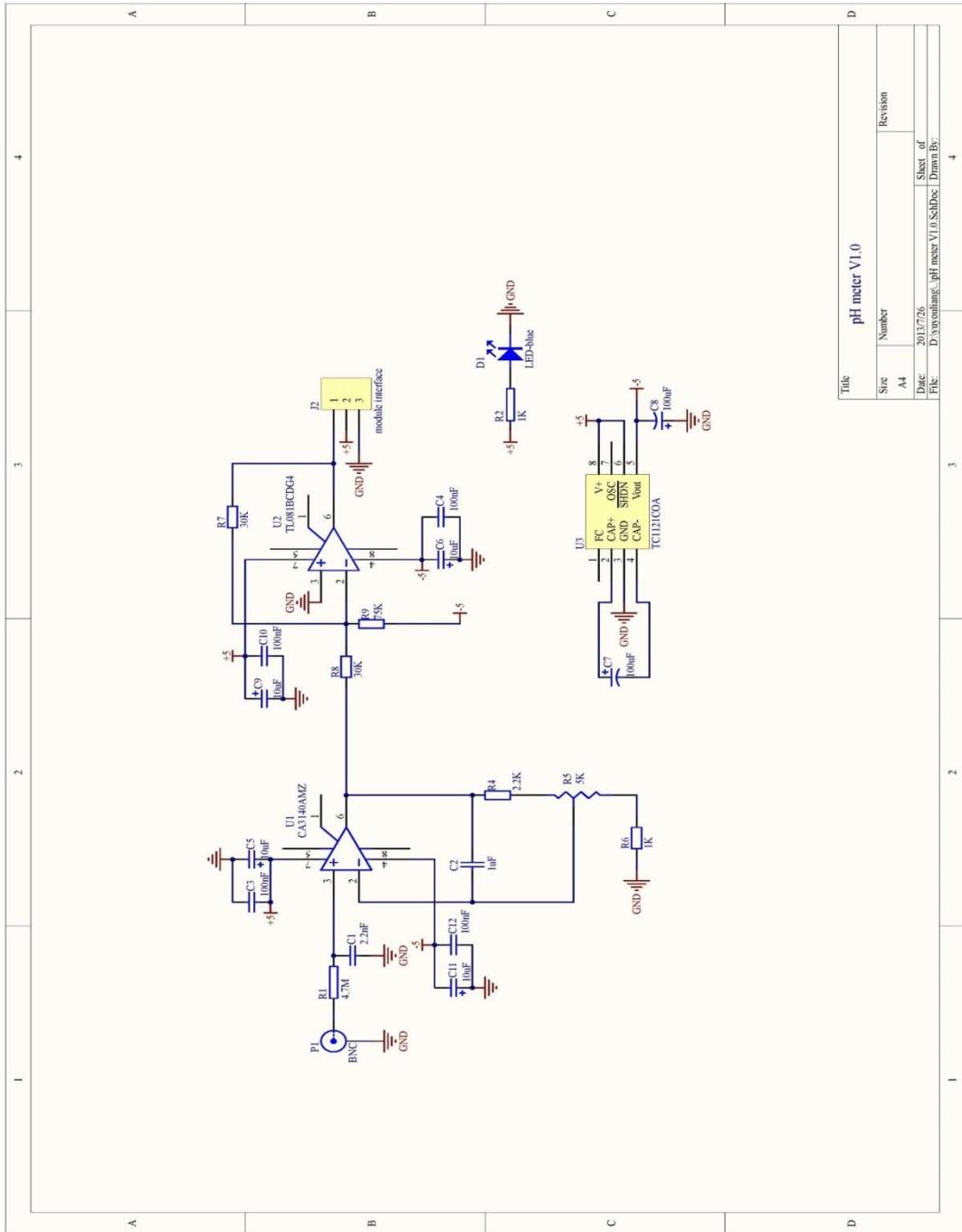
Electrode type	range	temperature	Zero point	Alkali deviation	PTS	Response time	Internal resistance	Repeat ability	Noise
	PH	°C	PH	mV		min	MΩ		mV
65-1	0-14	0-80	7±1	<15	>98	<2	<250	<0.017	
BX-5	0-14	0-80	7X±11	<15	>98	<2	<250	<0.017	
E-201	0-14	0-80	7±0.5	<15	>98	<2	<250	<0.017	<0.5
E-201-C	0-14	0-80	7X±0.5	<15	>98	<2	<250	<0.017	<0.5
95-1	0-14	0-80	7X±0.5	<15	>98	<2	<250	<0.017	<0.5
E-900	0-14	0-80	7X±0.5	<15	>98	<2	<250	<0.017	<0.5

##### C. Precautions

1. The electrode used for the first or long set without re-use, the electrode bulb and the sand core, immersed in the 3NKCL solution activated eight hours.
2. The electrode plug should be kept clean and dry.
3. Electrode reference solution is the 3NKCL solution.
4. Measurement should be avoided staggered pollution between solutions, so as not to affect the accuracy of measurement.
5. Electrode blub or sand core is defiled which will make PTS decline, slow response. So, it should be based on the characteristics of the pollutant, adapted to the cleaning solution, the electrode performance recovery.
6. The electrode should not be long-term immersed in acid chloride solution.
7. Electrode when in use, the ceramic sand core and liquid outlet rubber ring should be removed, in order to make salt bridge solution to maintain a certain velocity.

# Anexo I

Diagrama de electrónico del circuito de la placa del sensor de pH



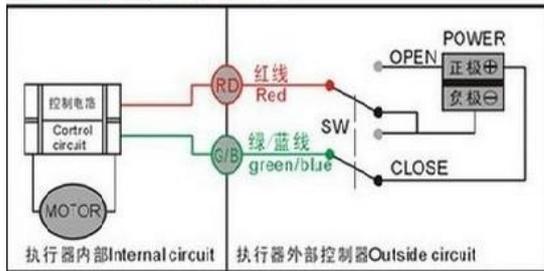
Title	pH meter V1.0		
Size	Number	Revision	
A4			
Date:	2013/7/26	Sheet of	
File:	D:\yvonhang_\pH meter V1.0.SchDoc	Drawn By:	

## Anexo J

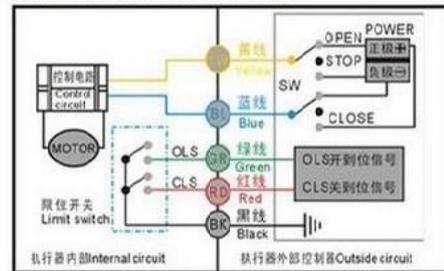
Diagrama electrónico de la placa del sensor de pH Esquemas de conexión para las válvulas de series CWX

### CWX 系列接线说明 CWX Series Wiring

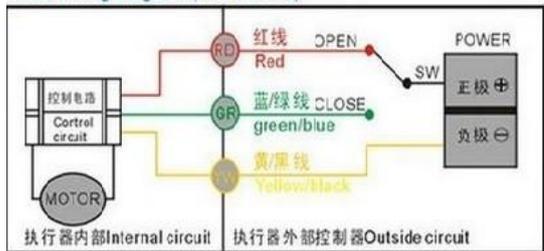
CR01(两线控制方式)  
CR01 wiring Diagram (two wires)



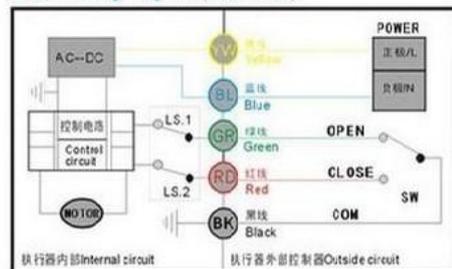
CR05(五线微控制器控制方式)  
CR05 five wires micro controller



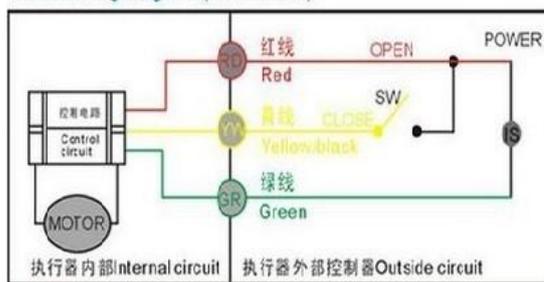
CR02(三线控制方式)  
CR02 wiring diagram (three wires)



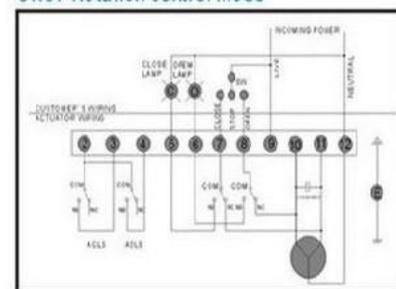
CR06(五线控制方式)  
CR06 Wiring diagram (five wires)



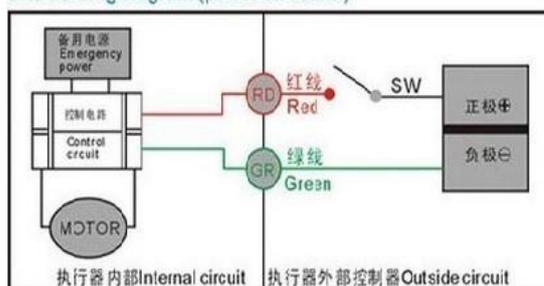
CR03(三线控制方式)  
CR03 Wiring diagram (three wires)



CR07(回转型控制方式)  
CR07 Rotation control mode



CR04(断电复位控制方式)  
CR04 Wiring diagram (power off return)



#### The operating instructions and notice

For the actuators rated voltage is AC/DC9V-24V, can be applied for AC9V-24V or DC9V-24V, (When apply DC9-24V, POWER in the wiring diagram is IS, and no cathode and positive). AC27 and DC30V is the maximum voltage, otherwise may damage the internal circuit board.

The above wiring can be multi-turn type, and CR02 and CR06 can be single-turn type. CR04 adopt high-speed RF320 motor, can be quick open (with actuator CWX-10K, open time within 3 seconds), when first open or under a long time for close position, be guarantee more than 1 minute to assure reliable return after power off. (return time within 5 seconds).

## Anexo K

### Programación para Arduino1 de 3

```
#include <Servo.h>
#include <LiquidCrystal.h>
Servo myservo;

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
const int numerolecturas = 5;
float          lecturas,lecturas1;
int          index          =          0;
int          media          =          0;
int total = 0;
int inputPin = A0;
float p,w,s,S3,snivel;
int pos=0;
void setup(void)
{
  pinMode(7, OUTPUT); // pinMode(LED,OUTPUT);
  pinMode(A5,OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(13,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  myservo.attach(9);
}
void loop(void)
{
  float S1=analogRead(A1);
  float voltage=S1*(5.0/1024.0);
  float S2=analogRead(A2);
  float voltage1=S2*(5.0/1024.0);
  S3=analogRead(A3);
  snivel= S3*(5.0/1024.0);

  if(voltage1<2.00) //S1 Sensor LLuvia
  {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SISTEMA:");
    for(pos = 90; pos>=5; pos--=1)// CERRAR VALVULA MOTORIZADA "SI
    {
      myservo.write(pos); // tell servo to go to position
```

## Programación para Arduino2 de 3

```
    delay(15); // waits 15ms for the servo to ;
  }
  digitalWrite(8,LOW); //CERRAR VALVULA Q3

if(voltage<2.00)//S2 Sensor Infrarrojo
{
  do
  {
    digitalWrite(10,HIGH); //ABRIR VALVULA Q1 DE BUFFER
    S3=analogRead(A3);
    snivel= S3*(5.0/1024.0);
    delay(50);

  }while(snivel<4.50);

  digitalWrite(10,LOW); //CERRAR VALVULA Q1 DE BUFFER
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("SETTING...");
  lecturas =analogRead(inputPin);
  delay(5000);
  s=lecturas*(5.0/1024.0);
  digitalWrite(6,HIGH); //ENCENDER AGITADOR
  delay(6000);
  digitalWrite(6,LOW); //APAGAR AGITADOR
  lecturas1 =analogRead(inputPin);
  p=lecturas1*(5.0/1024.0);
  w=s+(s*0.015);

  lcd.begin(16, 2);

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("s:");
  lcd.setCursor(7, 0);
  lcd.print(s,2);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("p:");
  lcd.setCursor(9, 1);
  lcd.print(p,2);
  if(p<=w)
  {
    digitalWrite(A5,HIGH); //ACTIVAR SALIDA PARA EL SISTEMA DE PRO
    delay(5000);
    digitalWrite(A5,LOW); //APAGAR SISTEMA DE RPOTECCION
    digitalWrite(8,HIGH); //ABRIR VALVULA MOTORIZADA
    digitalWrite(13,HIGH); //ENCENDER ELECTROVALVULA Q2 DESTILADA
    delay(5000);
    digitalWrite(13,LOW); //APAGAR ELECTROVALVULA Q2 DESTILADA
```

## Programación para Arduino3 de 3

```
else
{
digitalWrite(A5,LOW);
digitalWrite(8,HIGH);//ABRIR VALVULA MOTORIZADA
digitalWrite(13,HIGH);//ENCENDER ELECTROVALVULA Q2 DESTILADA
delay(5000);
digitalWrite(13,LOW);//APAGAR ELECTROVALVULA Q2 DESTILADA
}
}
else
digitalWrite(A5,LOW);
delay(100);
}
else
{
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("INDICIO LLUVIA:");
for(pos = 5; pos <= 90; pos += 1)// ABRIR VALVULA MOTORIZADA "SERVO
// in steps of 1 degree
myservo.write(pos); // tell servo to go to position in
delay(15); // waits 15ms for the servo to rea
}
digitalWrite(8,HIGH);
delay(100);
```

## Anexo L

PH-metro del laboratorio de la Facultad de Ingeniería en Alimentos en el cual se realizó el adiestramiento del funcionamiento de la sonda de pH.



## Bibliografía

- [1] Riesgo LabConsultingGroup, “Tips de Prevención de riesgos por Ceniza Volcánica.” Accessed July 2014 [Online]. Available:  
<http://www.riesgolab.com/site/component/content/article/41-seguridad-de-higiene/149-tips-de-prevencion-de-riesgos-por-ceniza-volcanica.html>
- [2] Ministerio de Salud, “Cenizas volcánicas - Efectos generales de la ceniza volcánica sobre las poblaciones.” 2014. [Online]. Available:  
[http://www.elcomercio.com.ec/pais/Ecuador-volcan\\_Tungurahua-cenizaTungurahua-Magap\\_0\\_968903118.html](http://www.elcomercio.com.ec/pais/Ecuador-volcan_Tungurahua-cenizaTungurahua-Magap_0_968903118.html).
- [3] A. Hernández, “Efectos ambientales de las cenizas volcánicas”, Instituto de Geofísica, UNAM, 2011. Accessed August 2014. Available:  
[http://www.inegi.org.mx/eventos/2011/grupos\\_vulnerables/doc/1Cenizas\\_riesgo\\_10\\_50\\_aurora\\_armienta\\_opt.pdf](http://www.inegi.org.mx/eventos/2011/grupos_vulnerables/doc/1Cenizas_riesgo_10_50_aurora_armienta_opt.pdf)
- [4] W. Pinto, “La furia del Tungurahua afecta a pobladores, cultivos y al ganado”, Diario El Universo, Ecuador, Activities report, May. 2011.
- [5] W. Pinto, “Pelileo cuantifica pérdidas por ceniza del volcán Tungurahua,” El Universo, Ecuador, Activities report, May. 2011.
- [6] H. Calle, “4000 hectáreas de cultivos y de pastos afectados por la ceniza en Tungurahua y Chimborazo,” Diario el Comercio, Ecuador,, Feb. 2014.
- [7] D. Met, “Foro de Meteorología,” ¿Conoce algún sensor infrarrojo que detecte esta longitud de onda 350nm a 353nm? 18- Oct -2011.
- [8] U. Peña and J. Peña, “Síntesis de zeolitas a partir de cenizas volantes de centrales termoeléctricas de carbón,” Departamento 'Ingeniería Minera y Recursos Naturales, Universidad Politécnica de Catalunya, Catalunya, España, 2002.
- [9] R. Flavia, “Environmental mobility of potentially toxic trace elements of Andean volcanic ashes,” Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica, Universidad de Barcelona, Barcelona, España, 2011.

- [10] C. Gómez, “EasyJet y Airbus prueban un sistema de detección de cenizas volcánicas,” *Tendencias 21 Navegación Aérea*, p. 1, Jul. 2012.
- [11] RTE news, “Nuevo sistema de detección de nubes de cenizas tiene como objetivo reducir las interrupciones,” Accessed March 2013. [Online]. Available: <http://www.rte.ie/news/2013/0305/373607-volcano-ash-cloud-detection/>.
- [12] Planta Central de la Dirección Nacional de Epidemiología del Ministerio de Salud Pública de Ecuador y funcionarios técnicos de OPS/OMS., “Efectos en la Salud por las erupciones del Tunguragua. Boletín N. 1.,” Accessed February 2000.[Online]. Available: [http://es.wikipedia.org/wiki/Erupci%C3%B3n\\_volc%C3%A1nica](http://es.wikipedia.org/wiki/Erupci%C3%B3n_volc%C3%A1nica)
- [13] J. Bustillos, G. Ruiz, J. Le Penec, “Volcán Tungurahua: Cálculo indirecto del material sólido emitido (Tefra),” Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2011. [Online]. Available: [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers1208/010054875.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers1208/010054875.pdf)
- [14] A. Donnersberger and A. Lesak, *A Laboratory Textbook for Anatomy and Physiology*, 7ma ed. Barcelona, España: Jones and Barlett Publisher, 2002.
- [15] R. Gómez, “Tecnología de Blogger,” Composición de las cenizas volcánicas y de los gases asociados. Accessed June 2011.
- [16] M. Canales, T. Hernández, S. Meraz, *Fisicoquímica*, volumen 1, ch. 4, Potencial de hidrógeno, pp. 154-158, México, 1999.
- [17] E. Sanchis, “Sistemas electrónicos digitales, Fundamentos y diseño de aplicaciones”, ch. 1, pp. 17, España 2002.
- [18] SN, “Curso de estabilidad de Sistemas eléctricos de potencia, FING 2007.”
- [19] N. Castilla, *Invernaderos de Plástico Tecnología y Manejo*, 2nd Edition, ch. 1, pp. 26, México, 1999.
- [20] R. Clement and A. Galand, *El riego por aspersión y las redes colectivas de distribución a presión*, Editores técnicos Asociados, 1986.

- [Online].Available:<https://books.google.com.ec/books?id=zKiNOWAACAAJCruzRojaEcuatoriana>.” Recomendaciones ante caída de ceniza”, archivo pdf.
- [21] Cruz Roja Ecuatoriana, “Recomendaciones ante caída de ceniza”, Accessed July 2014.
- [22] W. Pinto, “Precauciones ante la caída de ceniza volcánica”, Diario El Universo, Ecuador, Activities report Apr. 2011.[Online].Available:<http://www.eluniverso.com/noticias/2014/02/03/nota/2134631/precauciones-ante-caida-ceniza-volcanica>
- [23] D. Rivadeneira, “Caracterización de los Dinamismos Eruptivos de los periodos de actividad de Marzo y Julio de 2013 del Volcán Tungurahua, en Base en el Estudio Morfo-granulométrico, Geoquímico y modal de los productos de caída” Memoria de Título, Ing. Geólogo, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, Sep. 2014.
- [24] Zonas de mayor riesgo de caída de ceniza del volcán Tungurahua “Informes de la Secretaria de Gestión de Riesgo y de MAGAP del año 2014 ”
- [25] Norma INV E-131-07. The National Roads Institute. Accessed July 2014.[Online].Available:[ftp://ftp.ucauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-131-07.pdf](ftp://ftp.ucauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-131-07.pdf)
- [26] El uso de los Agitadores en los Laboratorios, Accessed Feb. 2013. [Online]Available:<http://www.quiminet.com/articulos/el-uso-de-losagitadores-en-los-laboratorios-3437780.htm>
- [27] The Arduino Homepage. Accessed Sep. 2014.[Online] Available: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>.
- [28] The DFROBOT Homepage. Accessed Sep. 2014. [Online] Available: [http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product\\_id=1025#.VbkFt\\_mqqko](http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=1025#.VbkFt_mqqko)
- [29] Reactivos y Equipos S.A., The Reactivos y Equipos Homepage. Accessed Sep. 2014.[Online] Available:<http://http://www.reactivosyequipos.com.mx/>.

- [30] Owan Electronics, The Precio D Homepage. Accessed Dec. 2014. [Online] Available:<http://preciod.com/ec/electrovalvula-conector-rapido-1-4-proyectos-agua-osmosis-RXZR3/venta-html>
- [31] The Alibaba Homepage. Accessed Feb. 2015. [Online] Available: [spanish.alibaba.com/product-gs/electric-stainless-steel-ball-valve-withmanual](http://spanish.alibaba.com/product-gs/electric-stainless-steel-ball-valve-withmanual)
- [32] A.Ollero, “Robótica: Manipuladores y Robots Móviles” Cap 7, Sensores de Presencia y Proximidad, pag 179. España 2001.
- [33] The Bricotronica Homepage. Accessed Feb. 2015.[Online] Available:<http://www.bricotronica.com>
- [34] K. Karvinen & T. Karvinen, Make: Arduino Bots and Gadgets, First Edition. Canada: O’Reilly Media, Inc., 2011.
- [35] *Specifications of LCD Module*, Xiamen Amotec Display co., ltd, Oct. 2008.
- [36] Instituto Mexicano del Seguro, “Recomendaciones para la caída de cenizas volcánicas” Dpto. de Comunicación y Difusión Social. Accessed Aug. 2015. [Online] Available:<http://www.tuxpan-jal.gob.mx/web/VOLCAN.pdf>
- [37] J. Graziano and E. Misereándonos “Recomendaciones para huertas y para granjas ante la caída de ceniza volcánica” Accessed Aug. 2015. [Online] Available:[http://inta.gob.ar/documentos/villa-la-angostura-gris.-situacion-de-un-prediohorticola-en-el-area-de-mayor-afectacion-por-caida-de-cenizasvolcanicas/at\\_multi\\_download/file/huertasygranjas.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/villa-la-angostura-gris.-situacion-de-un-prediohorticola-en-el-area-de-mayor-afectacion-por-caida-de-cenizasvolcanicas/at_multi_download/file/huertasygranjas.pdf)
- [38] The Grundfos Homepage, Manual de Riego, Accessed Aug. 2015. [Online] Available:[http://cbs.grundfos.com/export/sites/dk.grundfos.cbs/BGE\\_Spain/downloads/Download\\_Files/Manual\\_de\\_Riego\\_ES.pdf](http://cbs.grundfos.com/export/sites/dk.grundfos.cbs/BGE_Spain/downloads/Download_Files/Manual_de_Riego_ES.pdf)
- [39] AMCI, “Rangos de precios sugeridos para 5 tipos de invernaderos en México” Mayo 2010, Accessed Aug. 2015. [Online] Available:[http://www.firco.gob.mx/proyectos/proap/documents/presentacion\\_rangos\\_precios\\_proap\\_2010.pdf](http://www.firco.gob.mx/proyectos/proap/documents/presentacion_rangos_precios_proap_2010.pdf)