



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PARA MEDICIÓN DE PH
EN EL SUELO PARA EL SISTEMA SMARTDUST”**

INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO EN TELEMÁTICA

Presentado por:
Fernando Jair Parrales García

Guayaquil – Ecuador

2015

AGRADECIMIENTO

A mis padres por su invaluable apoyo, a los ingenieros José Muñoz y Patricia Chávez por ayudarme con sus conocimientos y tiempo, a mi equipo de trabajo en Odebrecht, por su comprensión cuando tuve que ausentarme, a mis amigos y a todos quienes de uno u otro modo colaboraron con la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedicada a Dios por ser mi todo, a mis padres, Gloria y Manuel, por ser mi ejemplo e inspiración, a mi sobrino Mathías por ser mi más grande motivación, a mis hermanos por su apoyo, a mis amigos por ser familia cuando estuve lejos de la mía, a mi abuelo y a mi hermana en el cielo.

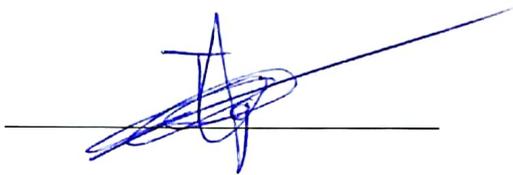
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Dr. Sixto García

SUBDECANO SUBROGANTE

DE LA FIEC



MSIS. Ignacio Marín García

DIRECTOR DEL PROYECTO

DE GRADUACIÓN



MSc. Víctor Asanza

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Fernando Parrales.

Fernando Jair Parrales García

RESUMEN

El presente documento propone la implementación de un nuevo módulo al sistema (ya existente) SmartDust, cuya función es establecer la optimización del uso de fertilizantes en un terreno en base a la medición del pH del mismo.

El primer capítulo describe el problema en general, la necesidad de optimizar el uso de fertilizantes en la agricultura, además muestra los objetivos que tiene este trabajo y los resultados que se esperan. En el capítulo dos se detallan los fundamentos teóricos necesarios para comprender a detalle la aplicación del proyecto. En el siguiente capítulo, se analiza el estado actual del sistema sobre el cual se basa este proyecto y su actual desempeño, así como los sensores específicos a usar para la implementación del nuevo módulo.

El cuarto capítulo presenta la implementación y puesta en marcha del nuevo módulo de mediciones de pH. El quinto capítulo se analiza los resultados obtenidos después de haber realizado las respectivas pruebas de campo de comunicación. Este documento termina presentando las conclusiones derivadas de los resultados obtenidos, y realizando recomendaciones para investigadores que deseen profundizar en este campo de estudio.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍAS	X
GLOSARIO.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
CAPÍTULO 1	
1.ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....	18
1.1. Descripción del problema.....	18
1.2. Justificación.....	20
1.3. Solución propuesta	21
1.4. Objetivos	21
1.5. Metodología.....	23
1.6. Resultados esperados.....	24
CAPÍTULO 2	
2.MARCO TEÓRICO	25

2.1. Agricultura de precisión.....	26
2.2. Fertilizantes en la agricultura.....	29
2.3. SmartDust.....	34
CAPÍTULO 3	
3.SENSORES Y REDES	38
3.1. Red SmartDust	38
3.2. Sensores específicos.....	41
3.3. Actuadores y distribuidores	44
CAPÍTULO 4	
4.DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	46
4.1. Diseño del módulo de medición de PH.....	47
4.2. Diseño de la interfaz gráfica	49
4.3. Implementación electrónica del módulo	51
4.4. Implementación de las librerías de control.....	52
CAPÍTULO 5	
5.PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
5.1. Pruebas de comunicación.....	55
5.2. Pruebas de sensores.....	56
5.3. Pruebas de campo	57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	
Anexo A: Circuito medidor de pH	

Anexo B: Mediciones de las muestras tomadas

Anexo C: Estadística descriptiva de las muestras

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍAS

AC:	Corriente Alterna	Alternating Current
AODV:	Protocolo de Vector Distancia bajo Demanda para redes Ad Hoc	Ad hoc On Demand Distance Vector
CPU:	Unidad Central de Procesos	Central Processing Unit
DC:	Corriente Directa	Direct current
FM:	Frecuencia Modulada	--
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global	Global Position System
I/O:	Entrada/Salida	Input/Output
IP:	Protocolo de Internet	Internet Protocol
pH:	Potencial de Hidrógeno	--
PPC:	Paquete de Control Central	--

PS:	Paquete de Sensores	--
TICS:	Tecnologías de la Información y Comunicación	--
WSN:	Redes de Sensores Inalámbricos	Wireless Sensor Network

GLOSARIO

Actuador: Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.

Fertilidad: es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas

Irrigación: Riego de un terreno

Puerta de enlace: Es el dispositivo que permite interconectar redes con diferentes protocolos y arquitecturas a todos los niveles de comunicación. Su propósito principal es traducir la información del protocolo de la red inicial al protocolo usado en la red destino.

SmartDust: es un sistema de muchos sistemas micro-electromecánicos, como los sensores, robots u otros dispositivos, que pueden detectar, por

ejemplo, la luz, la temperatura, las vibraciones, el magnetismo, o productos químicos. Por lo general, se hacen funcionar en una red informática inalámbrica y se distribuyen sobre un área para llevar a cabo las tareas, por lo general de detección a través de identificación por radio-frecuencia. Sin una antena de mucho mayor tamaño de la gama de pequeños dispositivos de comunicación de polvo inteligente se mide en unos pocos milímetros y que puede ser vulnerable a la incapacidad electromagnética y la destrucción por exposición a las microondas.

Voileo: Al azar arbitrariamente

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Las 3 etapas de la agricultura de precisión	27
Figura 2.2 Aplicación de fertilizantes en el suelo	31
Figura 2.3 Disponibilidad de nutrientes en el suelo vs. PH	32
Figura 2.4 Conformación de una red SmartDust.....	35
Figura 2.5 Arquitectura de una red SmartDust].....	37
Figura 4.1 Módulo de pH presentado en la interfaz web.....	50
Figura 4.2 Pantalla con reporte diario desde la aplicación web	50
Figura 4.3 Módulo de radiofrecuencia.....	52
Figura 4.0.1 Llegada de datos hasta el usuario final.....	53
Figura 5.1 UDP Test TOOLS	55
Figura 5.2 Prueba t-Student para la muestra uno	59
Figura 5.3 Prueba T-Student para la muestra dos	60
Figura 5.4 Prueba T-Student para la muestra tres.....	61
Figura 5.5 Prueba T-Student para la muestra cuatro.....	62
Figura 5.6 Prueba T-Student para la muestra cinco	63
Figura 5.7 Prueba T-Student para la muestra seis	64
Figura 5.8 Prueba T-Student para la muestra siete	65
Figura 5.9 Prueba T-Student para la muestra ocho	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Relación de cultivos y el PH óptimo para su desarrollo	33
Tabla 2 Valores de PH con sus rangos aproximados de voltaje	48
Tabla 3 Valores promedio obtenidos del módulo y de un pH-metro.	57

INTRODUCCIÓN

En Ecuador el uso de abonos orgánicos para los procesos de agricultura es restringido, los agricultores manejan en su mayoría grandes extensiones de cultivo lo que hace que la aplicación de abono natural sea compleja en términos de mano de obra, tiempo y costos, por lo que el común de los dueños de cultivo optan por la aplicación de fertilizantes químicos, puesto que son de más fácil acceso y aplicación. Sin embargo el uso continuo y exclusivo de éstos es más nocivo que beneficioso a largo plazo, el suelo se degrada debido al desequilibrio biológico y el consecuente deterioro de sus propiedades físico-químicas. [1] El uso y aplicación de fertilizantes en nuestro país están basados en experiencias de otros países en los que los resultados han sido sobresalientes, sin embargo en el agricultor ecuatoriano no han tenido los mismos resultados, debido a las condiciones medioambientales, infraestructura, el uso inadecuado de las metodologías de aplicación de fertilizantes. Es por esto que en este proyecto se hizo uso de un Sistema de Riego Inteligente ya existente para la optimización del uso de fertilizantes basado en sensores Inalámbricos.

En este proyecto se implementó un módulo nuevo al Sistema SmartDust, la función de dicho modulo es la medición del PH debido a que este es uno de

los principales indicadores al momento de concluir la fertilidad del suelo, se trabajó con la interfaz gráfica del proyecto ya mencionado para agregar el modulo que haga posible la visualización de la información medida respecto a la aplicación de fertilizantes.

Para justificar la aplicabilidad del sistema en la agricultura de nuestro país se realizaron pruebas en ambientes controlados, obteniendo resultados consistentes con los esperados, lo que indica que el sistema es aplicable y fiable al momento de decidir acerca del uso de fertilizantes en un determinado terreno, siendo así se obtuvo finalmente un Sistema de Riego Inteligente más completo donde no solo se puede concluir el riego en función de factores ambientales externos para optimizar los recursos hídricos al momento del riego sino también hacer uso correcto y recomendable de fertilizantes a través del nuevo módulo de PH implementado.

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Es de gran importancia cuidar el medio ambiente y los recursos que este nos provee, el uso de fertilizantes químicos en los procesos de cultivo como forma de mejorar la producción de los mismos, ocasiona a largo plazo daño al suelo, éste se ve afectado por el desgaste de sus propiedades. El desconocimiento de técnicas apropiadas y la aplicación empírica de fertilizantes ocasiona no solo afectación al medio sino el consumo de recursos económicos, de tiempo y esfuerzo al agricultor ecuatoriano.

1.1. Descripción del problema

El uso de fertilizantes es de considerable importancia en la realización de un óptimo proceso agrícola. El suelo después de varios procesos de cosechas no logra recuperarse de forma eficiente para recobrar los nutrientes necesarios y continuar albergando procesos de cultivo

eficientemente, sin embargo el uso indiscriminado de fertilizantes puede producir daños a los cultivos y más importante aún puede ser perjudicial para las personas o animales. El planteamiento de una técnica que enfoque el uso adecuado de fertilizantes, determina los objetivos y justificación de este trabajo.

Los fertilizantes se comenzaron a utilizar cuando los agricultores descubrieron que determinados suelos dejaban de producir rendimientos aceptables si sobre ellos se realizaban cultivos de forma continua, y que al añadir estiércol o residuos vegetales se restauraba la fertilidad., por lo que la aplicación de sustancias que ayuden a la mejor producción y rendimiento de un terreno fue incrementando tanto en importancia como en frecuencias de uso, con el paso del tiempo y el incremento de la población y sus necesidades consigo, el hecho de tener procesos agrícolas que generen mayor eficiencia en cantidad y calidad se hizo necesario, “en los últimos cien años, la población mundial se ha incrementado un 550 por cien, habiendo pasado de 1.000 millones a 6.500 millones en la actualidad, con unas previsiones de que se alcancen entre nueve y diez millones de habitantes en el año 2050”

[2]

Dos son los caminos a tomar para reducir el impacto del aumento de la población en relación a la producción agrícola: Tener superficies de cultivo más amplias, lo cual no es tan sustentable en los países desarrollados donde estas áreas son cada vez más reducidas ó proveer a los suelos fuentes de nutrientes adicionales en formas asimilables por las plantas, para incrementar los rendimientos de los cultivos; ésta última opción es posible mediante la utilización de fertilizantes, con cuya aplicación racional se ha demostrado el gran efecto que ha tenido en el rendimiento de las cosechas, obteniendo a su vez productos con mayor calidad.

“En el Ecuador, las formas más usadas de aplicación de fertilizantes son al voleo y la fertilización localizada directamente en contacto con el suelo donde se va a cultivar” [3], en ambos casos la aplicación de fertilizantes se lo hace de manera empírica, sin tener un control del uso del mismo, lo que muchas veces termina dañando el cultivo y produciendo severos daños al suelo y ecosistema en general.

1.2. Justificación

El reconocimiento de la importante contribución de los fertilizantes en el incremento de las producciones agrícolas, y en consecuencia en la

producción de alimentos, fibras e incluso de energía, es necesario para no bloquear su uso sino más bien tomar medidas para la correcta utilización de los mismos. Siendo el Ecuador un país esencialmente agrícola, su economía se asienta sobre la actividad agraria, por lo que conseguir la mayor eficiencia en el sector productivo resulta imperante para mantenerla estable. Es por esto que los sectores encargados de esta área en el país están invirtiendo en técnicas y guías de fertilización para poder darles un correcto y óptimo uso [4]

1.3. Solución propuesta

Este trabajo busca contribuir con innovación y tecnología al sector agrícola de tal manera que las técnicas de utilización de los fertilizantes en la agricultura sean empleadas de manera más eficiente; apoyando también a la conservación del medio ambiente a través de la implementación de un módulo que realice mediciones de PH en el suelo, parámetro bajo el cual se pueda concluir la fertilidad del mismo, todo esto basado en el Sistema SmartDust

1.4. Objetivos

El objetivo general de este proyecto es implementar las mediciones de parámetros que permitan definir las necesidades de fertilizantes en

áreas específicas de un terreno usando sensores y módulos de radiofrecuencia para la transmisión de información en un Sistema de Riego Inteligente.

Los objetivos específicos son diseñar e implementar un sub-sistema que permita extraer parámetros en un terreno, tales como el pH, de tal manera que se pueda concluir el grado de necesidad de fertilizante del mismo, utilizar la arquitectura del Sistema de Riego SmartDust para implementar un subsistema que permita receptar vía radiofrecuencia, los datos recolectados por los sensores para que sean enviados a un servidor externo para su posterior manejo, utilizar el subsistema de procesamiento de información del Sistema de Riego SmartDust para que una vez que se hayan receptado los datos obtenidos a través de los sub-sistemas anteriores, se determine la necesidad de fertilizantes en un terreno para su correcta distribución en el cultivo sobre el cual está llevando el control, realizar pruebas de campo, para analizar la eficacia de la nueva implementación en el Sistema SmartDust inicial, así como la viabilidad de ésta sobre otras técnicas preexistentes y los posibles beneficios obtenidos por su implementación.

1.5. Metodología

En la realización de este proyecto se usará como base el Sistema de Riego SmartDust por lo que al igual que en él se usarán sensores para recolectar valores de indicadores en áreas específicas de un terreno para a partir de ellos dar conclusiones sobre el uso de fertilizantes y así obtener resultados óptimos en el proceso de cultivo. El presente proyecto, busca poder dar información al agricultor acerca de la proporción de fertilizante a utilizar y así evitar excesos que afectarían la economía del agricultor y podrían causar daños al cultivo y al ecosistema, todo esto tratando de mantener costos bajos e, para que pueda ser de fácil acceso a los agricultores.

En primera instancia se analizará por completo el estado y funcionamiento del Sistema SmartDust, para a partir de ello concluir la pertinencia de la instalación del nuevo módulo, después de aquello programar el dispositivo encargado de la medición del PH del suelo. Se acoplará el módulo al sistema, cuyos resultados se mostrarán vía interfaz gráfica realizando aportes al código ya existente. Se realizarán pruebas de medición de PH usando el sistema SmartDust las cuales de ser posibles serán contrastadas con pruebas usando aparatos de laboratorio, para así mostrar la eficiencia de los resultados obtenidos a partir de lo realizado.

1.6. Resultados esperados

Con este trabajo se pretende dar un aporte tecnológico a la agricultura pues es una actividad muy realizada en nuestro país que representa en parte la base de la economía. Se espera que la cosecha del producto evaluada con el Sistema sea óptima a fin de que las decisiones que se tomen respecto al uso de fertilizantes hayan sido las adecuadas con la información proporcionada en el sistema. Se contrastará de ser posible los resultados obtenidos con pruebas de laboratorio, lo cual nos ayudará a establecer de mejor manera las conclusiones.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se detallan con precisión y claridad los conceptos y definiciones necesarios para la correcta comprensión del presente proyecto., se menciona la importancia y el surgimiento de la agricultura de precisión como herramienta para optimizar los procesos de cultivo así como su creciente aplicación en el medio local y general, se menciona a detalle la importancia del uso de fertilizantes en la agricultura, los tipos de fertilizantes según sus características, la actual forma de aplicación de los mismos y la propuesta de mejora planteada en este proyecto respecto a la aplicación en los cultivos, finalmente se analiza el diseño electrónico del circuito planteado y sus características.

2.1. Agricultura de precisión

El concepto sobre el que se basa la agricultura de precisión es la aplicación correcta de insumos a un terreno en la proporción correcta, en el lugar exacto y en el momento adecuado. Es el uso de las tecnologías de comunicación e información (TICS) para adecuar un terreno en función de la variabilidad que éste presenta en todos sus indicadores. [5]

Por ejemplo la humedad, temperatura del suelo, tipo y dosis de fertilizantes son indicadores que pueden ser optimizados con el uso de la tecnología y así ayudar a mejorar los márgenes de rendimiento (cantidad y calidad), reducir los insumos o ambos simultáneamente.

El correcto uso de la tecnología en la agricultura ayuda a definir prácticas agrícolas orientadas a sustituir la recomendación habitual de insumos con base en valores promedio, como ocurre en la agricultura; tradicional; por una más precisa, con manejo localizado, que considera las variaciones del rendimiento en toda el área. [6]

Por lo general, un proceso agrícola basado en agricultura de precisión está definido en tres diferentes etapas, tal como se puede apreciar en la Figura 2.1, la primera de ellas es básicamente la recolección de

información e ingreso de datos, en la segunda etapa ya se analiza, interpreta y procesa dicha información para en la tercera etapa realizar la aplicación diferencial de insumos de acuerdo al análisis previo.

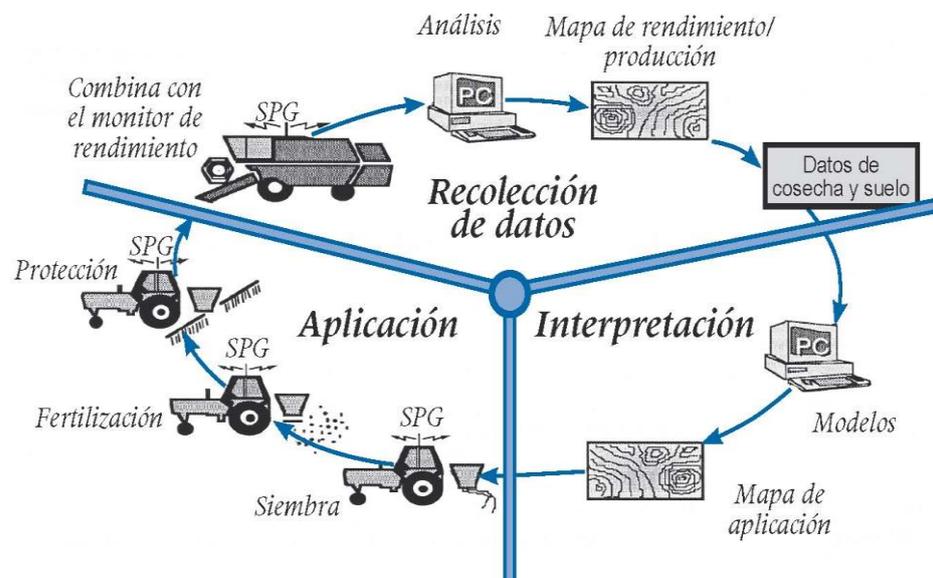


Figura 2.1 Las 3 etapas de la agricultura de precisión [6]

La agricultura de precisión actualmente hace uso de muchas herramientas disponibles dentro del área tecnológica de las comunicaciones, tales como: GPS, monitores de rendimiento y siembra, sensores, telemetría, etc. Los objetivos principales de este nuevo enfoque a la agricultura tradicional son entre otros facilitar la obtención de datos que permitan conocer de forma más verídica la variabilidad de las condiciones del terreno, ofrecer lo que el cultivo necesita en el momento adecuado y en cantidades óptimas, reducir el enfoque tradicional por uno más certero que tome en cuenta todos los

indicadores que afectan un correcto y recomendable proceso de cultivo, entre otros.

Como todo nuevo concepto se consideran ventajas y desventajas en su aplicación, los cuales se deben considerar al momento de establecer un criterio para el uso del mismo.

Entre las ventajas tenemos: Mayor aprovechamiento de todos los insumos (agua, fertilizantes, etc.) y mano de obra, alerta temprana de problemas, aumento de la productividad y rentabilidad, reducción de contaminantes y por lo tanto protección al medio ambiente. En contraste, algunas desventajas que se pueden citar son: acceso a la información limitada (especialmente en zonas rurales), opciones limitadas en cuanto a la tecnología, necesidad de tiempo para implementar el proceso de la manera más competente.

Actualmente existen métodos poco complejos y económicos para aplicar TICS que pueden ser desarrollados y aprovechados en la agricultura, los cuales resultan, en comparación con los tradicionales más factibles de utilizar sin poseer elevados presupuestos ni grandes plantaciones. [7]

Lo que persigue esta nueva tendencia es cambiar el hecho de percibir el terreno y el proceso agrícola de la misma manera como se lo hacía décadas atrás, para incluir tecnología que permita realizar un trabajo más rentable, preciso, más fácil de manejar.

En el Ecuador, siendo un país cuya economía está basada en gran parte en el área agrícola, la agricultura de precisión cada vez tiene más importancia y desarrollo, entre otras razones por las exigencias de los mercados nacionales e internacionales de exigir mejoras en la calidad, producción y precio de los productos [8]

2.2. Fertilizantes en la agricultura

Por definición un fertilizante en agricultura es una mezcla o sustancia natural o sintética, utilizada para mejorar el rendimiento y productividad del suelo. [9]

Existen fertilizantes orgánicos, como el estiércol, y fertilizantes inorgánicos o minerales, que se utilizan para suministrar al suelo nitrógeno, potasio y calcio en forma de sales. Los fertilizantes pueden

clasificarse de distintas formas de acuerdo a su origen, su composición, su estado y los usos a los que están destinados.

Según su origen los fertilizantes pueden ser orgánicos o inorgánicos: Los orgánicos pueden ser de origen vegetal o animal, proporcionan nitrógeno orgánico, su efectividad y rapidez dependerá del terreno, lo inorgánicos pueden ser naturales o sintéticos pero independientemente de su tipo se descomponen con rapidez y son absorbidos por el suelo. Se aplican normalmente a la superficie del suelo.

Según su composición pueden ser simples o compuestos: Los simples están formados por un solo ingrediente activo, contienen un solo nutriente vegetal básico, los compuestos están formados por la mezcla de ingredientes activos, generalmente contienen los 3 nutrientes vegetales básicos (Nitrógeno, Fósforo y Potasio)

Según su estado pueden ser sólidos o líquidos: los sólidos pueden presentarse en polvo o granulados, se esparcen sobre la superficie del suelo manualmente o con ayuda de equipos, los líquidos se los puede aplicar directamente sobre las plantas o mediante un sistema de riego.

Así mismo la forma de aplicación de los fertilizantes es diversa, puede ser: Al suelo, al follaje o con el agua de riego. La aplicación de fertilizantes en el suelo se la puede realizar tanto al voleo aplicando el fertilizante a toda el área que va a ocupar el cultivo o localizadas en la que se aplica el fertilizante a un área específica del cultivo generalmente a aquella que será interceptada por las raíces.

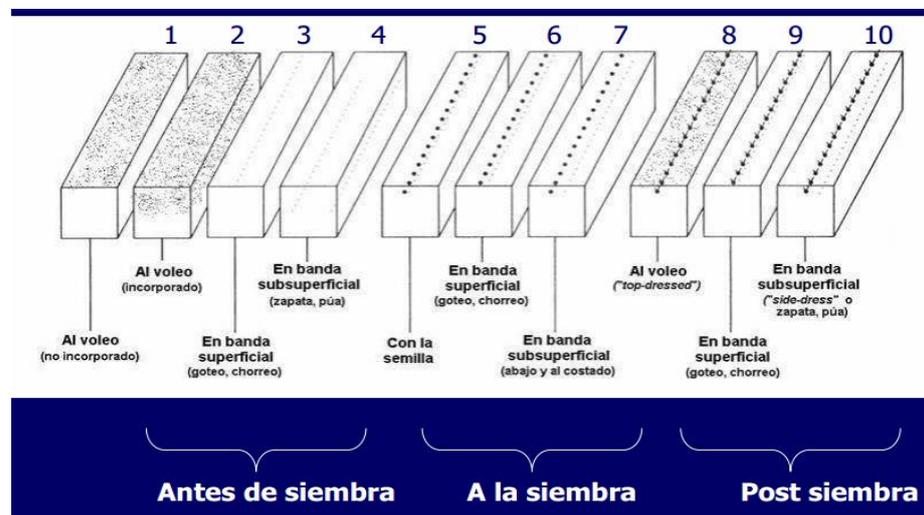


Figura 2.2 Aplicación de fertilizantes en el suelo

La aplicación de los fertilizantes en un terreno se da de acuerdo a las características que posee el mismo así como a la necesidad de nutrientes que este requiera, el acceso a éstos está relacionado a un sinnúmero de factores entre los cuales podemos incluir: temperatura, humedad, niveles de materia orgánica, propiedades químicas del suelo,

etc. Entre las propiedades químicas, destaca el PH que en general define la medida de acidez de una sustancia/mezcla, en este caso del suelo.

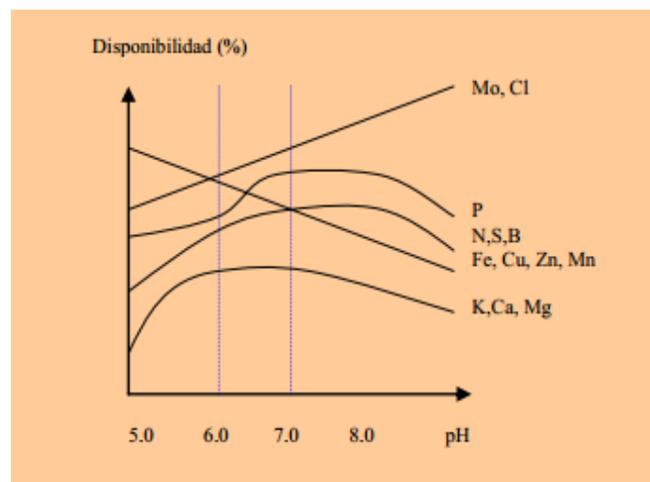


Figura 2.3 Disponibilidad de nutrientes en el suelo vs. PH [10]

En este campo el PH es considerado como “una propiedad con influencia directa en los procesos químicos, biológicos y en la disponibilidad de nutrientes del suelo” [10] tal como podemos ver en la Figura 2.3, por lo que es conocido que a través de su medición en el suelo, podemos tener un criterio sobre la fertilidad de un terreno previamente y durante el cultivo. Idealmente el PH que debería tener el suelo debería estar en el rango de 6-7 (bajo técnicas de fertirrigación) [10], pero cada especie y variedad tiene un rango en el que se desarrolla mejor, como podemos ver en la Tabla 1.

Tabla 1 Relación de cultivos y el PH óptimo para su desarrollo [11]

Cultivo	Rango de PH	Cultivo	Rango de PH
Alfalfa	6.2 -7.8	Espárragos	6.2 – 7.8
Col	5.5 – 7.2	Zanahoria	5.7 – 7
Melón	5.6 – 7.3	Pimiento	5.2 – 6.8
Tomate	5.2 – 6.7	Maíz	6.0 – 7.0
Papa	5.0 – 7.0	Cebolla	6.0 – 7.4
Manzana	5-2 – 6-8	Arvejas	6.0 – 7.5
Arroz	5.0 – 6.5	Piña	6.0 – 7.5

Los suelos más recomendables para el cultivo son idealmente neutros, en la práctica se recomienda que el suelo sea lo menos ácido posible debido a la que suelos ácidos aumentan la cantidad de aluminio en el suelo y disminuyen la actividad microbial. Si un suelo es ácido ($\text{PH} < 6$) es necesario reducir esta acidez antes de comenzar un proceso de agricultura, esta reducción normalmente se la realiza usando cal, la cual reacciona intensamente cuando es puesta en contacto con el suelo [11]

2.3. SmartDust

Los Sistemas de Riego Inteligente, también conocidos como Sistemas SmartDust son una red inalámbrica de minúsculos sensores (WSN) o dispositivos que pueden detectar señales de luz, temperatura, humedad, etc. Cuando este conjunto de sensores están juntos, las redes que se crean pueden resultar bastante flexibles y de baja potencia, cuyos usos pueden ser en sistemas de control del clima hasta sistemas de entretenimiento. El nombre de SmartDust o “polvo inteligente” se lo da debido a que se busca que los elementos que conforman este tipo de redes lleguen a ser del orden de los milímetros o incluso de los micrómetros. Aplicado a la agricultura un sistema SmartDust es una red de sensores cuya esencia es optimizar el proceso de producción y siembra/cosecha en un cultivo.

Una red SmartDust típicamente está constituida por una unidad de sensores que envía los datos mediante comunicación inalámbrica a una unidad de procesamiento, esto representa lo que en la red se conoce como módulo de almacenamiento que a su vez debe estar directamente vinculado con un módulo de energía, tal como se puede apreciar en la Figura 2.4.



Figura 2.4 Conformación de una red SmartDust

Entre las características más importantes de este tipo de red podemos mencionar: Uso de elementos autónomos, conexión inalámbrica, restricciones de memoria y procesamiento, bajo consumo de energía, obtención de datos del entorno, entre otros.

Este tipo de red con el avance del tiempo y tecnologías tiene un sinnúmero de aplicaciones y en diferentes campos tales como mediciones periódicas (humedad temperatura), detección de eventos particulares tales como alarmas, prevención, aplicaciones de seguridad y seguimiento de ruta, etc.,

Las redes SmartDust trabajan normalmente con sensores inalámbricos los cuales unidos en red ayudan a la realización de aplicaciones antes impensables. Las redes que forman ellos son redes sin administración

central ni una estructura física preestablecida. La arquitectura de una red SmartDust está conformada por dispositivos conocidos como sensores o nodos limitados por su tiempo de vida que es proporcionado por la forma en cómo se energice el sistema, estos dispositivos ubicados en el área a monitorear permiten el procesamiento y comunicación de la información vía inalámbrica. Dentro de la arquitectura de este tipo de redes un nodo como tal está conformado por el sensor que representa aquel dispositivo que toma mediciones de algún parámetro para el cual fue confeccionado y responde a los cambios de dicho parámetro, el procesador, generalmente microprocesadores o microcontroladores, es aquel que debe interpretar y procesar los datos y guardarlos en la memoria que posee para que sea enviados a una estación base mediante algún dispositivo o tecnología de comunicación. Una vez que la información ha sido recolectada y procesada por cada nodo, ésta es enviada hacia afuera de la red por medio de un Gateway para que sea almacenada temporalmente y trasladada a un servidor y a una interfaz donde los datos podrán ser analizados por un usuario final, la figura 2.6 esquematiza las relaciones mencionadas entre las diferentes partes de la arquitectura de las redes SmartDust.

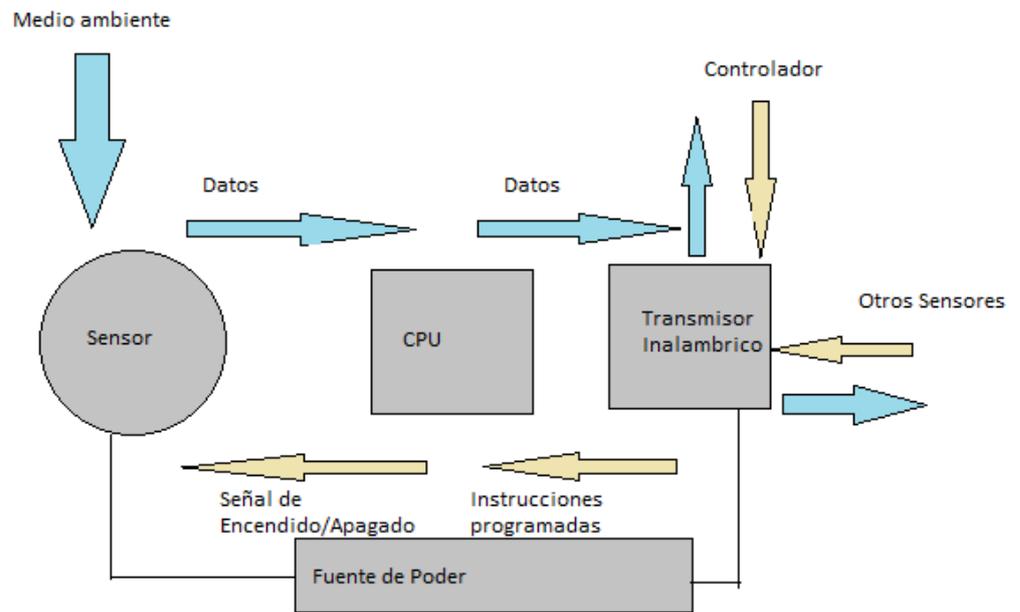


Figura 2.5 Arquitectura de una red SmartDust

CAPÍTULO 3

3. SENSORES Y REDES

El crecimiento de la tecnología y su campo de aplicación ha ayudado a desarrollar técnicas, métodos, aparatos que permiten optimizar hoy en día casi cualquier tipo de procesos, en este caso la aplicación de sensores inalámbricos, tecnología de radiofrecuencia, dispositivos inalámbricos, etc., ha permitido el desarrollo del Sistema SmartDust o “polvo inteligente”, basado en minúsculos sensores que permiten en conjunto tener grandes ventajas y mejores en los procesos mencionados. Este capítulo analiza las redes SmartDust y sus componentes.

3.1. Red SmartDust

El presente proyecto es basado en un Sistema de Riego Inteligente que utiliza la tecnología SmartDust previamente elaborado y comprobado,

el cual en esencia consiste en la realización de una red que mediante los sensores instalados realiza mediciones de humedad y temperatura a fin de proveer las instrucciones optimas a seguir por un agricultor para realizar un correcto proceso de agricultura basado en la correcta utilización de los recursos hídricos.

El “Sistema de Riego Inteligente basado en sensores y módulos de radiofrecuencia” sobre el cual se sustenta este proyecto cuenta ya con sensores, procesadores, nodos, todos funcionales por lo que el presente trabajo consiste en la implementación de un nuevo módulo que será el encargado de la medición de otro indicador a fin de optimizar aún más el proceso de agricultura. El nuevo indicador realiza mediciones del PH del suelo, el cual es considerado un factor importante a la hora de la determinación de la necesidad de fertilizantes de un terreno.

La red a utilizar es una Red de Sensores Inalámbricos del tipo ad-hoc debido a su capacidad de retransmitir paquetes, ya que se necesita pasar información a través de nodos intermedios, sin embargo esta aplicación del tipo de red se la hizo utilizando un protocolo en particular, el protocolo AODV debido a su característica la cual de acuerdo a su

definición es del tipo reactivo (busca la ruta cuando es necesario), lo cual ayuda con el asunto de energía en la red. [12]. La red, tal como muestra la Figura 3.1, está conformada por un paquete de sensores y un paquete de control, conformadas por 3 subsistemas cada uno.

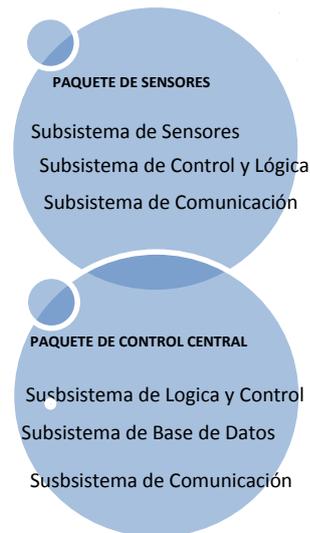


Figura 3.1 Subsistemas de paquete de sensores y control [12]

Adicional al hardware, el “Sistema de Riego Inteligente” implementado actualmente cuenta con una interfaz gráfica alojada en un servidor para mayor disponibilidad del sistema, dicha aplicación es una interfaz amigable con el usuario en la cual se muestra la información que es de interés para el usuario final, reportes y gráficos de las mediciones, programación de horarios, etc. A la mencionada interfaz fue añadida una nueva ventana que muestra la información recolectada por el nuevo módulo respecto a las mediciones de PH que finalmente generan

información acerca de la necesidad de fertilizantes del terreno al cual se está analizando.

3.2. Sensores específicos

El objetivo principal de este proyecto es la implementación de un nuevo módulo para la medición de PH para el “Sistema de Riego Inteligente basado en Sensores y módulos de radiofrecuencia” actualmente funcional. El circuito para la medición de PH es un circuito netamente electrónico basado en Amplificadores Operacionales y un microprocesador que en la arquitectura planteada y con la calibración correcta realiza mediciones fiables de la medida de acidez del suelo, con lo cual se podrá realizar conclusiones útiles respecto al uso de fertilizantes para el cultivo.

El sensor de medición de PH se lo implementa en base a un circuito electrónico que está conformado por un Amplificador Operacional TL081 y varias resistencias e interruptores necesarios para la calibración que en conjunto resultan como un eficiente medidor del pH, adicional al circuito mencionado, el sensor consta de una punta de prueba para ser introducida en el suelo, la cual hace las veces de conductor para pasar la señal al circuito y que éste la procese. Sabiendo

que un pH-metro no es más que un voltímetro preciso que mide el campo electromagnético alrededor del electrodo de pH, este circuito hará las veces de un voltímetro de gran precisión. Es necesario implementarlo de esta manera y no usando un voltímetro convencional debido a que el electrodo de pH tiene normalmente una resistencia interna alta, entre 10-100 M Ω , por lo que los convencionales no servirían pues necesitaríamos un voltímetro con al menos 100 veces más resistencia interna lo cual no es sencillo de conseguir comercialmente.

Debido a lo complejo de encontrar un voltímetro de tan alta precisión, el circuito medidor de pH, servirá, debido a su alta ganancia y resistencia de entrada, de interfaz entre el electrodo de PH y un voltímetro convencional, ya que éste circuito permitirá amplificar la señal a tal punto que pueda ser útil y fiable para el análisis requerido.

Para las mediciones de pH se puede ajustar de pH 0 a pH 12 para su uso con electrodos de carbono generalmente. Con la referencia correctamente ajustada, la salida en voltios será el pH real de la solución. Teóricamente la precisión es de aproximadamente 0,05 unidades de pH cuando se calibra correctamente. [13]

Para nuestro caso el pH-metro propuesto es calibrado mediante repetidas mediciones con un pH-metro convencional a fin de establecer la relación entre los voltajes medidos y los niveles de acidez de las muestras.

Voltímetro

Un voltímetro es un dispositivo utilizado para medir diferencia de potencial o voltaje entre dos puntos en un circuito eléctrico o electrónico [14]. Algunos voltímetros sirven para realizar mediciones en circuitos de Corriente Directa (DC), o alterna (AC), incluso los más especializados son utilizados para medir radio frecuencia (RF).

Electrodo de PH

Un electrodo es un conductor utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, ya sea este un semiconductor, un electrolito, el vacío (en una válvula termoiónica), un gas (en una lámpara de neón), etc. [15]

En varias aplicaciones de la industria y la investigación es necesario controlar de forma permanente el valor pH mediante electrodos. Los

electrodos de pH convierten el valor de pH medido en un voltaje proporcional que puede ser amplificado, para mejorar la precisión, y leído con herramientas convencionales como OPAMS y voltímetros. Debido a que los electrodos de pH se pueden usar en diferentes aplicaciones, se necesitan electrodos de pH con diferentes características. Los criterios más importantes de los electrodos de pH son el contenido de sólidos del medio, la presión del sistema, así como el grado de suciedad del medio, entre otros.

3.3. Actuadores y distribuidores

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o hacer “actuar” otro dispositivo mecánico [16]. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico).

En nuestro caso particular el actuador será el mismo que en el Sistema de Riego Inteligente sobre el cual se basa este proyecto, una electroválvula conectada a la parte final del nodo que es la que permitirá la irrigación del cultivo, en este caso la aplicación del fertilizante sobre el terreno.

Los nodos estarán conformados tal cual estuvieron en el sistema original, cada nodo está formado por un sensor de temperatura ambiental y humedad relativa del suelo, adicional el sensor medidor de pH, este conjunto de sensores permite que el nodo interactúe en forma directa con las condiciones climáticas del cultivo, un módulo de radiofrecuencia por el cual los nodos envían y reciben los datos recolectados por los sensores hacia y desde el controlador central, los cuales a su vez pasan la información a la base de datos la cual la procesa y presenta la usuario final como la información que es de interés para él.

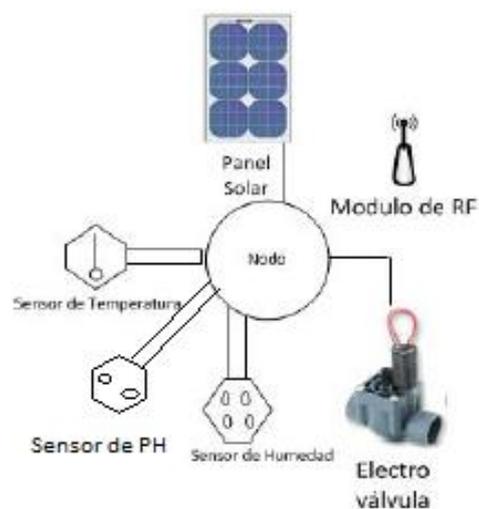


Figura 3.7 Nodo del Sistema de Riego Inteligente, adaptado sensor de PH [12]

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Para el diseño del módulo de medición de PH se tomaron en cuenta varios factores entre ellos el costo, el tamaño, la escalabilidad del mismo, la aplicabilidad, con respecto al proyecto SmartDust original, que el prototipo sea adaptable al sistema de nodos actualmente funcional, así mismo que sea adaptable a cualquier campo de acción. El módulo de medición de pH respecto al sistema original es amigable, físicamente es un pequeño circuito tal como lo han sido los otros sensores, añadiendo a éste una punta de prueba que es el medio mediante el cual es tomado el valor de voltaje previo el procesamiento en el circuito.

El funcionamiento del módulo es sencillo, se toman datos directamente del suelo con el electrodo conectado al circuito, el valor tomado es un valor de voltaje que es amplificado a través del circuito medidor de pH tal como muestra

el anexo A, una vez tomado dicho valor, el valor medido es transferido mediante radiofrecuencia al nodo controlador y desde aquí es pasado a la aplicación web mediante Ethernet, la aplicación, basándose en la tabla de pH guardada en la base de datos, realiza una conversión del valor medido en voltaje a un valor de pH y a partir de este valor se establece una conclusión respecto al uso de fertilizantes en el suelo., esta información es mostrada mediante una interfaz sencilla, amigable con el usuario.

4.1. Diseño del módulo de medición de PH

Para el diseño del módulo se utilizó un sensor de pH con un electrodo de carbono, el sensor es un dispositivo electrónico sencillo que usa un Amplificador Operación y un conjunto de resistencias, siendo el valor de pH reflejado como un valor de voltaje, el circuito no es más que un voltímetro de alta precisión, el cual toma el valor de voltaje medido por la punta de prueba y lo amplifica para tener mejor precisión, dicho valor de voltaje toma un valor correspondiente de pH de acuerdo a la calibración previa que se hizo de los valores, de acuerdo a la Tabla 2 La calibración del sensor fue realizando continuas mediciones con él y las correspondientes con un pH-metro de laboratorio a la misma muestra de tal manera que se pudo establecer para cada valor de PH un rango estimado de valores de voltaje.

Tabla 2 Valores de PH con sus rangos aproximados de voltaje [17]

PH	Voltaje [mV]
De 1 a 1,99	Superior a 300
De 2 a 2,9	De 300 a 220
De 3 a 3,9	De 250 a 200
De 4 a 4,9	De 200 a 125
De 5 a 5,9	De 125 a 80
De 6 a 6,9	De 80 a 10
De 7 a 7,9	De 10 a -10
De 8 a 8,9	De -10 a -80
De 9 a 9,9	De -80 a -130
De 10 a 10,9	De -130 a -200
De 11 a 11,9	De -200 a -250
De 12 a 12,9	De -250 a -300
De 13 a 13,9	De -300 a -350
14	Inferior a -350

Los valores obtenidos como salida del circuito amplificador son enviados al nodo, éste a su vez toma el valor medido y lo envía a través del módulo de radiofrecuencia al nodo controlador, el cual toma el valor y lo pasa al computador para ser procesado por la base de datos y finalmente presentado al usuario final a través de la interfaz gráfica, ya

no únicamente como valor de pH sino también con la conclusión respecto al uso de fertilizantes.

4.2. Diseño de la interfaz gráfica

Los valores obtenidos como salida del circuito amplificador son tomados por el nodo y a su vez pasados al controlador que enviará los datos al computador para ser procesados y presentados en la interfaz gráfica. La aplicación web es en esencia la misma que se usó en el proyecto sobre el cual está basado este trabajo.

Adicional a los parámetros ya establecidos en la aplicación web original, se programó un nuevo módulo para presentar los valores de pH del suelo medidos por el sensor y pasados a través del controlador, tal como lo muestra la figura 4.1, con las mismas funcionalidades que los otros dos indicadores.



Figura 4.1 Módulo de pH presentado en la interfaz web

De igual forma como lo hacen las otras variables en la aplicación web, es posible generar un reporte de los valores tomados de las muestras durante un día, lo cual se puede ver en la figura 4.2. En general la interfaz que se manejaba para dar información acerca de los otros indicadores es ahora también usada para generar la información del pH del suelo, con lo cual se podrá tener una idea clara de la fertilidad del mismo.



Figura 4.2 Pantalla con reporte diario desde la aplicación web

4.3. Implementación electrónica del módulo

Para la implementación del módulo se usó un sensor analógico de pH, el cual toma los datos a través de un electrodo de carbono, el sensor está basado principalmente por Amplificadores Operacionales. Siendo un pH-metro un equipo que hace las veces de voltímetro, los amplificadores operacionales trabajan con la señal tomada desde el electrodo amplificándola para mejorar su precisión, el sensor de pH es alimentado con una batería de 9 voltios, la salida de este sensor es un valor analógico de voltaje que mediante calibración refleja el valor correspondiente de pH medido. A partir de este punto la comunicación desde el nodo hasta el controlador se da mediante comunicación por radiofrecuencia.

Se define a la comunicación por radiofrecuencia (RF) como el envío y recepción de datos entre sistemas cuyo medio de comunicación es el espectro radioeléctrico. Con características muy importantes entre las cuales destacan su facilidad de desplazamiento y reubicación, con lo que se evita la necesidad de establecer un cableado; además de su facilidad y rapidez en la instalación. El valor de voltaje medido es enviado mediante radiofrecuencia al nodo controlador, a través de

módulos de radiofrecuencia como los mostrados en la figura 4.3, éstos están ubicados en el lado del nodo y en el lado del controlador y permiten la comunicación inalámbrica entre ambos componentes, estos módulos de radiofrecuencia trabajan sobre los 433MHz y poseen un alcance de hasta 1 **Kilometro**, sin embargo lo ideal es trabajar bajo menores distancias , puesto que de no ser así la señal se atenuará y la tasa de error respecto a los datos medidos originalmente crecerá, no por errores en la medición del sensor sino más bien por errores en la transmisión.

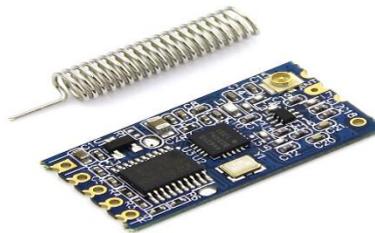


Figura 4.3 Módulo de radiofrecuencia

4.4. Implementación de las librerías de control

El algoritmo usado para las librerías de control fue tomar el valor reflejado por el circuito amplificador de voltaje, y que dichos valores sean tomados por el arduino para que este a su vez a través del módulo de comunicación inalámbrica que posee pueda pasar los datos al

computador los cuales serán tomados por la aplicación para ser comparados con la tabla de referencias que se posee en la base de datos, el valor de voltaje toma su correspondiente valor de pH y con dicho valor y haciendo una segunda comparación ya con el valor de pH obtenido y su correspondiente sugerencia en términos de la fertilidad del terreno, se puede establecer una conclusión respecto al uso de fertilizantes en dicho terreno.

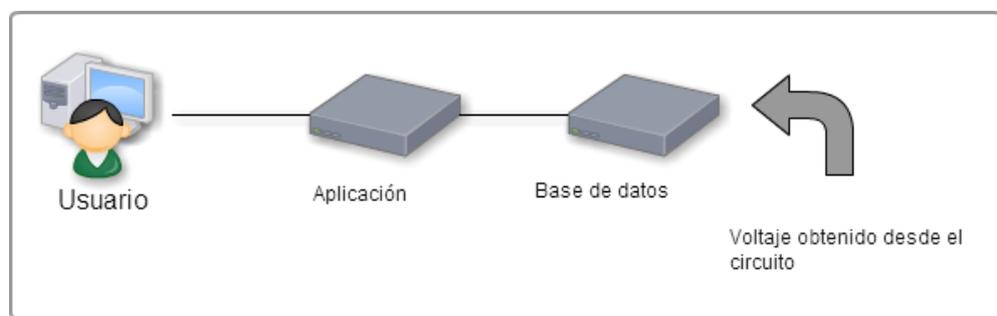


Figura 4.4. Flujo de datos

El sistema de la base de datos es el mismo que se usó en el sistema SmartDust original, compuesto por dos elementos, el primero la base de datos donde se almacena la información que viene desde el módulo y la segunda parte es la interfaz de procesamiento y análisis de datos, donde los usuarios registrados pueden tener administración del sistema en cuanto a los nodos.

CAPÍTULO 5

5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se analizan las pruebas de funcionamiento realizadas en el sistema, así como los análisis estadísticos realizados sobre los resultados para verificar la veracidad y confiabilidad de los mismos. Las pruebas iniciales fueron las pruebas de comunicación, usando el software UDP Test Tools para verificar el envío y recepción de los datos, posteriormente se explican las pruebas realizadas con el sensor de pH y finalmente se realiza un análisis estadístico respecto a los datos medidos con el sensor de pH y los medidos con un pH-metro convencional usando una distribución T-Student para saber si existen diferencias estadísticamente significativas para estos valores.

5.1. Pruebas de comunicación

Las pruebas de comunicación se realizaron de dos formas localmente probando el envío – recepción de los datos desde el nodo hasta el controlador, esta prueba se la hizo haciendo uso de la herramienta UDP Test Tool, cuya interfaz se muestra en la figura 5.1. Para la realización de este tipo de pruebas se enviaron tramas desde el computador hasta el controlador y desde el controlador al nodo, a una distancia de hasta 50 metros las pruebas resultaron cien por ciento efectivas, la distancia puede ser aún más variable sin embargo esta fue la distancia máxima a la que fueron sometidos los datos pero hay que tener en cuenta que de acuerdo a las especificaciones de los módulos de radiofrecuencia, esta distancia pudiera ser hasta de un kilómetro.

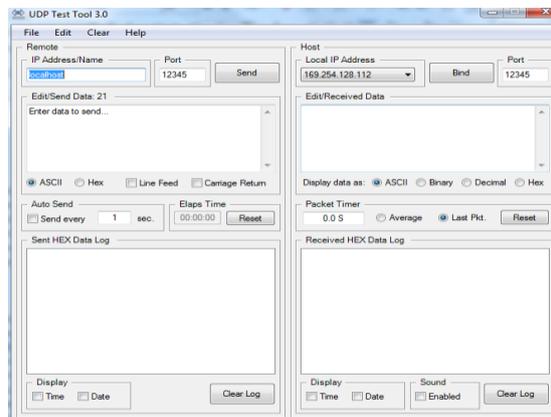


Figura 5.1 UDP Test TOOLS

5.2. Pruebas de sensores

Las pruebas de sensores consistieron básicamente en medir el rendimiento y la fiabilidad del sensor de pH. Para esto se realizaron continuas mediciones en las diferentes muestras, comparando los valores obtenidos con el dispositivo con los obtenidos con un pH-metro convencional. En casi todas las mediciones los valores obtenidos fueron ligeramente cercanos, sin embargo tal como se puede ver en las tablas del anexo B en algunas mediciones aleatoriamente el valor obtenido con el dispositivo difería considerablemente al registrado por el pH-metro. A pesar de aquello al realizar la estadística descriptiva de los datos la diferencia no fue estadísticamente significativa, por lo que el rendimiento y confiabilidad del sensor de pH fue válida.

Se realizaron 160 mediciones continuas con ocho grupos diferentes de muestras, incluso los valores que considerados atípicos fueron considerados al momento de establecer una conclusión respecto a la similitud de los datos respecto a los de un aparato convencional, el detalle de las pruebas estadísticas es mostrado en la sección 5.3 de las Pruebas de campo.

5.3. Pruebas de campo

Estas pruebas se centraron en el funcionamiento del módulo en un ambiente real, se tomaron 8 muestras de suelo para realizar las mediciones de PH, para establecer la validez de los datos recolectados en paralelo se establecieron mediciones con pH-metro de laboratorio, para poder realizar con ambas muestras un análisis estadístico y establecer con ello la validez de las conclusiones que se tomen con respecto a los datos experimentales. Los valores promedio obtenidos con el módulo en las ocho situaciones así como los obtenidos con el instrumento de laboratorio son mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3 Valores promedio obtenidos del módulo y de un pH-metro.

Muestra	módulo de PH	pH-metro
1	5,71	5,64
2	5,99	6,03
3	5,65	5,66
4	6,87	6,70
5	7,69	7,71
6	7,64	7,66
7	8,21	8,19
8	8,18	8,23

Conociendo que estadísticamente la prueba T-Student de dos muestras se puede utilizar para comprar los valores promedio entre dos grupos y establecer si existe o no una diferencia significativa entre ellos, se realizaron las pruebas de normalidad y posteriormente de hipótesis para los valores medidos. El Anexo C nos detalla la información de las muestras tomadas así como la estadística básica descriptiva aplicada a los datos, la cual fue obtenida usando el software de análisis estadístico Minitab.

Prueba de hipótesis para las muestra uno, una vez realizada la prueba de normalidad a los datos de la muestra, tanto para las del dispositivos como para las del pH-metro convencional, se procedió a realizar la prueba T, para lo cual se planteó como hipótesis nula que la diferencia entre las medias de las muestras tomadas desde el modulo y las medias de las muestras tomadas con el pH-metro era igual a cero, y la hipótesis alternativa que dicha diferencia era diferente de cero. Con un nivel de significancia de 0,05 se obtuvieron los datos mostrados en la figura 5.1, en este caso el valor p resulto 0,422, por lo que la hipótesis nula es aceptada y se puede concluir que no existe diferencia significativa entre los datos tomados con el módulo de pH y los tomados con el PH-metro convencional.

IC y Prueba T pareada: C1. C2

T pareada para C1 - C2

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
C1	20	5,7150	0,1089	0,0244
C2	20	5,6400	0,4031	0,0901
Diferencia	20	0,0750	0,4089	0,0914

IC de 95% para la diferencia media: (-0,1164. 0,2664)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. ≠ 0): Valor T = 0,82 Valor p = 0,422

Figura 5.2 Prueba t-Student para la muestra uno

Prueba de hipótesis para las muestra dos, una vez realizada la prueba de normalidad a los datos de la muestra, tanto para las del dispositivos como para las del pH-metro convencional, se procedió a realizar la prueba T, para lo cual se planteó como hipótesis nula que la diferencia entre las medias de las muestras tomadas desde el modulo y las medias de las muestras tomadas con el pH-metro era igual a cero, y la hipótesis alternativa que dicha diferencia era diferente de cero. Con un nivel de significancia de 0,05 se obtuvieron los datos mostrados en la figura 5.2, en este caso el valor p resulto 0,189 por lo que la hipótesis nula es aceptada y se puede concluir que no existe diferencia significativa entre los datos tomados con el módulo de pH y los tomados con el PH-metro convencional.

IC y Prueba T pareada: C3. C4

T pareada para C3 - C4

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
C3	20	5,9900	0,1447	0,0324
C4	20	6,0300	0,0979	0,0219
Diferencia	20	-0,0400	0,1314	0,0294

IC de 95% para la diferencia media: (-0,1015. 0,0215)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. \neq 0): Valor T = -1,36 Valor p = 0,189

Figura 5.3 Prueba T-Student para la muestra dos

Prueba de hipótesis para las muestra tres, una vez realizada la prueba de normalidad a los datos de la muestra, tanto para las del dispositivos como para las del pH-metro convencional, se procedió a realizar la prueba T, para lo cual se planteó como hipótesis nula que la diferencia entre las medias de las muestras tomadas desde el modulo y las medias de las muestras tomadas con el pH-metro era igual a cero, y la hipótesis alternativa que dicha diferencia era diferente de cero. Con un nivel de significancia de 0,05 se obtuvieron los datos mostrados en la figura 5.3, en este caso el valor p resulto 0,785 por lo que la hipótesis nula es aceptada y se puede concluir que no existe diferencia significativa entre los datos tomados con el módulo de pH y los tomados con el pH-metro convencional

IC y Prueba T pareada: C5. C6

T pareada para C5 - C6

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
C5	20	5,6500	0,0607	0,0136
C6	20	5,6600	0,1429	0,0320
Diferencia	20	-0,0100	0,1619	0,0362

IC de 95% para la diferencia media: (-0,0858. 0,0658)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. \neq 0): Valor T = -0,28 Valor p = 0,785

Figura 5.4 Prueba T-Student para la muestra tres

Prueba de hipótesis para las muestra cuatro, una vez realizada la prueba de normalidad a los datos de la muestra, tanto para las del dispositivos como para las del pH-metro convencional, se procedió a realizar la prueba T, para lo cual se planteó como hipótesis nula que la diferencia entre las medias de las muestras tomadas desde el modulo y las medias de las muestras tomadas con el pH-metro era igual a cero, y la hipótesis alternativa que dicha diferencia era diferente de cero. Con un nivel de significancia de 0,05 se obtuvieron los datos mostrados en la figura 5.4, en este caso el valor p resulto 0,118 por lo que la hipótesis nula es aceptada y se puede concluir que no existe diferencia significativa entre los datos tomados con el módulo de pH y los tomados con el pH-Metro convencional.

IC y Prueba T pareada: C7. C8

T pareada para C7 - C8

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
C7	20	6,870	0,447	0,100
C8	20	6,705	0,190	0,043
Diferencia	20	0,165	0,451	0,101

IC de 95% para la diferencia media: (-0,046. 0,376)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. ≠ 0): Valor T = 1,64 Valor p = 0,118

Figura 5.5 Prueba T-Student para la muestra cuatro

Prueba de hipótesis para las muestra cinco, una vez realizada la prueba de normalidad a los datos de la muestra, tanto para las del dispositivos como para las del pH-metro convencional, se procedió a realizar la prueba T, para lo cual se planteó como hipótesis nula que la diferencia entre las medias de las muestras tomadas desde el modulo y las medias de las muestras tomadas con el pH-metro era igual a cero, y la hipótesis alternativa que dicha diferencia era diferente de cero. Con un nivel de significancia de 0,05 se obtuvieron los datos mostrados en la figura 5.5, en este caso el valor p resulto 0,764 por lo que la hipótesis nula es aceptada y se puede concluir que no existe diferencia significativa entre los datos tomados con el módulo de pH y los tomados con el pH-metro convencional.

IC y Prueba T pareada: C9. C10

T pareada para C9 - C10

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
C9	20	7,6950	0,1276	0,0285
C10	20	7,7100	0,2532	0,0566
Diferencia	20	-0,0150	0,2207	0,0494

IC de 95% para la diferencia media: (-0,1183. 0,0883)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. \neq 0): Valor T = -0,30 Valor p = 0,764

Figura 5.6 Prueba T-Student para la muestra cinco

Prueba de hipótesis para las muestra seis, una vez realizada la prueba de normalidad a los datos de la muestra, tanto para las del dispositivos como para las del pH-metro convencional, se procedió a realizar la prueba T, para lo cual se planteó como hipótesis nula que la diferencia entre las medias de las muestras tomadas desde el modulo y las medias de las muestras tomadas con el pH-metro era igual a cero, y la hipótesis alternativa que dicha diferencia era diferente de cero. Con un nivel de significancia de 0,05 se obtuvieron los datos mostrados en la figura 5.6, en este caso el valor p resulto 0,624 por lo que la hipótesis nula es aceptada y se puede concluir que no existe diferencia significativa entre los datos tomados con el módulo de pH y los tomados

IC y Prueba T pareada: C11. C12

T pareada para C11 - C12

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
C11	20	7,6400	0,1667	0,0373
C12	20	7,6600	0,0883	0,0197
Diferencia	20	-0,0200	0,1795	0,0401

IC de 95% para la diferencia media: (-0,1040. 0,0640)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. ≠ 0): Valor T = -0,50 Valor p = 0,624

Figura 5.7 Prueba T-Student para la muestra seis

Prueba de hipótesis para las muestra siete, una vez realizada la prueba de normalidad a los datos de la muestra, tanto para las del dispositivos como para las del pH-metro convencional, se procedió a realizar la prueba T, para lo cual se planteó como hipótesis nula que la diferencia entre las medias de las muestras tomadas desde el modulo y las medias de las muestras tomadas con el pH-metro era igual a cero, y la hipótesis alternativa que dicha diferencia era diferente de cero. Con un nivel de significancia de 0,05 se obtuvieron los datos mostrados en la figura 5.7, en este caso el valor p resulto 0,746 por lo que la hipótesis nula es aceptada y se puede concluir que no existe diferencia significativa entre los datos tomados con el módulo de pH y los tomados

IC y Prueba T pareada: C13. C14

T pareada para C13 - C14

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
C13	20	8,2150	0,2231	0,0499
C14	20	8,1950	0,2114	0,0473
Diferencia	20	0,0200	0,2726	0,0610

IC de 95% para la diferencia media: (-0,1076. 0,1476)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. \neq 0): Valor T = 0,33 Valor p = 0,746

Figura 5.8 Prueba T-Student para la muestra siete

Prueba de hipótesis para las muestra ocho, una vez realizada la prueba de normalidad a los datos de la muestra, tanto para las del dispositivos como para las del pH-metro convencional, se procedió a realizar la prueba T, para lo cual se planteó como hipótesis nula que la diferencia entre las medias de las muestras tomadas desde el modulo y las medias de las muestras tomadas con el pH-metro era igual a cero, y la hipótesis alternativa que dicha diferencia era diferente de cero. Con un nivel de significancia de 0,05 se obtuvieron los datos mostrados en la figura 5.8, en este caso el valor p resulto 0,330 por lo que la hipótesis nula es aceptada y se puede concluir que no existe diferencia significativa entre los datos tomados con el módulo de pH y los tomados

con el pH-metro convencional.

IC y Prueba T pareada: C15. C16

T pareada para C15 - C16

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
C15	20	8,1800	0,1281	0,0287
C16	20	8,2300	0,2130	0,0476
Diferencia	20	-0,0500	0,2236	0,0500

IC de 95% para la diferencia media: (-0,1547. 0,0547)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. \neq 0): Valor T = -1,00 Valor p = 0,330

Figura 5.9 Prueba T-Student para la muestra ocho

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

1. Con las pruebas de sensores y de campo se logró determinar la confiabilidad del circuito medidor de pH, siendo los valores tomados con este sensor en comparación con los medidos con un pH-metro de laboratorio estadísticamente iguales, el usuario podrá tomar decisiones respecto al uso de fertilizantes en un terreno de manera eficaz y segura con este sistema pero esta vez sin afectar el medio ambiente y no desperdiciando recursos.
2. El nuevo módulo ingresado al Sistema de Riego inteligente no es costoso, es hecho con elementos electrónicos comunes, por lo que es accesible implementarlo para lograr una visión más completa del proceso de agricultura

Recomendaciones:

1. Para futuras implementaciones y mejoras del sistema se recomienda realizar más pruebas con los módulos de radiofrecuencia a fin de poder establecer una comunicación por esta vía entre el nodo y el controlador.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Fogel, Cambio climático y alteraciones ambientales, Paraguay: CLACSO-CROP, 2012.

- [2] A. H. Boerma, El estado mundial de la agricultura y la alimentación, Roma, 1988.

- [3] B. O. Milton, «<http://es.scribd.com/doc/73515901/Guia-de-Fertilizacion-Del-Ecuador>,» 2012. [En línea]. [Último acceso: 5 Febrero 2015].

- [4] G. Maldonado, «La reforma agraria del Ecuador,» 1999. [En línea]. [Último acceso: 23 01 2015].

- [5] J. Thsirschley, «<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw5s.pdf>,» 01 26 2006. [En línea]. [Último acceso: 23 01 2015].

- [6] H. Zuñiga, Agricultura de precisión, Lima, 2007.

- [7] Anónimo, «Manual para problemas sobre la agricultura,» [En línea]. Disponible: http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSPContentServer/WDSP/IB/2013/03/14/000333037_20130314135837. [Último acceso: 01 02 2015].
- [8] Agrodata, 23 01 2008. [En línea]. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/w5800s/w5800s12.htm>. [Último acceso: 01 05 2015].
- [9] «Infojardin,» 13 7 2006. [En línea]. Disponible: <http://www.infojardin.net/glosario/fermentacion/fertilizante.htm>. [Último acceso: 6 3 2015].
- [10] E. Rivero, «Infortambo,» 3 5 200. [En línea]. Disponible: <http://www.infortambo.com/admin>. [Último acceso: 25 01 2015].
- [11] M. Vasquez, «Engormix,» 05 08 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.engormix.com/MA-agricultura/articulos/perdida-nutrientes-basicos-sus-t6312/p0.htm>. [Último acceso: 12 02 2015].
- [12] A. Muñoz y V. Calero, «Diseño e Implementación de un Sistema de Riego Inteligente basado en Sensores y Módulos de Radio

Frecuencia para Transmisión y Sistema de Control,» Guayaquil, 2014.

- [13] P. Monk, «ph-meter,» 2009. [En línea]. Disponible: <http://www.ph-meter.info/pH-meter-construction>. [Último acceso: 12 02 2015].

- [14] Anonimo, «Electricidad y un poco más,» 05 06 2014. [En línea]. Disponible: <http://blog.espol.edu.ec/crielectric/acerca-de-mi/>. [Último acceso: 12 03 2015].

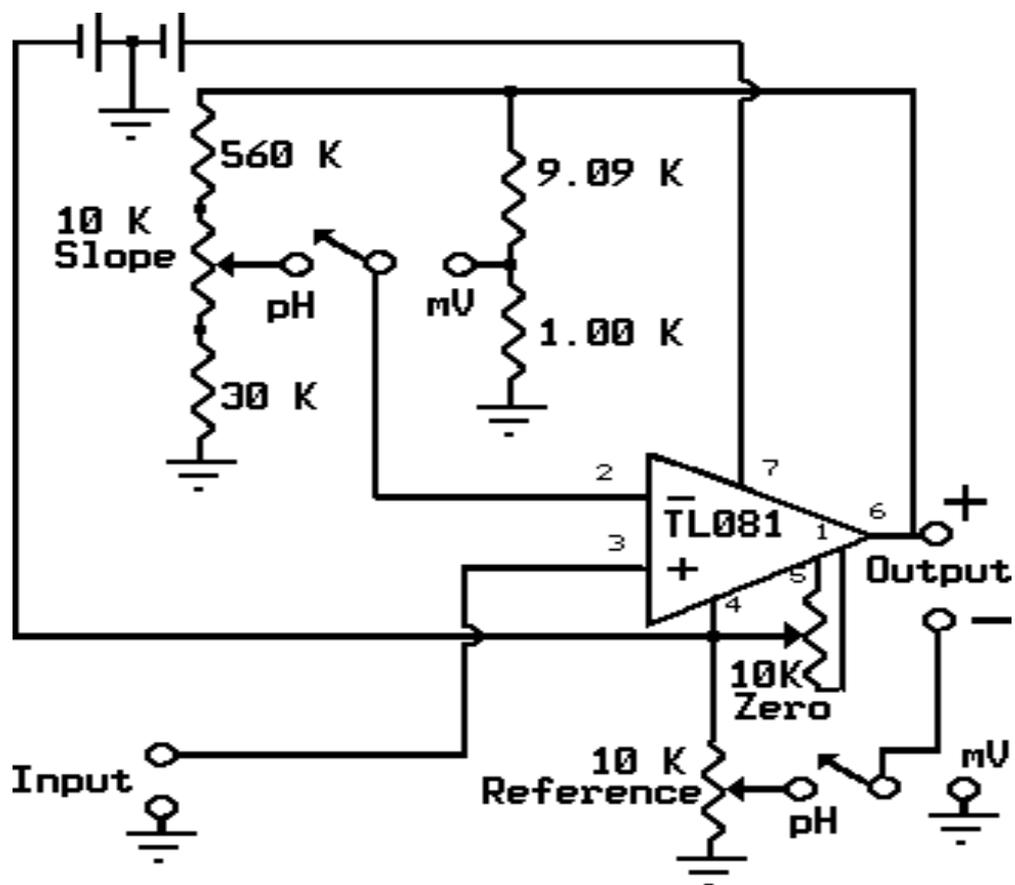
- [15] M. Hernández, «Electrodo de dióxido de carbono,» 08 2014. [En línea]. Disponible: http://es.mt.com/es/es/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/pH/sensor_electrode/Ion_electrodes_family_page/Carbon_Dioxide_Electrode.html. [Último acceso: 2 12 2014].

- [16] E. Vildósola, «Actuadores,» 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>. [Último acceso: 24 03 2015].

- [17] P. De Olarte, «Building a ph-meter,» 7 05 2013. [En línea]. Disponible: http://www.66pacific.com/ph/simplest_ph.aspx. [Último acceso: 12 04 2015].

ANEXOS

Anexo A: Circuito medidor de pH



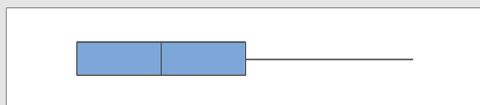
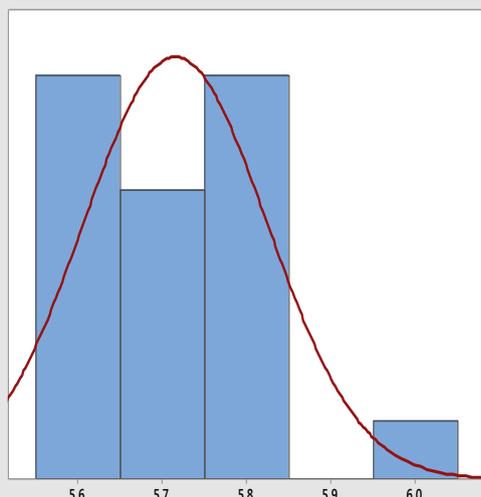
Anexo B: Mediciones de las muestras tomadas

Muestra 1	PH-metro	Muestra 2	PH-metro2	Muestra 3	PH-metro3	Muestra 4	PH-metro4
5,8	5,6	6,3	6,1	5,2	5,7	7,3	6,5
5,7	6,6	6	6,1	5,2	6,1	7,3	6,5
5,7	5,7	6	6,1	5,2	6	7,3	6,6
5,6	6,1	6	6,2	5,2	5,9	7,3	6,6
5,8	5,7	6	6,2	5,3	6	7,2	6,6
5,6	5,3	5,8	6,2	5,2	6,1	7,3	6,6
5,6	5,4	6	6	5,2	6,1	7,2	6,6
5,6	5,1	5,9	6	5,2	6,1	6,9	6,5
6	5,1	6	6	5	6	6,9	6,5
5,8	6	6	6,2	5	5,7	7,1	6,5
5,8	5,7	5,8	6,1	5	5,7	7,1	6,6
5,8	5,4	5,8	6,1	5	5,6	7,1	6,7
5,7	5,5	5,8	6,1	5	5,7	7	6,5
5,8	5,7	5,8	6,1	5,1	6	7	6,6
5,7	6	5,6	6,2	5,1	6	7	6,6
5,8	6	5,7	6,2	5,1	6	7	6,6
5,6	5,1	5,8	6	5	6	7	6,7
5,6	5,1	5,8	6	5,1	6	7	6,5
5,7	6	5,8	6	5	5,7	7	6,5
5,6	5,7	5,8	6,1	5	6	7	6,6

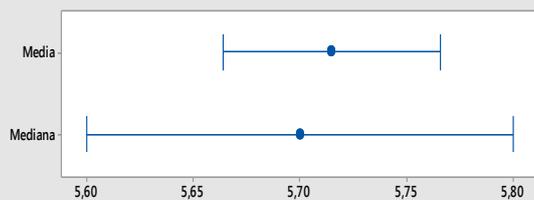
Muestra 5	PH- metro5	Muestra 6	PH- metro6	Muestra 7	PH- metro7	Muestra 8	PH- metro8
7,8	8	7,5	8,2	8,2	8	8,4	8
7,8	8,1	7,5	7,7	8,2	8,1	8,4	8,3
7,8	8,1	7,5	7,7	8,3	8	8,4	8,3
7,8	8	7,6	7,6	8,3	8,3	8	8,3
7,8	8,2	7,6	7,7	8,3	8,2	8,1	8,2
7,5	8,2	7,6	7,6	8,3	8,3	8,2	8,2
7,5	8,2	7,5	7,6	8,2	8	8	8,1
7,5	8,3	7,6	7,6	8,2	8,1	8,1	8
7,6	8	7,6	7,8	8,2	8	8,1	8
7,6	8	7,6	7,7	8,3	7,8	8,2	8
7,6	8	7,5	7,7	8,2	7,8	8,1	8
7,6	8	7,5	7,8	8,2	8	8,1	8,2
7,6	8,1	7,5	7,5	8,2	8	8,1	8,2
7,6	8,1	7,4	7,6	8,2	7,9	8,1	8,2
7,5	7,9	7,5	7,6	8,4	8	8,1	8
7,6	7,9	7,5	7,6	8	8	8,1	8
7,5	7,9	7,4	7,7	8	8	8	8
7,6	8	7,5	7,8	8	8	8	8
7,6	8	7,4	7,7	8	7,9	8	8
7,6	8	7,4	7,8	8,1	8,1	8	8

Anexo C: Estadística descriptiva de las muestras

Estadística descriptiva MUESTRA 1



Intervalos de confianza de 95%



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado	1,22
Valor p	<0,005

Media	5,7150
Desv.Est.	0,1089
Varianza	0,0119
Asimetría	0,759164
Curtosis	0,659705
N	20

Mínimo	5,6000
1er cuartil	5,6000
Mediana	5,7000
3er cuartil	5,8000
Máximo	6,0000

Intervalo de confianza de 95% para la media

5,6640	5,7660
--------	--------

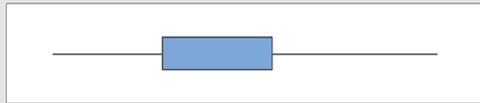
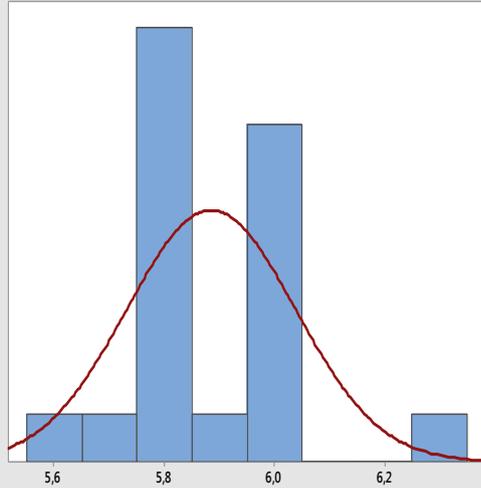
Intervalo de confianza de 95% para la mediana

5,6000	5,8000
--------	--------

Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

0,0828	0,1591
--------	--------

Estadística descriptiva MUESTRA 2



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado 1,31
Valor p <0,005

Media 5,8850
Desv.Est. 0,1531
Varianza 0,0234
Asimetría 0,76740
Curtosis 1,60163
N 20

Mínimo 5,6000
1er cuartil 5,8000
Mediana 5,8000
3er cuartil 6,0000
Máximo 6,3000

Intervalo de confianza de 95% para la media

5,8133 5,9567

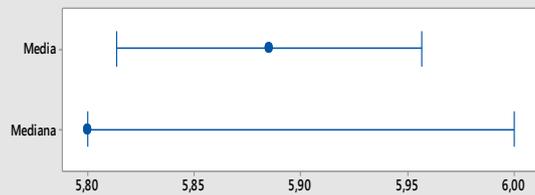
Intervalo de confianza de 95% para la mediana

5,8000 6,0000

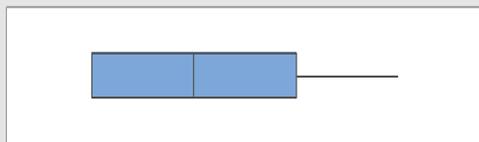
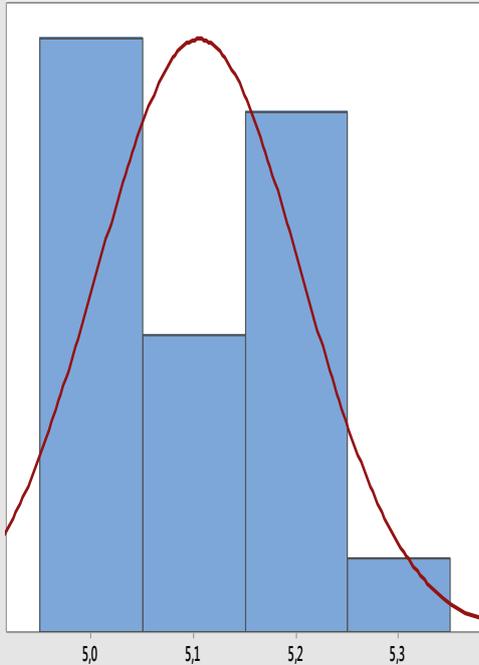
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

0,1165 0,2237

Intervalos de confianza de 95%



Estadística descriptiva MUESTRA 3



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado	1,56
Valor p	<0,005

Media	5,1050
Desv.Est.	0,0999
Varianza	0,0100
Asimetría	0,24394
Curtosis	-1,36896
N	20

Mínimo	5,0000
1er cuartil	5,0000
Mediana	5,1000
3er cuartil	5,2000
Máximo	5,3000

Intervalo de confianza de 95% para la media

5,0583	5,1517
--------	--------

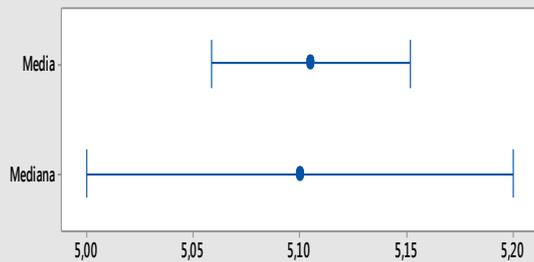
Intervalo de confianza de 95% para la mediana

5,0000	5,2000
--------	--------

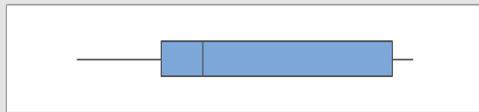
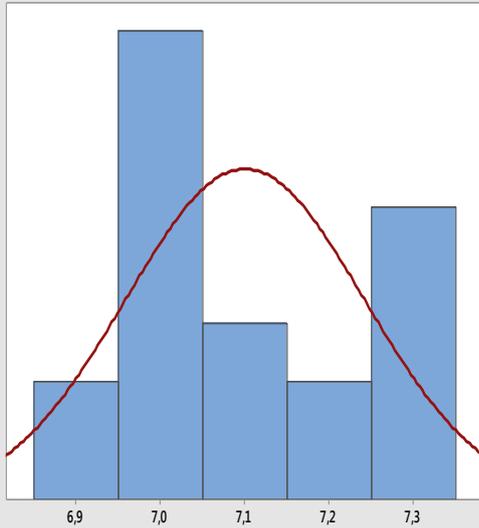
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

0,0759	0,1459
--------	--------

Intervalos de confianza de 95%



Estadística descriptiva MUESTRA 4



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado 1,28
Valor p <0,005

Media 7,1000
Desv.Est. 0,1414
Varianza 0,0200
Asimetría 0,37216
Curtosis -1,33591
N 20

Mínimo 6,9000
1er cuartil 7,0000
Mediana 7,0500
3er cuartil 7,2750
Máximo 7,3000

Intervalo de confianza de 95% para la media

7,0338 7,1662

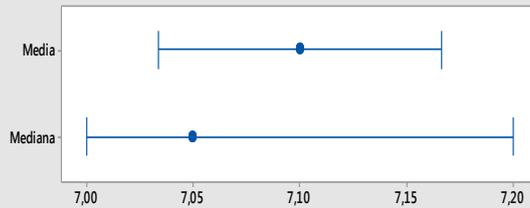
Intervalo de confianza de 95% para la mediana

7,0000 7,2000

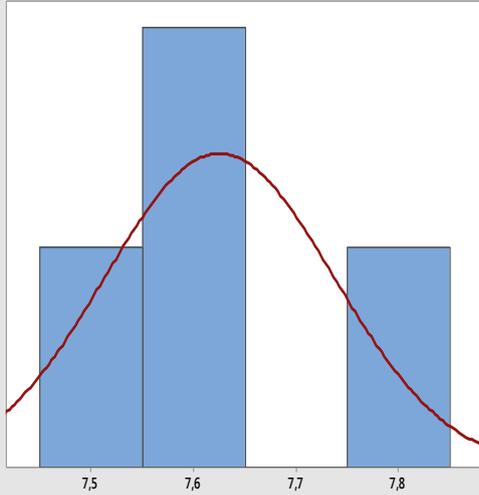
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

0,1075 0,2066

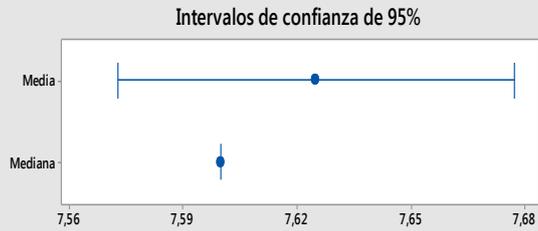
Intervalos de confianza de 95%



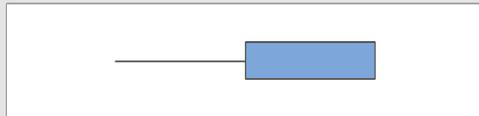
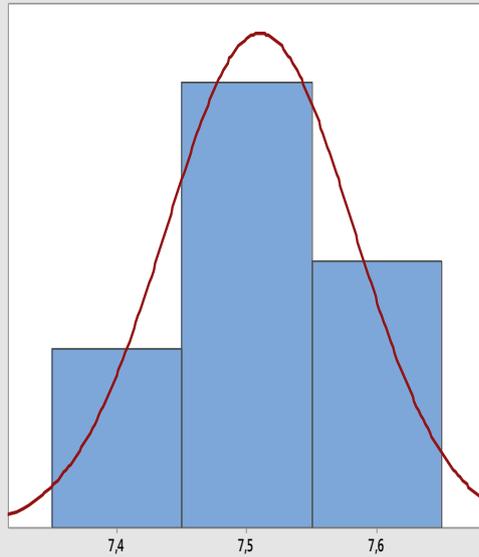
Estadística descriptiva MUESTRA 5



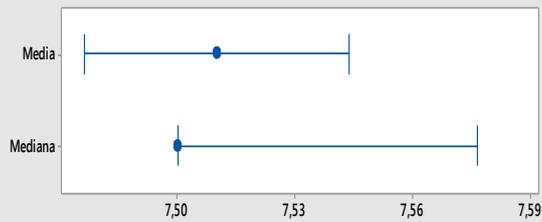
Prueba de normalidad de Anderson-Darling	
A-cuadrado	2,02
Valor p	<0,005
Media	7,6250
Desv.Est.	0,1118
Varianza	0,0125
Asimetría	0,706127
Curtosis	-0,804954
N	20
Mínimo	7,5000
1er cuartil	7,5250
Mediana	7,6000
3er cuartil	7,7500
Máximo	7,8000
Intervalo de confianza de 95% para la media	
7,5727	7,6773
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
7,6000	7,6000
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
0,0850	0,1633



Estadística descriptiva MUESTRA 6



Intervalos de confianza de 95%



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado	1,63
Valor p	<0,005

Media	7,5100
Desv.Est.	0,0718
Varianza	0,0052
Asimetría	-0,151554
Curtosis	-0,879780
N	20

Mínimo	7,4000
1er cuartil	7,5000
Mediana	7,5000
3er cuartil	7,6000
Máximo	7,6000

Intervalo de confianza de 95% para la media

7,4764	7,5436
--------	--------

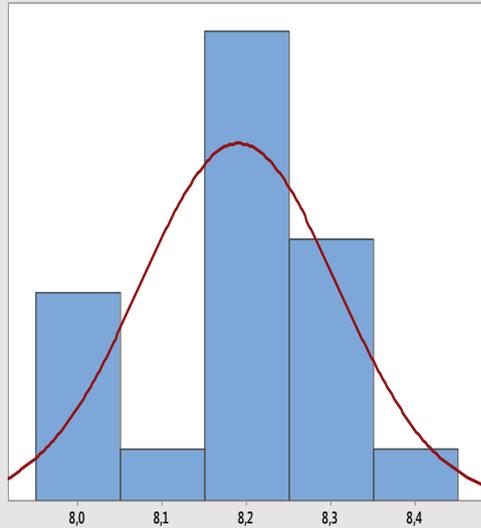
Intervalo de confianza de 95% para la mediana

7,5000	7,5765
--------	--------

Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

0,0546	0,1049
--------	--------

Estadística descriptiva MUESTRA 7



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado 1,28
Valor p <0,005

Media 8,1900
Desv.Est. 0,1165
Varianza 0,0136
Asimetría -0,452362
Curtosis -0,422451
N 20

Mínimo 8,0000
1er cuartil 8,1250
Mediana 8,2000
3er cuartil 8,3000
Máximo 8,4000

Intervalo de confianza de 95% para la media

8,1355 8,2445

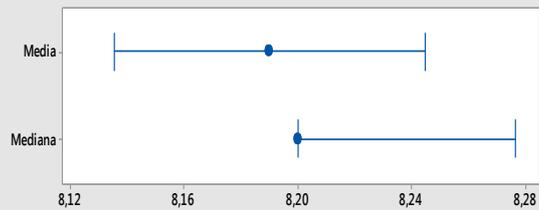
Intervalo de confianza de 95% para la mediana

8,2000 8,2765

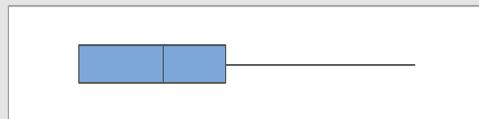
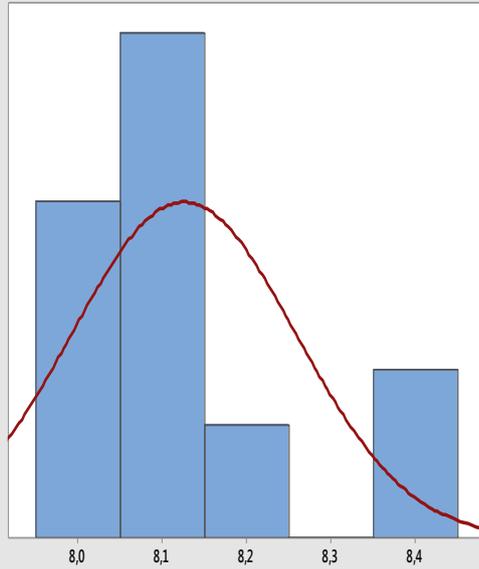
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

0,0886 0,1702

Intervalos de confianza de 95%



Estadística descriptiva MUESTRA 8



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado 1,87
Valor p <0,005

Media 8,1250
Desv.Est. 0,1333
Varianza 0,0178
Asimetría 1,26904
Curtosis 0,73958
N 20

Mínimo 8,0000
1er cuartil 8,0000
Mediana 8,1000
3er cuartil 8,1750
Máximo 8,4000

Intervalo de confianza de 95% para la media

8,0626 8,1874

Intervalo de confianza de 95% para la mediana

8,0235 8,1000

Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

0,1014 0,1947

Intervalos de confianza de 95%

