



Neiva, 4 de abril de 2016

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

John Jamers Serrato Osorio,

con C.C. No. 1075247557,

Liliana Marcela Rubiano García,

con C.C. No. 26422129,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado Titulado **Diseño e implementación de un prototipo funcional para el análisis del color y humedad, para muestras de suelos del laboratorio LABGAA de la Universidad Surcolombiana.**

Presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico.;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

• Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

• Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.



CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2016

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Firma:



GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2016

PÁGINA

1 de 5

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Diseño e implementación de un prototipo funcional para el análisis del color y humedad, para muestras de suelos del laboratorio LABGAA de la Universidad Surcolombiana

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Serrato Osorio	John Jamers
Rubiano García	Liliana Marcela

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Mosquera Cerquera	Vladimir
Torrente Trujillo.	Armando

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Electrónico

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Electrónica



GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2016

PÁGINA

2 de 5

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2016

NÚMERO DE PÁGINAS: 94

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos Ilustraciones en general Grabados
Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones Tablas
o Cuadros

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

Manual de Usuario

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Horizontes del Suelo	Soil Horizons	6. Ácuico	Ácuico
2. Eluviación	Eluviation	7. Método Gravitatorio	Gravity Method
3. Moteos	Moteos		
4. Colores Litocrómicos	Litocromicos Colors		
5. Sistema Computacional	Computational System		

**RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)**

Este trabajo tiene como objetivo el diseño e implementación de un prototipo electrónico que, en función del tipo de suelo, determina los agentes cromógenos del suelo (color) y la cantidad de agua por volumen de suelo que hay en un terreno (humedad).

En el laboratorio de suelos LABGAA de la Universidad Surcolombiana, la determinación de estos parámetros del suelo se lleva a cabo en forma heurística usando el sistema manual Munsell para determinar el color y usando el método gravitatorio para determinar la humedad. Este proyecto surge de la necesidad de precisar y agilizar este proceso. Para esto se requiere el uso de un sensor de humedad y una cámara web que capturan las propiedades de una muestra de suelo seleccionada, para ser procesadas por un sistema electrónico y analizadas por un sistema computacional que, en función del tipo de suelo, genera al usuario un informe de las propiedades cromógenas y humedad del suelo analizado.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The purpose of this project is the design and implementation of an electronic prototype, which will determine the soil chromogenic agents (color) and the amount of water by the field soil volume (moisture).

These soil parameters are determined in the soil laboratory at the Surcolombiana University (LABGAA). It is carried out in a heuristic form using the Munsell manual system for the color determination and a gravitational method for the moisture content on the sample. This project emerges of the need of specifying and speeding up this process. It is required the use of a humidity sensor and a web camera to capture the soil properties in each sample, so, this can be processed by an electronic system and further analyzed by a computer system that generates a report depending on soil type and chromogenic properties.



GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2016

PÁGINA

5 de 5

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: José Saigado Patrón

Firma: _____

Nombre Jurado: Julián Molina Mosquera

Firma: _____

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL PARA EL
ANÁLISIS DEL COLOR Y HUMEDAD, PARA MUESTRAS DE SUELOS DEL
LABORATORIO LABGAA DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

**JOHN JAMERS SERRATO OSORIO
LILIANA MARCELA RUBIANO GARCÍA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero
Electrónico**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA - HUILA
2016**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL PARA EL
ANÁLISIS DEL COLOR Y HUMEDAD, PARA MUESTRAS DE SUELOS DEL
LABORATORIO LABGAA DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

**JOHN JAMERS SERRATO OSORIO
LILIANA MARCELA RUBIANO GARCÍA**

Director

I. E. VLADIMIR MOSQUERA CERQUERA, M. Sc.

Codirector

ARMANDO TORRENTE TRUJILLO, Ph. D.

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA - HUILA**

2016

Nota de aceptación

M. Sc. VLADIMIR MOSQUERA CERQUERA
Director del proyecto

M. Sc. JOSÉ DE JESÚS SALGADO PATRÓN
Jurado

M. Sc. JULIÁN MOLINA MOSQUERA
Jurado

Neiva, 14 de Enero de 1016

DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios, a mis padres, quienes con su esfuerzo y dedicación han hecho de este sueño una realidad, son la fuente de mi progreso y desarrollo como persona y como profesional, su motivación y apoyo incondicional son la raíz fundamental que hoy en día podemos compartir juntos este logro.

Dedico este triunfo a Leidy Laura Garzón dado que es ella quien hace parte fundamental y esencial durante esta etapa de mi vida; aportando el apoyo incondicional y constante haciéndome crecer como persona y como profesional.

John Jamers Serrato Osorio.

Dedico esta tesis con todo mi cariño y aprecio:

A Dios y a la Santísima Virgen por brindarme la vida, llenarme de bendiciones y permitirme lograr este triunfo.

A mis padres por su amor, su apoyo incondicional y darme una carrera para mi futuro. MUCHAS GRACIAS MAMÁ por tus consejos, por tu dedicación, tu paciencia y por tu constante motivación.

A mis hermanos, a mis profesores, a mis amigos y a todas aquellas personas que hicieron posible que alcanzaré esta meta.

Liliana Marcela Rubiano García.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

La **UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA** por brindarnos la formación como ingenieros electrónicos.

Al ingeniero VLADIMIR MOSQUERA, por el apoyo, asesoría y ayuda en el desarrollo de este proyecto.

Al laboratorio LABGA por la prestación de equipos, herramientas y personal especializado.

Al ingeniero ARMANDO TORRENTE por el apoyo, asesoría y colaboración en el desarrollo de este proyecto.

A la ingeniera LEIDY LAURA GARZÓN MUÑOZ por el apoyo, asesoría y colaboración en el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	16
1.1 ANTECEDENTES.....	16
1.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	17
2. MARCO REFERENCIAL	18
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL COLOR DEL SUELO.....	18
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA HUMEDAD DEL SUELO.....	19
3. PLANTEAMIENTO	21
4. DISEÑO	23
4.1 VARIABLE DE COLOR.....	24
4.2 VARIABLE DE HUMEDAD	24
4.3 MÓDULO DE INSTRUMENTACIÓN	24
4.3.1 Aislamiento y acople de impedancias.	24
4.3.2 Filtrado.	24
4.3.3 Amplificación.....	25
4.3.4 Protección.	25
4.3.5 Conversión Analógico - Digital.	25
4.3.6 Protocolo de comunicación.....	25
4.4 MÓDULO DE PROCESAMIENTO Y MODELADO DEL SISTEMA	27
4.4.1 Casos de usos.	27
4.4.2 Clase del sistema.....	33
5. IMPLEMENTACIÓN	38
5.1 VARIABLE DE COLOR.....	38
5.1.1 Espacios de color.....	38
5.1.2 Calibración reconocimiento de color.	39
5.2 VARIABLE DE HUMEDAD	43
5.2.1 Características del Sensor.....	43
5.2.2 Calibración del Sensor.....	45
5.3 MÓDULO DE INSTRUMENTACIÓN	47
5.3.1 Etapa I. Aislamiento y Acople de Impedancias (Seguidor de Tensión).....	47
5.3.2 Etapa II. Filtrado (Filtro Pasa – Bajo o FPB).	48
5.3.3 Etapa III. Amplificación de la señal	50

5.3.4 Etapa IV. Protección.	51
5.3.5 Etapa V. Conversor Analógico – Digital (ADC).	51
5.3.6 Etapa VI. Protocolo de Comunicación.	52
5.4 MÓDULO DE PROCESAMIENTO.....	52
6. RESULTADOS OBTENIDOS.....	54
6.1 PROTOTIPO FINAL.....	54
6.1.1 Tarjeta de circuito impreso.....	54
6.2. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO GUI FINAL.....	59
6.2.1 Procesamiento de imagen.	59
6.2.2 Análisis de humedad.....	65
7. CONCLUSIONES.....	69
8. RECOMENDACIONES.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
ANEXOS.....	74

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Relación entre contenido de óxidos de hierro en el suelo y su color. ...	19
Cuadro 2. Resultados calibración color.....	42
Cuadro 3. Cuadro comparativo de sensores de humedad.....	43
Cuadro 4. Datos calibración relación sensor referencia vs sensor estudio.	45
Cuadro 5. Resultados de las 10 muestras de suelo.....	64
Cuadro 6. Comparación valores de humedad muestra 1.....	66
Cuadro 7. Comparación valores de humedad muestra 2.....	66
Cuadro 8. Comparación valores de humedad muestra 3.....	67
Cuadro 9. Comparación valores de humedad muestra 4.....	67

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama conceptual del prototipo electrónico.	23
Figura 2. Sistema Electrónico para la determinación del Color y la Humedad del suelo.	26
Figura 3. Diagrama de casos de usos.....	29
Figura 4. Diagrama algoritmo matemático.	30
Figura 5. Diagrama de secuencia para el caso inicializar sistema.	31
Figura 6. Diagrama de secuencia para el caso apertura de interfaz de usuario y conexiones externas.	32
Figura 7. Diagrama de secuencia para el caso captura de señales.	32
Figura 8. Diagrama de secuencia para el caso procesamiento de señales.	33
Figura 9. Diagrama de secuencia para el caso aplicaciones.	33
Figura 10. Diagrama de la clase sistema.	34
Figura 11. Diagrama de clase validar conexión.	35
Figura 12. Diagrama de clase imagen.	35
Figura 13. Diagrama de clase humedad.	36
Figura 14. Diagrama de clase algoritmo matemático.	37
Figura 15. Imagen prueba 10YR 6/8.	40
Figura 16. Imagen prueba 7.5YR 4/6.	40
Figura 17. Imagen prueba 2.5YR 5/4.	41
Figura 18. Datos de calibración por cinco sensores corriendo a 70MHz en suelos minerales.	44
Figura 19. Calibración sensor estudio EC-5.....	46
Figura 20. Etapas módulo de instrumentación.	47
Figura 21. Seguidor de Tensión.	47
Figura 22. Etapas Filtro Activo de segundo orden.	48
Figura 23. Diseño Filtro Activo de segundo orden.	48
Figura 24. Amplificador no Inversor.	50
Figura 25. Diodo de protección 1N4148.....	51
Figura 26. PIC18F2550 de la Microchip.	53
Figura 27. Circuito esquemático de la fuente de alimentación hecho en CadSoft EAGLE PCB Desing Software.	55
Figura 28. Circuito esquemático del sistema electrónico hecho en CadSoft EAGLE PCB Desing Software.	56
Figura 29. Circuito PCB de la fuente de alimentación hecho en CadSoft EAGLE PCB Desing Software.	57
Figura 30. Circuito PCB del sistema electrónico hecho en CadSoft EAGLE PCB Desing Software.....	58
Figura 31. GUI Final.....	59
Figura 32. Muestra de suelo 10YR 6/8.....	60

Figura 33. Muestra de suelo 10YR 3/2.....61
Figura 34. Muestra de suelo 5YR 7/3.....61
Figura 35. Muestra de suelo 7.5YR 4/6.....62

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Sensor de color (cámara web).	74
Anexo B. Sensor de humedad.	75
Anexo C. Proceso de determinación de color y humedad del suelo.	76
Anexo D. Manual del usuario	87

GLOSARIO

ADC: analog to digital converter (conversor análogo digital). dispositivo para convertir señales analógicas a señales digitales, con el propósito de facilitar su procesamiento (codificación, compresión, etc.).

AGENTES CROMÓGENOS DEL SUELO: son sustancias coloreadas, finamente divididas y, como consecuencia de ello poseen un fuerte poder de coloración de las restantes partículas a las que se fijan superficialmente.

COLOR: es una percepción visual que se genera en el cerebro de los humanos y otros animales al interpretar las señales nerviosas que le envían los fotoreceptores en la retina del ojo, que a su vez interpretan y distinguen las distintas longitudes de onda que captan de la parte visible del espectro electromagnético.

CPU: central processing unit (unidad central de procesamiento).

GUI: graphical user interface (interfaz gráfica de usuario). es un programa informático que actúa de interfaz de usuario, utilizando un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles en la interfaz.

HUMEDAD DEL SUELO: es la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno.

IDE: integrated development environment (entorno de desarrollo integrado). es una aplicación de software que proporciona servicios integrales para facilitarle al programador el desarrollo de software, es decir, una interfaz y entorno de desarrollo de programación.

PC: personal computer (computador personal).

PIC: peripheral interface controller (controlador de interfaz periférico). familia de microcontroladores tipo RISC.

RISC: reduced instruction set computer (computador con conjunto de instrucciones reducidas) es un tipo de diseño de CPU generalmente utilizado en microprocesadores o microcontroladores.

SENSOR: un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

SISTEMA MUNSELL: el sistema Munsell es una disposición ordenada de colores formada por tres ejes correspondientes al tono o matiz (la longitud de onda dominante del color y la cualidad que lo distingue de los demás), al valor o luminosidad (claridad u oscuridad) y a la saturación (intensidad o pureza).

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo el diseño e implementación de un prototipo electrónico que, en función del tipo de suelo, determina los agentes cromógenos del suelo (color) y la cantidad de agua por volumen de suelo que hay en un terreno (humedad).

En el laboratorio de suelos LABGAA de la Universidad Surcolombiana, la determinación de estos parámetros del suelo se lleva a cabo en forma heurística¹ usando el sistema manual Munsell para determinar el color y usando el método gravitatorio para determinar la humedad. Este proyecto surge de la necesidad de precisar y agilizar este proceso. Para esto se requiere el uso de un sensor de humedad y una cámara web que capturan las propiedades de una muestra de suelo seleccionada, para ser procesadas por un sistema electrónico y analizadas por un sistema computacional que, en función del tipo de suelo, genera al usuario un informe de las propiedades cromógenas y humedad del suelo analizado.

Palabra Claves: *Horizontes del Suelo, Eluviación, Moteos, Colores Litocrómicos, Ácuico, Sistema Computacional, Método Gravitatorio.*

¹ En algunas ciencias, manera de buscar la solución de un problema mediante métodos no

ABSTRACT

The purpose of this project is the design and implementation of an electronic prototype, which will determine the soil chromogenic agents (color) and the amount of water by the field soil volume (moisture).

These soil parameters are determined in the soil laboratory at the Surcolombiana University (LABGAA). It is carried out in a heuristic form using the Munsell manual system for the color determination and a gravitational method for the moisture content on the sample. This project emerges of the need of specifying and speeding up this process. It is required the use of a humidity sensor and a web camera to capture the soil properties in each sample, so, this can be processed by an electronic system and further analyzed by a computer system that generates a report depending on soil type and chromogenic properties.

Key Words: *Soil Horizons, Eluviation, Moteos, Litocromicos Colors, Acuico, Computational System, Gravity Method.*

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

"El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua."² Son las rocas el principal componente para la formación del suelo, junto con plantas y diversidad de seres vivos sobre ellas, pero es necesario del trabajo de agentes climáticos y bióticos para lograr su descomposición. El suelo se compone de varias capas, la más importante y labrada para las actividades humanas es la capa superior y por ende el color más oscuro. Por el color en sus capas se pueden identificar características morfológicas del suelo.

El color es una de las características más importantes para describir el suelo. Los edafólogos³ la utilizan para determinar propiedades tanto físicas y químicas. Otra condición que define la coloración de los suelos es su contenido y estado de los minerales de hierro y manganeso y/o de materia orgánica.

La cantidad de agua que posea el suelo es una de sus características más específicas para hallar o determinar un diagnóstico hídrico significativo y está determinado por su textura (tipo de suelo).

En los laboratorios de suelos se realizan diversos procesos para la determinación de todos estos atributos sumamente importantes para el estudio edáfico. Torrent y Barrón "El color del suelo puede caracterizarse en forma precisa mediante el uso de los espectrofotómetros. Estos equipos registran la cantidad de luz que refleja el suelo en todas las longitudes de onda del espectro visible (entre 400 y 700 nm), produciendo unas curvas de pendiente positiva llamadas curvas de reflectancia espectral. La transformación de los valores de reflectancia del suelo a color se puede hacer mediante procesos matemáticos y/o computacionales."^[4] Para hacer más sencilla y práctica la determinación de color de los suelos, se utiliza una tabla o catálogo que agrupa los colores de forma ordenada de acuerdo a tres parámetros, Matiz, Claridad y Pureza del suelo. Esta tabla se llama "la tabla de colores Munsell". La mecánica trata de tomar una porción de suelo e ir comparando uno a uno los colores de este catálogo Munsell.

² Depósito de Documentos de la FAO. Ecología y Enseñanza Rural. Departamento de Montes. <http://www.fao.org/docrep/006/w1309s/w1309s04.htm>

³ Especialista en el estudio de la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas

^[4]TORRENT, J, y BARRÓN, V. Laboratory measurement of soil color, citado por Jaramillo, Daniel. Introducción a la ciencia del suelo. 2002.120

Para la determinación de la humedad se establece el contenido de agua de una muestra de suelo en términos de porcentaje, ya sea con el peso (contenido gravimétrico) o con el volumen (contenido volumétrico). El método más utilizado para determinar la humedad de los suelos es el gravitatorio y se usa como referencia para poder compararlo con otros sistemas de medición.

Se ha demostrado que, aunque por mucho tiempo se ha trabajado con estas técnicas (sistema Munsell y método gravimétrico), tienden a ser poco fiables y precisas. En la determinación de color se involucran muchas variables como el grado de iluminación que tiene el sitio de trabajo y el grado de agudeza visual que tiene el laboratorista. Por otra parte, para la determinación de la humedad, el proceso es largo y demorado en el caso de determinarlo en un laboratorio y poco preciso si se hace con el método de campo.

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Con la intención de agilizar el proceso para la determinación de estas propiedades se pensó en un sistema que determine el color y la humedad de las muestras de suelo tratadas de forma rápida y precisa, en el laboratorio LABGAA de la Universidad Surcolombiana.

El proyecto presenta un sistema de sensores (sensor de humedad y cámara web) que son los encargados de capturar las señales o variables, para posteriormente ser acondicionadas, procesadas y transmitidas por un sistema electrónico a un sistema computacional donde serán analizados e interpretados, de forma rápida y precisa. El sistema computacional cuenta con una base de datos (muestras patrón) tomadas a partir de la tabla Munsell, se comparan con las muestras de suelo seleccionadas para poder determinar el color exacto de la muestra estudio. El sistema entrega el color de la muestra estudio referenciado en el sistema Munsell, el porcentaje de humedad en función del tipo de suelo; todo esto realizado a través de una IDE de software libre.

2. MARCO REFERENCIAL

El estudio del suelo es fundamental para el desarrollo de actividades agrícolas y pilar en el desarrollo de una economía. Para su estudio y seguimiento, es necesario entender algunos conceptos estipulados y sistemas de determinación de color estándar ya existentes en la comunidad científica los cuales relacionan el color del suelo con los componentes minerales y orgánicos que el presenta.

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL COLOR DEL SUELO

Como se mencionó en el capítulo anterior el color es una de las características morfológicas más evidentes del suelo, este a su vez se relaciona con sus componentes sólidos, se pueden destacar las siguientes.

- Schulze et al "Obtuvieron una relación estrecha e inversa entre el color y el contenido de materia orgánica de los horizontes superiores de suelos ubicados en el mismo paisaje y sin contrastes texturales muy amplios, también encontraron que la fracción orgánica que más influye sobre el color oscuro del suelo es la de los ácidos húmicos. Cuando extrajeron estos ácidos el suelo presentó un mayor cambio en el value, que cuando extrajeron los ácidos fúlvicos."^[5]
- Schwertmann "Encontró varias relaciones entre el contenido de óxidos de hierro en el suelo y su color, como se puede apreciar en la Cuadro 1. Asoció estas relaciones a varios ambientes de evolución de esos suelos."^[6]
- Montenegro y Malagón "los colores oscuros, en suelos con bajo contenido de materia orgánica, pueden indicar la presencia de complejos de materia orgánica con óxidos de hierro, de carbón, de óxidos de manganeso y/o de magnetita. Los colores rojos indican buen drenaje y buena aireación, así como intensas meteorización y evolución, la mayoría de las veces. Los colores grises a blancos pueden mostrar contenidos importantes de cuarzo, caolinita u otras arcillas silicatadas, carbonatos de calcio y/o magnesio,

^[5] SCHULZE, D, et al. Significance of organic matter in determining soil color, citado por Jaramillo , Daniel. Introducción a la ciencia del suelo. 2002.119

^[6] SCHWERTMANN,U. Relations between iron oxides, soil color and soil formation, citado por Jaramillo , Daniel. Introducción a la ciencia del suelo. 2002.119

yeso, sales y/o óxido ferroso y pueden indicar condiciones de mal drenaje."^[7]

Cuadro 1. Relación entre contenido de óxidos de hierro en el suelo y su color.

ÓXIDO FORMULA	COLOR EN EL SUELO	PEDOAMBIENTE	TIPO DE SUELO
Geotita (α -FeOOH)	7.5YR-2.5Y	Donde se presenta meteorización	Todos los que presenten liberación de Fe.
Hematita (α -Fe ₂ O ₃)	7.5R-5YR	Alta temperatura, baja actividad del agua, rápida incorporación de materia orgánica, alta liberación de Fe de las rocas.	Aeróbicos, tropicales y subtropicales en estación seca
Lepidocrocita (γ - FeOOH)	5YR-7.5YR value ≥ 6	Sistemas no calcáreos, redoximórficos	Subgrupos Aquic de zonas subtropicales
Ferrhidrita (Fe ₅ O ₈ 4H ₂ O)	5YR-7.5YR value ≤ 6	Oxidación rápida en ambientes húmicos	Horizontes B espódicos gleizados
Maghemita (γ - Fe ₂ O ₃)	2.5YR-5YR	Usualmente producto de quemas o incendios.	Tropicales y subtropicales

Fuente: Schwertmann (1993).

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA HUMEDAD DEL SUELO

Es necesario detallar las características de los suelos en términos de sus propiedades físicas, para ello se presenta sus distintas composiciones o fases.

En un suelo se distinguen tres fases constituyentes: la sólida, la líquida y la gaseosa. La fase sólida está formada por las partículas minerales del suelo (incluyendo la capa sólida absorbida), la líquida por el agua (libre específicamente), aunque en los suelos pueden existir otros líquidos de menor

^[7]MONTENEGRO, H y MALAGÓN, D. Propiedades físicas de los suelos, citado por Jaramillo, Daniel. Introducción a la ciencia del suelo. 2002.120

significación; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, si bien pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc.).⁸

Como afirma González⁹, en los laboratorios de mecánica suelos son utilizados distintos métodos para determinar el contenido de humedad de estos. El método tradicional, directo y más usado es el gravitatorio, este es utilizado para comparar otros sistemas de estimación de humedad. El método del tacto o de campo es el más sencillo, se toma una pequeña cantidad de suelo en las manos, se aprieta intentando formar una bola, de acuerdo a su comportamiento se clasifica el contenido de humedad. Existen otros métodos para determinar el contenido de humedad como son las sondas, estos dispositivos necesitan calibrarse, pero son muy llamativos porque se pueden obtener resultados al instante.

⁸ RIVASPLATA D, Julio. Mecánica de suelos. Mecánica de suelos, Perú

⁹ GONZALES M, Carlos Alberto. Contenido de Humedad de Agua en el Suelo. R.A.S.P.A Relación Agua, Suelo, Planta, Atmosfera. Santa fe de Bogotá

3. PLANTEAMIENTO

El conjunto de atributos del suelo tienen gran importancia y se relaciona fuertemente con el color, ya que la variación de este se presenta entre los diferentes horizontes y entre las distintas clases de suelos. En consecuencia, cualquier fallo en su determinación conlleva a conclusiones equivocadas respecto a las características que se relacionan con él.

El color del suelo ha sido asociado con otros atributos o condiciones relevantes, entre ellos.

- Grado de evolución del suelo. El color del suelo ha sido utilizado para definir índices de evolución (Buntley y Westin, 1965; Hurst, 1977; Harden, 1982).
- Clasificación de suelos. El color es un atributo utilizado a diferentes niveles de la taxonomía de suelos (Soil Survey Division Staff, 1999), como la definición de horizontes y la identificación del régimen ácuico.
- Contenido de humus y presencia de algunos minerales.
- Potencialidad y productividad del suelo. Relacionado con la materia orgánica, se derivan condiciones de fertilidad, o condiciones restrictivas para el desarrollo de ciertos cultivos, por ejemplo, concentración de sales y mal drenaje.¹⁰

Por tales razones se hace muy importante el estudio de determinación de color de los suelos para todos los edafólogos, este los conlleva a diagnosticar las condiciones ambientales de los suelos como también la presencia de contenidos minerales en los mismos.

Cuando un cuerpo es iluminado, este refleja ciertas longitudes de ondas del espectro visible, estos son percibidos por el cerebro como colores. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, la determinación del color del suelo se ve afectada por varios factores como.

- Cantidad y tipo de luz que cae sobre la muestra de suelo, ya que de ella depende la que se va a reflejar hacia el ojo; el color determinado en campo abierto con luz natural es diferente al que se obtiene bajo la luz de una lámpara fluorescente.

¹⁰ OVALLES, Francisco. El Color del Suelo, definiciones e interpretación, 2003, http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n3/texto/fovalles.htm

- La superficie del suelo que se mira, superficies muy rugosas dispersan ampliamente la luz que reflejan, reduciendo la cantidad de luz que llega al ojo; este efecto es más intenso en la medida en que el ángulo de incidencia de la luz sea directo.
- La humedad de la muestra, a mayor contenido de humedad en la muestra, más oscuro se torna el color.¹¹

Especialistas recomiendan que, para una mayor exactitud o descripción en la determinación de color del suelo, se debe tomar bajo la condición de luz natural y preferiblemente que la muestra este en estado húmedo.

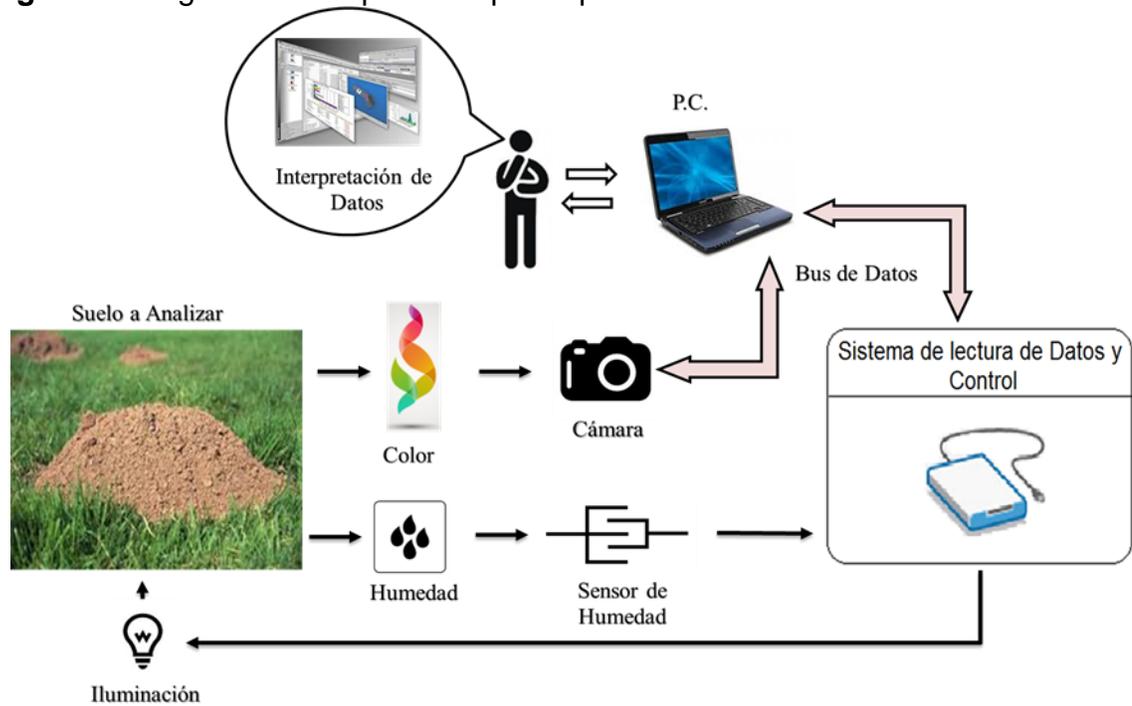
Debido a estas importantes consideraciones, se hace necesario implementar una estructura (escenario) con condiciones de iluminación estables y controladas para cada toma de datos y así tener una mejor determinación del color del suelo, logrando evaluar las diferentes gamas de colores.

¹¹ JARAMILLO, Daniel. Ciencia del Suelo, Medellín, 2002, p.124

4. DISEÑO

Se plantea el diseño de un prototipo electrónico para la determinación del color y la humedad de una muestra de suelo.

Figura 1. Diagrama conceptual del prototipo electrónico.



Fuente: Autores.

Como se puede observar en la Figura 1, se presenta el diagrama conceptual de los componentes principales del sistema, evalúa los diferentes colores de la imagen muestra y los compara con la codificación del sistema *Munsell*, y adicionalmente dependiendo del contenido de agua de la muestra, determina su porcentaje de humedad.

Para el desarrollo del prototipo electrónico se tiene en cuenta el análisis y tratamiento de dos variables de trabajo, el color y la humedad. De esta manera se toman estas variables de proceso, se digitalizan y luego se realiza una interpretación de estas variables para un determinado fin a través de un diseño IDE (*Integrated Development Environment*). Estas variables se trabajan de forma independiente cada una. La variable de color es capturada por una cámara web y se comunica directamente con el computador gracias al protocolo de comunicación USB que traen incorporado. La variable de humedad luego de ser

detectada por el sensor debe de realizársele un procedimiento de adecuación; para ser transmitida y procesada por el computador. Todo lo descrito anteriormente se puede apreciar en la Figura 2.

4.1 VARIABLE DE COLOR

Para la toma de datos de esta variable se hará uso de una cámara web preferiblemente con tecnología Cristal ya que de este depende directamente la nitidez y la saturación de color para tener las mejores imágenes estáticas, con un sensor de color especial para tomas microscópicas, también es vital importancia una conexión USB, su costo y fácil instalación.

4.2 VARIABLE DE HUMEDAD

Para la toma de datos de esta variable se hará uso de un sensor de humedad que no dependa directamente de la textura del suelo, que su intervalo de respuesta sea lo más amplio posible respecto al contenido volumétrico de agua (VWC) como también su fácil instalación, mantenimiento y precio.

4.3 MÓDULO DE INSTRUMENTACIÓN

Este módulo comprende todas las etapas internas del prototipo electrónico. Consiste en tomar señales análogas, convertirlas en señales eléctricas y digitalizarlas de manera que puedan ser procesadas por un computador. Se requiere de un acondicionamiento, adecuación y transformación de la señal.

4.3.1 Aislamiento y acople de impedancias. Se aislará el sensor de los demás sistemas electrónicos, para evitar posibles interferencias en el funcionamiento del mismo, debido a otras actividades o funciones del prototipo, además se debe tener en cuenta un acople de impedancias entre el sensor de humedad y los demás sistemas de tratamiento de la señal para que la demanda de corrientes y voltajes no alteren la respuesta del sensor ante la variable medida.

4.3.2 Filtrado. La señal obtenida se limpiará (filtrará) debido a las posibles interferencias electromagnéticas en el medio, como también a las mismas

interferencias producidas tanto por el sistema electrónico como las provenientes de la red eléctrica.

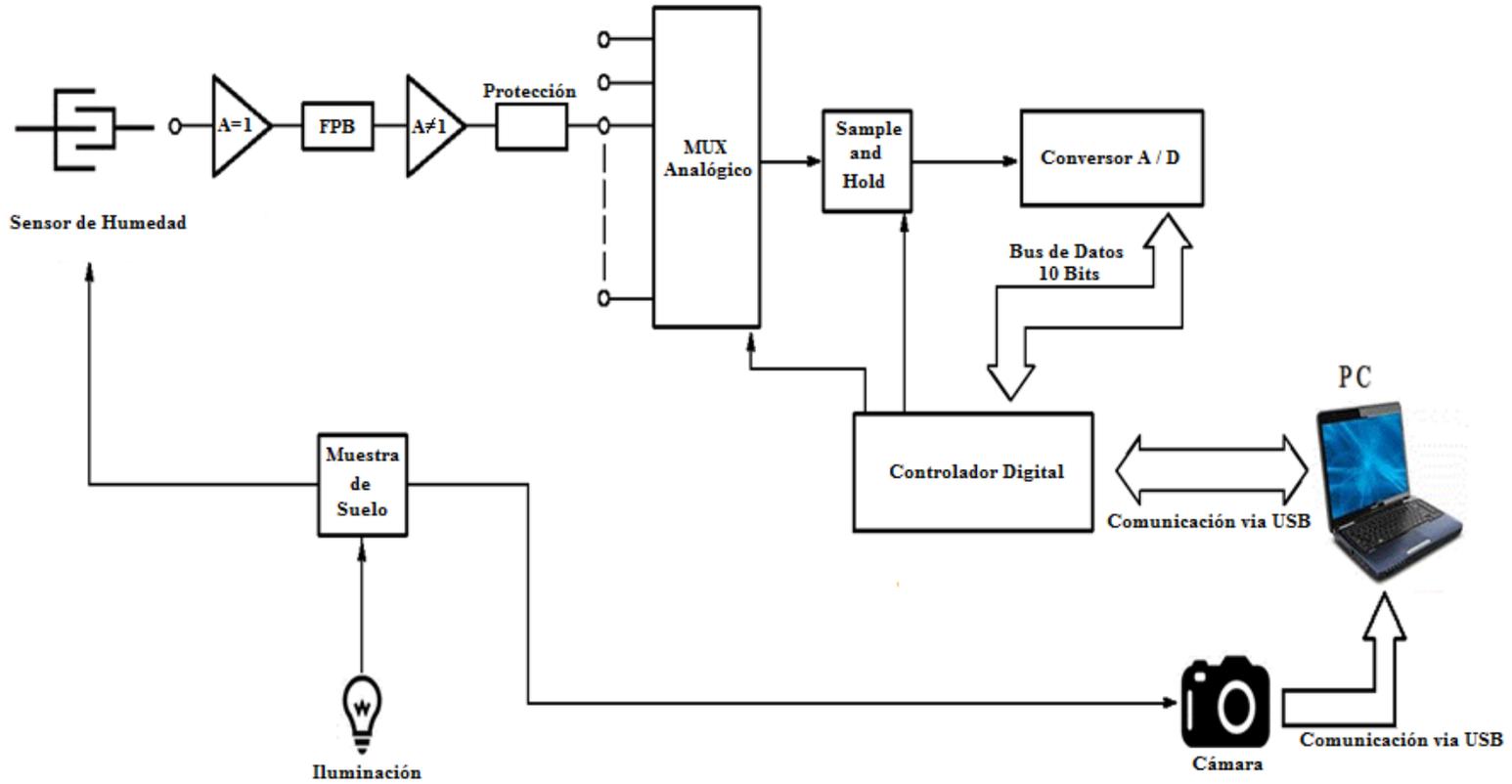
4.3.3 Amplificación. Dependiendo de la señal de respuesta producida por el sensor de humedad, esta debe ser ajustada a una escala adecuada para conversión analógica digital y su posterior transmisión al bloque de procesamiento y análisis de las variables.

4.3.4 Protección. Se diseñará un sistema de protección a los elementos utilizados en el prototipo a diseñar, para mantener la integridad y vida útil de los elementos sistema.

4.3.5 Conversión Analógico - Digital. La señal para poder ser interpretada por el bloque de procesamiento y analizada por un computador debe ser una señal digital acorde con los protocolos de comunicación estándar existentes como también la sincronía entre los mismos.

4.3.6 Protocolo de comunicación. Se utilizará un sistema cuyo protocolo de conexión sea vía USB debido a las facilidades de interconexión de los sistemas facilitando la transmisión de datos al bloque de procesamiento y análisis de las variables.

Figura 2. Sistema Electrónico para la determinación del Color y la Humedad del suelo.



Fuente: Autores.

4.4 MÓDULO DE PROCESAMIENTO Y MODELADO DEL SISTEMA

La finalidad de este módulo es la de analizar la variable entregada por el bloque de instrumentación (humedad de la muestra), como también la variable entregada por el bloque de color (imagen). Este módulo se modelará y se diseñará usando un entorno de desarrollo integrado, en inglés *Integrated Development Environment* (IDE), teniendo como principal característica que debe ser plataforma o código abierto (libre de licencia), además de funcionar en cualquier sistema operativo.

El modelado del sistema está especificado en todas sus fases; usando el lenguaje de modelado unificado UML. Es evidente la importancia de los modelos ya que describen el proceso de la programación.

4.4.1 Casos de usos. En esta primera etapa se hace uso de los diagramas de casos para identificar todos los actores o personajes que participan en este contexto como la descripción de los modelos o actividades que se desarrollan en la programación del sistema; todo lo descrito anteriormente se puede apreciar en la Figura 3. A continuación, se identifican los actores del sistema.

Actor 1. Usuario

Es el encargado de ejercer control sobre el sistema computacional (software) y el sistema electrónico (hardware).

Actor 2. Dispositivos sensorios

Son los dispositivos electrónicos (sensor de humedad y cámara web) capaces de captar las propiedades de la muestra y entregarlos al sistema computacional.

Actor 3. Sistema computacional

Es la aplicación del software que analizará las propiedades de la muestra y hará un debido procesamiento del mismo.

Identificados los actores y cada una de sus funciones, se citan los siguientes casos de uso de iteración con el sistema.

- Inicializar sistema
- Apertura de interfaz de usuario y conexiones externas
- Captura de señales
- Procesamiento de las señales
- Aplicaciones

Caso de uso 1. Inicializar sistema

Proceso ejecutado por el usuario que se encarga de realizar la apertura del sistema y dejar activo el IDE (*Integrated Development Environment*) para procesos posteriores.

Caso de uso 2. Apertura de interfaz de usuario y conexiones externas

Se despliega una interfaz gráfica para el usuario, donde se procede a verificar las conexiones externas (cámara web y sensor de humedad). Si el campo de texto de conexiones expone un ON significa que hay enlace o comunicación con el dispositivo a sensar, si por el contrario expone un OFF significa que no hay conexión con el dispositivo y por lo tanto debe de examinar dicha conexión para así dar inicio a la captura de las señales.

Caso de uso 3. Captura de las señales

Es ejecutado por el actor usuario cuando se requiere la captura de las señales de los dispositivos sensorios (cámara web y sensor de humedad) y es ejecutada por medio del botón *inicio*. La variable de color es capturada por la cámara web, configurada al computador para ser detectada por el sistema de desarrollo IDE y a través de la interfaz de usuario mostrar la captura de imagen. La variable de humedad es detectada por el sensor de humedad, con la implementación del sistema electrónico se adecua y se digitaliza para ser reconocida por el computador y mostrar su valor de humedad por medio de la interfaz.

Caso de uso 4. Procesamiento de las señales

Este caso de uso se le da inicio en el momento en que se ejecuta la acción *analizar* en el sistema. La imagen de la muestra es capturada y filtrada para cuya única finalidad es la de mejorar ciertas características de la imagen para efectuar operaciones del proceso. Previamente el usuario ha realizado el ingreso de 199 imágenes patrones correspondientes a los colores tabla Munsell y se han guardado como imágenes base de datos.

La imagen de la muestra actual se compara con las imágenes patrón empleando un algoritmo matemático que trata de hallar la distancia más cercana en cada uno de los planos de color RGB. Este algoritmo recorre todo el vector comparando una a una las 199 imágenes patrón con la imagen muestra para determinar la distancia más cercana a ella, por consiguiente, la imagen tiene mayor grado de similitud. Este caso de uso es muy importante en el sistema debido a la variedad de procesos que realiza.

- Captura imagen
- Filtrado de la imagen
- Transformación a el modelo y promedio valor en plano RGB
- Diferencia matemática de la imagen patrón con imagen estudio en cada uno de los planos RGB

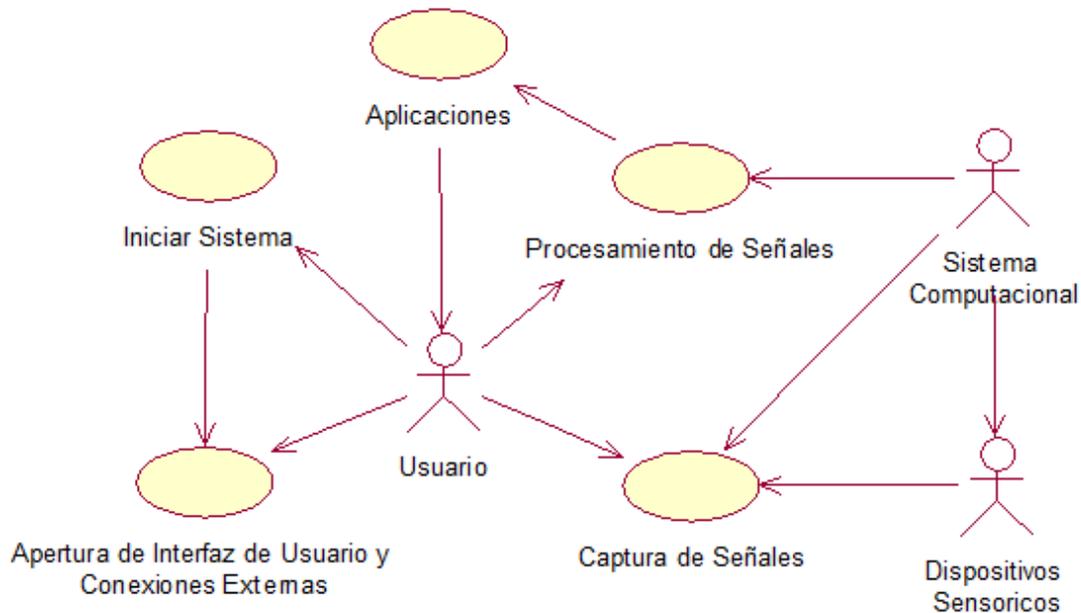
- Se realiza un recorrido para encontrar la diferencia más pequeña que a su vez es la distancia más pequeña cercana a la imagen estudio y por ende la más parecida.

Para la variable de humedad es necesario seleccionar el tipo de suelo a analizar, ya que cada uno de estos tipos posee una curva característica distinta y por ende una ecuación matemática que provee del dato exacto de porcentaje de humedad.

Caso de uso 5. Aplicaciones

Este caso de uso se activa en el momento en que son mostrados los resultados finales Código Munsell y porcentaje de humedad.

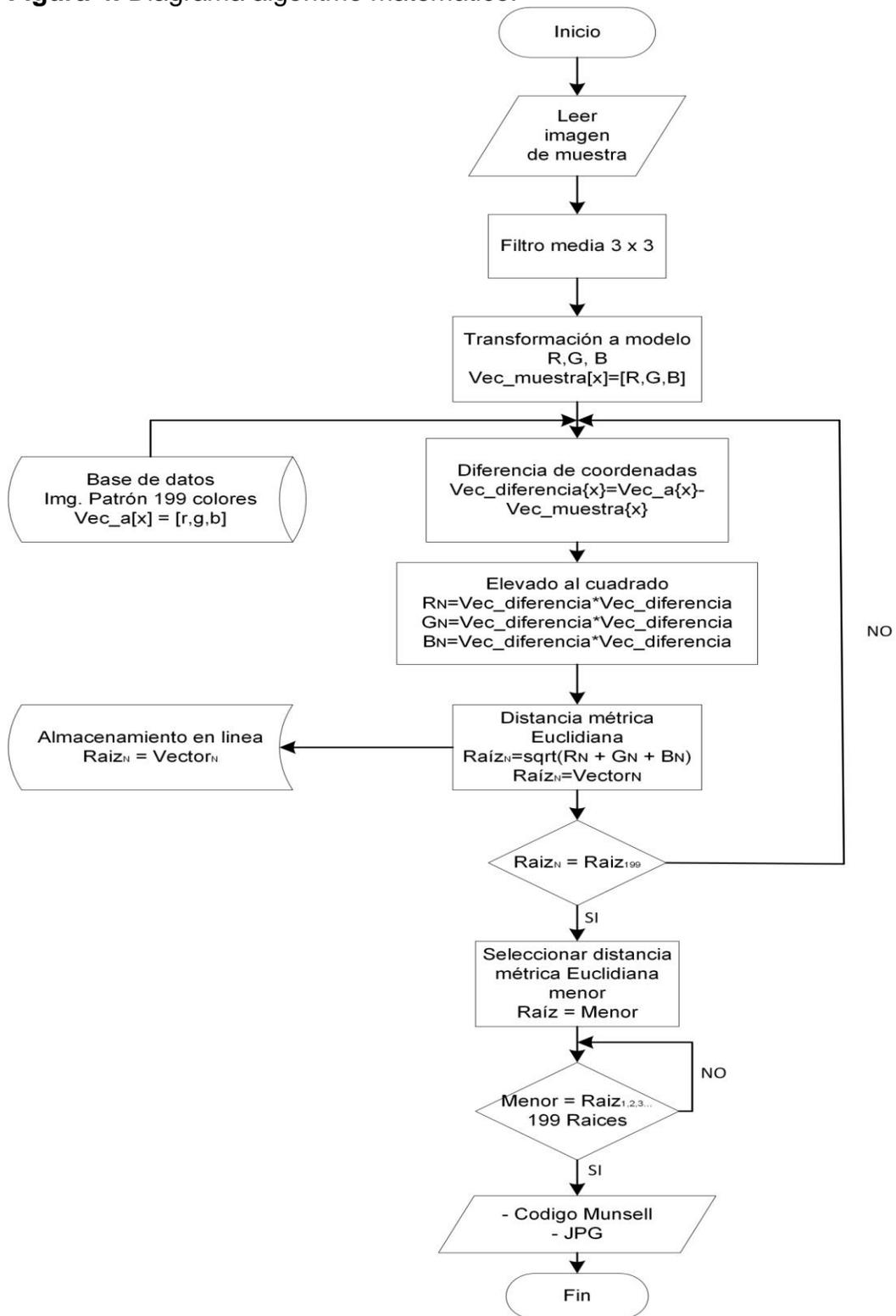
Figura 3. Diagrama de casos de usos.



Fuente: Autores (UML Rational Rose).

A continuación, se exhibe un diagrama de flujo para una mejor comprensión de todo el desarrollo matemático del reconocimiento de color, como se aprecia en la Figura 4.

Figura 4. Diagrama algoritmo matemático.



Fuente: Autores.

A continuación, se presentan las clases que se obtienen a partir de la descripción del modelo de casos de uso.

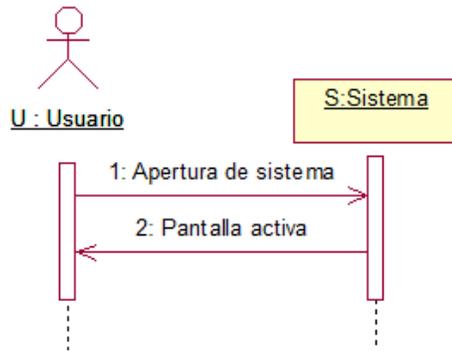
- Sistema
- Validación conexión
- Imagen
- Humedad
- Algoritmo matemático

Los diagramas de secuencia manifiestan una interacción, que representa la secuencia de mensajes entre instancias de clases, componentes y actores.

A continuación, se presenta los diagramas de secuencia para los casos de usos expuestos anteriormente.

Caso de uso 1. Inicializar sistema

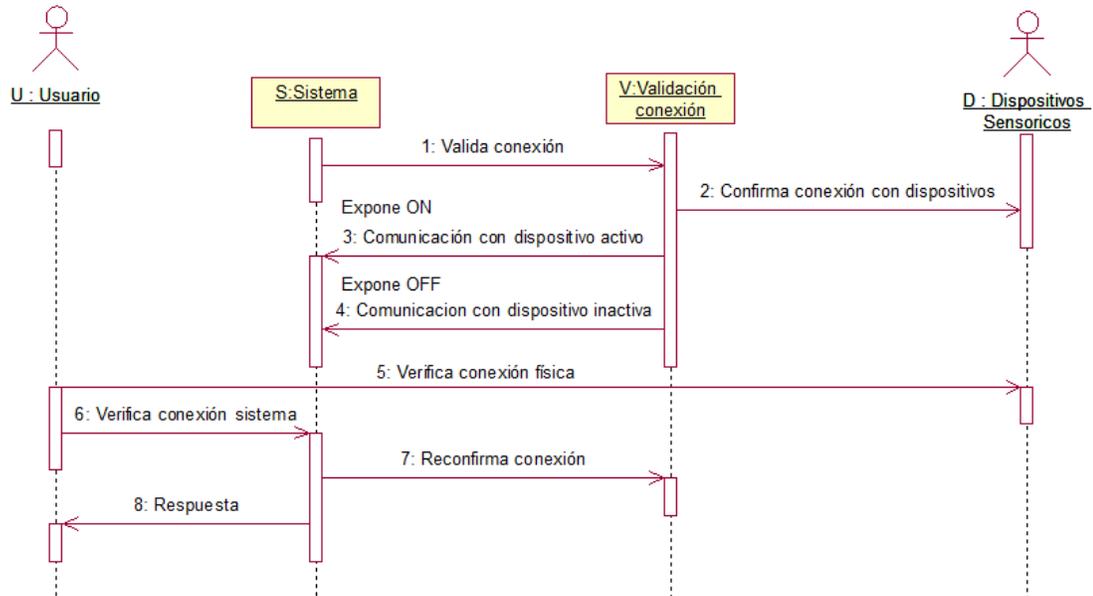
Figura 5. Diagrama de secuencia para el caso inicializar sistema.



Fuente: Autores (UML Rational Rose).

Caso de uso 2. Apertura de interfaz de usuario y conexiones externas

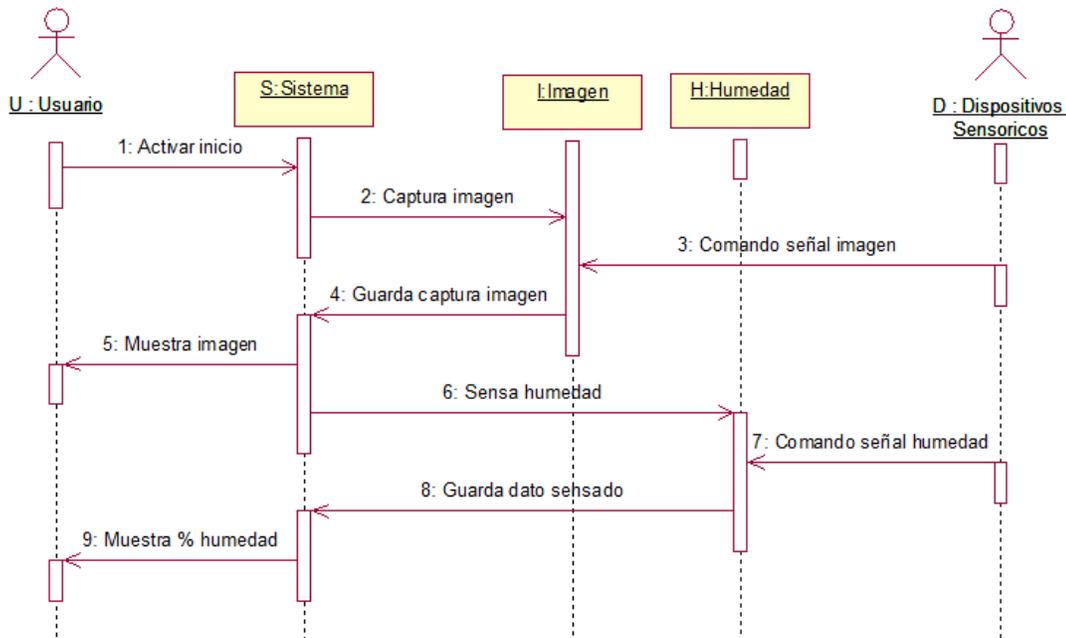
Figura 6. Diagrama de secuencia para el caso apertura de interfaz de usuario y conexiones externas.



Fuente: Autores (UML Rational Rose).

Caso de uso 3. Captura de las señales

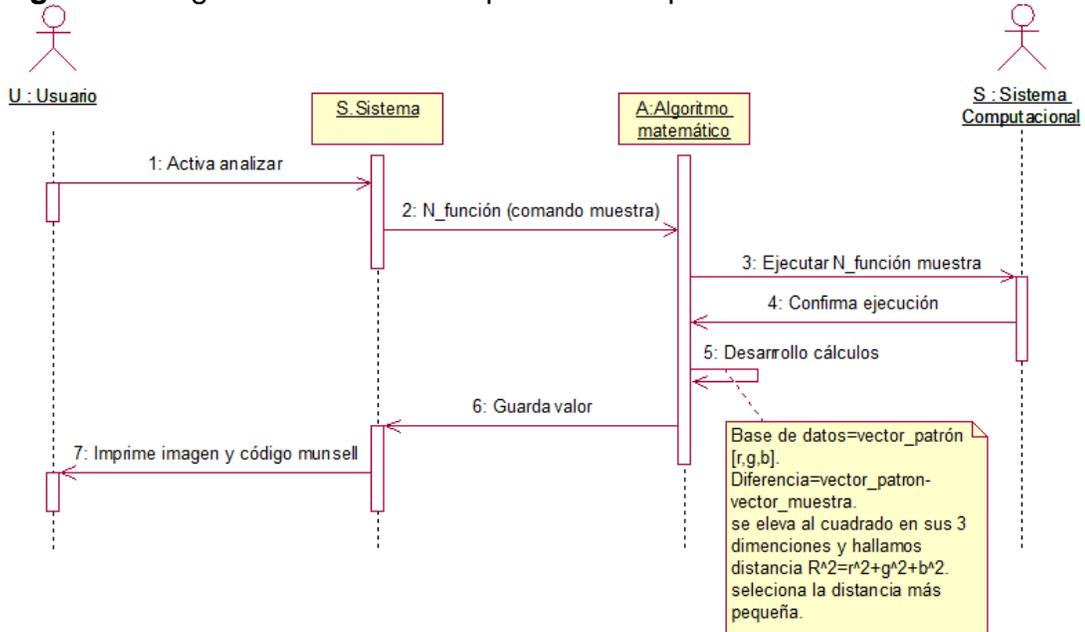
Figura 7. Diagrama de secuencia para el caso captura de señales.



Fuente: Autores (UML Rational Rose).

Caso de uso 4. Procesamiento de las señales

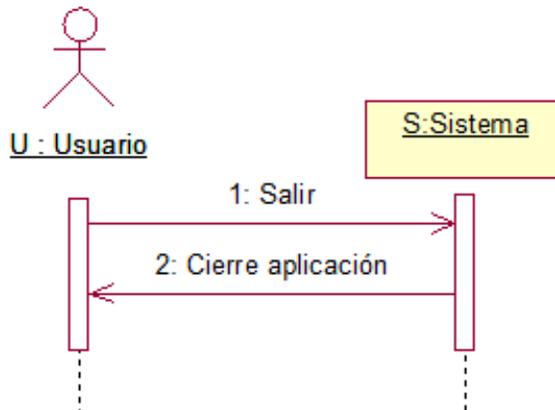
Figura 8. Diagrama de secuencia para el caso procesamiento de señales.



Fuente: Autores (UML Rational Rose).

Caso de uso 5. Aplicaciones

Figura 9. Diagrama de secuencia para el caso aplicaciones.



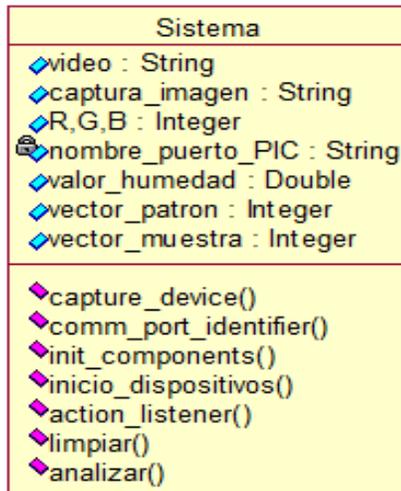
Fuente: Autores (UML Rational Rose).

4.4.2 Clase del sistema. A continuación, se hace la descripción de atributos y operaciones de cada una de las clases del sistema. Esta descripción está basada en las propiedades y comportamientos de los diagramas de secuencia.

Clase Sistema

Esta clase es la administración de todos los procesos "análisis del color y la humedad para muestras de suelos". Las acciones realizadas para el funcionamiento de la aplicación se pueden apreciar en la Figura 10.

Figura 10. Diagrama de la clase sistema.



Fuente: Autores (UML Rational Rose).

Los atributos de esta clase sistema son los siguientes.

- *video*, identifica o reconoce dispositivo de video.
- *captura_imagen*, inicializa captura de imagen.
- *R, G, B*, transforma a plano R, G, B.
- *nombre_puerto_PIC*, identifica puertos.
- *valor_humedad*, variable sensor de humedad.
- *vector_patron*, vector base de datos en sus 3 dimensiones
- *vector_muestra*, vector imagen a analizar.

Las operaciones de clase sistema son

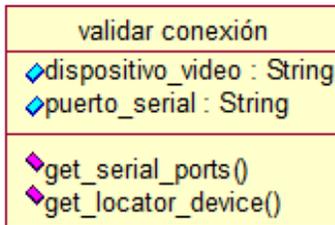
- *capture_device*, es la orden para capturar imagen.
- *comm_port_identifier*, es la operación encargada de identificar o reconocer los puertos disponibles.
- *inicio_dispositivos*, es la acción encargada de dar comienzo al registro de datos de los dispositivos.
- *action_listener*, es el encargado de recibir datos del sensor de humedad.
- *limpiar*, es la orden para el usuario de borrar datos del sistema.

- *analizar*, es la operación encargada de ejecutar los cálculos necesarios y selección de imagen.

Clase validar conexión

En esta clase gestiona la identificación y asignación de puertos, como también parámetros de conexión y métodos para el envío y lectura de datos. Esta clase se puede apreciar en la Figura 11.

Figura 11. Diagrama de clase validar conexión.



Fuente: Autores (UML Rational Rose).

Los atributos de esta clase validar conexión son los siguientes.

- *dispositivo_video*, identifica estado del dispositivo de video.
- *puerto_serial*, identifica estado puerto serial.

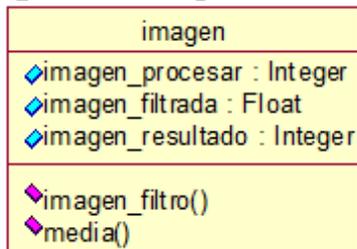
Las operaciones de clase validar conexión son.

- *get_serial_ports*, recibe datos del puerto serial.
- *get_locator_device*, obtiene datos del dispositivo (cámara).

Clase imagen

Esta clase representa la captura y acceso de los datos de imagen, aplicación del filtro para mejorar características de la misma y dimensionamiento de la imagen para procesarla. Todo lo descrito se muestra en la Figura 12.

Figura 12. Diagrama de clase imagen.



Fuente: Autores (UML Rational Rose).

Los atributos de esta clase imagen son los siguientes.

- *imagen_procesar*, procede a crear dimensiones de la imagen en interfaz.
- *imagen_filtrada*, corresponde a la imagen con filtro media 3x3.
- *imagen_resultado*, es la imagen producto.

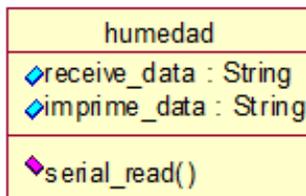
Las operaciones de clase imagen son.

- *imagen_filtro*, realiza la operación de filtrado de la imagen.
- *media*, recorre imagen pixel a pixel, almacena dato color y calcula media de los tres canales.

Clase humedad

Esta clase representa la toma de datos de humedad y la aplicación de ecuaciones lineales que representa las curvas características del comportamiento del sensor. Todo lo descrito se muestra en la Figura 13.

Figura 13. Diagrama de clase humedad.



Fuente: Autores (UML Rational Rose).

Los atributos de esta clase imagen son los siguientes.

- *receive_data*, se obtiene el dato proveniente del sensor.
- *imprime_data*, se muestra el dato en el espacio designado para porcentaje de humedad.

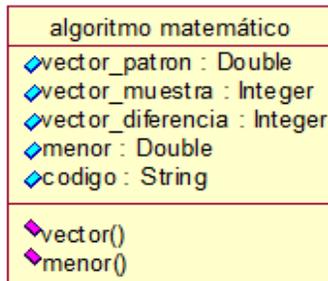
La operación de clase humedad es

- *serial_read*, realiza la operación de leer el dato que se encuentra en el puerto.

Clase algoritmo matemático

Realiza todo el proceso de comparación o reconocimiento de la imagen muestra con la imagen patrón. Esta clase se muestra en la Figura 14.

Figura 14. Diagrama de clase algoritmo matemático.



Fuente: Autores (UML Rational Rose).

Los atributos de esta clase imagen son los siguientes.

- *vector_patrón*, se crea un vector para almacenar las 199 imágenes patrón.
- *vector_muestra*, se almacena la imagen muestra en sus tres planos RGB.
- *vector_diferencia*, corresponde a la diferencia matemática entre el vector patrón y vector muestra.
- *menor*, se realiza una selección de la diferencia más pequeña que corresponde a la imagen más idéntica con respecto a las imágenes patrón.

Las operaciones de clase humedad son.

- *vector*, obtiene valores RGB promedios de la imagen muestra filtrada y se calcula distancia entre vectores RGB de imagen muestra e imágenes patrón.
- *menor*, recorre el vector de distancias y halla el valor mínimo.

5. IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se realiza el proceso de selección de los dispositivos electrónicos, tales como sensores, microprocesadores, amplificadores, sistema de comunicación y demás elementos discretos, teniendo siempre en cuenta las pautas que se plantearon en el capítulo anterior de diseño, además se incluyen los diferentes procedimientos y cálculos necesarios a medida se fue desarrollando el proyecto.

Para la implementación y desarrollo de este sistema se distribuirá en los siguientes bloques.

5.1 VARIABLE DE COLOR

Dadas las necesidades del proyecto, consideraciones en el diseño, presupuesto y facilidad de adquisición se optó por escoger la cámara web HP 2100 (ver especificaciones en Anexo A). Se reconoce que no es la webcam más apropiada para este propósito, pero ofrece las mínimas condiciones necesarias para cumplir con el objetivo.

5.1.1 Espacios de color. Los espacios de color proporcionan un método para especificar, ordenar y manipular colores. Los colores se representan mediante puntos en estos espacios. A continuación, se listan los diferentes modelos de color.

- Modelo de color RGB.
- Modelo de color CMY.
- Modelo de color XYZ.
- Modelo de color CIELAB, CIELUV.
- Modelo de color YIQ, YUV.
- Modelo de color HSI.

De acuerdo a la funcionalidad de cada modelo se optó por escoger el modelo RGB, este parte de la teoría tricromática¹² de los colores primarios rojo, verde y azul. Está basado directamente en el modelo triestímulos¹³ y síntesis adictiva¹⁴. El

¹² Esta teoría afirma que hay 3 receptores en la retina del ojo responsable de la percibir el color para el cerebro.

¹³ Referente a tres estímulos cromáticos matiz o tono, brillo o luminosidad y saturación o pureza.

modelo RGB es muy utilizado en procesamiento de imágenes ya vienen expresadas en términos de tres planos de imágenes independientes, cada una corresponde a un color primario. El rango de cada coordenada o componente cromática RGB suele ser de [0,1] aunque en multimedia y procesamiento de imágenes está más extendida a la especificación en cantidades discretas presentes en el intervalo de 0 a 255.

5.1.2 Calibración reconocimiento de color. Para el reconocimiento de color se ha implementado un algoritmo matemático, que halla la métrica euclidiana menor que existe entre la imagen estudio que previamente es transformada a un modelo o espacio de color RGB, con cada una de las 199 imágenes base de datos o puntos en el espacio de color RGB. Inmediatamente selecciona la distancia menor que corresponde a una imagen de la base de datos y por consiguiente la imagen más cercana en términos de cromaticidad con la imagen estudio.

No solo es necesario que el algoritmo matemático funcione correctamente, es de vital importancia conocer las condiciones de funcionalidad de la cámara web a utilizar, como también la iluminación y el escenario a emplear. La posición, la inclinación y la altura de la cámara cambiaría en su totalidad la cromaticidad de la imagen, al mismo tiempo la importancia que tiene las dimensiones del escenario, la iluminación estable y controlada para tener las mismas condiciones en cada una de las tomas de datos.

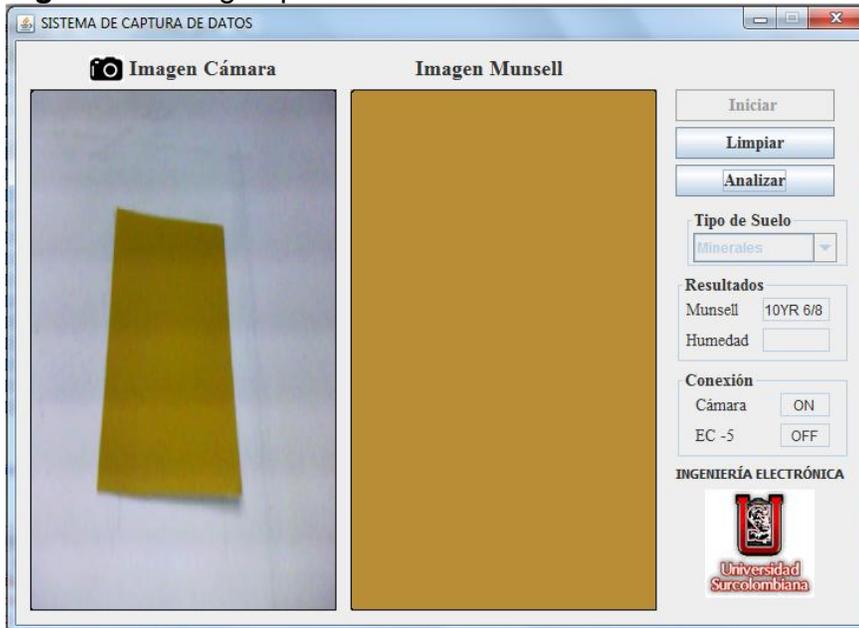
Para ello se realiza una calibración y así evaluar la mejor cromaticidad de la imagen, ello implica ubicación de las luces, como también posición exacta de la cámara web. Se han seleccionado aleatoriamente 10 imágenes de color correspondientes a la base de datos, se han impreso y cada una de las imágenes ha sido analizada por el prototipo electrónico para verificar su coincidencia o reconocimiento con su color idóneo.

El análisis se basa en realizar reconocimiento de color por 10 veces consecutivas, para determinar la cantidad de aciertos y desaciertos y dar una estimación de la efectividad tanto del algoritmo como del prototipo electrónico.

La Figura 15 se evidencia la correspondencia entre la imagen prueba y la imagen Munsell con su respectivo código Munsell. La imagen prueba seleccionada es la de la carta de tono 10YR con valor 6 y croma 8.

¹⁴ Implica que se emita luz directamente de una fuente de iluminación de algún tipo. El proceso de reproducción aditiva normalmente utiliza luz roja, verde y azul para producir el resto de colores.

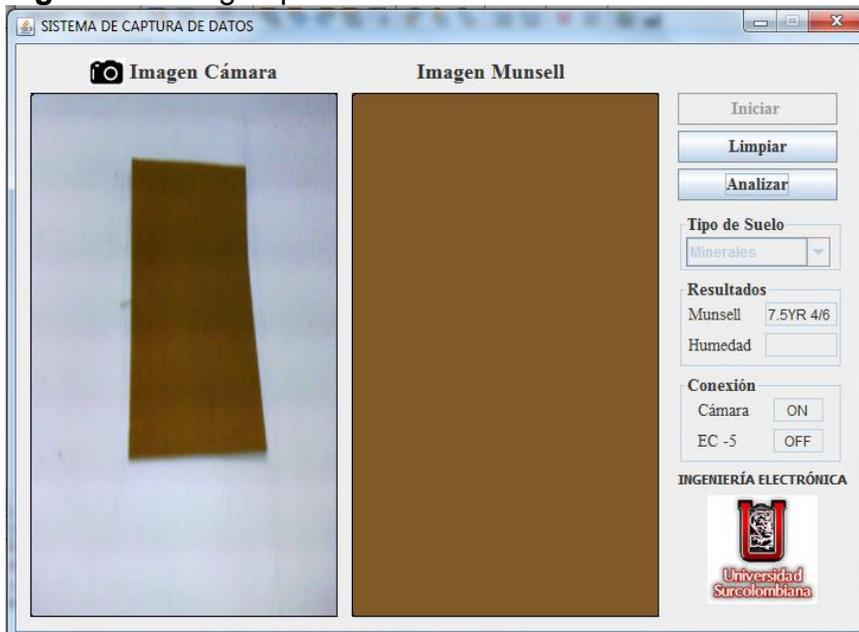
Figura 15. Imagen prueba 10YR 6/8.



Fuente: Autores.

La Figura 16 se muestra la imagen prueba que corresponde a la carta de tono 7.5YR con valor 4 y croma 6.

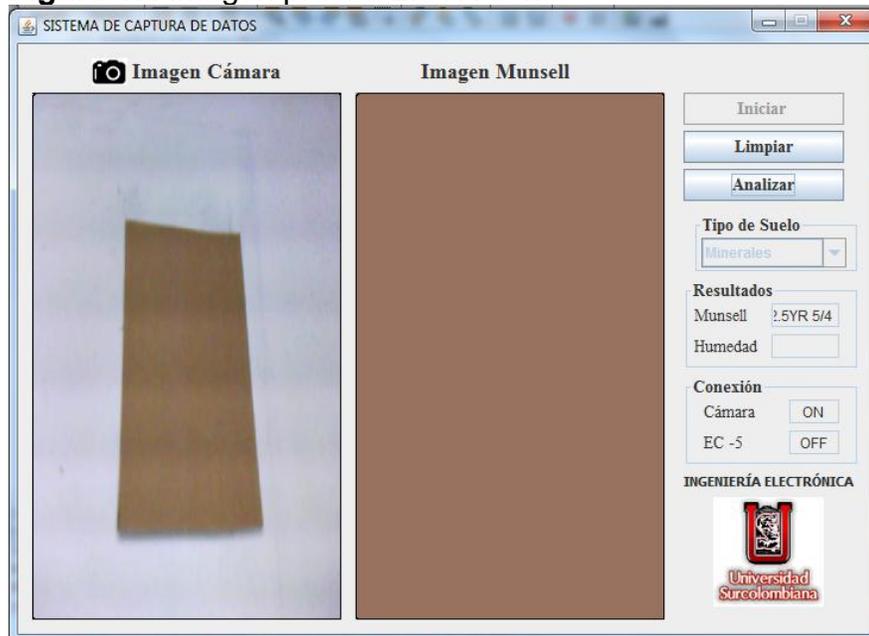
Figura 16. Imagen prueba 7.5YR 4/6.



Fuente: Autores.

La Figura 17 muestra la imagen prueba que corresponde a la carta de tono 2.5YR con valor 5 y croma 4.

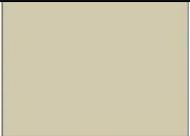
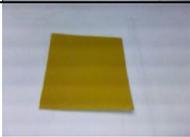
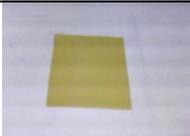
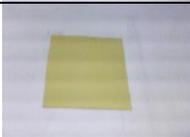
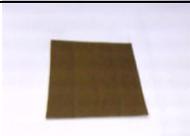
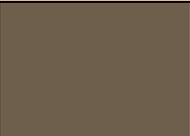
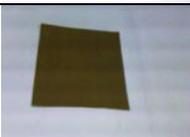
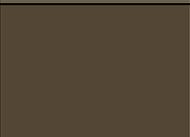
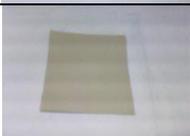
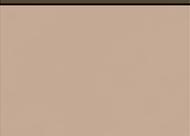
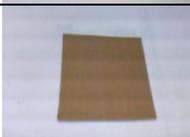
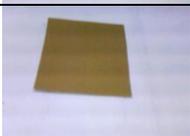
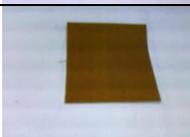
Figura 17. Imagen prueba 2.5YR 5/4.



Fuente: Autores.

En el Cuadro 2 se presenta los resultados obtenidos del estudio de las 10 imágenes pruebas.

Cuadro 2. Resultados calibración color.

Nº	CODIGO MUNSELL	IMAGEN PRUEBA	IMAGEN MUNSELL	Nº ACIERTOS	MEDIA
1	2.5Y 8/2			6	7,6
2	10YR 6/8			8	
3	10YR 7/6			8	
4	10YR 8/6			9	
5	10YR 4/2			6	
6	10YR 3/2			7	
7	5YR 7/3			7	
8	2.5YR 5/4			8	
9	7.5YR 5/4			9	
10	7.5YR 4/8			8	

Fuente: Autores.

Al observar el número de aciertos registrados en cada una de las imágenes pruebas, se ratifica que la mayoría presenta una cantidad de aciertos de 7 o superior, y el promedio para este estudio es de 7,6 o 76%, por lo tanto, se concluye que es un dato aceptable y suficiente para declarar que el prototipo es funcional y efectivo, tratándose que son imágenes que pretenden encontrar su tono más cercano y por lo tanto pueden hallar muchos tonos similares alrededor de su vecindad.

5.2 VARIABLE DE HUMEDAD

Para la selección del sensor de humedad se realizó un cuadro comparativo entre los dos sensores de humedad comerciales más usados en sistemas de riego agrícola, productores e investigadores como se puede apreciar en la Cuadro 3. Se tomó en cuenta el área de terreno que puede analizar, las variables que afectan su medición, tipo de suelo, dimensiones precio etc.

De acuerdo a las consideraciones estipuladas en el diseño, se optó por usar el sensor EC-5 de DECAGON DEVICES, el cual presenta un intervalo de respuesta de 0-100% del VWC (Contenido Volumétrico de Agua), menor dependencia de variables como salinidad, tipo de agua y otras propiedades del suelo irrelevantes en este proyecto, además de su fácil adquisición en el mercado.

Cuadro 3. Cuadro comparativo de sensores de humedad.

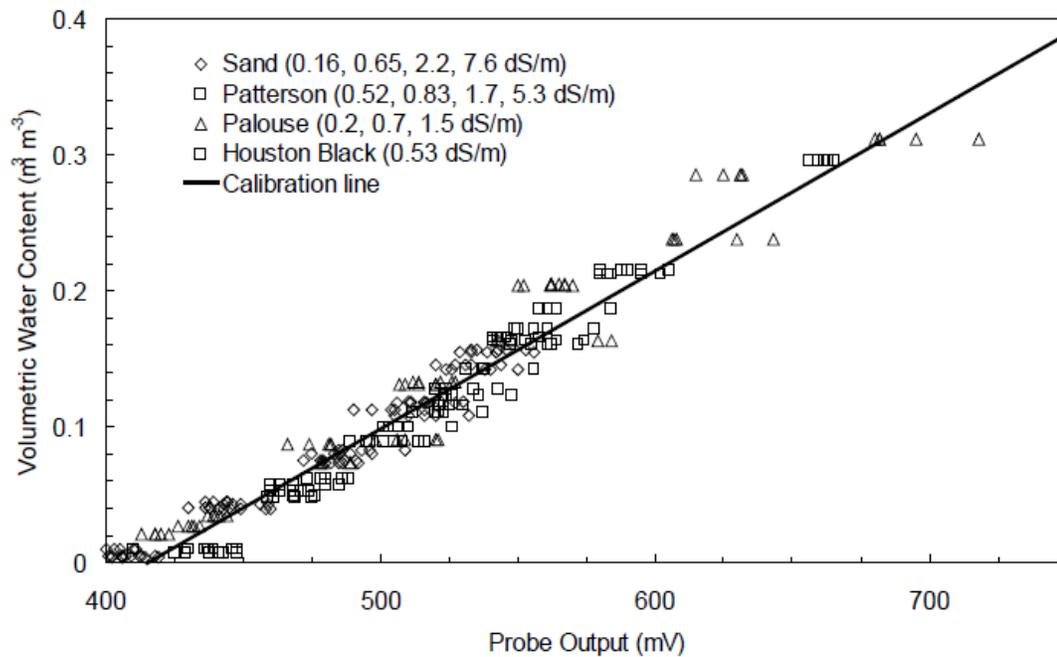
	EC-5	VH400
Fabricante	Decagon devices	vegetronix
Precio (USD)	138.715	82.95
Voltaje de alimentación	2.5 a 5 VDC @10mA	3.3 A 20 VCC
Voltaje de salida	250mV(seco) 1V(saturado) 0-100%VWC	0 a 3 V
Tipo de suelo	Todos	Todos
Área	5 hectárea	1 hectárea
Dimensiones	8.9x1.8 x0.7cm	13.35x1.27cm

Fuente: Autores.

5.2.1 Características del Sensor. El modelo EC-5 (ver especificaciones en Anexo B), es un sensor capacitivo del tipo FDR (*Frequency Domain Reflectometry*, Reflectometría en el Dominio de la Frecuencia) que mide la constante dieléctrica o permitividad del suelo para calcular su contenido de humedad. La fracción volumétrica del suelo ocupada por agua tiene una enorme

influencia en la permitividad dieléctrica del suelo. Cuando la cantidad de agua del suelo varia, las *Sondas de Contenido de Humedad del Suelo* detectan y miden esta variación y la relacionan directamente con el cambio en el contenido de agua VWC. La curva característica del sensor EC-5 para suelos minerales se muestra en la Figura 18.

Figura 18. Datos de calibración por cinco sensores corriendo a 70MHz en suelos minerales.



Fuente: Calibration and evaluation of an improved low-cost soil moisture sensor.

La Ecuación 1, muestra la relación característica entre los suelos minerales aportados por DECAGON DEVICES

$$\phi = 11.9 \cdot 10^{-4} * mV - 0.401 \quad \text{Ecuación 1}$$

donde

ϕ es el contenido volumétrico del agua VWC

mV es la salida del sensor dado en milivoltios.

5.2.2 Calibración del Sensor. El laboratorio LABGAA utiliza diversos métodos para determinar el porcentaje de humedad en una muestra de suelo, para análisis dentro del laboratorio es utilizado el método gravitatorio, cuando realizan salidas a campo normalmente utilizan el método del tacto; pero en sus últimas pruebas e investigaciones el laboratorio ha utilizado un equipo que sensa la humedad del suelo y arroja datos al instante. Se trata de un sensor de humedad de suelos EC-5 de DECAGON DEVICES con su respectivo sistema de adquisición de datos.

Se percibe la necesidad de realizar una propia calibración del sensor EC-5 utilizado en este proyecto, con respecto a un método que utiliza el laboratorio LABGAA el cual servirá como referencia.

Para la calibración se eligió el sensor referencia EC-5, previamente se seleccionaron cuatros muestras de suelos, las cuales pertenecen al inventario del laboratorio LABGAA, estas muestras se fueron analizando desde su estado seco y poco a poco se fue introduciendo agua hasta saturarlo, en todo este proceso se fueron realizando tomas de datos de los dos sensores (sensor referencia- sensor estudio) al mismo grado de saturación del suelo. A continuación, se presenta datos de calibración mostrados en el Cuadro 4.

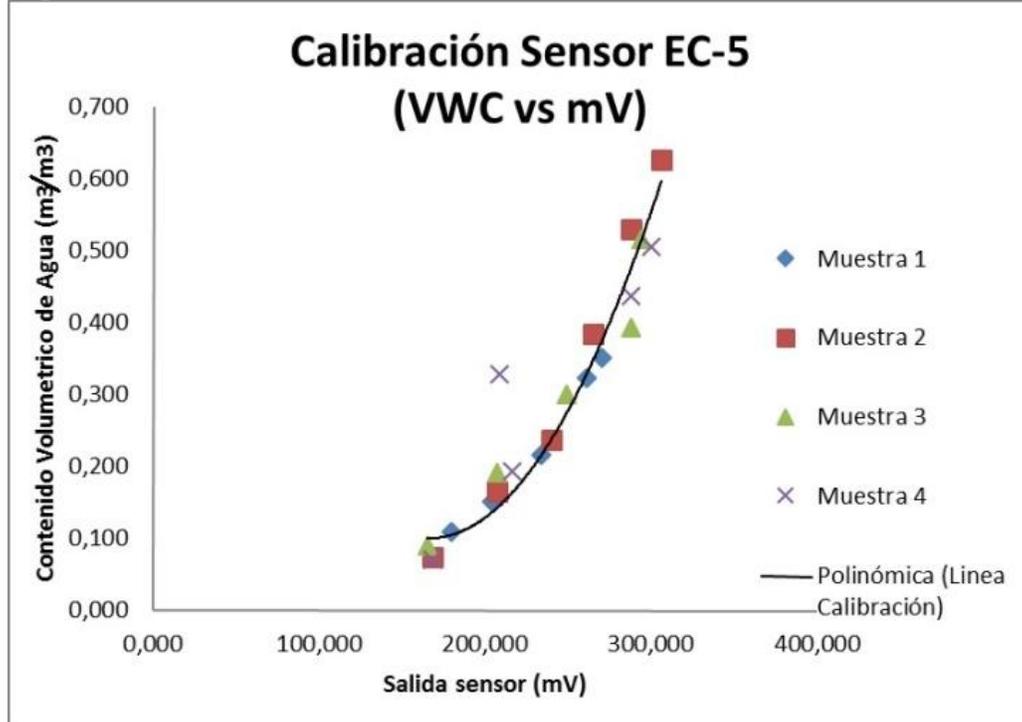
Cuadro 4. Datos calibración relación sensor referencia vs sensor estudio.

MAYOR GRADO DE SATURACION ↓	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		MUESTRA 4	
	SENSOR REFERENCIA vwc(m3/m3)	SENSOR ESTUDIO (mv)	SENSOR REFERENCIA vwc(m3/m3)	SENSOR ESTUDIO (mv)	SENSOR REFERENCIA vwc(m3/m3)	SENSOR ESTUDIO (mv)	SENSOR REFERENCIA vwc(m3/m3)	SENSOR ESTUDIO (mv)
1	0,109	180,177	0,073	168,165	0,089	165,162	0,070	168,165
2	0,150	204,201	0,165	207,204	0,190	207,204	0,192	216,213
3	0,216	234,230	0,236	240,236	0,300	249,245	0,327	209,260
4	0,323	261,257	0,384	265,257	0,393	288,284	0,436	288,264
5	0,350	270,266	0,530	288,284	0,515	294,290	0,505	300,295

Fuente: Autores

En la Figura 19 se evidencia cuatro curvas correspondientes a las cuatro muestras de suelo y representa los datos obtenidos por los dos sensores. La variable independiente es la salida en milivoltios (mV) del sensor estudio, y variable dependiente es el contenido volumétrico del agua en (m^3/m^3) generado por el sensor referencia.

Figura 19. Calibración sensor estudio EC-5.



Fuente: Autores.

Claramente se manifiesta una disparidad entre la curva de calibración aportada por DECAGON DEVICES y la curva de calibración producto de la relación sensor referencia vs sensor estudio.

Se llega a la conclusión que las características químicas y físicas de los suelos son distintas según su ubicación, los suelos minerales trabajados en el laboratorio LABGAA presentan un comportamiento particular, lo que hace que se muestre curvas diferentes en las calibraciones.

A continuación, se muestra la ecuación característica de la curva de calibración de los suelos minerales del laboratorio LABGAA

$$\phi = 0.000029 * mV^2 - 0.010022 * mV + 0.973285 \quad \text{Ecuación 2}$$

donde

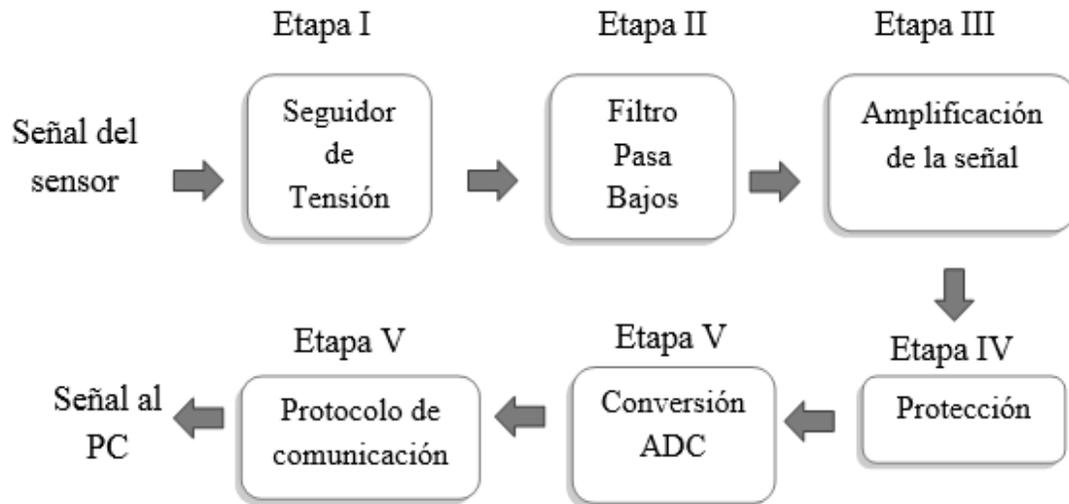
ϕ es el contenido volumétrico del agua VWC

mV es la salida del sensor dado en milivoltios.

5.3 MÓDULO DE INSTRUMENTACIÓN

El esquema básico de las diferentes etapas internas en el módulo de instrumentación se muestra en la Figura 20.

Figura 20. Etapas módulo de instrumentación.

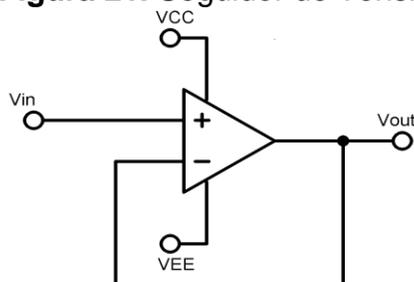


Fuente: Autores.

5.3.1 Etapa I. Aislamiento y Acople de Impedancias (Seguidor de Tensión).

Se implementa un seguidor de tensión utilizando un amplificador operacional mostrado en la Figura 21. Se trata de aprovechar esta topología por que tiene la característica de alta impedancia en la entrada y baja impedancia en la salida. Es muy útil para poder leer la tensión de un sensor con un nivel de corriente muy pequeño, que no afecte a la medición.

Figura 21. Seguidor de Tensión.



Fuente: Autores.

donde

Vin es la señal proveniente del sensor

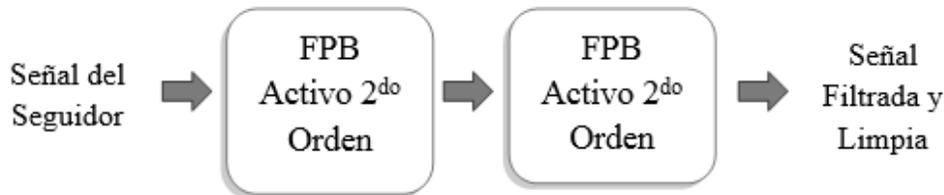
Vout es la señal de salida idéntica a la de la entrada

VCC es el voltaje de alimentación positiva

VEE es el voltaje de alimentación Negativa.

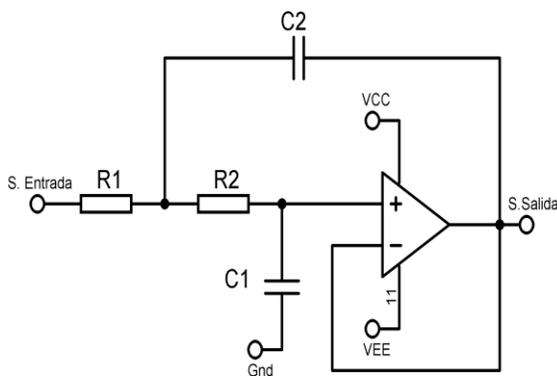
5.3.2 Etapa II. Filtrado (Filtro Pasa – Bajo o FPB). Con la finalidad de eliminar la frecuencia de la red y posibles interferencias electromagnéticas externas al sistema, se implementa un filtro pasa bajo Butterworth con topología Sallen-Key, frecuencia de corte de 20 Hz y orden 4. El filtro implementado consta de dos filtros activos de segundo orden conectados en cascada como se pueden apreciar en la Figuras 22 y 23.

Figura 22. Etapas Filtro Activo de segundo orden.



Fuente: Autores.

Figura 23. Diseño Filtro Activo de segundo orden.



Fuente: Autores.

Las Ecuaciones 3 y 4 relacionan la *función de transferencia* (TF) del filtro activo de segundo orden con los componentes circuitales, correspondientes a la topología sallen-key.

$$a_1 = \omega_c * C_1 * (R_1 + R_2) \quad \text{Ecuación 3}$$

$$b_1 = \omega_c^2 * C_1 C_2 * R_1 * R_2 \quad \text{Ecuación 4}$$

donde

a_1, b_1 son los coeficientes del filtro

C_1, C_2 son los valores de capacitancia

ω_c^2 es la frecuencia angular de corte

R_1, R_2 son los valores de resistores.

Despejando C_1 de la Ecuación 3 se obtiene la Ecuación 5.

$$C_1 = \frac{a_1}{\omega_c * (R_1 + R_2)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Despejando C_2 de Ecuación 4 y reemplazando C_1 de la Ecuación 5 se obtiene C_2

$$C_2 = \frac{(b_1 * R_1) + (b_1 * R_2)}{\omega_c * R_1 * R_2 * a_1} \quad \text{Ecuación 6}$$

Según tablas de coeficientes para filtros Sallen-Key de orden 2, las constantes a_1 y b_1 tienen los valores $a_1 = 1.4142$ y $b_1 = 1.00$.

Teniendo en cuenta los valores comerciales de resistencia se optó por seleccionar $R_1 = 10K\Omega$ y $R_2 = 22K\Omega$. Al usar la Ecuación 6 se obtienen valores para $C_1 = 352nF$ y $C_2 = 818nF$. Se organizó una suma de valores comerciales de capacitancias de la siguiente manera.

$$C_1 = 352nF \approx (330nF + 22nF)$$

$$C_2 = 818nF \approx (470nF + 330nF + 22nF).$$

Por consiguiente, los resultados de los componentes electrónicos del filtro son

$$C_1 = 352nF$$

$$C_2 = 818nF$$

$$R_1 = 10K\Omega$$

$$R_2 = 22K\Omega.$$

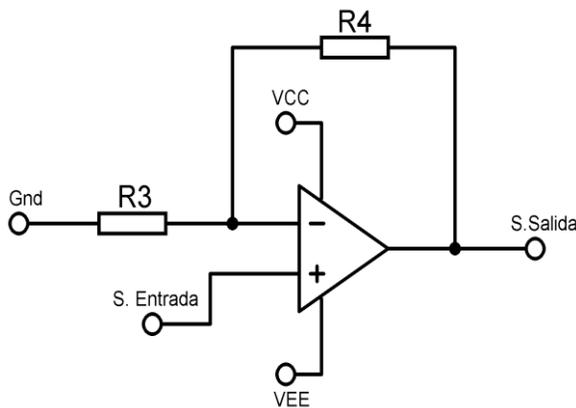
5.3.3 Etapa III. Amplificación de la señal. Debido a que el sensor de humedad tiene un rango de salida de 0 a 2.5 Voltios, es necesario adecuar la salida del sensor a un rango de 0 a 5 Voltios requeridos para procesos posteriores de conversión y entradas del microcontrolador. Para esto se hace uso de un amplificador no inversor mostrado en la Figura 24.

Rango actual: 0 a 2.5 Voltios

Rango requerido: 0 a 4 Voltios (se escoge un voltaje 20% menor al máximo permitido para posibles salientes o picos en la salida de la señal).

Ganancia: Rango requerido / Rango actual, $(4Vol / 2.5Vol) = 1.6$

Figura 24. Amplificador no Inversor.



Fuente: Autores.

La ganancia de tensión del amplificador no inversor de la Figura 24 está dada por la Ecuación 7.

$$A_v = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad \text{Ecuación 7}$$

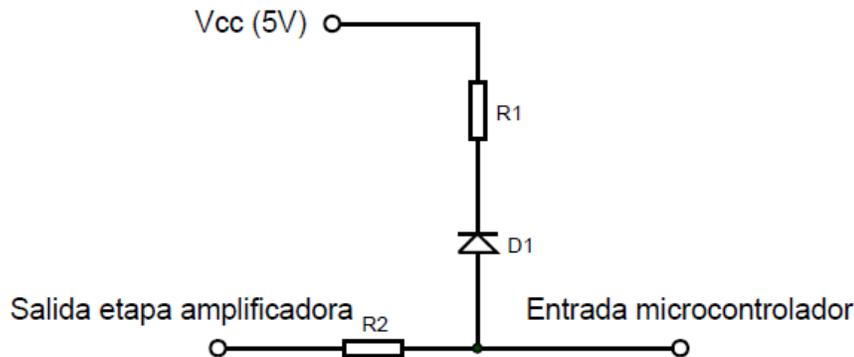
Asignando un valor a R_3 , usando la Ecuación 7 se halla R_4 .

$$R_4 = R_3(A_v - 1) \quad \text{Ecuación 8}$$

Con $R_3 = 22K\Omega$, se obtiene $R_4 = 13.2K\Omega$. Para obtener un valor comercial de R_4 , se hace un arreglo de sumas de valores de resistencias obteniendo $R_4 = 13.2K\Omega \approx (12K\Omega + 1.2K\Omega)$.

5.3.4 Etapa IV. Protección. Para la protección se utilizará un diodo switch ultra rápido 1N4148; como se aprecia en la Figura 25, si el voltaje en la unión de resistencia y diodo es más de 5 V y al sumar el voltaje de polarización en directo, el diodo se enciende y se cortocircuita la unión a V_{cc} , protegiéndolo de sobrevoltajes la entrada del ADC del microcontrolador.

Figura 25. Diodo de protección 1N4148.



Fuente: Autores.

5.3.5 Etapa V. Conversor Analógico – Digital (ADC). Para que la señal pueda ser procesada y transmitida primero debe ser digitalizada por un ADC (convertidor analógico digital). El conversor analógico digital es un dispositivo electrónico que procesa un voltaje de entrada analógico y después de un tiempo determinado produce un código de salida (binario en este caso) que representa digitalmente el valor de voltaje de la entrada analógica.

El conversor ADC utilizado para este proyecto es un conversor que trabaja con 10 bits de resolución. Cada conversor ADC está determinado por una función de transferencia ideal de entrada - salida, que muestra la equivalencia entre el dato digital y el análogo. La señal a convertir es una señal unipolar con un nivel DC de 0 Voltios y un valor de amplitud máximo de 5 Voltios, donde se establecen $2^{10} = 1024$ estados de salida, correspondientes a los códigos binarios desde el 0000 al 1024. Cada intervalo de cuantización tiene un tamaño de

$$\frac{5V}{2^{10} \text{ estados}} = 4.882 \frac{mV}{\text{estado}}$$

Ecuación 9

El valor del escalón es $4.882mV / estado$, esto quiere decir que por cada $4.882mV$ se tendrá un valor digital diferente.

5.3.6 Etapa VI. Protocolo de Comunicación. El protocolo de comunicación usado es USB de clase CDC (communications device class) o clase para comunicación de dispositivos. Esta clase emula un puerto serial y las aplicaciones pueden usar ese puerto para comunicarse como si estuvieran usando una conexión COM-RS-232. Es necesario realizar un ajuste en el programa del microcontrolador para que el computador lo reconozca como un puerto serie COM VIRTUAL. Microchip provee de un driver para esta comunicación que es el mchpcdc.inf.

5.4 MÓDULO DE PROCESAMIENTO

El sistema de procesamiento está encargado de funciones tales como: adquisición de datos, procesamiento de datos, configuración de la comunicación; entradas y salidas análogas como digitales para desarrollar dichas funciones.

Para determinar cuál es el microcontrolador que mejor se adapta a las necesidades del proyecto se ha realizado previamente un estudio para seleccionar el modelo exacto que resulte más conveniente a la aplicación,

- debe de disponer de un puerto de comunicaciones USB
- debe de disponer de un conversor A/D
- un componente opcional sería una memoria ROM de datos donde se podrían guardar todos los datos adquiridos a través de los sensores para ser enviados más tarde al computador.

Considerando todo lo anterior, se optó por el microcontrolador PIC18F2550 de la Microchip mostrado en la Figura 26, ya que dispone de un puerto USB que puede funcionar tanto a baja velocidad (1,5 Mbps) como a velocidad completa (12 Mbps) y soporta transferencias de control, interrupción, masivas e isócronas. Además, tiene un módulo conversor A/D con 10 canales de entrada y una memoria de datos EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory) de 256 bytes. Se trata de una memoria de lectura, programada y borrada eléctricamente. La operación de borrado y programación es muy sencilla y se puede grabar y borrar tantas veces como se quiera.

Figura 26. PIC18F2550 de la Microchip.



Fuente: http://www.suconel.com/virtual/index.php?page=shop.product_details&product_id=6845770&flypage=flypage.tpl&vmcchk=1&option=com_virtuemart&Itemid=64

6. RESULTADOS OBTENIDOS

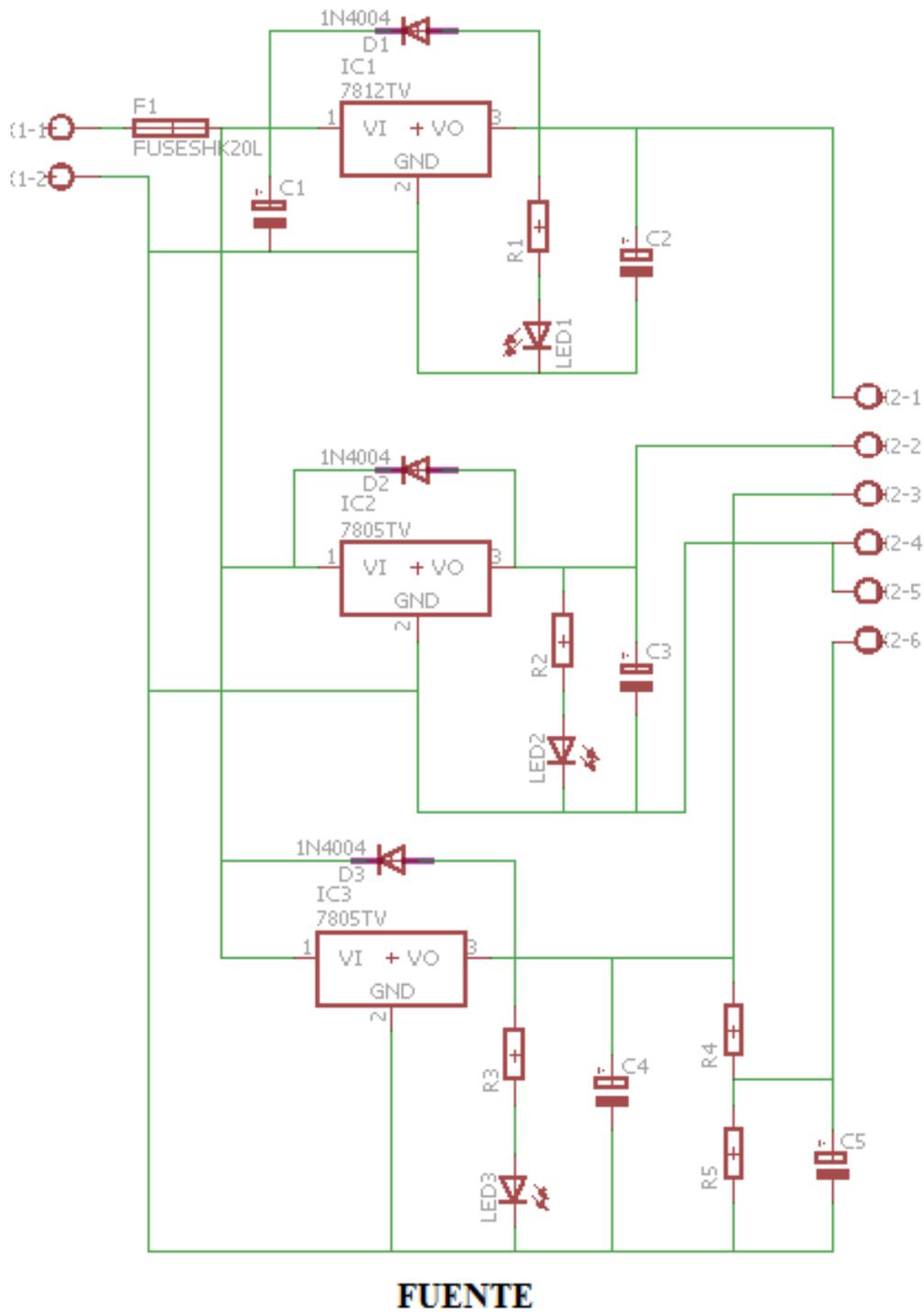
En este capítulo se realiza el análisis de variables de humedad y color Munsell de la muestra de suelo, donde se hará un comparativo de los resultados obtenidos con el método convencional como se puede apreciar en el Anexo C y los obtenidos con la implementación del prototipo.

6.1 PROTOTIPO FINAL

Se presenta el diseño final de la placa de circuito impreso PCB (Printed Circuit Board), junto con el GUI final implementado para el análisis de las variables.

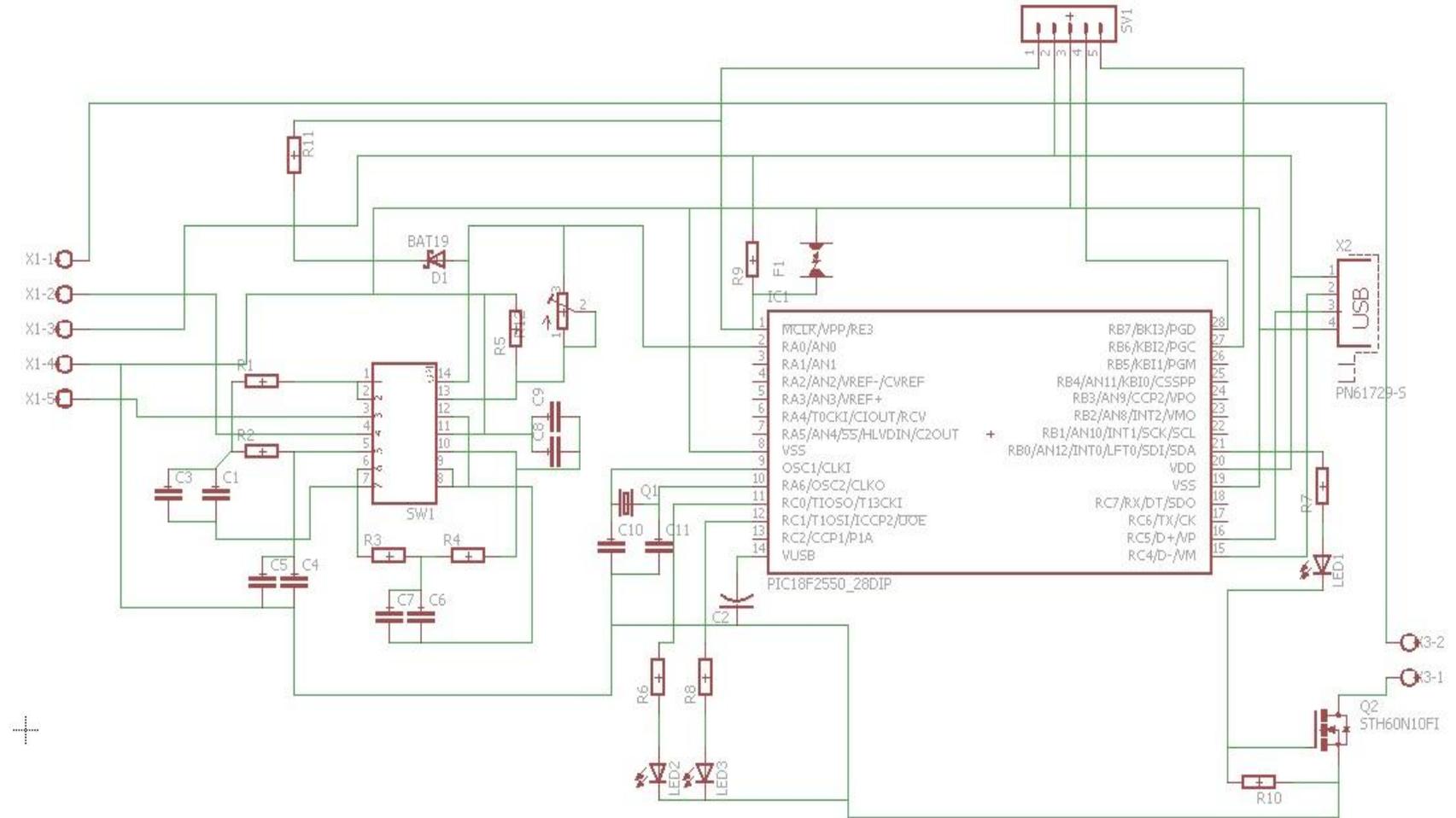
6.1.1 Tarjeta de circuito impreso. El diseño de PCB final se obtuvo a partir del estudio de los Capítulos 4 y 5 y con ayuda del software especializado denominado “CadSoft EAGLE PCB Desing Software” en su versión demo. En las Figuras 27, 28, 29 y 30 se pueden apreciar el circuito esquemático y el circuito PCB del sistema implementado.

Figura 27. Circuito esquemático de la fuente de alimentación hecho en CadSoft EAGLE PCB Desing Software.



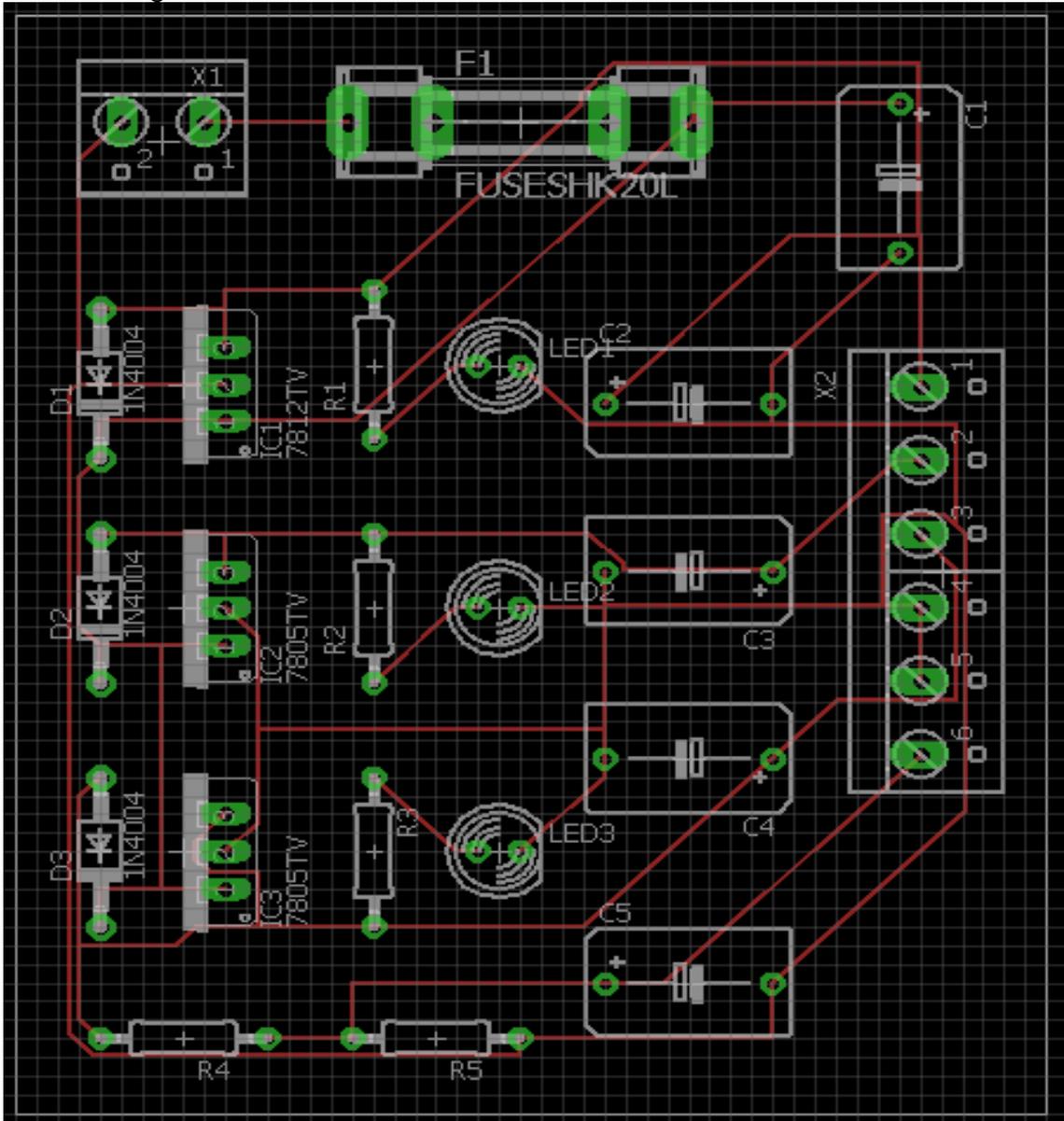
Fuente: Autores.

Figura 28. Circuito esquemático del sistema electrónico hecho en CadSoft EAGLE PCB Desing Software.



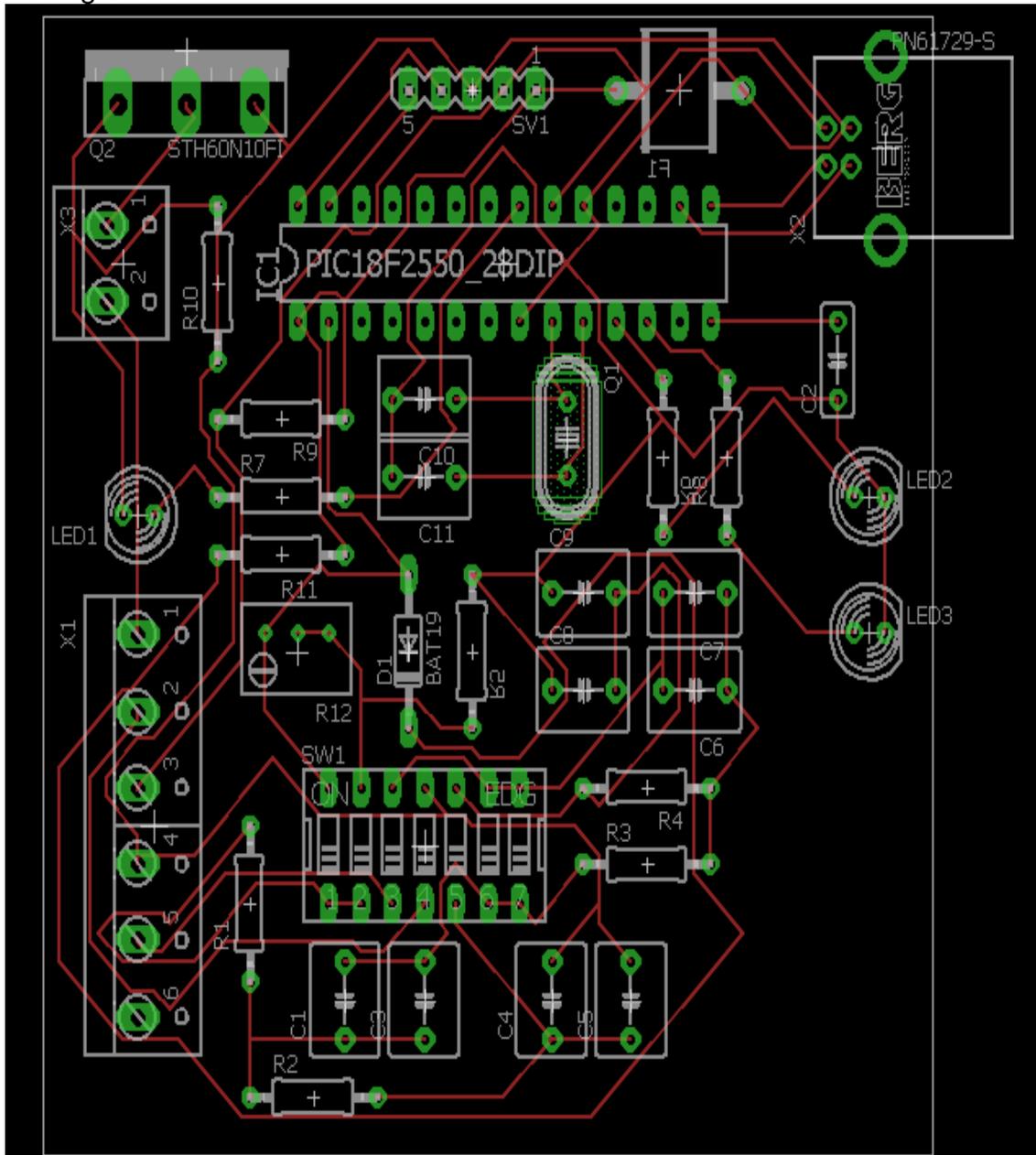
Fuente: Autores

Figura 29. Circuito PCB de la fuente de alimentación hecho en CadSoft EAGLE PCB Desing Software.



Fuente: Autores.

Figura 30. Circuito PCB del sistema electrónico hecho en CadSoft EAGLE PCB Desing Software.

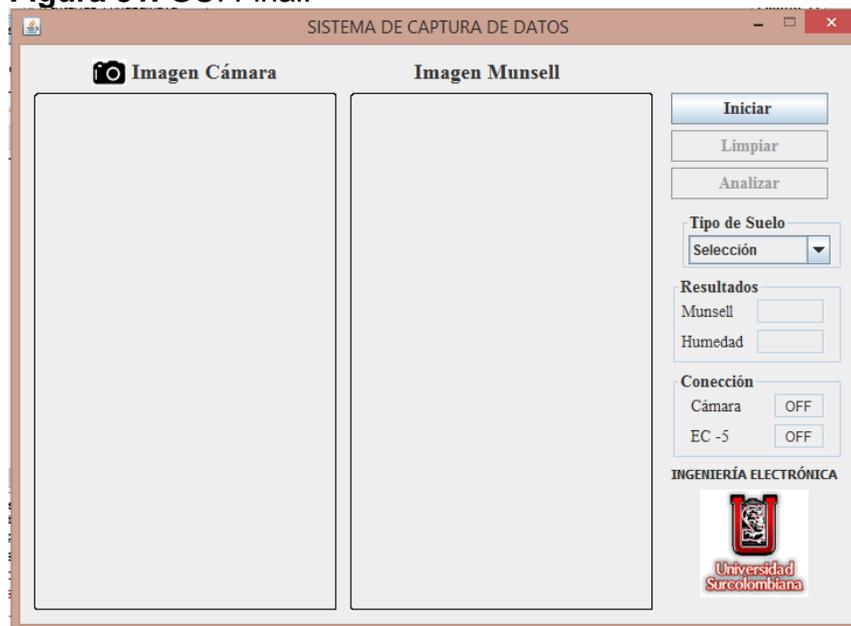


Fuente: Autores.

6.2. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO GUI FINAL

GUI final se obtuvo a partir del modelado del sistema estructurado en el Capítulo 4, desarrollado bajo una plataforma IDE denominada Netbeans y bajo un lenguaje de programación JAVA que permite la obtención del GUI como se muestra en la Figura 31.

Figura 31. GUI Final.



Fuente: Autores.

La aplicación del prototipo se llevó a cabo en el laboratorio LABGAA de la Universidad Surcolombiana asesorado por personal del laboratorio calificado quienes guiaron en los procesos convencionales en la obtención del código Munsell para el color y en el cálculo de la humedad. Específicamente se analizaron 10 muestras de suelo de las cuales se muestran algunos ejemplos en los siguientes apartados.

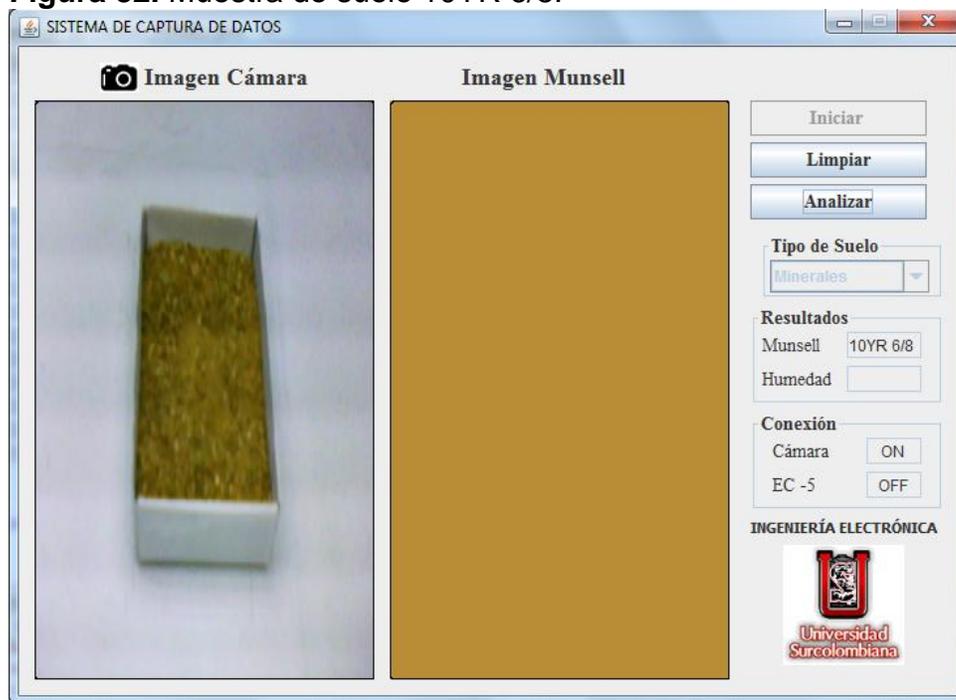
6.2.1 Procesamiento de imagen. El análisis de la imagen se realiza a través del GUI final. En primera instancia se selecciona el tipo de suelo a analizar, inmediatamente se procede a realizar la apertura de la señal de video con la webcam dando click en el botón *Iniciar*, esperando obtener la mejor imagen, se continúa con la acción *analizar* dando click en ella, con la previa operación se ejecuta la captura de imagen muestra y por consiguiente el desarrollo del

algoritmo matemático que permite determinar la imagen Munsell y código Munsell correspondiente.

Se seleccionaron 10 muestras de suelo correspondientes a las 10 imágenes de color empleados en el estudio de calibración. El análisis radica en determinar o reconocer el color idóneo para la muestra de suelo analizada, al igual que en la calibración se realiza el estudio por 10 veces consecutivas para nuevamente diagnosticar el número de aciertos y desaciertos, además anticipadamente se realizó la determinación de color y código Munsell de las muestras de suelo por especialistas o profesionales del laboratorio LABGAA empleando el método convencional, el cual se empleará como registro referencia para este estudio.

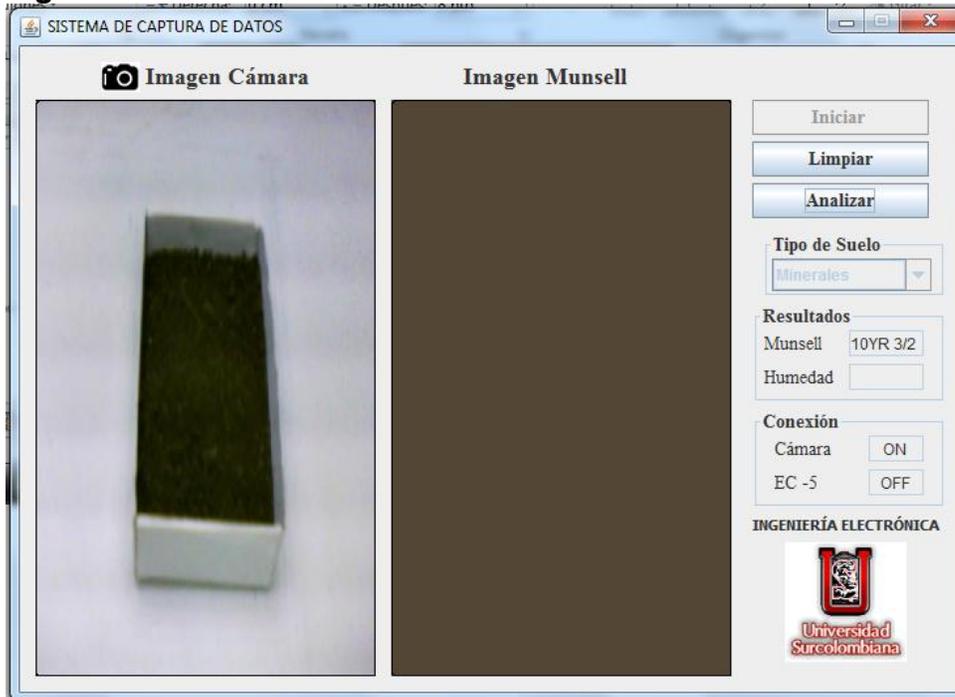
En las Figuras 32, 33, 34 y 35, se visualiza el sistema captura de datos para 4 muestras de suelo preseleccionadas donde se identifica su imagen Munsell y código Munsell correspondiente.

Figura 32. Muestra de suelo 10YR 6/8.



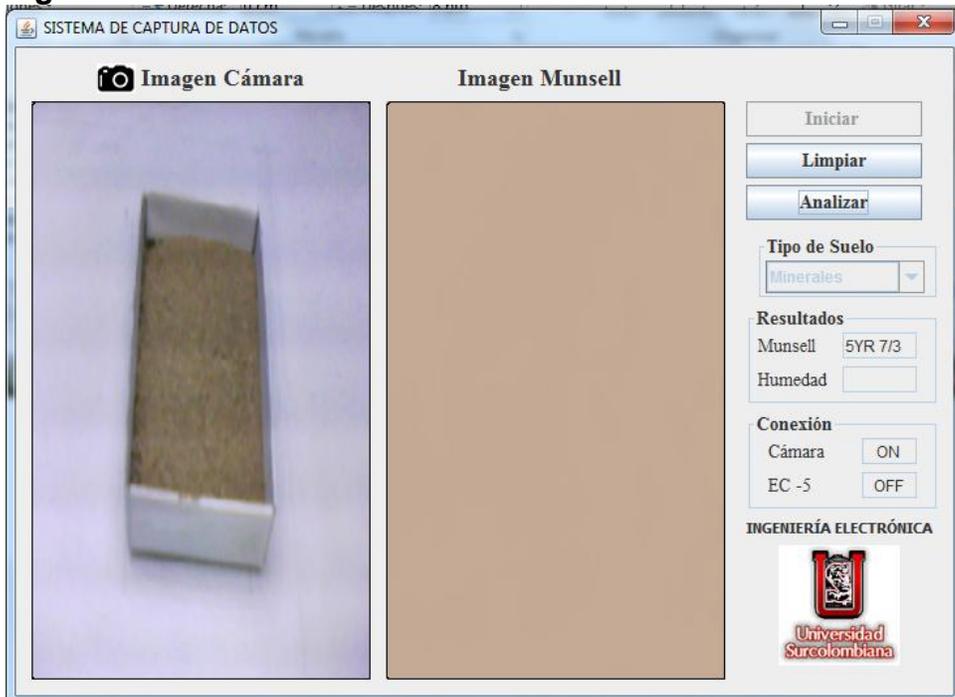
Fuente: Autores.

Figura 33. Muestra de suelo 10YR 3/2.



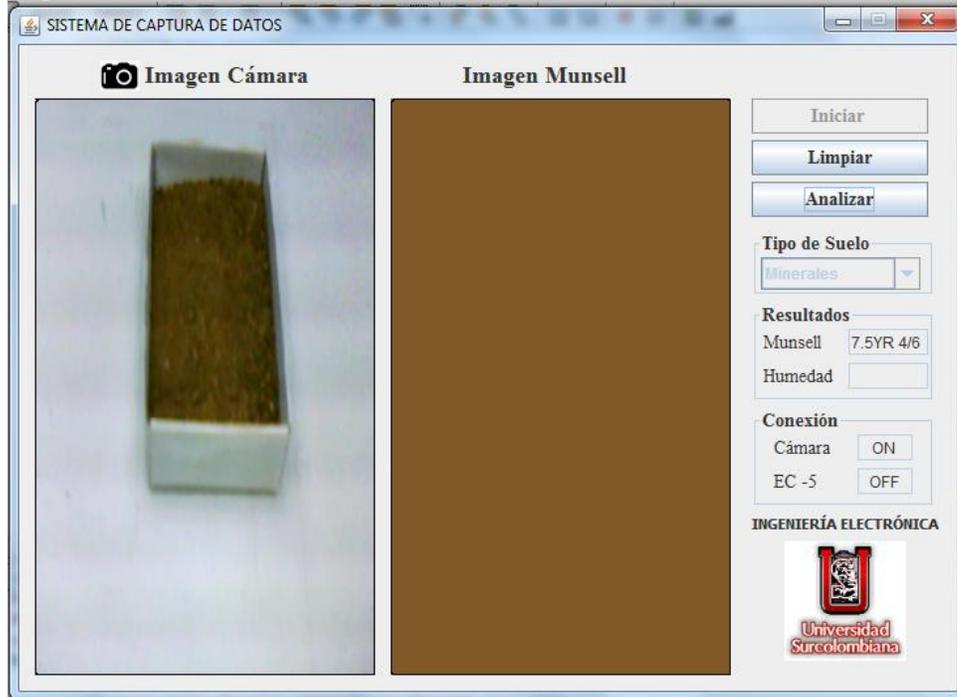
Fuente: Autores.

Figura 34. Muestra de suelo 5YR 7/3.



Fuente: Autores.

Figura 35. Muestra de suelo 7.5YR 4/6.



Fuente: Autores.

El análisis Munsell implementado en el sistema computacional presentaría una gran aceptación si el porcentaje de aciertos permaneciera en el 70% o superior. Para ello se halla la probabilidad de poder obtener 7/10 aciertos por muestra. Vale recordar que la base de datos consta de 199 imágenes Munsell, por lo tanto si se desea hallar un suceso de éxito, ósea de que caiga en el valor acertado es 1/199, 1 caso favorable entre 199 casos posibles.

$$p = \frac{1}{199} = 0.005 \quad \text{Ecuación 10}$$

donde p se denota suceso de éxito

Se halla probabilidad de obtener 7 aciertos, para ello se aplica la formula

$$P = (x = k) = \binom{n}{k} * p^k * q^{n-k} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

Ecuación 12

donde

k , es la cantidad de aciertos deseados

n , es el total de posibles aciertos

p , es el suceso de éxito

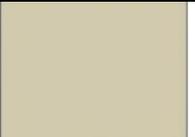
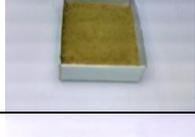
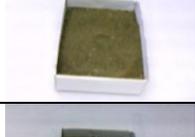
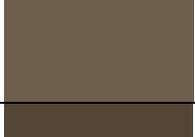
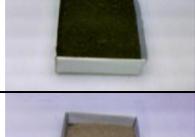
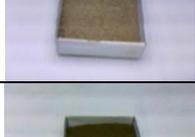
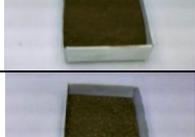
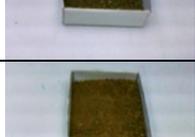
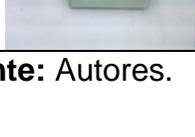
q , es el suceso de no éxito

Al utilizar la Ecuación 12, y haciendo $k = 7$ y $n = 10$ se obtiene un numero posibles de combinaciones $\binom{n}{k} = 120$. Ahora si se desea saber la probabilidad de tener 7 aciertos se hará uso de la Ecuación 11, por lo tanto se tiene $p = 0.005$ y $q = 0.995$, la probabilidad que se obtiene es $P = 9.23 * 10^{-15}$.

Se observa claramente que el valor de probabilidad de obtener 7 aciertos es muy pequeña, eso indica que si se tratara de un juego de azar o cualquier mecanismo sin medidas de control se tendría las minúsculas posibilidades de acertar. Por ello la importancia de contar con una iluminación estable y controlada y la cámara web esté en condiciones óptimas para realizar la toma de datos, en cuanto al algoritmo matemático no se tiene el menor cuidado ya que se trata de un método preciso, definido y finito.

En el Cuadro 5, se expone el resultado del estudio de las 10 muestras de suelo.

Cuadro 5. Resultados de las 10 muestras de suelo.

N°	MUESTRA DE SUELO	RESULTADOS ESPECIALISTA LABGAA		N° ACIERTOS	MEDIANA	MEDIA
		IMAGEN MUNSELL	CODIGO MUNSEL			
1			2.5Y 8/2	6	7	6.9
2			10YR 6/8	8		
3			10YR 7/6	7		
4			10YR 8/6	7		
5			10YR 4/2	6		
6			10YR 3/2	7		
7			5YR 7/3	7		
8			2.5YR 5/4	6		
9			7.5YR 5/4	7		
10			7.5YR 4/6	8		

Fuente: Autores.

Al examinar los resultados del estudio del cuadro anterior, este presenta una media o promedio de aciertos de $6.9 \approx 7$, lo cual indica el cumplimiento al objetivo propuesto y en términos razonables presenta buena aceptación.

Cabe recordar que los datos suministrados por el especialista del laboratorio LABGAA, no son necesariamente exactos y únicos ya que se presenta factores que pueden variar un poco la apreciación del especialista como lo son, la iluminación y la interpretación, este es un dato subjetivo y depende de la agudeza visual del ejecutor, pero se contempla por la experiencia en el tema.

También es importante mencionar que se cuenta con una base de datos que posee colores muy cercanos, mirándolo desde el punto de vista del espacio de color al seleccionar un tono, este tiene alrededor de su vecindad tonos muy semejantes para el ojo humano.

Se puede afirmar con seguridad que el algoritmo matemático para el reconocimiento de color funciona cabalmente, si existiera un equívoco se pudiera tratar de las condiciones de funcionamiento de la cámara web.

6.2.2 Análisis de humedad. En el proceso de análisis de humedad, el GUI final funciona como el medio de visualización, donde se apreciará los valores de porcentaje de humedad provenientes del prototipo electrónico.

Se seleccionaron 4 muestras de suelos, se analizaron cada una de estas muestras determinando la capacidad de agua disponible en ellas; aumentado el grado de saturación cada vez más. Se utilizó como método de referencia el sensor EC-5 con su respectivo sistema de adquisición de datos propiedad de laboratorio LABGAA. El laboratorio LABGAA ha determinado un margen de error relativo promedio aceptable del $\pm 5\%$ independientemente del método a utilizar.

En los Cuadros 6, 7, 8 y 9 se pueden apreciar la comparación de rangos obtenidos por ambos sistemas, error relativo por toma y error relativo promedio por muestra.

Cuadro 6. Comparación valores de humedad muestra 1.

MUESTRA 1										
AUMENTA SATURACION→	1		2		3		4		5	
	(m3/m3)	(%)								
SENSOR REFERENCIA	0,100	10	0,173	17,3	0,300	30	0,403	40,3	0,509	50,9
SENSOR ESTUDIO	0,109	10,9	0,178	17,8	0,291	29,1	0,406	40,6	0,513	51,3
ERROR REALTIVO	0.09		0,028		0,03		0,007		0,007	
ERROR PROMEDIO	0,0324									

Fuente: Autores.

Cuadro 7. Comparación valores de humedad muestra 2.

MUESTRA 2										
AUMENTA SATURACION→	1		2		3		4		5	
	(m3/m3)	(%)								
SENSOR REFERENCIA	0,139	13,9	0,245	24,5	0,319	31,9	0,579	57,9	0,636	63,6
SENSOR ESTUDIO	0,147	14,7	0,270	27	0,310	31	0,535	53,5	0,621	62,1
ERROR RELATIVO	0,057		0,102		0,028		0,075		0,023	
ERROR PROMEDIO	0.057									

Fuente: Autores.

Cuadro 8. Comparación valores de humedad muestra 3.

MUESTRA 3										
AUMENTA SATURACION→	1		2		3		4		5	
	(m3/m3)	(%)								
SENSOR REFERENCIA	0,098	9,8	0,174	17,4	0,309	30,9	0,455	45,5	0,576	57,6
SENSOR ESTUDIO	0,106	10,6	0,187	18,7	0,334	33,4	0,455	45,5	0,588	58,8
ERROR RELATIVO	0,081		0,074		0,08		0,0		0,020	
ERROR PROMEDIO	0,051									

Fuente: Autores.

Cuadro 9. Comparación valores de humedad muestra 4.

MUESTRA 4										
AUMENTA SATURACION→	1		2		3		4		5	
	(m3/m3)	(%)								
SENSOR REFERENCIA	0,095	9,5	0,150	15	0,300	30	0,480	48	0,529	52,9
SENSOR ESTUDIO	0,101	10,1	0,141	14,1	0,276	27,6	0,494	49,4	0,535	53,5
ERROR RELATIVO	0,063		0,06		0,08		0,029		0,011	
ERROR PROMEDIO	0,048									

Fuente: Autores.

Al observar detenidamente cada uno de los cuadros, se constata que matemáticamente presentan resultados muy buenos con un porcentaje de error relativo de entre el 3.24% y 5.7%, lo cual es un valor admisible desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo, asimismo representa la gran correlación que se tiene con los demás métodos.

Finalmente se puede decir que el prototipo en general, cumple con los objetivos propuestos inicialmente, ya que sirve de gran ayuda en el laboratorio LABGAA para el análisis de suelos y puede llegar a agilizar en gran parte el trabajo del especialista quien analiza las muestras.

7. CONCLUSIONES

A medida en que fue avanzando el desarrollo del proyecto fue posible llevar a cabo un conjunto de observaciones y un estudio adjetivo del funcionamiento del sistema. Inicialmente se analiza el desempeño del IDE (*Integrated Development Environment*), como también la interpretación o estudio matemático en que se basa para determinar y analizar las imágenes y la humedad.

Herramienta de programación

La plataforma Netbeans (*entorno de desarrollo integrado libre*), ha sido una herramienta muy versátil en el transcurso del desarrollo de este proyecto siendo explícitamente trabajable en lenguaje de programación JAVA y por lo tanto soporta cualquier novedad de la misma adaptándose rápidamente a el cambio. En este proyecto Netbeans ha sido simplificador de trabajo a la hora de realizar el código de programación, posee un conjunto de componentes de software llamados módulos que a su vez contiene clases de java que permite realizar con eficiencia cualquier aplicación; en este caso, procesamiento con imágenes, monitoreo de propiedades y variables en tiempo real, propiedades que en este proyecto fueron fundamentales en el momento de escoger la herramienta de desarrollo.

Es de vital importancia dejar claro que llegado el momento de pensar en un proyecto de alta exigencia computacional. Netbeans no es la herramienta adecuada para esta labor porque se tornaría lenta la ejecución de programas.

Aplicación del prototipo

Al poner en funcionamiento el prototipo electrónico para el análisis de color y humedad en el laboratorio LABGAA, este ofrecerá muchas ventajas - utilidades al personal asociado y al mismo laboratorio.

- En primera instancia optimizará el tiempo de ejecución para el análisis de las muestras, tratándose de la determinación del color basta con capturar la imagen de la muestra a analizar y con un solo click se obtiene la imagen correspondiente munsell a esa muestra de suelo. Por el contrario al hacer referencia al método convencional el laboratorista tendrá que observar y comparar detenidamente una a una los 199 colores Munsell hasta hallar la más idéntica posible para él según su experiencia en el campo.

En cuanto a la determinación de la humedad solo basta con inicializar sistema para obtener los datos en tiempo real de cantidad de agua por

volumen del suelo. Considerando el método habitual de los laboratorios se requiere de un periodo mayor a 24 horas para realizar estos cálculos.

- Por otro lado incrementará el grado de precisión en el análisis para la determinación de parámetros de la muestra, al tratarse de un componente software y gracias al algoritmo matemático aplicado a este, lo hace más seguro, exacto y eficaz en el momento de realizar el análisis.

Utilidades del sensor de humedad

El sensor de humedad EC-5, posee un rango amplio de aplicación al determinar el porcentaje de humedad a cualquier tipo de suelo, para el desarrollo de este proyecto se ha establecido la ecuación característica para suelos minerales, los cuales son los más explorados en el ámbito del estudio de la ingeniería agrícola.

Validación de datos

Se realiza la validación de los resultados obtenidos, evaluando la eficiencia del sistema diseñado comparándolos con los métodos tradicionales utilizados en el laboratorio LABGAA. El resultado del proyecto fue satisfactorio ya que cumple en gran medida con los objetivos propuestos inicialmente y sin duda será de gran ayuda para el personal especializado en el análisis de las muestras de suelo.

8. RECOMENDACIONES

Si lo que se desea es aumentar la calidad del procesamiento de imagen en el prototipo implementado, se puede optar por la biblioteca libre de visión artificial OPEN CV. Esta biblioteca es una herramienta con infinidad de aplicaciones y especializada en control de procesos de imágenes como, reconocimiento de objetos o colores, calibración de cámaras entre otras, además de ser un entorno de desarrollo fácil de usar y muy eficiente, existiendo también en versiones para Linux, Mac y Windows.

Es posible adicionar un monitoreo del prototipo electrónico desde una aplicación móvil implementando un sistema de conexión inalámbrica, ya sea WiFi, Bluetooth, ZigBee entre otras. En este proyecto no es crítica la velocidad de transmisión por que la señal que se mide es de tipo ambiental (humedad del suelo) y no cambiará rápidamente.

El prototipo desarrollado está probado hasta la versión de Windows 8, limitado esta última a que el JDK kit de desarrollo java se debe instalar bajo el dominio de C:\Program Files (x86), para no crear conflictos con la librería Java Media Framework (JMF) en el sistema ya que se trata de una aplicación en fase de desarrollo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAIRCHILD, M., LANDA, E. Cartografía del color según su percepción visual. En: *Mente y Cerebro*, 2006, no.16, p 77-84.

GONZALES M, Carlos Alberto. Contenido de Humedad de Agua en el Suelo. R.A.S.P.A Relación Agua, Suelo, Planta, Atmosfera. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Santa fe de Bogotá

HOFFMANN, G. El Munsell Digital, Planes de Constante Munsell, 2013. p 3-24

IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma

JARAMILLO J, Daniel F. El Color del Suelo En: *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín, 2002. p 117-126

REYNA, T., REYNA, S., LÁBAQUE, M., FULGINITI, F., RIHA, C., LINARES, J. Importancia de la Determinación de la Humedad en los Estudios de Infiltración y Escorrentía Superficial para Periodos Largos, *Revista Ambiental y Agua*, Taubaté., 2011. 1980-993X

RIVASPLATA D, Julio Cesar. *Mecánica de Suelos*. Universidad Nacional del Santa. Perú

[Citado el 17 de Noviembre de 2014], Disponible en <<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/jdk8-downloads-2133151.html>>

[Citado el 17 de Noviembre de 2014], Disponible en <<https://netbeans.org/downloads/>>

[Citado el 04 de Diciembre de 2014], Disponible en <<https://docs.oracle.com/apps/search/search.jsp?category=database&product=&q=java>>

[Citado el 21 de Diciembre de 2014], Disponible en <<http://www-03.ibm.com/software/products/en/ratirosefami>>

[Citado el 11 de Enero de 2015], Disponible en <http://www.ecured.cu/Distancia_euclídea>

[Citado el 03 de Marzo de 2015], Disponible en <<https://www.decagon.com/en/soils/volumetric-water-content-sensors/ec-5-lowest-cost-vwc/>>

[Citado el 15 de Noviembre de 2015], Disponible en <<http://www.fao.org/docrep/006/w1309s/w1309s04.htm>>

[Citado el 18 de Noviembre de 2015], Disponible en <http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n3/texto/fovalles.htm>

[Citado el 20 de Noviembre de 2015], Disponible en <<http://normas-icontec.com/>>

DECAGON DEVICE. Calibration and Evaluation of an Improved Low-Cost Soil Moisture Sensor [Fotos]. Pullman, WA -USA. 2008. Foto, Blanco y negro.

ANEXOS

Anexo A. Sensor de color (cámara web).

Figura 1. Cámara web.



Fuente:<http://support.hp.com/es-es/product/HP-Web-Cameras/3308629/model/4149872/drivers/>

Las especificaciones de la cámara web se mencionan a continuación.

- Serie: 2100.
- Fabricante: HP (Hewlett-Packard).
- Video: 640 X 480 VGA a 30 fps.
- Foto: 8 Megapíxeles.
- Conexión: UVS (USB Video Class).

Los requerimientos mínimos del sistema se describen a continuación.

- Sistema Operativo, Windows® XP, Windows Vista® (32 ó 64 bits) o Windows® 7 (32 ó 64 bits).
- Procesador, Pentium IV 2,4 GHz o AMD Athlon equivalente.
- Memoria (disco duro), 130 MB de espacio libre en el disco duro para la instalación del programa.
- Memoria RAM, 512 MB DDR RAM o superior.
- Pantalla, Monitor en color de 16 bits con una resolución de 800x600, compatible con DirectX 3D.
- DirectX 9.0c o superior.

Anexo B. Sensor de humedad.

Figura 2. Sensor de Humedad.



Fuente: <http://www.decagon.com/products/soils/volumetric-water-content-sensors/>

Las especificaciones del sensor de humedad usado en este proyecto se describen a continuación.

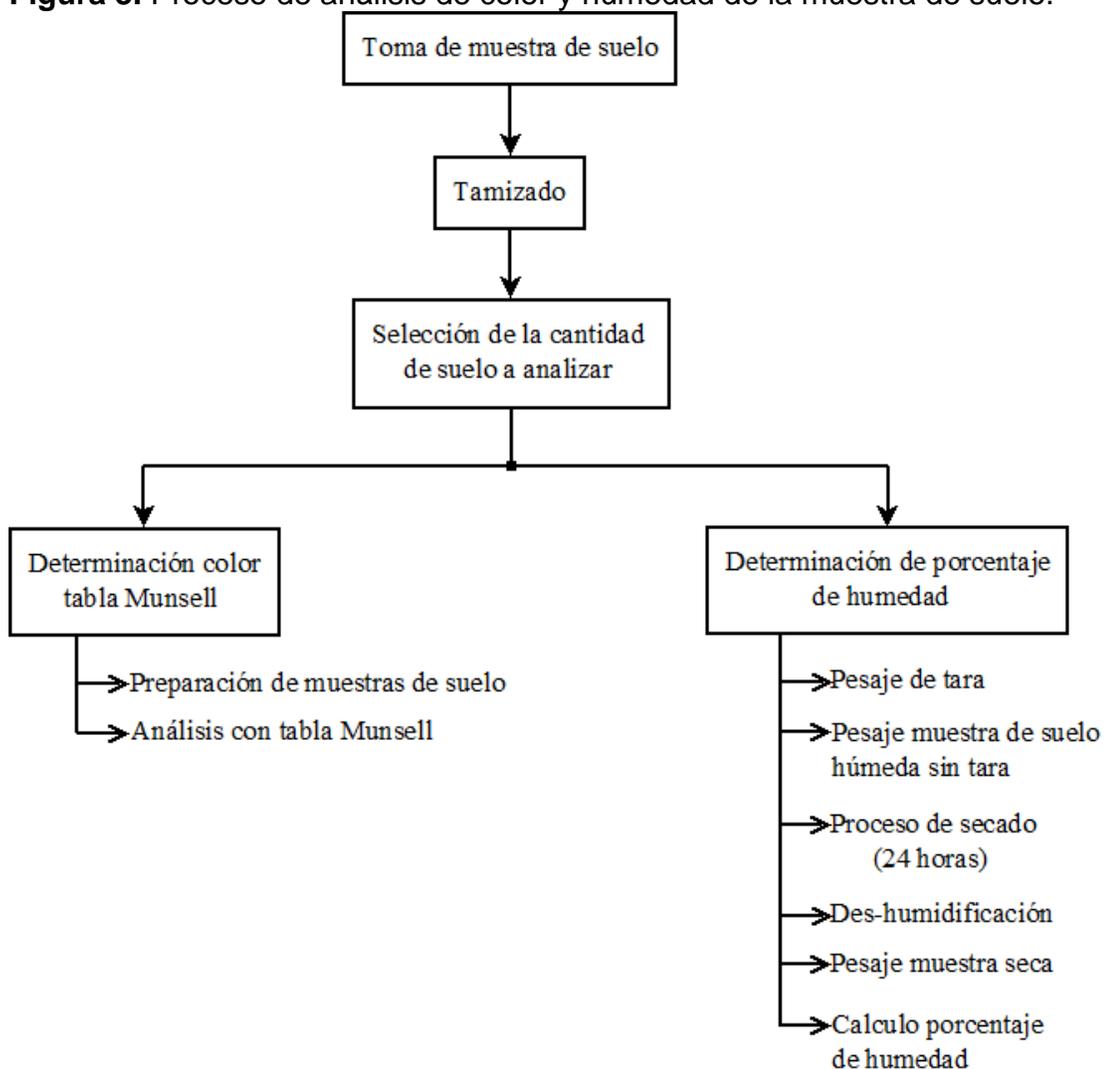
- Serie: EC - 5.
- Fabricante: Decagon Devices, Inc.
- Tiempo de medición: 10 ms (milisegundos).
- Precisión: al menos 0,03 m³/m³ suelos típicos, 8 dS/m.
- Resolución: 0.001 m³ / m³ VWC en suelos minerales, 0,25% en suelos orgánicos.
- Fuente de Alimentación: 2,5 V CC a 3,6 VCC a 10 mA.
- Salida: 10 a 40% de la tensión de excitación (250 a 1000 mV en 2500 mV excitación)
- Temperatura de operación: 0 a 50 °C.
- Rango de medición: 0 a 100%.
- Dimensiones del sensor: 8,9 cm x 1,8 cm x 0,7 cm.
- Tipos de conectores: 3,5 mm (estéreo), Cable estañado.
- Longitud del cable: 5 m estándar.

Anexo C. Proceso de determinación de color y humedad del suelo.

Proceso de determinación del color y humedad del suelo

- **Etapa 1 Análisis de los métodos utilizados:** En esta etapa se realizó el análisis de color y humedad de la muestra de suelo mediante el proceso manual y tradicional como se puede observar en la Figura 3.

Figura 3. Proceso de análisis de color y humedad de la muestra de suelo.



Fuente: Autores.

Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad de una masa de suelo está formado por la suma de sus aguas libre¹⁵, capilar¹⁶ e higroscópica¹⁷. La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en un laboratorio, es por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas del mismo, como muestran las Ecuaciones 1 y 2

$$W_w = W_h - W_s \quad \text{Ecuación 1}$$

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

donde,

W : Contenido de humedad expresado en %

W_w : Peso del agua existente en la muestra de suelo

W_s : Peso de la muestra seca-sólida

W_h : Peso de la muestra húmeda.

Método de laboratorio

Equipos necesarios

- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $200^\circ \pm 5^\circ \text{C}$, se aprecia en la Figura 4.

¹⁵ Ocupa los macroporos del suelo de forma transitoria, hasta que es arrastrada por la fuerza de la gravedad en suelos correctamente drenados.

¹⁶ Se encuentra retenida por los microporos del suelo venciendo la fuerza de gravedad. Parte de esta agua es aprovechable por las plantas.

¹⁷ Fuertemente fijada por las partículas del suelo. No se encuentra disponible para las plantas puesto que las raíces carecen de la fuerza de succión necesaria para extraerla.

- Balanza analítica se puede observar en la Figura 5.
- Herramientas y accesorios. Recipientes de aluminio, guantes, espátula, pinzas para crisol y brocha.

Procedimiento.

- Se toma un recipiente de aluminio cuya capacidad no supere los 200 gramos como se observa en la Figura 6, se le eliminan impurezas. Se procede a tomar el peso del recipiente vacío en la balanza analítica mostrado en la Figura.7.
- Se toma una muestra representativa de suelo menor de 150 gramos, luego se coloca la muestra húmeda en el recipiente previamente tarado como se observa en la Figura.8 para proceder a pesar la muestra húmeda más el recipiente.
- Se coloca el conjunto dentro de un horno durante un periodo de tiempo de 24 horas a una temperatura constante de $200^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$ como se muestra en la Figura 9.
- Transcurrido dicho tiempo, se procede a la deshumidificación de la muestra de suelo como se muestra en la Figura 10.
- Se determina el peso del recipiente con la muestra seca, se puede apreciar en la Figura 11.
- Se calcula el peso del agua existente en la muestra de suelo como se indica en la Ecuación 1.
- Se calcula el porcentaje de humedad en el suelo como se muestra en la Ecuación 2.

Figura 4. Horno de secado.



Fuente: Autores

Figura 5. Balanza analítica.



Figura 6. Recipientes de aluminio.



Fuente: Autores

Figura 7. Pesaje recipiente de aluminio.



Fuente: Autores

Figura 8. Recipientes con muestra húmeda.



Fuente: Autores

Figura 9. Proceso de secado.



Fuente: Autores

Figuras 10. Proceso de des-humidificación.



Fuente: Autores



Figura 11. Proceso de pesaje de la muestra seca.



Fuente: Autores

Método de campo

El tacto y la apariencia del suelo varían con la textura y el contenido de humedad. Las condiciones de humedad del suelo pueden calcularse por experiencia con una exactitud de aproximadamente el 5 por ciento de error. Para cada muestra el “método de tacto y apariencia” incluye.

- Obtener la muestra de suelo escogida.
- Comprimir varias veces con firmeza la muestra de suelo en la mano para formar una bola con forma irregular.
- Comprimir la muestra de suelo entre los dedos pulgar e índice para formar una cinta.
- Observar la textura del suelo, la capacidad para convertirse en cinta, su firmeza, la aspereza de la superficie de la bola, el brillo del agua, las partículas sueltas, las manchas que deja el suelo/agua en los dedos y el color del suelo. (Nota: una bola demasiado débil se desintegrará con un simple rebote en la mano. Una bola débil se desintegra después de dos o tres rebotes).
- Comparar las observaciones con fotografías y/o tablas que permitan calcular el porcentaje de agua disponible.

Porcentaje Disponible: Humedad del suelo actualmente disponible como porcentaje de la capacidad de agua disponible.

0-25 por ciento disponible: Seco, suelto, se mantiene unido si no se molesta, deja granos de arena sueltos en los dedos si se aplica presión. No se aprecia una figura ya que en este porcentaje de humedad la muestra de suelo es polvillo y no se observa en la mano.

25-50 por ciento disponible: Levemente húmedo, forma una bola bastante débil con las marcas de los dedos bien definidas, una capa suave de granos de arena sueltos y agregados queda en los dedos. como se puede apreciar en la Figura 12.

50-75 por ciento disponible. Húmedo, forma una bola débil que deja granos de arena sueltos y agregados en los dedos, color oscuro, mancha moderada de agua en los dedos, no se forma cinta, lo descrito se observa en la Figura 13.

75-100 por ciento disponible. Mojado, forma una bola débil, quedan granos de arena sueltos y agregados en los dedos, color oscuro, manchas gruesas de agua en los dedos, no forma cinta, se muestra en la Figura 14.

100 por ciento disponible. Mojado, forma una bola débil, deja una capa moderada/gruesa de suelo/agua en los dedos, queda una marca mojada de la bola suave en la mano.

Figura 12. Determinación de humedad 25 – 50 %.



Fuentes: Agromochica S.R.L

Figura 13. Determinación de humedad 50 – 75



Fuente: Agromochica S.R.L

Figura 14. Determinación de humedad 75 – 100 %.



Fuente: Agromochica S.R.L

Determinación color Tabla Munsell

La determinación del color de un suelo se lleva a cabo mediante la comparación de una muestra del mismo con las plaquitas de colores que componen cada una de las cartas de hue disponibles en la tabla; esta comparación se hace colocando la muestra en la ventana que se encuentra entre las placas coloreadas, estudiando varias alternativas, hasta que se encuentre la plaquita que coincida, lo más cerca posible, con el color que tiene el suelo.

En la descripción del color del suelo se utilizan dos parámetros: **La notación Munsell y el color Munsell**. La notación define los valores para los parámetros hue, value y chroma del color del suelo. El color Munsell asigna un nombre de color a una determinada notación, con el fin de uniformizar la nomenclatura que se dé a los colores y ellos se encuentran en la página opuesta a la página donde se presentan las plaquitas de color correspondientes a cada hue.

Cuando se ha encontrado el color del suelo en la tabla, se procede a establecer su notación Munsell; en la parte superior derecha de la hoja respectiva se busca el hue correspondiente; en la margen izquierda se encuentran los numeradores de una fracción que corresponden al value; se toma el value que identificó el color del suelo y se coloca a continuación del hue; luego, en la parte inferior de la hoja se encuentran los chromas, en forma de denominadores de fracciones; se toma el que corresponde al color de la muestra y se coloca como denominador de la fracción que se inició con el value, completando así la notación del color buscado. En la página opuesta a la de las notaciones de los colores se ubica la notación que resultó elegida y se toma el nombre del color Munsell que le corresponde, queda identificado así el color del suelo.

- Preparación de la muestra de suelo; en un papel blanco vierte del contenido de la muestra de suelo y se nivela dejando una superficie plana, esto se puede apreciar en la Figura 15.

Figura 15. Preparación muestra de suelo.



Fuente: Autores

- Se toman las diferentes cartas de la Tabla Munsell y se van comparando con la muestra de suelo hasta encontrar similitud entre los colores como muestra la Figura 16 y se determina la notación Munsell.

Figura. 16 Determinación color.



Fuente: Autores

Anexo D. Manual del usuario

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anexo es ofrecer al usuario una guía completa del sistema, proporcionándole un buen conocimiento acerca de todas las herramientas con las que cuenta, su descripción, su funcionamiento, entre otras.

Se presenta las diferentes interfaces con las que el usuario podrá encontrarse, al explorar las diferentes funciones que proporciona el sistema, mostradas en Iconos y Botones asociados a tareas específicas.

El sistema ha sido desarrollado bajo el entorno de desarrollo integrado Netbeans programado en lenguaje Java, el cual resulta ser muy sencillo para desarrolladores acostumbrados a trabajar bajo estos ambientes. Es indispensable este manual de usuario para tener un mejor manejo y aprovechamiento de esta aplicación ya que el prototipo electrónico va dirigido para personal de cualquier índole profesional.

2. ASPECTOS GENERALES

Aquí se puede encontrar todos los aspectos relacionados con los requerimientos mínimos que debe tener el sistema en el cual se le va a instalar la aplicación, como también el procedimiento que se debe seguir a la hora de realizar la instalación.

2.1. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS

- Espacio en disco: Es necesario tener de espacio libre al menos 240 MB en disco duro.
- Procesador: como mínimo de 1.5Ghz.
- Software:
 1. Windows 7 o 8 para facilitar la búsqueda de la aplicación
 2. Entorno de desarrollo integrado netbeans IDE 8.0.1 para 32 o 64 bits
 3. JDK kit de desarrollo java , para crear y compilar código java
 4. Librerías necesarias para JAVA Netbeans
 - Java Media Framework (JMF) es un API para la manipulación y procesamiento de medios en Java.

-librería de comunicaciones RxTx es un conjunto de clases de Java que permite las comunicaciones entre el computador y el microcontrolador.

- Hardware:
 1. Cámara web, sus especificaciones se muestran en el anexo 1.
 2. Sensor de humedad de suelos, sus especificaciones se pueden estudiar en el anexo 2.
 3. Prototipo electrónico donde se lleva a cabo la captura de las variables de humedad e imagen.

2.2 INSTALACIÓN

Para instalar el Netbeans IDE en Windows se debe en primer lugar descargar la versión más reciente del java JDK, para este proyecto solo interesa las señaladas en la Figura 17, tratándose de arquitecturas de 32 bit o 64 bit. A continuación se muestra la dirección de descarga.

<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/jdk8-downloads-2133151.htm>

Figura 17. Pagina descarga JDK 8

JDK 8u51 Checksum

Looking for JDK 8 on ARM?
JDK 8 for ARM downloads have moved to the JDK 8 for ARM download page.

Java SE Development Kit 8u51
You must accept the Oracle Binary Code License Agreement for Java SE to download this software.

Accept License Agreement Decline License Agreement

Product / File Description	File Size	Download
Linux x86	146.9 MB	jdk-8u51-linux-i586.rpm
Linux x86	166.95 MB	jdk-8u51-linux-i586.tar.gz
Linux x64	145.19 MB	jdk-8u51-linux-x64.rpm
Linux x64	165.25 MB	jdk-8u51-linux-x64.tar.gz
Mac OS X x64	222.09 MB	jdk-8u51-macosx-x64.dmg
Solaris SPARC 64-bit (SVR4 package)	139.36 MB	jdk-8u51-solaris-sparcv9.tar.Z
Solaris SPARC 64-bit	98.8 MB	jdk-8u51-solaris-sparcv9.tar.gz
Solaris x64 (SVR4 package)	139.79 MB	jdk-8u51-solaris-x64.tar.Z
Solaris x64	96.45 MB	jdk-8u51-solaris-x64.tar.gz
Windows x86	176.02 MB	jdk-8u51-windows-i586.exe
Windows x64	180.51 MB	jdk-8u51-windows-x64.exe

Java SE Development Kit 8u51 Demos and Samples Downloads
You must accept the Oracle BSD License, to download this software.

Accept License Agreement Decline License Agreement

Product / File Description	File Size	Download
Linux x86	52.4 MB	jdk-8u51-linux-i586-demos.rpm
Linux x86	52.26 MB	jdk-8u51-linux-i586-demos.tar.gz

Fuente: Oracle

El segundo paso es descargar el entorno de desarrollo integrado Netbeans IDE, para ello se propone el siguiente enlace oficial

<https://netbeans.org/downloads/>

En la Figura 18 se muestra la página de descarga del entorno de desarrollo integrado Netbeans IDE.

Figura 18. Página descarga Netbeans IDE.

Supported technologies *	Java SE	Java EE	C/C++	HTML5 & PHP	All
NetBeans Platform SDK	•	•			•
Java SE	•	•			•
Java FX	•	•			•
Java EE		•			•
Java ME					•
HTML5		•		•	•
Java Card™ 3 Connected					•
C/C++			•		•
Groovy					•
PHP				•	•
Bundled servers					
GlassFish Server Open Source Edition 4.1		•			•
Apache Tomcat 8.0.15		•			•

Download buttons and sizes: Java SE (Free, 90 MB), Java EE (Free, 186 MB), C/C++ (Free, 63 MB), HTML5 & PHP (Free, 63 MB), All (Free, 205 MB).

* You can add or remove packs later using the IDE's Plugin Manager (Tools | Plugins).

Important Legal Information: NetBeans Community Distributions are available under a Dual License consisting of the Common Development and Distribution License (CDDL) v1.0 and GNU General Public License (GPL) v2.

Fuente: Netbeans

Una vez finalizada la descarga, ejecutar el instalador.

- El archivo del instalador de Windows tiene la extensión .exe. Haga doble clic en él para ejecutarlo.
- Para seleccionar las herramientas y tiempos de ejecución que se van a instalar, siga estos pasos en la página de bienvenida del asistente de instalación:
 - Haga clic en Personalizar.
 - En el cuadro de diálogo Personalizar la instalación, realice las selecciones.
 - Haga clic en Aceptar.
- En la página de bienvenida del asistente para la instalación, haga clic en Siguiente.
- En la página del contrato de licencia, revise el contrato, marque la casilla de aceptación y haga clic en Siguiente.
- En la página de instalación de NetBeans IDE, siga estos dos pasos:

Paso 1. Acepte el directorio de instalación predeterminado de NetBeans IDE o especifique otro directorio. **Nota:** el directorio de instalación debe estar vacío y el perfil de usuario que utilice para ejecutar el instalador debe disponer de permisos de lectura/escritura en dicho directorio.

Paso 2. Acepte la instalación de JDK predeterminada para usarlo con NetBeans IDE o seleccione una instalación diferente en la lista desplegable. Si el asistente de instalación no encuentra una instalación de JDK compatible para usar con NetBeans IDE, no se instalará en la ubicación predeterminada. En este caso, especifique la ruta de un JDK instalado o cancele la instalación actual, instale la versión de JDK requerida y reinicie esta instalación.

NOTA: Para el caso de un equipo cuya versión de windows es 8 y arquitectura de 64 bits, el JDK kit de desarrollo java se debe instalar bajo el dominio de C:\Program Files (x86), para no crear conflictos con la librería Java Media Framework (JMF) en el sistema ya que se trata de una aplicación en fase de desarrollo.

3. DETALLE DE LA INTERFAZ

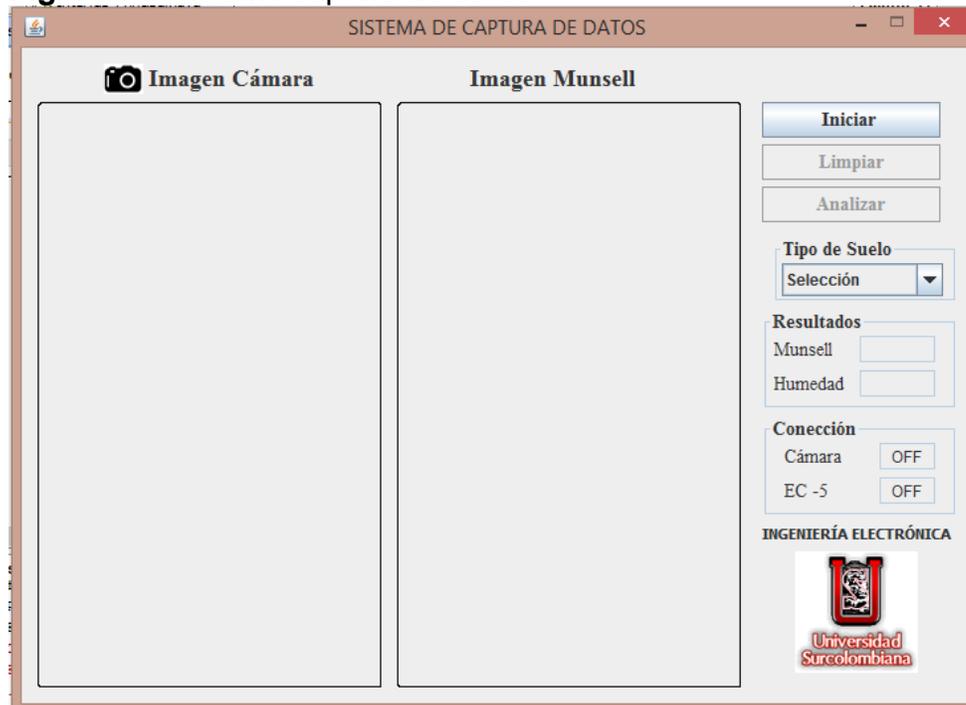
El sistema consta de una interfaz de entrada llamada SISTEMA DE CAPTURA DE DATOS, es la presentación general con la que el usuario se va a encontrar y donde ejecutará el análisis de las variables.

3.1. PRESENTACIÓN

Sistema captura de datos

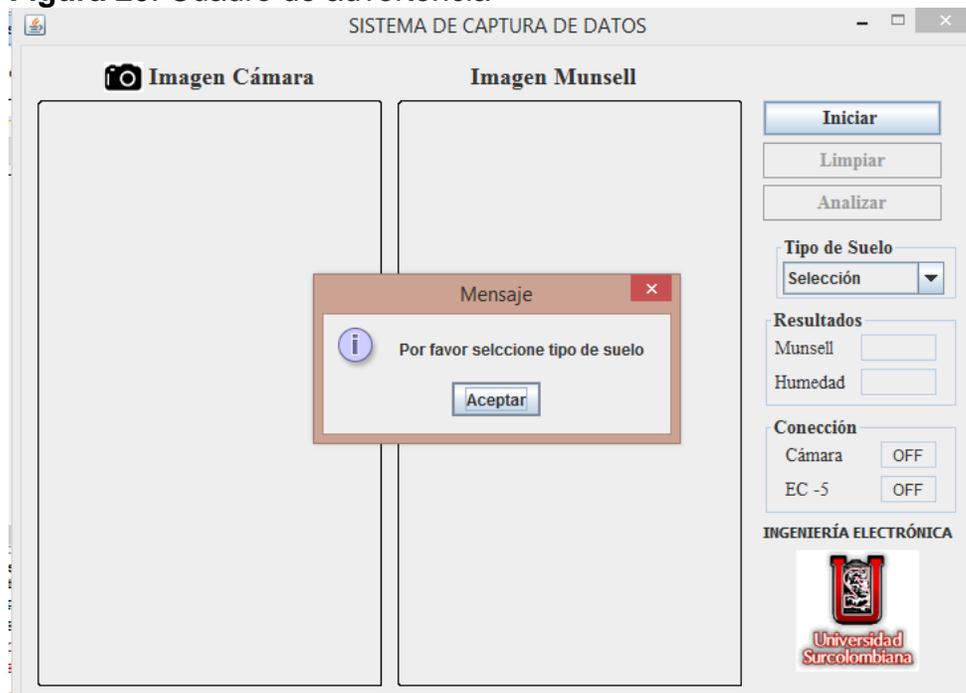
Corresponde a la entrada del sistema y es la primera ventana que el usuario va a descubrir. Al lado derecho de la Figura 19 se observa todas las opciones de selección o muestra de resultados, en primera instancia se encuentra las opciones *iniciar-limpiar-analizar* pero solo una está habilitada iniciar y es la que da la apertura al sistema de captura de imagen y captura humedad del suelo, pero no sin antes hacer selección del tipo de suelo en el menú de cascada tipo de suelo de lo contrario exhibirá un recuadro de advertencia solicitando seleccionar un tipo de suelo para poder continuar con la aplicación como se observa en la Figura 20.

Figura 19. Sistema captura de datos



Fuente: Autores.

Figura 20. Cuadro de advertencia

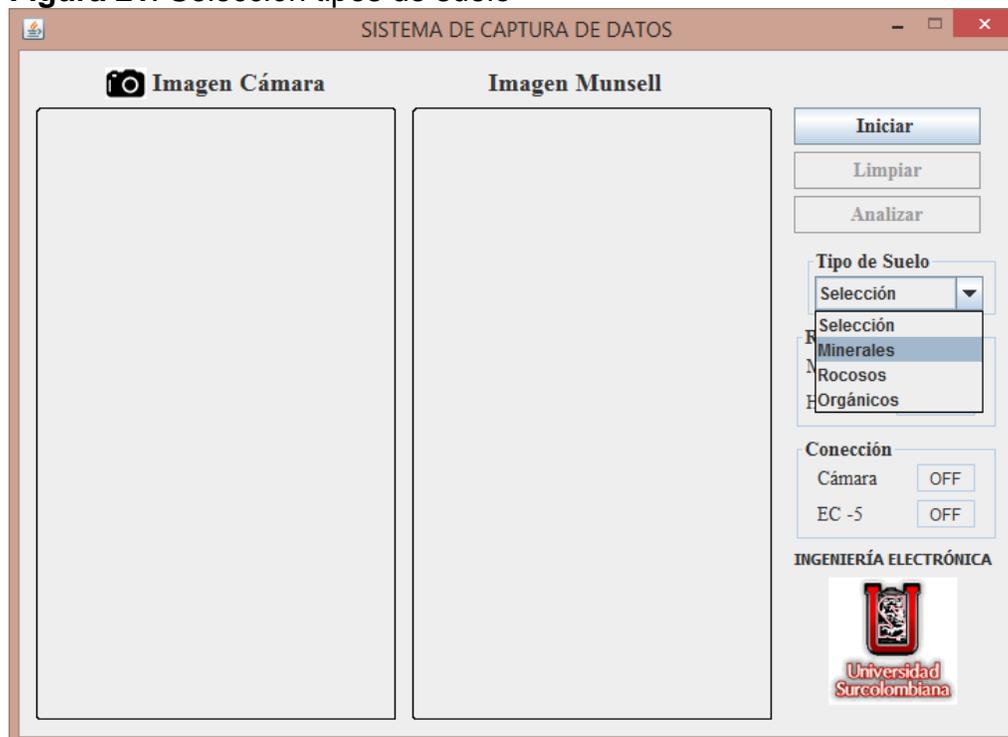


Fuente: Autores.

También se contempla los campos de texto resultados que son el código Munsell y porcentaje de humedad correspondiente a la muestra de suelo analizada. El campo de texto conexión muestra el estado de conexión de los dispositivos sensoriales (cámara web y sensor de humedad de suelos), si exhibe un ON significa que la conexión es exitosa, si por el contrario exhibe un OFF significa que la conexión es nula y por lo tanto debe de realizarse verificación de conexión de los dispositivos.

Entre los tipos de suelo a seleccionar se encuentran, minerales, rocosos y orgánicos como se aprecian en la Figura 21.

Figura 21. Selección tipos de suelo



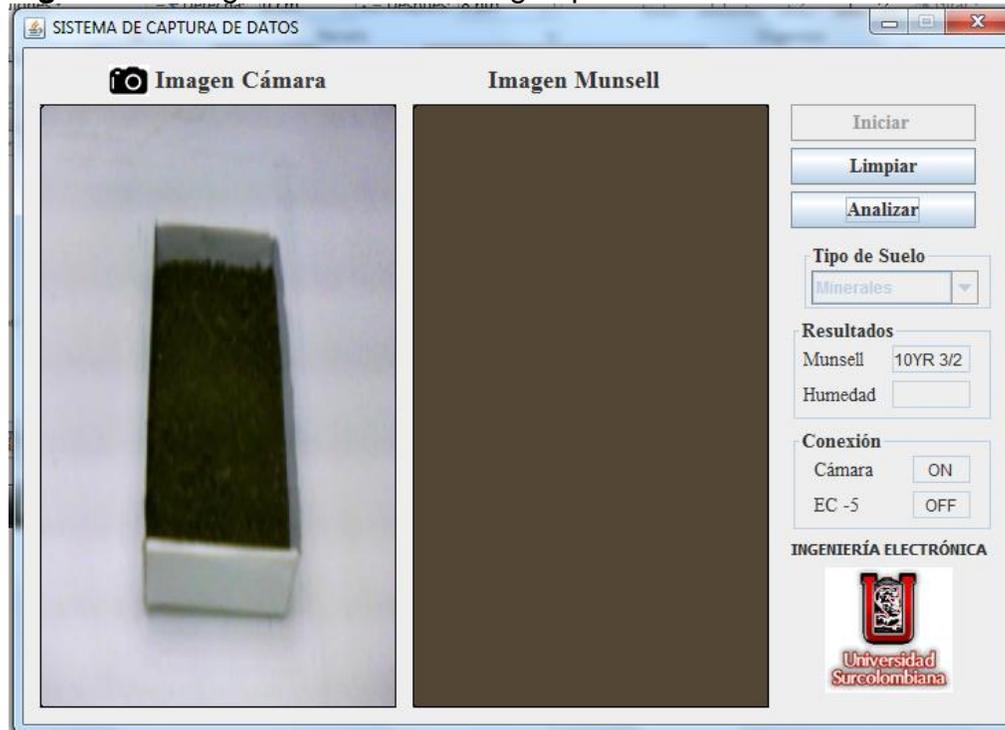
Fuente: Autores.

3.2 INICIO - ANÁLISIS

En este apartado trata del procedimiento a seguir para obtener el análisis de las muestras de suelo. Una vez seleccionado el tipo de suelo se procede a dar inicio dando click en el botón inicio, inmediatamente aparece la imagen en tiempo real de la muestra en el recuadro imagen cámara; cuando se considere que la imagen ya es la apropiada se continua con la captura dando click en el botón analizar lográndose visualizar la imagen estática de la muestra de suelo. En el mismo

instante en el recuadro *imagen Munsell* se visualiza la imagen patrón Munsell mas idéntica a la imagen de la muestra de suelo visualizada en el recuadro *imagen cámara*. Lo descrito anteriormente se puede observar en la Figura 22.

Figura 22. Imagen muestra v/s Imagen patrón

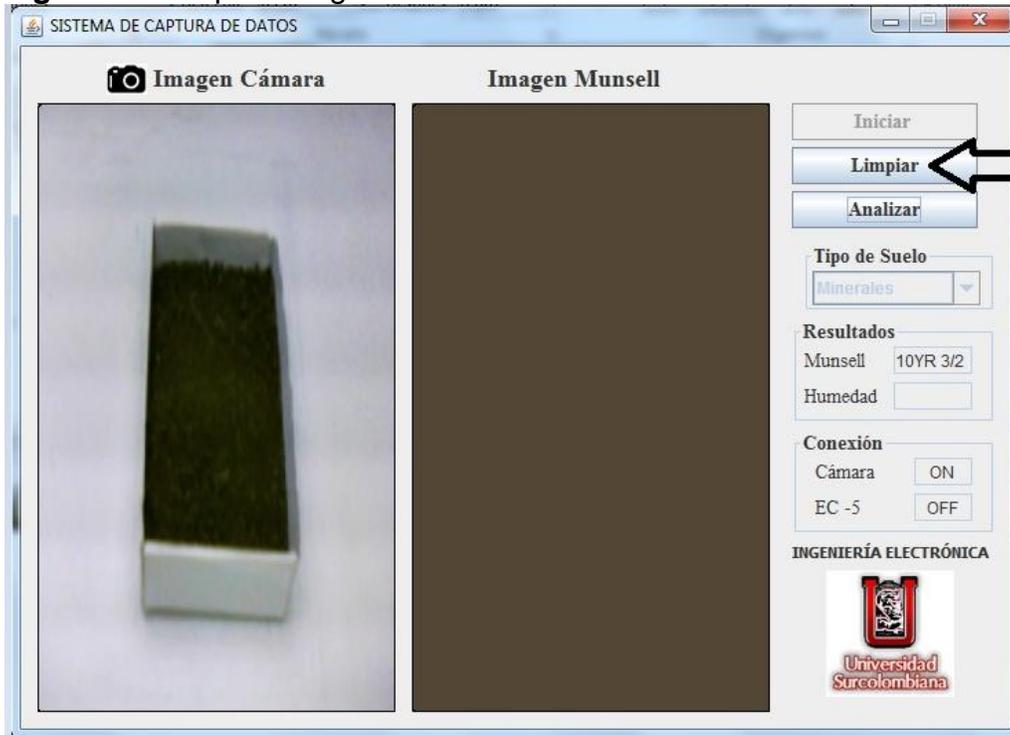


Fuente: Autores

Una vez es analizada y visualizadas la imagen muestra de suelo con su equivalente imagen patrón Munsell, se presta atención en el campo de texto resultados que consta de dos casillas, munsell y humedad donde en la primera enseña el código representativo del color munsell y el segundo el porcentaje de humedad de la muestra de suelo.

Para el caso de capturar de imagen muestra y no ser la adecuada se tiene la posibilidad de borrarla por medio del botón limpiar y capturar nuevamente la imagen deseada, o realizar el análisis a otra muestra de suelo como otra opción a seguir. Esto se aprecia en la Figura 23.

Figura 23. Limpiar Imagen



Fuente: Autores

RECOMENDACIÓN

Si la aplicación se bloquea, se recomienda cerrarlo manteniendo oprimida las teclas Ctrl. + Alt. + Supr. el paquete ejecutable se cerrará y se deberá cargar nuevamente la aplicación.

Para cualquier inquietud o duda acerca del funcionamiento del sistema por favor dirigirse al laboratorio LABGAA de la Universidad Surcolombiana y comuníquese con el Ingeniero Armando Torrente encargado de este laboratorio o se puede comunicar con los creadores de este prototipo en las siguientes direcciones de correo electrónico:

Jhon Jamers Serrato Osorio
Liliana Marcela Rubiano García

u2006262565@usco.edu.co
u2008276878@usco.edu.co