

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO CON MÓDULO
ESP32 EN FRIJOL (*Phaseolus vulgaris L.*), BAJO INVERNADERO EN
EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DE
CAÑASBAMBA-2022**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

Bach. FERNANDEZ SILVA, Rumishi Juller

Asesor:

Mag. REYES ROQUE, Esteban Pedro

HUARAZ – ÁNCASH - PERÚ

2023





UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSITARIA DE SHANCA YAN TEL/FAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los miembros del Jurado de Tesis que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la sustentación de la Tesis presentado por el Bachiller en Ciencias de Ingeniería Agrícola **RUMISHI JULLER FERNANDEZ SILVA**, denominada: **"EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO CON MÓDULO ESP32 EN FRIJOL (*Phaseolus vulgaris L.*), BAJO INVERNADERO EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DE CAÑASBAMBA-2022"**, Escuchada la sustentación, las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADO

CON EL CALIFICATIVO (*)

Dieciseis (16)

En consecuencia, queda en condición de ser calificada APTO por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de INGENIERO AGRÍCOLA, de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 24 de mayo de 2023.

Dr. TEÓFANES MEJÍA ANAYA

PRESIDENTE

Mag. FRANCISCO ESPINOZA MANCISIDOR

SECRETARIO

Mg. Sc. FLOR ÁNGELA JARA REMIGIO

VOCAL

Mag. ESTEBAN PEDRO REYES ROQUE

ASESOR

(*) De acuerdo con el Reglamento de Tesis, éstas deben ser calificadas con términos de: APROBADO CON EXCELENCIA (19 - 20), APROBADO CON DISTINCIÓN (17 - 18), APROBADO (14 - 16), DESAPROBADO (00 - 13).





UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA DE SHANCAAYÁN TELÉFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la tesis denominada "EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO CON MÓDULO ESP32 EN FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.), BAJO INVERNADERO EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DE CAÑASBAMBA-2022", presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola RUMISHI JULLER FERNANDEZ SILVA, y sustentado el día 24 de MAYO del 2023, con Resolución Decanatural N° 227-2023 - UNASAM - FCA, la declaramos CONFORME.

Huaraz, 24 de mayo de 2023.

Dr. TEÓFANES MEJÍA ANAYA

PRESIDENTE

Mag. FRANCISCO ESPINOZA MANCISIDOR

SECRETARIO

Mg.Sc. FLOR ÁNGELA JARA REMIGIO

VOCAL

Mag. ESTEBAN PEDRO REYES ROQUE

ASESOR



NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS FERNANDEZ SILVA, RUMISHI JUL
LER 2023.docx**

AUTOR

RUMISHI FERNANDEZ

RECUENTO DE PALABRAS

21841 Words

RECUENTO DE CARACTERES

108948 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

119 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

12.3MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 2, 2023 7:59 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 2, 2023 8:00 PM GMT-5**● 7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente

DEDICATORIA

A mi madre *Magda Silva Gregorio* y padre *Alberto Donato Fernández Jara*, por darme su inmenso amor y cariño, quienes día a día se sacrificaron para poder cumplir mis sueños e inculcarme para ser mejor persona con valores; gracias mamá papá por darme la educación adecuad, todo lo que soy les debo a ustedes.

A mis hermanos *Rushell, Almir, Diofanto* y *Talia*, por compartir la unión familiar más hermoso que puede existir en la tierra, por apoyarme en los momentos difíciles para seguir adelante con toda las ganas y voluntad.

A mis *familiares, amigos* y *persona querida* que compartimos los momentos únicos que solo quedara para la eternidad.

AGRADECIMIENTO

A *Dios* todo poderoso por la vida que nos regala, por la salud, por el aire que respiramos que sopla de sur a norte; por iluminar mi mente y haber conducido mi vida hasta lugar donde estoy.

A la *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*, a la *Facultad de Ciencias Agrarias* y la *Escuela Profesional Ingeniería Agrícola* por abrirme la puerta y ser parte de la familia de estudiantes de esta casa de estudios.

Mi sincero agradecimiento a todos los *Docentes* de la *Facultad Ciencias Agrarias* que nos brindaron sus sabios conocimientos para así enriquecernos de sabiduría y poder practicar en nuestra vida profesional.

Expreso mi agradecimiento Mag. *Esteban Pedro Reyes Roque* en calidad de asesor por guiarme en cada etapa de mi investigación de tesis.

Agradecer a todas las personas que me dieron el apoyo para seguir adelante y ver el sol radiante en el horizonte.

LISTA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
LISTA DE CONTENIDO	iii
TABLA DE CONTENIDO	iv
CONTENIDO DE TABLAS	v
CONTENIDO DE FIGURAS	vii
CONTENIDO DE ANEXOS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT... ..	xi

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Justificación de la investigación	3
1.3.1. Lugar donde se realizó la tesis	4
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de investigación.....	6
2.2. Bases teóricas.....	9
2.3. Definición de términos básicos.....	22
2.4. Hipótesis	23
2.5. Variables	23
III. MATERIALES Y METODOLOGÍA	24
3.1. Materiales y equipos	24
3.2. Metodología.....	25
3.2.1. Tipo de investigación	26
3.2.2. Diseño de investigación	27
3.2.3. Población.....	29
3.2.4. Muestra.....	29
3.2.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos	29
3.2.6. Técnicas de procesamiento de datos	30
3.2.7. Parámetros a evaluar	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Presentación de resultados.....	31
4.2. Contrastación de hipótesis	74
4.3. Discusión de resultados	74
V. CONCLUSIONES.....	78
VI. RECOMENDACIONES.....	81
VII. REFERENCIAS	82
VIII. ANEXOS	85

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Características que requiere el frijol para el cultivo.....	10
Tabla 2 Kc del cultivo de frijol bajo invernadero CIE Cañasbamba.....	11
Tabla 3 Respuesta de las plantas a la humedad	12
Tabla 4 Cuadro de análisis de varianza (ANOVA)	27
Tabla 5 W (%) del suelo realizado en el laboratorio de la FCA-UNASAM	32
Tabla 6 W (%) del suelo con el módulo ESP32.	36
Tabla 7 Análisis de varianza de W (%) suelo con el módulo ESP32 semana 1	38
Tabla 8 Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 1.	38
Tabla 9 Comparaciones por parejas utilizando el método de Tukey, semana 1.....	39
Tabla 10 Análisis de varianza de la W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 2. ...	40
Tabla 11 Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 2.	40
Tabla 12 Comparaciones por parejas método de Tukey semana 2.....	40
Tabla 13 Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 3.	41
Tabla 14 Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 3. ...	42
Tabla 15 Comparaciones por parejas utilizando el método de Tukey de la semana 3.	42
Tabla 16 Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 4.	43
Tabla 17 Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 4.	43
Tabla 18 Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 4.	44
Tabla 19 Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 5.	45
Tabla 20 Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 5.	45
Tabla 21 Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 5.....	45
Tabla 22 Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 6.	46
Tabla 23 Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 6.	47
Tabla 24 Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 6.....	47
Tabla 25 Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 de la semana 7.....	48
Tabla 26 Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 7.	48
Tabla 27 Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 7.....	49
Tabla 28 Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 de la semana 8.....	50
Tabla 29 Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 8.	50
Tabla 30 Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 8.....	50
Tabla 31 Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 de la semana 9.	51

Tabla 32	Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 9.	52
Tabla 33	Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 9.	52
Tabla 34	Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 de la semana 10.	53
Tabla 35	Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 10. .	53
Tabla 36	Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 10.	54
Tabla 37	Análisis de varianza de la W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 11. ..	55
Tabla 38	Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 11. ..	55
Tabla 39	Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 11.	55
Tabla 40	Análisis de varianza de la W (%) del suelo con el módulo ESP32 de la semana 12.	56
Tabla 41	Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 12. ..	57
Tabla 42	Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 12.	57
Tabla 43	Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 de la semana 13.	58
Tabla 44	Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 13. ..	58
Tabla 45	Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 13.	59
Tabla 46	Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 14.	60
Tabla 47	Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 14. ..	60
Tabla 48	Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 14.	60
Tabla 49	Estadística de regresión lineal para todos los datos agrupados del suelo 1.	62
Tabla 50	Análisis de varianza de regresión lineal para el suelo 1.	62
Tabla 51	Estadística de regresión lineal para todos los datos agrupados del suelo 2.	65
Tabla 52	Análisis de varianza de regresión lineal para el suelo 2.	65
Tabla 53	Estadística de regresión lineal para todos los datos agrupados del suelo 3.	68
Tabla 54	Análisis de varianza de regresión lineal para el suelo 3.	68
Tabla 55	Estadística de regresión lineal para todos los datos agrupados del suelo 4.	71
Tabla 56	Análisis de varianza de regresión lineal para el suelo 4.	71

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del invernadero del CIE Cañasbamba-UNASAM.....	5
Figura 2 Estructura de un invernadero cubierto de vidrio transparente.	9
Figura 3 Curva real y teórica del coeficiente de cultivo (KC).	11
Figura 4 Sensor de humedad de suelo	15
Figura 5 Pantalla LCD 16x2.....	15
Figura 6 Módulo ESP32	16
Figura 7 Diagrama de bloques del módulo ESP32.....	17
Figura 8 Sistema integrado del módulo ESP32.....	22
Figura 9 Flujograma de la metodología del trabajo de investigación.	25
Figura 10 Característica de la unidad experimental, diseño completamente al azar.....	28
Figura 11 Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 1.....	39
Figura 12 Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) de la semana 1	39
Figura 13 Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 2.....	41
Figura 14 Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) de la semana 2.	41
Figura 15 Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 3.....	42
Figura 16 Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) de la semana 3.....	43
Figura 17 Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 4.....	44
Figura 18 Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 4.....	44
Figura 19 Grafica de residuos W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 5.....	46
Figura 20 Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) de la semana 5.....	46
Figura 21 Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 6.....	47
Figura 22 Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 6.....	48
Figura 23 Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 7.....	49
Figura 24 Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 7.....	49
Figura 25 Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 8.....	51
Figura 26 Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 8.....	51
Figura 27 Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 9.....	52
Figura 28 Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 9.....	53
Figura 29 Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 10.....	54
Figura 30 Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 10.....	54
Figura 31 Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 11.....	56
Figura 32 Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 11.....	56

Figura 33	Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 12.....	57
Figura 34	Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 12.....	58
Figura 35	Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 13.....	59
Figura 36	Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 13.....	59
Figura 37	Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 14.....	61
Figura 38	Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 14.....	61
Figura 39	Grafica de regresión lineal del suelo 1. W (%) del módulo ESP32 Vs W (%) del laboratorio.....	63
Figura 40	Grafica de W (%) del suelo 1 Vs tiempo, en toda la etapa fenológica del cultivo frijol.	64
Figura 41	Grafica de regresión lineal del suelo 2. W (%) del módulo ESP32 Vs W (%) del laboratorio.....	66
Figura 42	Grafica de W (%) del suelo 2 Vs tiempo, en toda la etapa fenológica del cultivo frijol.	67
Figura 43	Grafica de regresión lineal del suelo 3. W (%) del módulo ESP32 Vs W (%) del laboratorio.....	69
Figura 44	Grafica de W (%) del suelo 3 Vs tiempo, en toda la etapa fenológica del cultivo frijol.	70
Figura 45	Grafica de regresión lineal del suelo 4. W (%) del módulo ESP32 Vs W (%) del laboratorio.....	72
Figura 46	Grafica de W (%) del suelo 4 Vs tiempo, en toda la etapa fenológica del cultivo frijol.	73

CONTENIDO DE ANEXOS

Anexo 1	Resultado del suelo 1 análisis del fertilidad y físicos en el laboratorio FCA.	85
Anexo 2	Resultado del suelo 2 análisis del fertilidad y físicos en el laboratorio FCA.	86
Anexo 3	Resultado del suelo 3 análisis del fertilidad y físicos en el laboratorio FCA.	87
Anexo 4	Resultado del suelo 4 análisis del fertilidad y físicos en el laboratorio FCA.	88
Anexo 5	Resultados del peso húmedo y peso seco en el laboratorio FCA.	89
Anexo 6	W (%) del suelo para los datos agrupados del laboratorio.	92
Anexo 7	W (%) del suelo para los datos agrupados del módulo ESP32.	93
Anexo 8	Panel fotográfico de habilitación de baldes para los tratamientos de los 4 tipos de suelo y 5 repeticiones cada uno, sienta en total 20 baldes.	95
Anexo 9	Pintado de algunos baldes para la uniformidad de la investigación.	95
Anexo 10	Muestra de los 4 tipos de suelo bajo invernadero del CIE Cañasbamba.	96
Anexo 11	Depositando los 4 tratamientos de suelo en 5 repeticiones cada uno.	96
Anexo 12	Sembrado de frijoles en cada balde, tres semillas por cada balde.	96
Anexo 13	Registrando el crecimiento de los frijoles en cada balde.	97
Anexo 14	Programación del código fuente en el módulo ESP32.	98
Anexo 15	Programación del código fuente en el módulo ESP32, con el IDE del arduino.	99
Anexo 16	Extracción de muestra de suelo y medición de W (%) del suelo con módulo ESP32 a profundidad 15 a 25 cm.	100
Anexo 17	Cálculo de W (%) de los 4 tipos de suelo y 5 repeticiones cada uno, para toda la etapa de desarrollo del cultivo frijol.	104
Anexo 18	Supervisión del proyecto investigación por los jurados de tesis y el asesor. ...	106

RESUMEN

El propósito del siguiente proyecto de investigación de tesis fue la evaluación de la humedad del suelo con módulo ESP32 en frijol (*phaseolus vulgaris l.*), bajo invernadero en el centro de investigación y experimentación de Cañasbamba. Para el cumplimiento del objetivo evaluación de humedad de suelo con el módulo ESP32; se programó el código fuente para la lectura de humedad del suelo mediante el sensor de humedad SEN 137, este emitirá mediante una señal digital al módulo ESP32 y esta a su vez procesará la información de humedad para luego generar una señal de salida en el LCD en tiempo real. Teniendo el módulo ESP32 ensamblado y programado se desarrolló prueba experimental para la lectura de humedad gravimétrica en cuatro tipos de suelo y cinco repeticiones de cada uno, siendo en total 20 unidades para el diseño experimental; en cada una de las repeticiones se realiza lectura de humedad gravimétrico (%) del suelo con el sensor de humedad a profundidad 15 a 25 cm, luego se extrajo una porción de suelo a misma profundidad para ser trasladado al laboratorio y determinar la humedad gravimétrica en el laboratorio. Obtenido la humedad del suelo con el módulo ESP32 y laboratorio se realizaron validación de datos para toda la etapa vegetativo del frijol mediante pruebas estadísticas; resultando suelo 1 ($R^2 = 99.97\%$), suelo 2 ($R^2 = 99.84\%$), suelo 3 ($R^2 = 99.97\%$) y suelo 4 ($R^2 = 99.97\%$) indicándonos que la variabilidad de W (%) del laboratorio es explicado por la variable W (%) del módulo ESP32, teniendo relación muy alta entre ellas y la diferencia de humedad gravimétrica del suelo máximo 2.02% y mínimo 0.56% , siendo el módulo ESP32 un microcontrolador potente para la lectura de humedad gravimétrica del suelo en tiempo real.

Palabras clave: Humedad de suelo, Módulo ESP32.



ABSTRACT

The purpose of the following thesis research project was the evaluation of soil moisture with the ESP32 module in beans (*phaseolus vulgaris* L.), under a greenhouse at the research and experimentation center of Cañasbamba. To fulfill the objective, soil moisture evaluation with the ESP32 module; The source code for the soil moisture reading was programmed through the SEN 137 humidity sensor, this will emit a digital signal to the ESP32 module and this in turn will process the humidity information to then generate an output signal on the LCD in real time. Having the ESP32 module assembled and programmed, an experimental test was developed for the reading of gravimetric humidity in four types of soil and five repetitions of each one, with a total of 20 units for the experimental design; In each of the repetitions, the gravimetric moisture reading (%) of the soil is performed with the moisture sensor at a depth of 15 to 25 cm, then a portion of soil was extracted at the same depth to be transferred to the laboratory and determine the gravimetric moisture in The laboratory. Once the soil moisture was obtained with the ESP32 module and the laboratory, data validation was carried out for the entire vegetative stage of the bean through statistical tests; resulting soil 1 ($R^2 = 99.97\%$), soil 2 ($R^2 = 99.84\%$), soil 3 ($R^2 = 99.97\%$) and soil 4 ($R^2 = 99.97\%$) indicating that the variability of W (%) of the laboratory is explained by the variable W (%) of the ESP32 module, having a very high relationship between them and the difference in gravimetric soil moisture, maximum 2.02% and minimum 0.56%, the ESP32 module being a powerful microcontroller for reading gravimetric soil moisture in real time.

Keywords: Soil moisture, ESP32 Module.



I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento y Formulación del Problema.

Descripción del problema.

El desarrollo de sistema de control de clima en invernadero es muy importante ya que nos ayuda en el monitoreo del cultivo como la condición, producción, consumo de agua y mayor cosecha por año. Estas estructuras están especialmente diseñadas para brindar las siguientes ventajas: eventualidad climatológica, enfermedades y controlar la humedad del suelo, temperatura, humedad del ambiente, nutrientes y tiempo de riego. Los invernaderos son estructuras de conservación que permite plantar fuera de temporada, por lo cual necesitan más cuidado y atención en un menor tiempo que un cultivo convencional, en cuanto a producción los resultados son excelente o perdidas mínimas en comparación con el cultivo común ya que se mejora la calidad del producto final. Hay que tener mucho cuidado donde hay invernaderos por condiciones climáticas o por hojarascas es un medio para el desarrollo de enfermedades. No obstante, los resultados muestran que los invernaderos que tiene un sistema de control climático funcionan mejor proporcionando datos para mejor cultivo. (Aliaga & Quispe, 2015, p. 17)

La automatización digital de invernadero a gran proporción es una prueba para poder establecer condiciones climáticas de una estructura real mediante el uso de microcontroladores inteligentes. Debido a la necesidad de obtener cultivos más saludables, más productivos y más seguros, durante muchos años se ha practicado el control ambiental para poder crear las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas. Aprovechando el uso de programación para controlar sensores y actuadores se llega seleccionar condiciones necesarias para el cultivo de plantas. Con la automatización se está logrando grandes avances en control de microclimas para mejorar el crecimiento de los cultivos. (Payan, 2015, p. 3)

Planteamiento del problema.

Los invernaderos de los agricultores en el campo y de la facultad de ciencias agrarias de la UNASAM, la toma de dato humedad de suelo se realiza de forma manual o empírico. No obstante, esto se guarda en cuaderno de campo o computadora, no siendo un monitoreo frecuente que indique los cambios repentinos. Por lo tanto, no ayudan hacer una evaluación más detallada de las condiciones de humedad de suelo dentro del invernadero.

Por tal razón se realiza la siguiente investigación para dar solución al mencionado problema. Para solucionar esta problemática se procedió con la evaluación de la humedad del suelo con módulo ESP32 con fin de conocer la humedad de suelo dentro del invernadero empleando tecnología con procesador integrado de bajo costo permitiendo el oportuno monitoreo, apoyándose de sistema controlado, la variable humedad gravimétrico del suelo podrá ser captada por sensor especializado, dicho variable será enviado al módulo ESP32 la cual la procesara para ser transmitido por un receptor pantalla LCD en tiempo real.

El valor recibido humedad gravimétrica del suelo en la pantalla LCD será verificado y comparado con el grupo de control (laboratorio) para dar validez a la variable humedad gravimétrico del suelo. Validando los datos experimentalmente se podrá tener un sistema de control automatizado que realiza un monitoreo eficaz de la humedad de suelo dentro del invernadero. De este modo se podrá contribuir con un sistema automatizado para medir humedad gravimétrica del suelo dentro del invernadero optimizando el tiempo de trabajo.

Formulación del problema.

¿Cuál será la evaluación de la humedad de suelo medido con módulo ESP32 en frijol (*phaseolus vulgaris l.*), bajo invernadero en el centro de investigación y experimentación de Cañasbamba-2022?

1.2. Objetivos.

Objetivo general.

Evaluación de la humedad del suelo con módulo ESP32 en frijol (*phaseolus vulgaris l.*), bajo invernadero en el centro de investigación y experimentación de Cañasbamba-2022

Objetivo específico.

Determinar los parámetros físicos de 4 tipos de suelo del grupo de control, en laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Configurar el código fuente para la lectura del sensor de humedad gravimétrica del suelo en el módulo ESP32.

Evaluar la humedad gravimétrica de 4 tipos de suelo con el módulo ESP32 en frijol (*phaseolus vulgaris l.*), bajo invernadero.

Validar los datos de humedad gravimétrica del módulo ESP32 transmitido en la pantalla LCD en tiempo real mediante el grupo de control.

1.3. Justificación de la investigación

Teórica.

La presente investigación de tesis titulada “Evaluación de la humedad del suelo con módulo ESP32 en frijol (*phaseolus vulgaris l.*), bajo invernadero en el centro de investigación y experimentación de Cañasbamba-2022”, aportará nuevo desarrollo de conocimiento en sistemas de microcontroladores para medir la humedad gravimétrico del suelo transmitido en una pantalla LCD en tiempo real dentro de un invernadero; dicha investigación servirá como antecedente para la automatización dentro de un invernadero.

Metodológica.

La presente investigación será de tipo experimental aplicada ya que toda vez buscaremos encontrar la relación de dependencia manipulando las variables independientes con cuatro tratamientos de suelo y cinco repeticiones cada uno, obteniendo la humedad gravimétrica del suelo en diferentes tratamientos, dicho modelo experimental será diseño completamente al azar (DCA) para la comparación de tratamientos.

Práctica.

La ausencia de equipos o microcontroladores que miden la humedad gravimétrica dentro del invernadero es un problema común, afectando en el desarrollo de los cultivos como el déficit hídrico o humedad excesiva en el suelo generando enfermedades. Si se conoce la humedad del suelo en tiempo real podemos llegar a la toma de decisiones para nuestro cultivo en toda su etapa fenológica realizando un riego eficiente optimizando el tiempo de trabajo.

1.3.1. Lugar donde se realizó la tesis

El trabajo de investigación se llevó en centro de investigación y experimentación de Cañasbamba de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo en el distrito y provincia de Yungay, de la Región Ancash, localizado en las coordenadas geográficas: Latitud -9.0982218., Longitud -77.7766415., Altitud 2290.290 m.s.n.m.

Figura 1

Ubicación del invernadero del CIE Cañasbamba-UNASAM.



Nota: El trabajo de investigación se realizó en el invernadero de centro de investigación y experimentación de Cañasbamba-UNASAM en el distrito y provincia de Yungay, de la Región Ancash. Google Earth Pro, 2023.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación.

Antecedentes Internacionales:

Lugo & Villavicencio (2014) publicaron en el artículo científico titulado “Paquete tecnológico para el monitoreo ambiental en invernaderos con el uso de hardware y software libre”. Cuyo objetivo fue construcción de un paquete tecnológico de sensores para medir las características climáticas dentro del invernadero y fuera; luego crear un base de datos para analizar los valores emitidos por los sensores. Para el monitoreo se usó el microcontrolador de Arduino integrado su propio interfaz de desarrollo para la programación y lectura de 8 sensores de efecto hall tipo analógica para exterior de invernadero, para interior del invernadero se utilizó una adopción simple de una fotorresistencia de tipo analógico. Los resultados de las lecturas de las variables del invernadero se muestran en la pantalla LCD del anemómetro 60 ms⁻¹, humedad y temperatura. Se concluyó con el desarrollo de la tecnología electrónicas como Arduino, es posible la programación propia para la automatización de invernaderos, lo que representa un ahorro en su producción de sensores electrónicos, con la gran ventaja de poder ser calibrados con las especificaciones de la región y construidos con materiales comunes y accesibles.

Perea (2016) publicó trabajo de investigación formativa titulado “Diseño de un sistema de monitoreo, registro y control de temperatura y humedad para un cultivo de invernadero.” Cuyo objetivo fue desarrollar una aplicación la cual permite monitoreo de temperatura, humedad relativa, humedad del suelo y luminosidad en invernadero a través de la implementación de diversos dispositivos, para brindar al usuario un historial de las mediciones de las variables físicas más relevantes en todo el proceso de desarrollo del cultivo. Para diseño del sistema de monitoreo se optó por el microcontrolador Arduino Mega 2560 por el precio de mercado bajo y su versatilidad para realizar montajes electrónicos de

control. Los resultados se muestran en el puerto serial de la pantalla temperatura 31.00°C, humedad de ambiente 61.00 %, luminosidad 38 lx y humedad del suelo 83.09 %, estas variables se registran cada minuto. Se concluyó que es una herramienta funcional y versátil para poder saber las variables del invernadero de forma rápida y precisa.

Ossa (2017) publicó en el artículo científico titulado “Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos”. Cuyo objetivo es evaluar y diseñar sistemas inalámbricos de monitoreo de variables ambientales para agricultura de precisión en invernaderos. Para el monitoreo inalámbrica se usó el Arduino Nano componiendo dos nodos de sensores dispositivo final y un dispositivo coordinador recopilando datos ambientales como temperatura ambiente, humedad relativa, humedad del suelo y presión atmosférica. Para el resultado el Arduino micro procesa cada valor medido luego es analizado si se encuentran en los rangos para luego controlar automáticamente, dicho variable analizada es temperatura 21°C, humedad relativa 61% y humedad del suelo 79.4 %. Se concluyó el diseño de plataforma con el Arduino es rentable por su bajo costo y fácil implantación por el software libre. Con la automatización del invernadero se llega el aumento de ahorro de mano de obra, previniendo deterioro de los cultivos y mejor calidad de las plantas.

Amores (2019) publicó en la tesis para optar el título profesional de ingeniero en automatización y robótica “Desarrollo e implementación de un sistema de monitorización, control y automatizado para un invernadero tipo túnel”. Cuyo objetivo es realizar levantamiento de información del invernadero, para luego realizar propuesta de automatización de control de humedad y temperatura. Para el desarrollo de un sistema de monitorización se usó el Arduino Uno que es un hardware abierto, basado en una placa con microcontrolador y sensores de temperatura, humedad relativa y humedad de suelo. Los resultados fueron valores analógicos sobre la necesidad del cultivo de pimiento, como

temperatura optima 25 a 30°C, humedad ideal 70 a 75 % y luz 0.4 cal.cm-2.min-1. Se concluyó que la recolección de información nos permite facilitar el uso de la automatización en el manejo de los cultivos, como generar un listado de variables que nos admite el control del invernadero.

Antecedentes Nacional:

Apaza & Torre (2017) publicaron en la tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico electricista “Diseño e implementación de un sistema automatizado para riego tecnificado basado en el balance de humedad de suelo con tecnología Arduino en el laboratorio de control y automatización EPIME 2016”. Cuyo objetivo es diseñar e implementar un sistema automatizado de riego tecnificado basado en el balance humedad para un eficiente uso de agua. Para el diseño e implementación se usó la tecnología del Arduino Uno como una herramienta fácil para el prototipo dirigido y el sensor tipo higrómetro FC-28, sensor ultrasónico. Los resultados se muestran consumo de potencia 42.78 W y consumo de agua 0.0683 m³, y las humedades se registraron 29 días, siendo el primer día 69.41 % y el ultimo día 57.85 %. Concluyó que el diseño e implementación del sistema de riego automatizado se logró un eficiente uso de agua reduciendo el consumo de agua del 10.9% respecto al riego convencional.

Rios et al. (2019) publicaron proyecto de investigación titulado “Monitoreo automatizado de la temperatura y la humedad del suelo de un invernadero para la producción de tomate, distrito de Morales, junio - diciembre 2015”. Cuyo objetivo es monitoreo automatizado de la temperatura y la humedad del suelo de un invernadero para la producción de tomate. Para le monitoreo el diseño del sistema de control se realizó sobre la base de una plataforma electrónica de código abierto denominado Arduino y el sensor DHT22. Los resultados humedad del suelo dentro del invernadero varia 73 % a 0 %, la humedad ambiente dentro del invernadero varia de 100 % y 90 % y los requerimientos de temperatura para los

cultivos de tomate es 20 y 30 °C por lo que se fijó nivel de temperatura en 26 °C para mejores resultados, en cuanto a la humedad relativa del suelo con el sensor se tuvo problema ya que la base era metálica se sulfata antes de tiempo de investigación. Se concluyó que la presencia y/o ausencia de luz solar dentro del invernadero es determinante para la germinación, desarrollo y fructificación de las plantas de Tomate; la cobertura de polietileno del invernadero no es adecuado para la germinación generando exceso de luz y mayor calor encima de 30°C haciendo dificultoso controlar las variables en el invernadero.

2.2. Bases teóricas

Invernadero

Un invernadero es una estructura que se caracteriza por estar cerrado, cubierto de plástico o vidrio transparente, en la cual se crea condiciones climáticas favorables para cultivar las plantas en condiciones buenas y fuera de la época de sembrío. La idea inicia en los años 1850 en la agricultura neerlandesa para los cultivos de Uvas (Ver “Figura 2”). Se revelaron que los cultivos en invernaderos eran de mayor rendimiento y calidad, al darles un ambiente con más luz y entorno cálido. En el año 1972 y 1973 fueron años con muchas tormentas por la cual se realizaron investigaciones para la construcción de invernaderos resistentes a los cambios climáticos y haciendo normativas para su construcción el NEN 3859. (Barroso, 2015, p. 24)

Figura 2

Estructura de un invernadero cubierto de vidrio transparente.



Nota: Construcción del primer Invernadero de Laeken en Bruselas. Realizado durante los años 1874 y 1895.

Condición actual de los cultivos en invernadero en el Perú

En la región Ancash y todo el Perú hay invernaderos para mejorar la producción y calidad de cultivos, por lo tanto, estas estructuras protegen a los cultivos de enfermedades y cambios climáticos que año tras año son más perjudiciales para las plantas. Se sabe que la mayoría de los invernaderos en las regiones son controlados manualmente teniendo en riesgo los cultivos, por otro lado, se conoce que la mayoría de los invernaderos no tienen ningún equipo o sensor automatizado para ver los parámetros climáticos que causan problemas o enfermedades. Al tener equipos o sensores automatizados sería de mucha importancia para hacer el seguimiento del cultivo para una buena producción de calidad y no tener riesgo en los cultivos. (Reyna, 2015, p. 7)

Origen del frijol

Universidad Técnica de Máchala, 2015 (como se citó en Hermoso. 2020), el origen del frijol fue discutido por muchos años donde Baudety en 1977, quien descubrió antiguas sepulturas encontró granos de *P. vulgaris* L. cerca de Lima. Por lo que se dice el origen del frejol es de América que se extiende de México hasta Argentina y fueron cultivados 8000 años en Perú, 7000 años en México y 2000 años en el sudeste de EEUU. En los siguientes años en el Perú se descubrieron cultivos de frijol totalmente domesticados en el valle de Nazca 2500 años de antigüedad antes de cristo.

Tabla 1

Características que requiere el frijol para el cultivo.

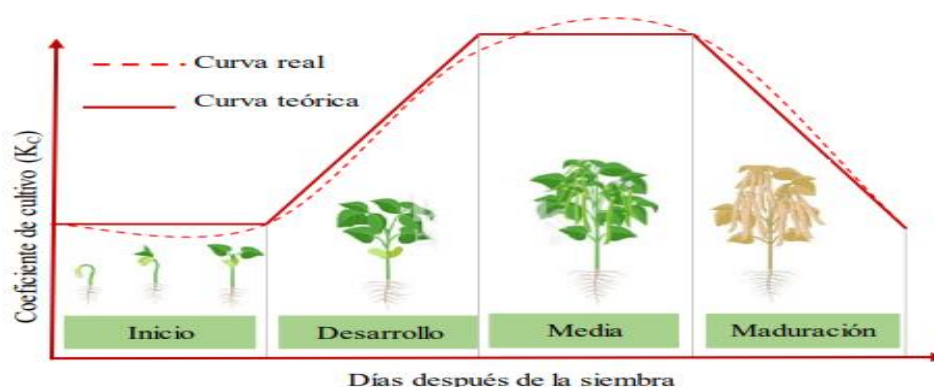
Suelo	Siembra	Riego
Suelo con textura franca a franca arenosa.	La siembra se realiza cuando el suelo está en capacidad de campo.	El riego se debe hacer 40%, como máximo 50% de la capacidad de agua disponible entre la capacidad de campo y punto de marchites.
No resiste un suelo salino.	Después del sembrío no se debe regar por que se pueden podrir las raíces.	

pH bueno 5,5 – 6.8	La siembra de debe hacer de 3 a 4 semillas a profundidad de 4 cm cada 20 cm.	Si la humedad baja 40% o 50% de capacidad de agua disponible el frijol puede sufrir estrés hídrico.
Profundidad de 30 a 60cm, ya que las raíces de los frejoles de 30 a 40cm.	La germinación se da 8 a 10 días si las condiciones climáticas son favorables.	

Nota: El frijol para su cultivo requiere mucho cuidado ya que en los primeros días de germinación las raíces son muy débiles al exceso de humedad. Suárez, 2020 (como se citó en Hermoso. 2020).

Figura 3

Curva real y teórica del coeficiente de cultivo (Kc).



Nota: La necesidad hídrica del cultivo es del primer día de la siembra considerado inicio hasta el último día que es maduración. Fenner et al. 2016 (como se citó en Hermoso. 2020)

Tabla 2

Kc del cultivo de frijol bajo invernadero CIE Cañasbamba.

Evapotranspiración potencial diaria		ETp = 5.49 – 12.93 mm/día	
Promedio diario 7.66mm/día			
Inicio = 20 días	Desarrollo =30 días	Media =30 días	Maduración =14 días
ETc = 3.56 mm/día	ETc =6.09 mm/día	ETc =8.74 mm/día	ETc =6.76 mm/día
Kc = 0.4124	Kc = 0.9048	Kc = 1.0582	Kc = 0.8041

Nota: Kc del frijol bajo invernadero en el centro de investigación y experimentación Cañasbamba de la UNASAM en toda su etapa fenológica. Hermoso (2020).

¿Cómo afecta la humedad en el desarrollo y calidad de los cultivos en invernadero?

Parent (martes, 9 de noviembre de 2021). Menciona que: la humedad en el invernadero es un parámetro muy importante para el crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos, además los cambios bruscos de temperatura pueden generar diferentes enfermedades como en las raíces, hojas, flores y frutos trayendo en consecuencias la pérdida de cosecha, así el aumento del uso de insecticidas para la mejora del cultivo. Cuando la humedad es baja en el invernadero el cultivo tiende a un crecimiento lento que afecta directamente en la calidad del cultivo, si la humedad es alta generará enfermedades radiculares desarrollando un cultivo muy débil que será afectado directamente al bolsillo del dueño del invernadero.

Tabla 3

Respuesta de las plantas a la humedad

Humedad demasiado baja	Humedad demasiado alta
Plantas atrofiadas	Aumento de enfermedades de las hojas
Marchitamiento	Crecimiento débil
Puntas secas y quemadas	Aumento de enfermedades de las raíces
Tamaño más pequeño de las hojas	Deficiencias de nutrientes
Aumento de la infestación de araña roja	Bordes quemados en las hojas
Hojas rizadas	Edemas

Nota: Es muy fundamental mantener la humedad del invernadero en el rango del cultivo requerido. Parent (martes, 9 de noviembre de 2021)

Problemática que desafían los invernaderos sin monitoreo de control automatizado

Los agricultores que construyen sus invernaderos para crear microclima y proteger sus cultivos en un ambiente cerrado, no implementan un sistema de monitoreo automatizado

que ayuda evaluar las condiciones necesarias para cada tipo de cultivo. Las variables climáticas dentro del invernadero como la humedad, temperatura, radiación solar influyen directamente en el crecimiento del cultivo, un mal manejo de estos parámetros puede arruinar al cultivo. Por otro la se hace un mal manejo de los recursos como el agua ya que no se tiene un monitoreo de control automatizado para establecer el tiempo de riego y frecuencia. Los agricultores realizan un trabajo manual en el invernadero con sus conocimientos propios, pero al tener un sistema de control brindaría mayor ventaja para el manejo del cultivo. (Reyna, 2015, p. 7)

Retención de Agua y Humedad del suelo

Barsallo et al (2018), menciona que, La humedad del suelo es la cantidad de agua que hay en un determinado volumen de tierra. La medición de volumen de agua se realiza gravimétricamente teniendo el peso del suelo húmedo y luego el peso del suelo seco, la gran importancia de la humedad del suelo constituye en la formación, fertilidad, conservación y productividad; que ayudara en la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas.

El método para la determinación de la humedad del suelo

Barsallo et al (2018), dice que, el método gravimétrico es el método más común para la medición del contenido de agua del suelo. Dicho método consiste en tomar una determinada cantidad de suelo húmedo y pesarlo, luego secarlo el suelo en una temperatura constante de 105°C luego pesarlo y calcular el contenido de humedad. en tomar una muestra de suelo, pesarla antes y después de su desecado y calcular su contenido de humedad.

Ecuación 1

$$\% h = (m_{shum} - m_{ssec})/m_{ssec} \times 100$$

Donde:

m_{shum} = masa de suelo húmedo, gramos (g)

m_{ssec} = masa de suelo seco, en gramos (g)

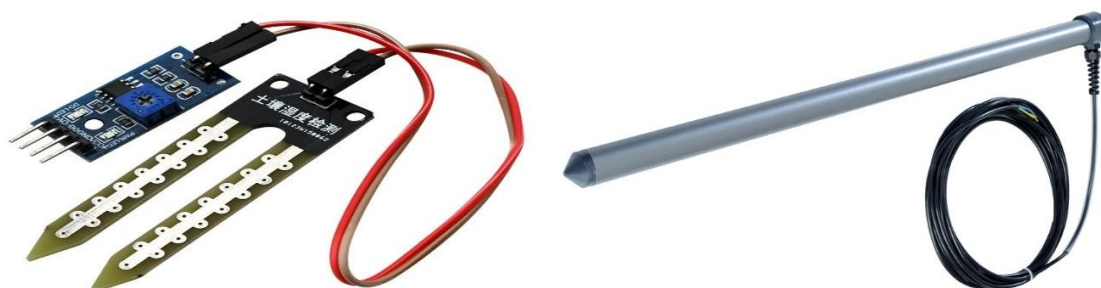
% h = porcentaje de humedad, sin dimensiones.

Sensor de humedad de suelo

Perea (2016) menciona que el sensor de humedad hace lectura la cantidad de humedad que lo rodea en un determinado suelo, esta lectura lo realiza por lo que cuenta con dos electrodos para pasar corriente eléctrica en el suelo donde lo rodea. Este electrodo o corriente lee la resistencia para obtener el nivel de humedad a mayor cantidad de agua en el suelo conduce electricidad con facilidad (menor resistencia), en suelo seco es un mal conductor de corriente eléctrica (más resistencia).

Características:

- ❖ Cantidad de energía para la alimentación: 3,3 V o 5 V
- ❖ Voltaje de salida digital: 0 ~ 4.2v
- ❖ Corriente de operación: 35 mA
- ❖ Los pines que componen:
 - Cable de salida analógica (cable azul)
 - GND (alambre Negro)
 - Cable de alimentación (cable rojo)
- ❖ Tamaño del sensor: 60x20x5mm
- ❖ Características del acabado: Oro de la inmersión

Figura 4*Sensor de humedad de suelo*

Nota: Higrómetro, módulo SKU SEN137 y AQC11, con cable azul analógico para la instalación en microcontroladores y cable rojo para la alimentación. Perea (2016).

Pantalla LCD 16 x 2

La pantalla LCD significa Liquid Cristal Display o en español “pantalla de cristal líquido”, es una pantalla pequeña y delgada formados por píxeles de color monocromo que está delante de una fuente de luz. El uso de esta pantalla está relacionado en sistema electrónicos por el circuito integrado que ayuda la interacción visual rápida por los caracteres 16x2 que significa representar 2 filas con 16 caracteres cada uno (Bustos, 2017, p. 35).

Figura 5*Pantalla LCD 16x2*

Nota: La pantalla LCD ayuda a la interacción de circuito integrado con 2 filas de 16 caracteres. (Bustos, 2017, p. 35)

Módulo ESP32

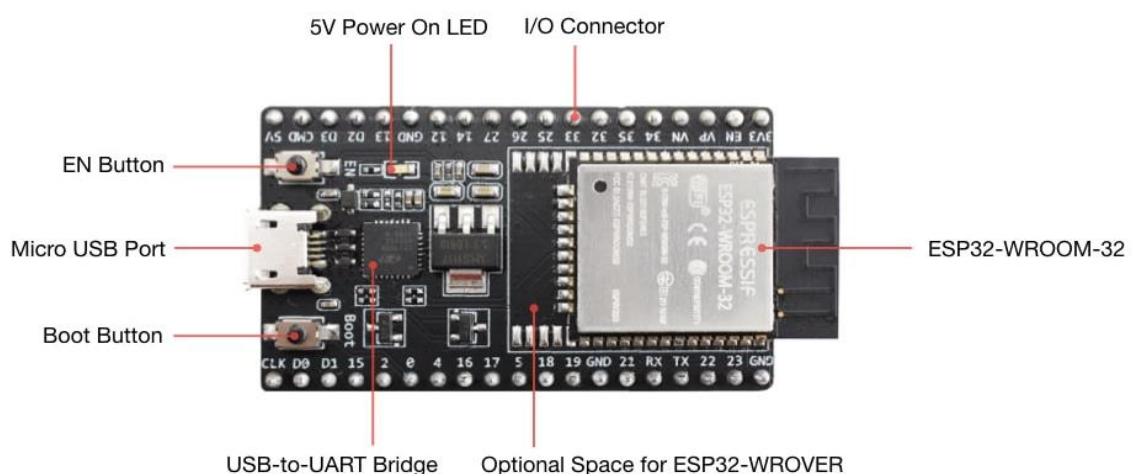
Benito (2019) dice que: el módulo ESP32 es un conjunto de microcontroladores creado por la empresa China Espressif Systems. Dicho módulo fue diseñado para realizar muchas aplicaciones complejas como lectura de todo tipo de sensores, codificación de voz, reconocimiento facial entre otros. En este modelo de ESP32 ya están incorporados wifi inalámbrico que permite conectarse con los demás microcontroladores y TCP/IP usando todos los comandos de AT. Teniendo este microcontrolador puede realizar aplicaciones en tiempo real ya que es un software libre por lo que lo hace un sistema interesante.

Descripción general

Benito (2019) menciona que: el NodeMCU ESP32 es un microcontrolador ligero completa de desarrollo, módulo SoC (system on chip), basado en Tensílica de 32 bits, funcionando a una frecuencia de reloj de 240 Mhz, con una memoria Flash de 4MB, y 500 KB de SRAM. Tiene conectividad inalámbrica Wifi, estándar 802.11 b/g/n, y Bluetooth integrado BLE.

Figura 6

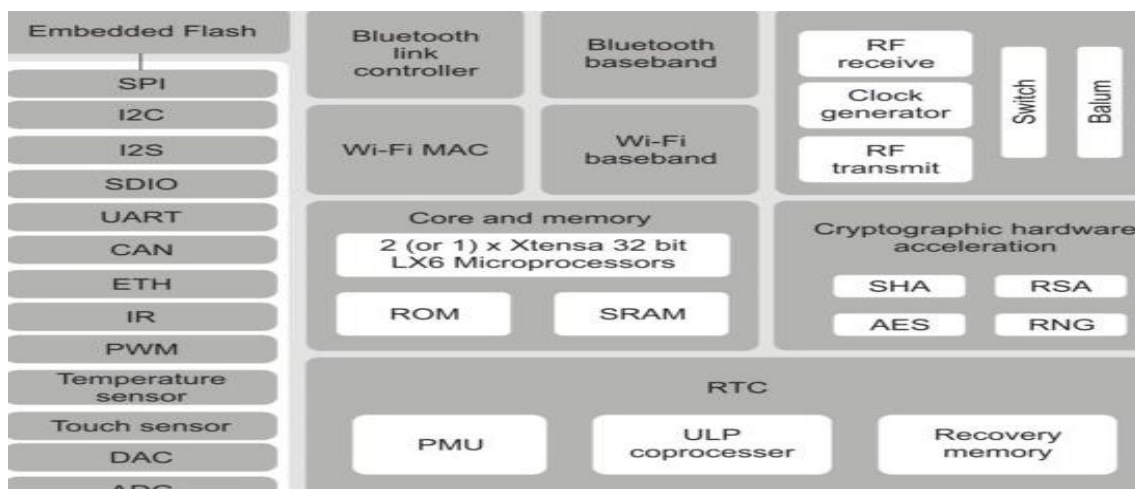
Módulo ESP32



Nota: Modulo ESP32 incluido Wi-Fi+Bluetooth.

Figura 7

Diagrama de bloques del módulo ESP32



Nota: El diagrama de bloques del módulo ESP32 de doble núcleo se podría realizar un proyecto que intercambia información de la nube y en simultaneo administrar del sensor de forma precisa.

Procesadores

Benito (2019) menciona que el ESP32 utiliza un microprocesador Tensilica Xtensa de memoria 32-bit LX6 que incluyen simple y doble núcleo y una antena para la transmisión inalámbrica como módulos para la administración de energía. ESP32 incluye un procesador que realiza un trabajo cuando el CPU entra en ahorro de energía para sigan funcionando los pines con consumo de energía mínima.

Memoria

El chip está compuesto de una memoria interna:

- Sistema de memoria SRAM de 520 KiB, proporciona acceso de datos de alta velocidad y volátil cuando se corta la energía.
- La memoria ROM de 448 KiB, realiza lectura y almacenamiento de datos que no son cambiantes como sistemas de arranque.

- La memoria RTC slow SRAM de 8KiB, sirve para realizar acceso de datos aleatorios. Sistema de memoria RTC fast SRAM de 8 KiB, sirve para almacenamiento de datos para luego ser usados para su programación.

Conectividad

“El módulo ESP32 está diseñado para interconectarse con wifi y bluetooth para poder transmitir información del punto de trabajo a otro punto. Puede soportar tecnología de otra conectividad de wifi estándar” Bustos (2017).

Timers

El SoC del módulo realiza una supervisión del sistema recogiendo información para luego correlacionarlo en cuatro temporizadores de propósito general para luego guardarlo en un software.

Watchdog

Es una herramienta que tiene el módulo para que realiza monitoreo de la función que está realizando, en caso que está fallando en la ejecución de función realiza la temporización luego se encarga de reinicio el sistema para eliminar la falla del sistema y luego recuperarse.

Relojes del sistema

El microcontrolador cuenta con diferentes relojes del sistema como el reloj del CPU que tiene por defecto que mide la cantidad de ciclos que ejecuta el CPU por segundos en la cual sincroniza internamente llevando a unidad básica del módulo enlazando con el PLL que corrige las fases de oscilación de entrada y salida.

Radiofrecuencia

El módulo tiene incorporado RF que transmiten y reciben información inalámbrico en formas de ondas electromagnéticas a gran distancia 433Mhz que se puede cambiar la amplitud según los valores lógicos que se desea transmitir.

Periféricos y sensores

Payan (2015) menciona que el módulo ESP32 tienen diferentes periféricos para la instalación de sensores un total de pines de 32 que se pueden ordenar diferentes funciones de acuerdo a la programación. Las entradas de los pines son distintas como entrada analógicos, digitales y conversores digitales-analógicos, que pueden soportar hasta 18 canales de información analógicos a si viceversa. También el módulo tiene un conjunto de sensor internos como sensor de interferencia electromagnético para detectar interferencias y sensores de acercamiento.

Seguridad

La seguridad del módulo utiliza protocolo WPA, WPA/WPA2 que hace referencia a la protección de informaciones inalámbricas WIFI en las redes enlazados y cifrados de los datos enviados entre sí. Por lo tanto, el módulo es más seguro enviando datos inalámbricos en tiempo real (Payan, 2015, p. 15).

Especificaciones técnicas:

- Fuente de alimentación (USB): 5V DC
- Energía Entradas/Salidas: 3.3V DC
- SoM: ESP-WROOM-32 (Espressif)
- Placa: ESP32 DEVKIT V1 (Espressif)
- CPU: Dual-Core Tensilica Xtensa LX6 (32 bit)
- Frecuencia de Reloj: hasta 240Mhz
- Wifi: 802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s)
- Bluetooth: v4.2 BR/EDR and Bluetooth Low Energy (BLE)
- Total, de pines: 30
- Pines digitales GPIO: 24 (Algunos pines solo como entrada)
- Pines para modificar las energías PWM: 16

- Cantidad de pines analógicos ADC: 18 (3.3V, 12bit: 4095, tipo SAR, ganancia programable)
- Cantidad de conversor digital- analógico DAC: 2 (8bit)
- Tipo de Chip USB-Serial: CP2102
- Clase de la antena PCB
- Tamaño del módulo: 55x28 mm

Estructura de programación módulo ESP32

La estructura para la programación de humedad de suelo está dividido en dos partes: setup y loop. la función Setup () inicia única vez cuando el módulo enciende, donde se declara las variables para ejecutar, es la primera función que el programa ejecuta y se direcciona los pines de salida y entrada. La función Loop () ejecuta todo el código programado continuamente haciendo lectura entrada de la placa. (Payan, 2015, p. 11)

Funciones: las funciones son un conjunto de códigos netamente identificado, para cuando se ejecutan la función sea llamado.

Variables: la variable debe ser declarado y el tipo de dato que almacenara para luego asignarlo un valor. Esta variable puede ser declarado en el inicio del programa.

Tipos de datos: los datos pueden ser guardados hasta un valor 32 bits.

Operadores aritméticos: realiza sentencia condicional tomando decisiones y realizando acciones repetitivas.

Entradas y salidas digitales y analógicas: estas entradas son las mismas que pueden hacer lectura de 18 sensores analógicos y 32 pines digitales.

Función digitalRead (pin): esta función tiene como objetivo lectura de un valor pin digital para luego ser guardado con un variable; luego declarar como una condición.

Funcion digitalWrite (pin, value)

La siguiente función nos servirá para establecer un valor con nivel alto (HIGH) o bajo (LOW), para luego configurarlo como pin de salida.

Función analogRead (pin)

Tiene la misma función de función digitalread solo que en esta son pines análogos.

Función analogWrite (pin, value)

Esta función del módulo realiza ondas periódicas para realizar un ciclo completo como encendido de luz a diferentes de niveles de brillo o un motor a diferentes velocidades.

Funciones de tiempo y matemáticas

Esta función sirve para poder tener el tiempo de respuesta que se desea tener.

Funciones de generación aleatoria

Esta función devuelve un valor aleatorio y rango específico. de un pin como movimiento, ruidos y otros.

Serial.begin(rate)

Esta serie abre una puerta a velocidad específica para comunicarlo con el ordenador.

Serial.println(data)

Esta serie tiene como función mostrar datos e imprimir, también se puede utilizar para eliminar el programa enviando un determinado mensaje.

Serial.read()

Esta serie lee los valores para luego imprimir en un mensaje de respuesta.

SPI: es el interfaz de comunicación serie que realiza el trabajo de comunicar todos los circuitos integrados entre sí.

BLE: es un bluetooth de baja energía que transmite una señal de 2.4 GHz, con un alcance de 100 metros de distancia.

RTC: es una función de control de tiempo de real que se usan para ajustar los procesos de tratamientos cumpliendo su programación inicial.

WIFI: es una tecnología avanzada donde pueden intercambiar información como de un ordenador, celular, cámaras de video vigilancia y entre otros mediante señal de internet.

2.4. Hipótesis

Ho : La media de todos los tratamientos en la evaluación de la humedad del suelo con módulo ESP32 en frijol (*phaseolus vulgaris l.*), bajo invernadero que sean iguales.

Hi : Existe al menos un par de pruebas en la evaluación de la humedad del suelo con módulo ESP32 en frijol (*phaseolus vulgaris l.*), bajo invernadero que sean diferentes.

2.5. Variables

Variable independiente

Sensor de Humedad

Variable dependiente

Humedad gravimétrica (%) del suelo

III. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. Materiales y equipos

Materiales

- Sensor de humedad de suelo
- Pantalla LCD 16x2
- Resistencias eléctricas varias.
- Protoboard 800 puntos
- Cables puente para protoboard
- Baldes de 30x40cm
- Carretilla
- Lampa
- Mallas
- Bolsas de plástico impermeables
- Cinta adhesiva
- Goteros
- Paleta de acero

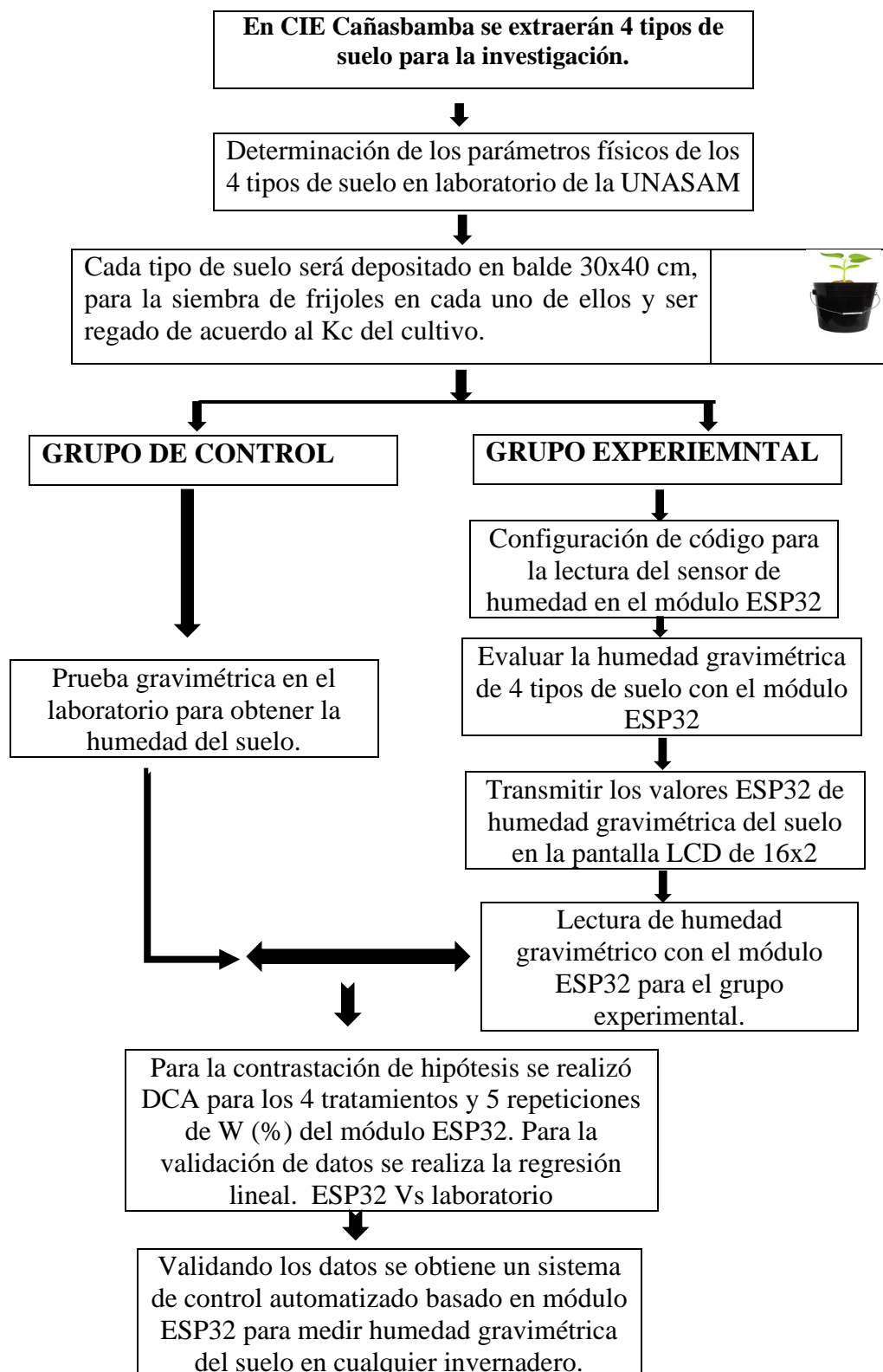
Equipos

- Módulo ESP32
- IDE de módulo ESP32 para programar
- Horno de secado de laboratorio
- Balanza analítica
- Laptop con Windows 10

3.2. Metodología

Figura 9

Flujograma de la metodología del trabajo de investigación.



3.2.1. Tipo de investigación

La presente investigación será de tipo **experimental aplicada** ya que toda vez buscaremos encontrar la relación de dependencia de variables de manera dependiente y practico, para ellos se recurrirá a programación y validación de datos de manera experimental en un determinado de tiempo. Al respecto Vargas (2009) manifiesta: “que la investigación aplicada, es cuando se utiliza conocimientos ya realizados además se consiguen otros conocimientos implementando los saberes prácticos en investigación” (p.159).

En cuanto a su enfoque, es una investigación **cuantitativa**, porque en el presente trabajo se medirá la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 en cuatro tipos de suelos. De acuerdo con Hernández, Fernández & baptista (2010): “La principal característica de investigación cuantitativos es la recolección de datos para luego ser medidas” (p.5).

Por su alcance, es una investigación **explicativa**, Porque en la investigación se tratará de explicar la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 en cuatro tipos de suelo. Según Hernández, Fernández & Baptista (2010): “una investigación explicativa se centra por qué ocurre el fenómeno y en qué condiciones y explica las relaciones de las variables” (p.84)

Según su dimensión temporal, es una investigación de **corte longitudinal**, ya que, en el presente trabajo las evaluaciones se realizarán durante la fase de desarrollo del cultivo frijol. Al respecto Arnau & Bono (2008) mencionan: “que se recogerán datos sobre un grupo de muestra en distintos momentos para luego ser examinados a largo del tiempo, en la misma muestra de sujetos y constatar las diferencias” (p.34).

3.2.2. Diseño de investigación

A partir de la Hipótesis y objetivos planteados, la presente investigación buscará medir humedad gravimétrica del suelo con el módulo ESP32 bajo invernadero, en la que se podrá evaluar de manera automática los variables ya mencionados.

Diseño experimental

El experimento se realizará **diseño completamente al azar** (DCA), con 4 tratamientos de suelo y 5 repeticiones cada uno.

El modelo matemático utilizado será el siguiente:

Ecuación 2

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : Variable respuesta de la ij -ésima unidad experimental.

μ : efecto de la media general.

τ_i : Efecto del i – esimo tratamiento.

ε_{ij} : Efecto del error experimental asociado a la i -ésima unidad experimental.

Tabla 4

Cuadro de análisis de varianza (ANOVA)

FV	GL	SC	CM	Fo	Valor-p
Tratamiento	k-1	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$CM_{TRA} = \frac{SC_{TRAT}}{k-1}$	$\frac{CM_{TRA}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	N-k	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$CM_E = \frac{SC_E}{N-K}$		
total	N-1	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$			





















Nota: Cuadro de análisis de varianza de diseño completamente al azar (DCA) Gutierrez (2015).

Características de la Unidad Experimental:

La unidad experimental estará constituida por 4 tratamientos de suelo que será instalado en el invernadero del CIE Cañasbamba, cada tipo de suelo será depositado en baldes de 0.30 metro de diámetro por 0.40 metros de altura, resultando un volumen 0.02467m³ para luego sembrar frijoles en cada uno de ellos. En toda etapa de desarrollo del frijol 94 días, donde se evaluará la humedad gravimétrica en cada tipo de suelo.

Figura 10

Característica de la unidad experimental, diseño completamente al azar.

Tratamiento	Numero de repeticiones				
Suelo I					
Suelo II					
Suelo III					
Suelo IV					

Análisis funcional

Para la evaluación y comparación de medias de los tratamientos se utilizará la prueba de rangos de Duncan al 5 % de significancia estadística. Luego realizar el test de Tukey 95 % de confianza que nos permite comparar las medias t niveles

3.2.3. Población

La población estará conformada por los 4 tratamientos de suelo y 5 repeticiones cada uno en el invernadero de CIE Cañasbamba. En cada uno de los baldes de 0.30 metro de diámetro por 0.40 metros de altura, resultando un volumen 0.02467m³ Serán sembrados los frijoles; en toda la etapa fenológico del frijol 94 días se evaluará la humedad gravimétrica por cada tipo de suelo.

3.2.4. Muestra

La siguiente investigación es de tipo experimental por consiguiente la muestra es de igual a la población.

3.2.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos

Para la recolección de datos grupo control se realiza la siguiente técnica:

Para la humedad de suelo del invernadero se realizará prueba gravimétrica en el laboratorio, consistirá en extraer una porción de suelo de la profundidad de 15 a 25 cm de cada tratamiento y de todas las repeticiones una vez a la semana en toda la etapa fenológica del frijol: 20 días etapa inicial, 30 días etapa desarrollo, 30 días etapa media y 14 días etapa maduración. De esta manera se obtiene la humedad gravimétrica del suelo.

Para la recolección de datos grupo experimental se realiza la siguiente técnica:

- a) Configurar el código fuente del sensor y comunicarlos mediante módulo ESP32 para la lectura humedad del suelo. Luego transmitir los datos a una pantalla LCD.

- b) Para la humedad gravimétrica con el módulo ESP32 consistirá en introducir el sensor de humedad en los tratamientos y en todas las repeticiones una vez a la semana en toda la etapa fenológica del frijol: 20 días etapa inicial, 30 días etapa desarrollo, 30 días etapa media y 14 días etapa maduración. De esta manera se obtiene la humedad gravimétrica del suelo con el módulo ESP32.
- c) Obtenido los datos de grupo de control y grupo experimental se validarán los datos para así obtener un sistema de control automatizado para cualquier invernadero.

3.2.6. *Técnicas de procesamiento de datos*

Para el procesamiento de datos se realizará análisis cuantitativo donde las variables de humedad gravimétrico del suelo serán ordenados y registrados en un Excel del grupo de control y experimental. Donde cada uno de los datos serán analizados, para demostrar la hipótesis se usará el software Minitab statistical, para validación de datos se realizarán comparaciones de grupos relacionados con análisis de regresión lineal.

3.2.7. *Parámetros a evaluar*

- ❖ Para la contrastación de hipótesis se realizará la prueba de rango de Duncan a 5 % de significancia de la evaluación de humedad del suelo con el módulo ESP32 bajo invernadero.

H_0 : se aprueba si $P > 0.05$

H_1 : se aprueba si $P < 0.05$

- ❖ Para la validación de variable de humedad de suelo para datos agrupados con el módulo ESP32 se realizará análisis de regresión lineal, relacionando humedad gravimétrica con ESP32 Vs Humedad gravimétrica del laboratorio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados según los objetivos plateados son los siguientes:

Inicio de investigación en campo 10 de enero con la siembra de frijoles en el invernadero CIE Cañasbamba, finaliza el 13 de mayo con la maduración del frijol.

4.1. Presentación de resultados

Respecto del objetivo específico 1 “Determinar los parámetros físicos de 4 tipos de suelo del grupo de control en laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo”.

Los parámetros físicos de los 4 tipos de suelo se determinaron en el laboratorio de suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNASAM. Siendo el suelo 1 textura franco arenoso $D_a = 1.41 \text{ g/cm}^3$, $D_r = 2.63 \text{ g/cm}^3$, Porosidad 46.01 %, C.C = 19.00 % y P.M=7.00 %; para el suelo 2 fue la proporción 30 % de turba, 30 % arena y 40 % suelo agrícola resultando las características físicas del suelo $D_a = 1.42 \text{ g/cm}^3$, $D_r = 2.62 \text{ g/cm}^3$, Porosidad 45.80 %, C.C = 19.00 % y P.M=7.00 %; para el suelo 3 fue la proporción 35 % de turba, 35 % arena y 30 % suelo agrícola resultando las características físicas del suelo $D_a = 1.40 \text{ g/cm}^3$, $D_r = 2.61 \text{ g/cm}^3$, Porosidad 46.36 %, C.C = 23.00 % y P.M=9.00 % y para el suelo 4 fue la proporción 40 % de turba, 40 % arena y 20 % suelo agrícola resultando las características físicas del suelo $D_a = 1.39 \text{ g/cm}^3$, $D_r = 2.59 \text{ g/cm}^3$, Porosidad 46.33 %, C.C = 27.00 % y P.M=11.00 % como se muestra en el anexo 1,2,3 y 4.

Para el resultado de humedad gravimétrico del suelo en el laboratorio, para toda la etapa fenológica del cultivo de frijol 94 días; se tuvo que extraer con una pequeña espátula la muestra de suelo de 15 a 25 cm de profundidad de los 4 tipos de suelo y 5 repeticiones de cada uno en el invernadero de CIE Cañasbamba; luego ser embolsado cada muestra de suelo herméticamente para ser trasladado al laboratorio de suelo de la FCA- UNASAM. En el

laboratorio se tomó una determinada cantidad 100 gramos de suelo húmedo para ser pesado, seguidamente secarlo el suelo en una temperatura constante de 105°C y pesar el suelo seco. Teniendo los pesos de suelo húmedo y suelo seco se calculó la humedad gravimétrica del suelo en el laboratorio.

Tabla 5

W (%) del suelo realizado en el laboratorio de la FCA-UNASAM

Semanas	tratamientos	Bl. 1	Bl. 2	Bl. 3	Bl. 4	Bl. 5
		W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	W (%)
Sem. 1	Suelo 1	14.806	13.714	14.228	13.696	13.856
	Suelo 2	15.594	15.235	16.251	15.586	15.117
	Suelo 3	20.492	21.733	20.411	21.834	21.265
	Suelo 4	30.608	31.653	30.023	31.876	30.293
Sem. 2	Suelo 1	15.794	17.241	17.236	17.234	17.645
	Suelo 2	29.298	28.996	28.638	28.961	29.768
	Suelo 3	30.768	31.018	31.059	30.989	30.990
	Suelo 4	36.953	37.122	35.231	37.078	37.135
Sem. 3	Suelo 1	16.292	16.282	15.449	15.440	15.918
	Suelo 2	28.217	27.836	28.252	27.346	27.857
	Suelo 3	31.044	30.701	30.769	30.018	30.495
	Suelo 4	38.986	39.396	39.385	40.460	39.242
Sem. 4	Suelo 1	18.752	17.518	18.316	18.866	19.001
	Suelo 2	30.310	31.185	31.132	30.703	30.708
	Suelo 3	34.090	34.287	34.119	34.771	33.830
	Suelo 4	43.494	43.403	44.289	44.614	43.599
Sem. 5	Suelo 1	21.669	21.802	20.862	21.001	20.955
	Suelo 2	44.028	44.868	43.193	43.107	43.595
	Suelo 3	45.810	45.039	47.153	46.945	45.065
	Suelo 4	47.937	47.200	48.925	47.532	49.287
Sem. 6	Suelo 1	26.207	26.422	26.423	25.218	26.501
	Suelo 2	46.088	46.992	45.041	45.015	46.692
	Suelo 3	48.560	49.308	47.188	47.486	47.165
	Suelo 4	53.982	54.254	54.225	55.779	55.410
Sem. 7	Suelo 1	31.608	31.738	33.025	33.217	32.765
	Suelo 2	45.729	45.761	46.142	46.583	45.743
	Suelo 3	48.783	48.996	48.566	48.997	48.813
	Suelo 4	55.709	55.655	55.005	55.697	55.959
Sem. 8	Suelo 1	27.516	26.692	27.360	27.707	26.855
	Suelo 2	44.401	44.574	43.666	43.249	43.488
	Suelo 3	52.952	52.986	53.191	51.728	51.915

	Suelo 4	57.357	57.004	56.667	56.456	57.010
Sem. 9	Suelo 1	25.021	24.800	24.765	24.412	24.973
	Suelo 2	40.459	39.866	39.923	40.557	40.436
	Suelo 3	49.319	47.153	47.256	49.175	49.165
	Suelo 4	53.981	53.750	51.665	52.509	52.345
Sem. 10	Suelo 1	20.334	20.207	20.050	20.165	20.177
	Suelo 2	32.719	32.996	32.759	33.115	32.577
	Suelo 3	36.540	36.584	36.683	36.722	36.589
	Suelo 4	45.253	46.538	46.822	45.557	46.282
Sem. 11	Suelo 1	17.277	17.547	16.903	17.048	16.818
	Suelo 2	29.108	29.508	29.476	29.480	28.853
	Suelo 3	32.726	32.378	32.556	33.119	33.076
	Suelo 4	40.971	41.229	41.562	41.778	42.354
Sem. 12	Suelo 1	15.637	16.148	16.282	15.735	15.123
	Suelo 2	27.683	27.336	27.316	28.040	27.390
	Suelo 3	31.532	31.550	31.482	31.515	30.562
	Suelo 4	40.186	40.774	39.027	39.075	39.902
Sem. 13	Suelo 1	14.691	14.645	13.748	14.798	14.394
	Suelo 2	34.712	34.734	34.722	34.720	34.723
	Suelo 3	35.615	35.845	36.013	36.306	36.110
	Suelo 4	37.064	37.601	37.245	37.466	37.610
Sem. 14	Suelo 1	11.908	12.238	12.373	11.724	11.924
	Suelo 2	23.441	22.764	22.569	22.510	23.115
	Suelo 3	25.863	25.688	25.775	26.422	25.693
	Suelo 4	29.856	29.726	29.237	28.859	28.709

Nota: En la siguiente tabla se muestra la W (%) del suelo realizado en el laboratorio para las 14 semanas.

Respecto del objetivo específico 2 “Configurar el código fuente para la lectura del sensor de humedad gravimétrica del suelo en el módulo ESP32”.

Para configurar el código fuente se tuvo que usar el software libre del IDE de módulo ESP32 del arduino. Para la programación se consideró los pines de entrada y salidas para transmitir información del sensor de humedad al ESP32. Teniendo identificado los pines de entrada y salida se programó el código fuente considerando los impulsos eléctricos del sensor de humedad en un vaso de agua tomando los límites de 0 % de humedad cuando el suelo está seco y 100% cuando el suelo esta encharcado de agua.

```

1 #include <LiquidCrystal.h>
2 #include <DHT.h>
3
4 #include <WiFi.h>
5 #include <WiFiClient.h>
6 #include <PubSubClient.h>
7
8 const char* ssid = "MOVISTAR WIFI1227";
9 const char* password = "123456789rumi";
10
11 //Datos constantes para identificar el ESP32
12 #define ORG "83aj6p"
13 #define DEVICE_TYPE "ESP32"
14 #define DEVICE_ID "282C70CB94EC"
15 #define TOKEN "O?t1&SG9?5V&U-zuRH"
16
17 //Direcciones del servidor y topics
18 char server[] = ORG ".messaging.internetofthings.ibmcloud.com";
19 char pubTopic1[] = "iot-2/evt/estado1/fmt/json";
20 char pubTopic2[] = "iot-2/evt/estado2/fmt/json";
21 char pubTopic3[] = "iot-2/evt/estado3/fmt/json";
22
23 //Autenticación del ESP32
24 char authMethod[] = "use-token-auth";
25 char token[] = TOKEN;
26 char clientId[] = "d:" ORG ":" DEVICE_TYPE ":" DEVICE_ID;
27
28 //Crear cliente seguro
29 WiFiClient wifiClient;
30 PubSubClient client(server, 1883, NULL, wifiClient);
31
32 int sensor1 = 15;
33 int sensor2 = 35;
34 DHT dht (sensor1,DHT11);
35 LiquidCrystal lcd(13,12,14,27,26,25);
36
37 int i =0, j=0;
38 void setup() {
39     // put your setup code here, to run once:
40     Serial.begin(9600);
41     Serial.println();
42     lcd.begin(16,2);
43     lcd.setCursor(0,0);
44     lcd.println("PROYECTO UNASAM");
45     dht.begin();
46     delay(1000);
47
48     //Imprime puntos mientras el ESP32 se conecta a la red

```

```

49 //Cuando se conecta imprime la IP local
50 lcd.setCursor(0,0);
51
52 }
53 long lastMsg = 0;
54
55 void loop() {
56   lcd.clear();
57   int datasensor2 = analogRead(sensor2);
58   Serial.println(datasensor2);
59   // put your main code here, to run repeatedly:
57   float h = dht.readHumidity();
58   float t = dht.readTemperature();
59   float h1=0, t1=0, h2=0;
60   if (isnan(h) || isnan(t)) {
61     lcd.setCursor(0,0);
62     lcd.print("S1 Disconnect");
63     lcd.setCursor(0,1);
64   }else{
65     h1=h;
66     t1=t;
67   }
68   if(datasensor2==0){
69     lcd.setCursor(0,1);
70     lcd.print("S2 Disconnect");
71     lcd.print(h2);
72     delay(1000);
73   }else{
74     double porc = (datasensor2 * 100) / 4095-datasensor2;
75     Serial.println("HUMEDAD");
76     Serial.println(porc);
77
78     if (porc <= 0){
79       h2=0;
80     }
81     if(porc >= 100){
82       h2=100;
83     }
84     if(porc < 100 && porc > 0 ){
85       h2=porc;
86     }
87   }
88   lcd.setCursor(0,0);
89   lcd.print("H1:");
90   lcd.print(h1);
91   lcd.print("T1:");
92   lcd.print(t1);
93   lcd.setCursor(0,1);

```

```

94 lcd.print("H2:");
95 lcd.print(h2);
96 lcd.print("%");
97 delay(1000);
98 //conexion IBM
99
100 }

```

Respecto del objetivo específico 3 “Evaluar la humedad gravimétrica de 4 tipos de suelo con el módulo ESP32 en frijol (*phaseolus vulgaris l.*), bajo invernadero en CIE Cañasbamba”.

Para el resultado de la evaluación de humedad gravimétrico del suelo con el módulo ESP32 se tuvo que introducir el sensor de humedad a una profundidad 15 a 25 cm para la lectura de humedad de suelo en la pantalla LCD en los 4 tipos de suelo y 5 repeticiones cada uno en el invernadero de CIE Cañasbamba.

Tabla 6

W (%) del suelo con el módulo ESP32.

Semanas	Tratamientos	Bl. 1	Bl. 2	Bl. 3	Bl. 4	Bl. 5
		W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	W (%)
Sem. 1	Suelo 1	16.9	15.6	16.4	15.5	15.7
	Suelo 2	17.4	16.8	18.5	17.7	17.3
	Suelo 3	22	23.6	22.4	23.6	23.6
	Suelo 4	32.8	33.1	32.2	34.2	32.04
Sem. 2	Suelo 1	17.4	19.3	18.8	18.7	19
	Suelo 2	31.6	30.9	30.9	30.6	31.8
	Suelo 3	32.7	32.5	33	32.9	32.9
	Suelo 4	39	38.6	36.8	39.1	39.2
Sem. 3	Suelo 1	17.7	17.8	17.1	17.8	17.8
	Suelo 2	30.3	29.5	30.5	29.2	29.9
	Suelo 3	33.1	32.6	32.4	31.5	32.6
	Suelo 4	40.4	41.1	40.8	41.9	40.7
Sem. 4	Suelo 1	20.2	19.4	20.3	20.7	20.4
	Suelo 2	32.4	33.3	32.5	32.4	33.1
	Suelo 3	35.7	35.9	36.2	36.4	35.3
	Suelo 4	45.2	45.1	46	46.4	45.4
Sem. 5	Suelo 1	23.4	23.7	22.2	22.4	22.8
	Suelo 2	45.4	46.6	45.1	45.2	45.9
	Suelo 3	47.5	46.5	49.3	48.6	47.3
	Suelo 4	49.8	48.6	50.4	49.2	51.5

Sem. 6	Suelo 1	27.9	28.2	27.8	27.1	28.8
	Suelo 2	47.2	48.3	46.5	46.3	48.1
	Suelo 3	49.7	50.4	48.5	48.8	48.8
	Suelo 4	55.6	56.4	56.2	58	57.5
Sem. 7	Suelo 1	33.1	33.5	35.1	35.4	34.7
	Suelo 2	47.7	47.5	48.44	48.3	47.5
	Suelo 3	50.2	50.9	60.6	51	50.9
	Suelo 4	58	57.7	57.3	57.1	57.4
Sem. 8	Suelo 1	29.8	28.3	29.3	29.2	28.5
	Suelo 2	45.9	46.6	45.3	45.4	45.6
	Suelo 3	55.2	54.6	55.1	53.9	53.9
	Suelo 4	59.6	59	58.5	57.9	58.5
Sem. 9	Suelo 1	27.2	26.4	26.8	26.2	27.2
	Suelo 2	42.4	41.5	41.3	42.5	42.5
	Suelo 3	50.7	48.6	49.1	51.4	51
	Suelo 4	55.6	55.2	53.9	54.6	53.7
Sem. 10	Suelo 1	22.3	21.6	21.7	22	22.1
	Suelo 2	34.6	35.1	34.6	34.7	34.9
	Suelo 3	38.3	38.2	38.5	39.1	38.9
	Suelo 4	46.9	47.9	48.6	46.9	48.6
Sem. 11	Suelo 1	19.5	18.9	18.3	18.8	18.7
	Suelo 2	30.9	31.2	31.1	31.7	30.2
	Suelo 3	34.8	34.5	34.5	34.5	35.1
	Suelo 4	43.1	43	43.2	44	44.4
Sem. 12	Suelo 1	17.6	18.1	18.1	17.9	16.6
	Suelo 2	29.2	28.9	29.3	29.8	29.4
	Suelo 3	33.1	33.4	33.6	32.9	32.5
	Suelo 4	42	43	41	40.4	41.3
Sem. 13	Suelo 1	16.3	16.2	16	17.1	16
	Suelo 2	36.5	36.3	36.7	36.9	36.3
	Suelo 3	37.6	37.4	37.9	38.5	37.8
	Suelo 4	38.6	39.1	39.2	39.6	39.2
Sem. 14	Suelo 1	13.8	13.9	14.1	14	13.6
	Suelo 2	25	24.4	24.6	24.6	25.3
	Suelo 3	27.4	27.6	27.9	28.1	27.5
	Suelo 4	32.2	31.7	31.1	30.9	30.4

Nota: En la siguiente tabla se muestra la W (%) del suelo con el módulo ESP32 para las 14 semanas.

Respecto del objetivo específico 4 “Validar los datos de humedad gravimétrica del módulo ESP32 transmitido en la pantalla LCD en tiempo real mediante el grupo de control”.

Para el resultado de la validación de datos de humedad gravimétrica del módulo ESP32 se realizó prueba estadística de diseño completamente al azar (DCA) para la contrastación de hipótesis mediante la tabla ANOVA en toda la etapa fenológica del frijol. A continuación, se realizó con los datos agrupados para cada uno de los tratamientos análisis de regresión lineal para W (%) del suelo: módulo ESP32 Vs laboratorio.

Cuadros de análisis de varianza diseño completamente al azar (DCA)

Tabla 7

Análisis de varianza de W (%) suelo con el módulo ESP32 semana 1

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	871.541	290.514	550.97	2.3725E-16**
Residuos	16	8.436	0.527		
Total	19	879.978			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 7, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende a aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 8

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 1.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.726140	99.04%	98.86%	98.50%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.04 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 9

Comparaciones por parejas utilizando el método de Tukey, semana 1.

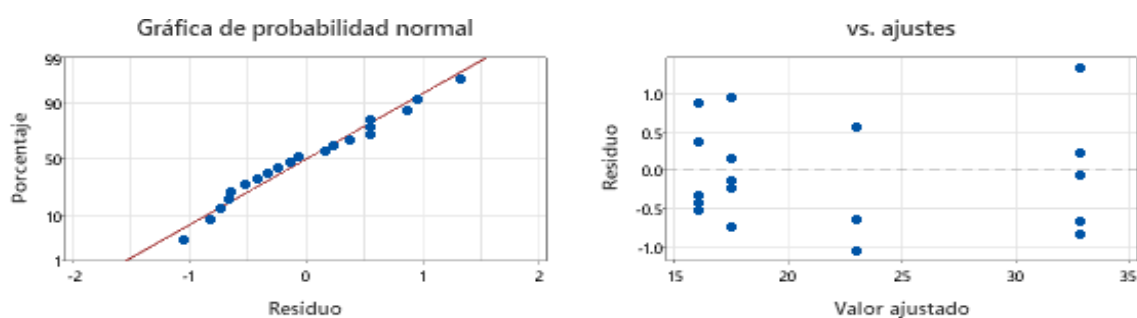
Tratamiento	N	Media	Agrupación
Suelo 4	5	32.868	A
Suelo 3	5	23.040	B
Suelo 2	5	17.540	C
Suelo 1	5	16.020	D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y la medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 1 de germinación del frijol fue de 3.32 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 11

Gráfica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 1.



Nota: En la figura 11 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 12

Gráfica de efectos principales y gráfica de cajas de W (%) de la semana 1

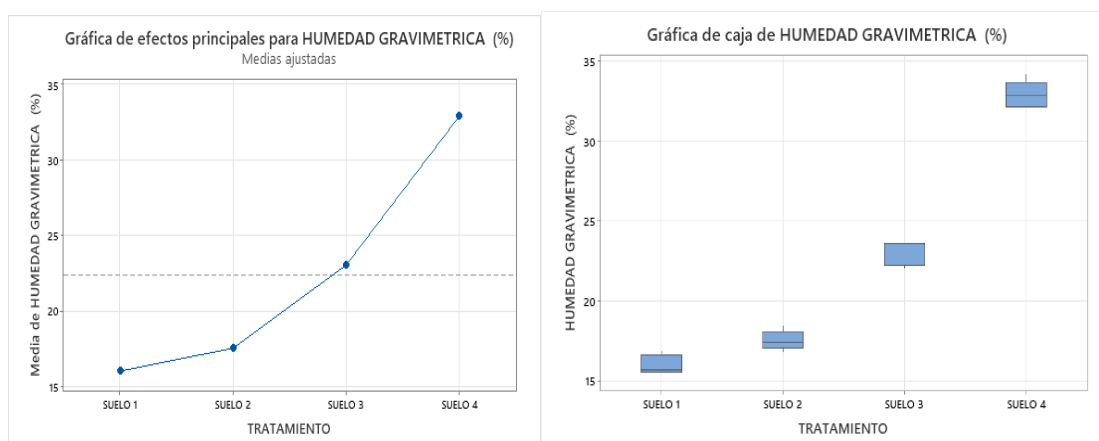


Tabla 10

Análisis de varianza de la W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 2.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	1054.21	351.403	766.42	1.7313E-17**
Residuos	16	7.34	0.459		
Total	19	1061.55			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 10, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende a aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 11

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 2.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado) (pred)
0.677126	99.31%	99.18%	98.92%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.31 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 12

Comparaciones por parejas método de Tukey semana 2.

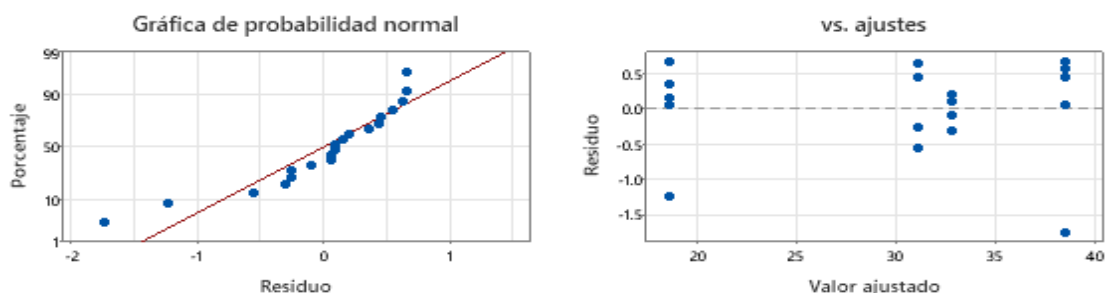
Tratamiento	N	Media	Agrupación
Suelo 4	5	38.54	A
Suelo 3	5	32.80	B
Suelo 2	5	31.16	C
Suelo 1	5	18.64	D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 2 de germinación del frijol fue de 2.23 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 13

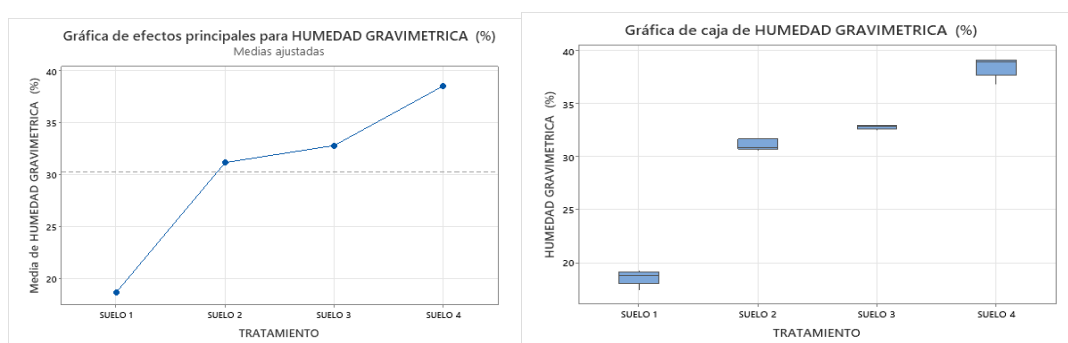
Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 2.



Nota: En la figura 13 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 14

Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) de la semana 2.

**Tabla 13**

Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 3.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	1395.39	465.128	1763.52	2.2773E-20**
Residuos	16	4.22	0.264		
Total	19	1399.61			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 13, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 14

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 3.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.513566	99.70%	99.64%	99.53%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.70 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 15

Comparaciones por parejas utilizando el método de Tukey de la semana 3.

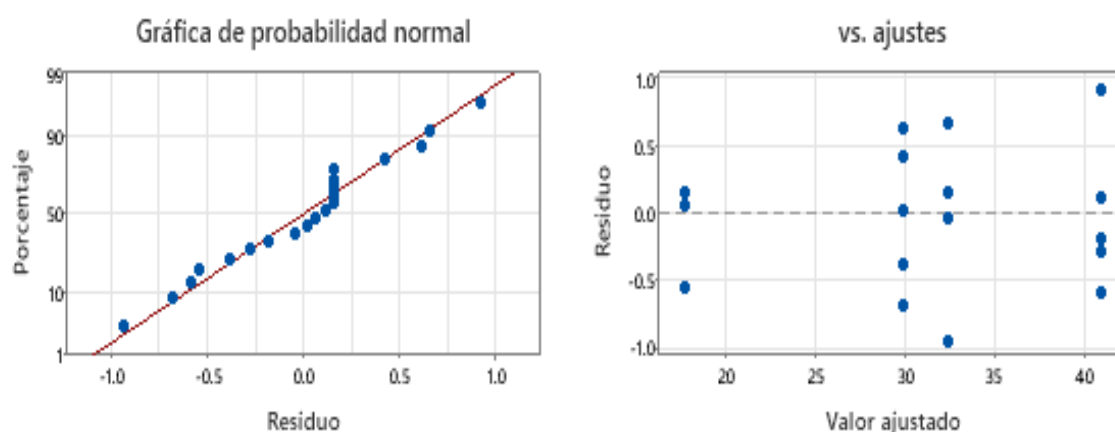
Tratamiento	N	Media	Agrupación
Suelo 4	5	40.98	A
Suelo 3	5	32.44	B
Suelo 2	5	29.88	C
Suelo 1	5	17.64	D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y la medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 3 de germinación del frijol fue de 1.69 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 15

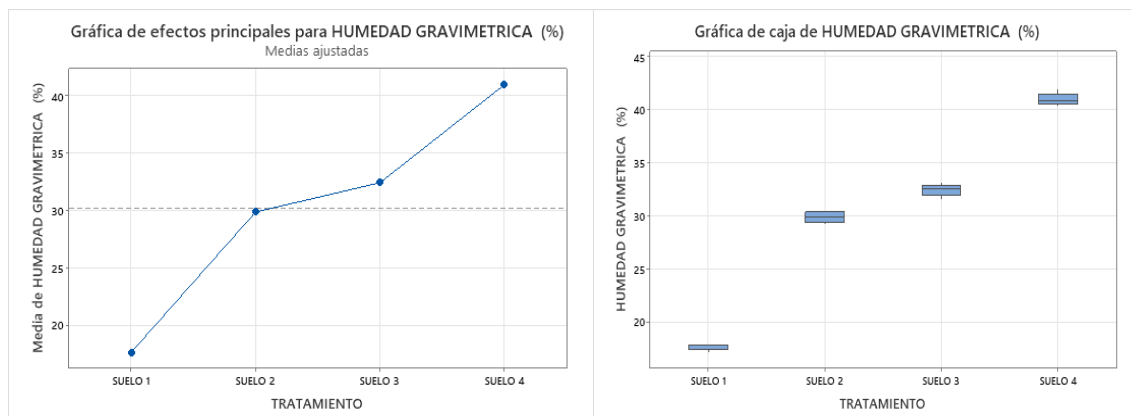
Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 3.



Nota: En la figura 15 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 16

Gráfica de efectos principales y gráfica de cajas de W (%) de la semana 3.

**Tabla 16**

Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 4.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	1650.35	550.115	2404.88	1.9172E-21**
Residuos	16	3.66	0.229		
Total	19	1654.01			

* *Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 16, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende a aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 17

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 4.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.478278	99.78%	99.74%	99.65%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.78 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 18

Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 4.

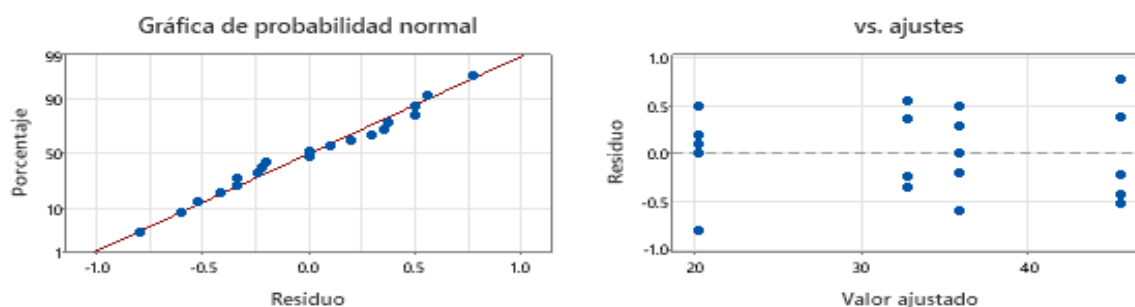
Tratamiento	N	Media	Agrupación	
Suelo 4	5	45.62	A	
Suelo 3	5	35.90		B
Suelo 2	5	32.74		C
Suelo 1	5	20.20		D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y la medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 4 de germinación del frijol fue de 1.42 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 17

Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 4.



Nota: En la figura 17 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 18

Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 4.

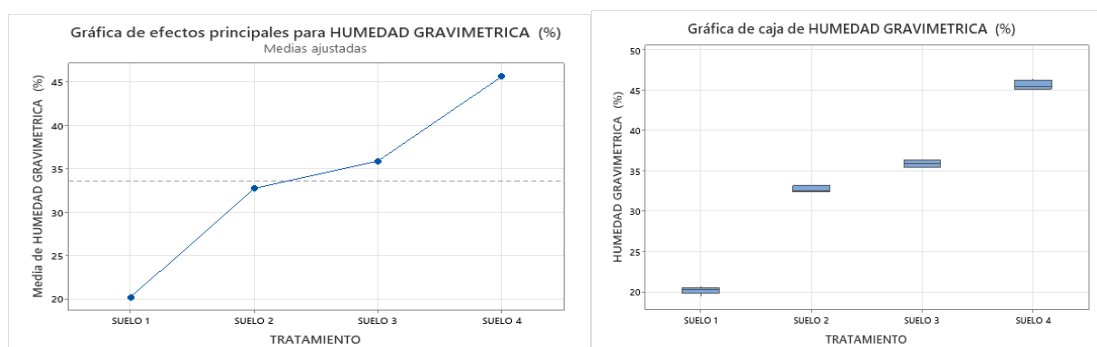


Tabla 19

Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 5.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	2369.18	789.726	965.73	2.7574E-18**
Residuos	16	13.08	0.818		
Total	19	2382.26			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 19, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende a aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 20

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 5.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.904295	99.45%	99.35%	99.14%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.45 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 21

Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 5.

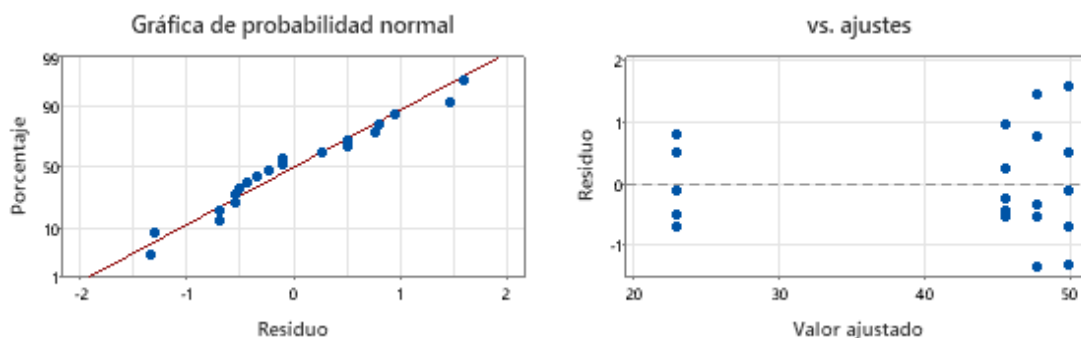
Tratamiento	N	Media	Agrupación
Suelo 4	5	49.90	A
Suelo 3	5	47.84	B
Suelo 2	5	45.64	C
Suelo 1	5	22.90	D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y la medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 5 de germinación del frijol fue de 2.14 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 19

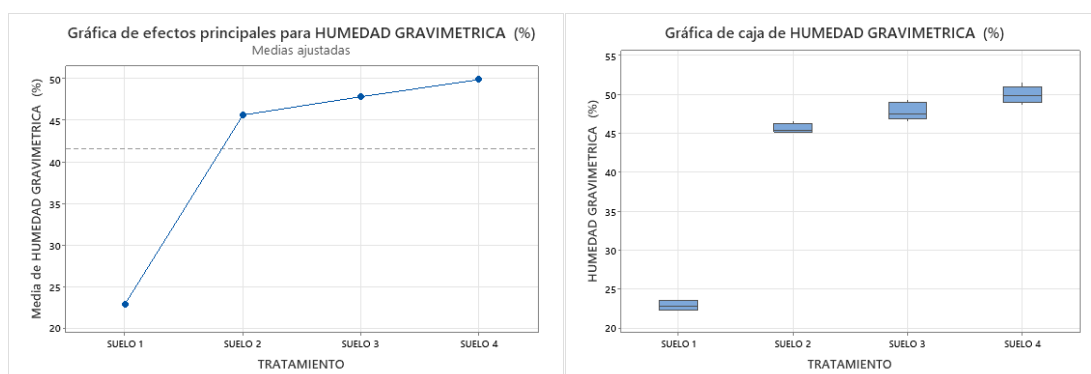
Grafica de residuos W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 5.



Nota: En la figura 19 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 20

Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) de la semana 5.

**Tabla 22**

Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 6.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	2254.97	751.655	1075.33	1.1724E-18**
Residuos	16	11.18	0.699		
Total	19	2266.15			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 22, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p -valor < 0.000 . Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende a aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 23

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 6.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.836062	99.51%	99.41%	99.23%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.51 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 24

Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 6.

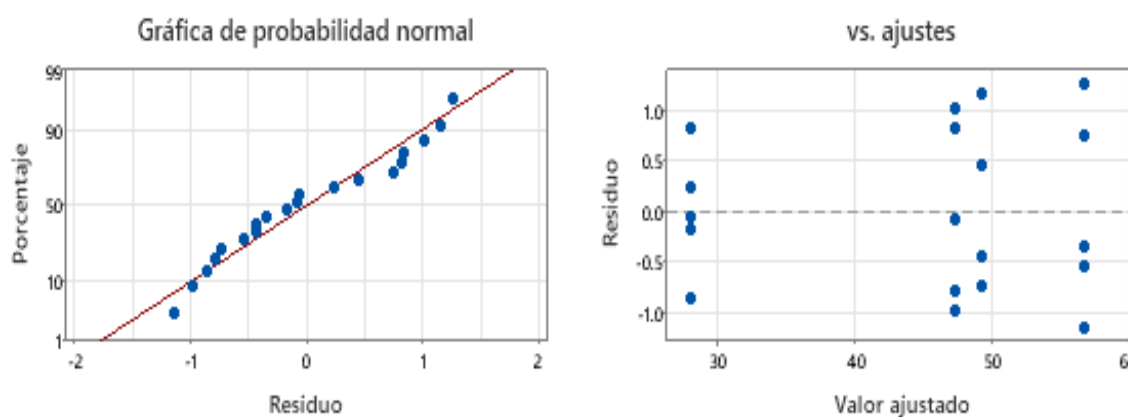
Tratamiento	N	Media	Agrupación
Suelo 4	5	56.74	A
Suelo 3	5	49.24	B
Suelo 2	5	47.28	C
Suelo 1	5	27.96	D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y la medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 6 de germinación del frijol fue de 1.84 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 21

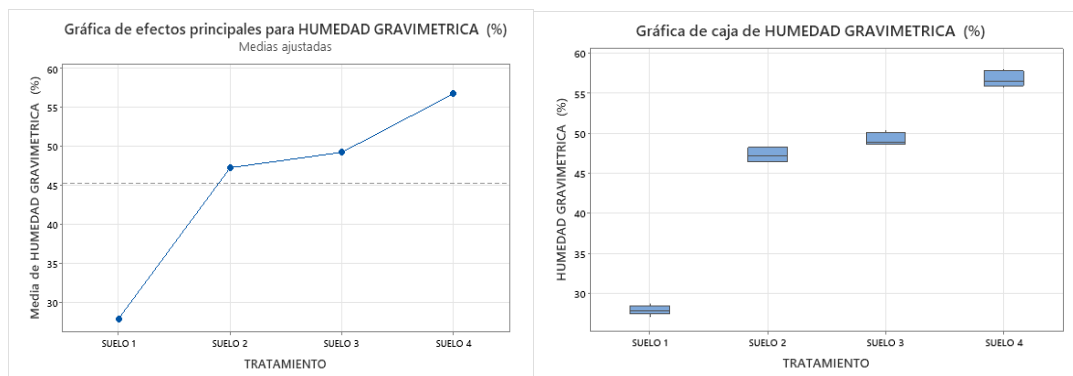
Gráfica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 6.



Nota: En la figura 21 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 22

Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 6.

**Tabla 25**

Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 de la semana 7.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	1492.68	497.560	95.44	2.0055E-10**
Residuos	16	83.41	5.213		
Total	19	1576.09			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 25, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende a aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 26

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 7.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
2.28324	94.71%	93.72%	91.73%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 94.71 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 27

Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 7.

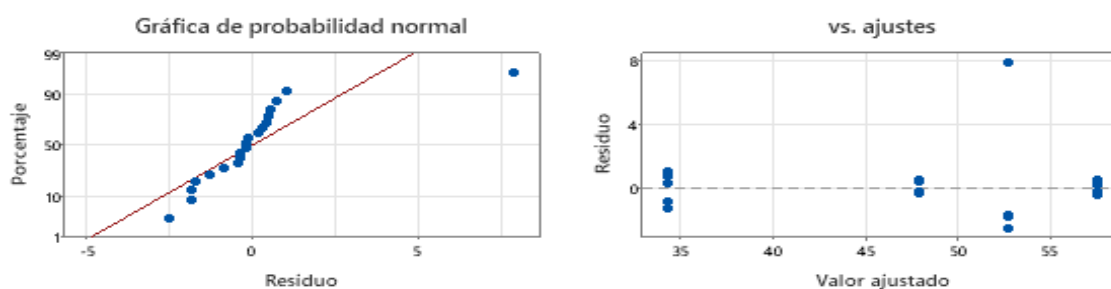
Tratamiento	N	Media	Agrupación
Suelo 4	5	57.500	A
Suelo 3	5	52.720	B
Suelo 2	5	47.888	C
Suelo 1	5	34.360	D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y la medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 7 de germinación del frijol fue de 4.07 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 23

Gráfica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 7.



Nota: En la figura 23 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 24

Gráfica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 7.

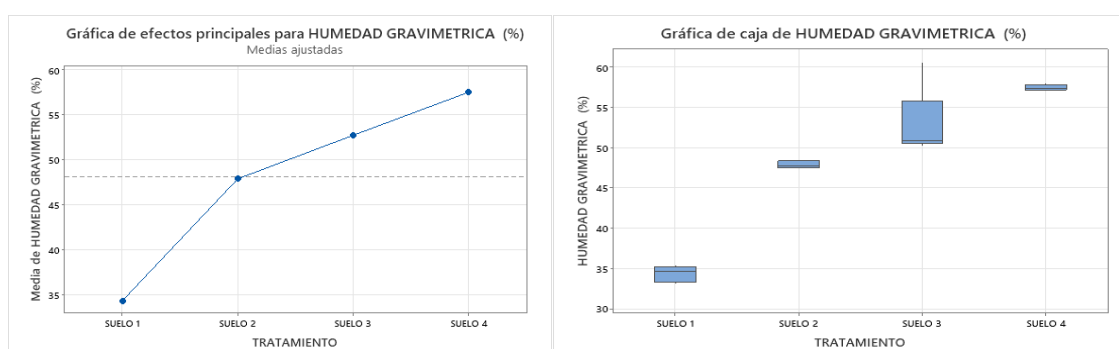


Tabla 28

Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 de la semana 8.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	2592.80	864.266	2387.47	2.0316E-21**
Residuos	16	5.79	0.362		
Total	19	2598.59			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 28, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende a aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 29

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 8.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.601664	99.78%	99.74%	99.65%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.78 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 30

Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 8.

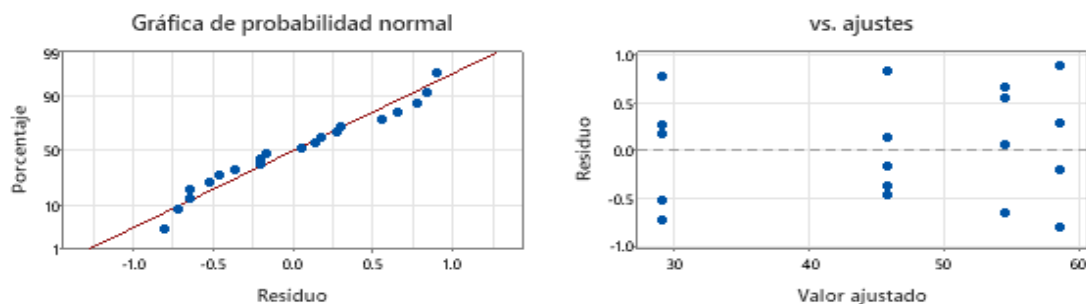
Tratamiento	N	Media	Agrupación
Suelo 4	5	58.70	A
Suelo 3	5	54.54	B
Suelo 2	5	45.76	C
Suelo 1	5	29.02	D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 8 de germinación del frijol fue de 1.28 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 25

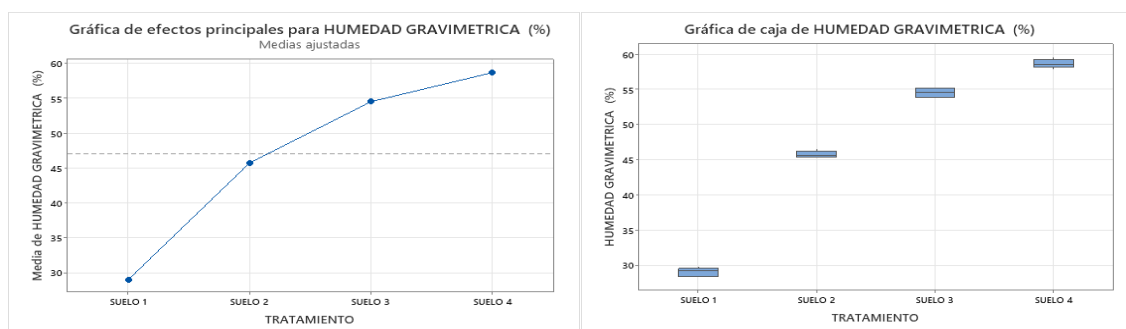
Gráfica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 8.



Nota: En la figura 25 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 26

Gráfica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 8.

**Tabla 31**

Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 de la semana 9.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	2249.38	749.794	1092.99	1.0298E-18**
Residuos	16	10.98	0.686		
Total	19	2260.36			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 31, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 32

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 9.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.828251	99.51%	99.42%	99.24%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.51 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 33

Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 9.

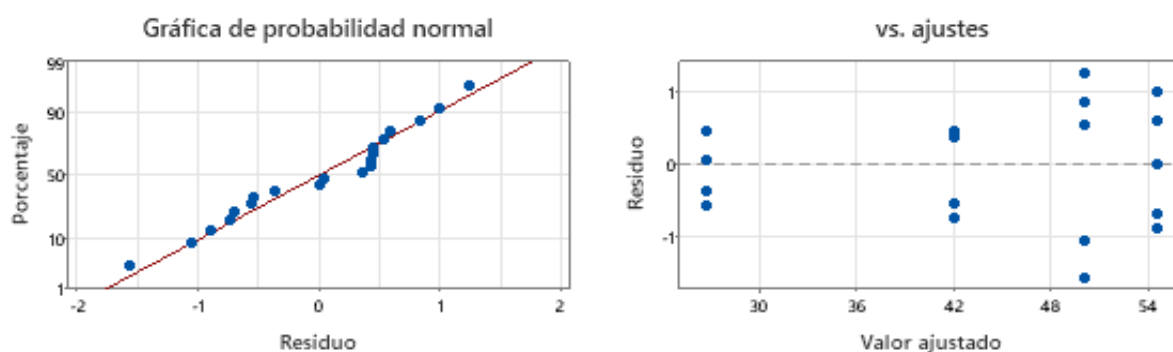
Tratamiento	N	Media	Agrupación
Suelo 4	5	54.60	A
Suelo 3	5	50.16	B
Suelo 2	5	42.04	C
Suelo 1	5	26.76	D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y la medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 9 de germinación del frijol fue de 1.90 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 27

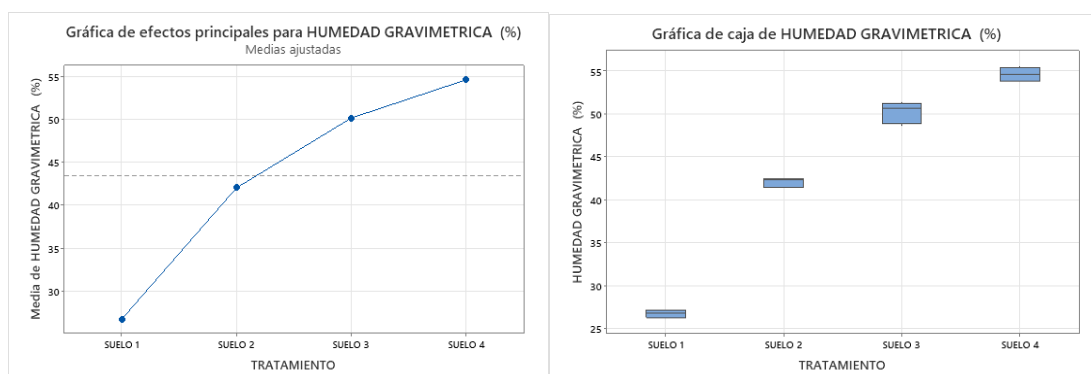
Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 9.



Nota: En la figura 27 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 28

Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 9.

**Tabla 34**

Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 de la semana 10.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	1722.49	574.163	2280.69	2.9271E-21**
Residuos	16	4.03	0.252		
Total	19	1726.52			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 34, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende a aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 35

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 10.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.501747	99.77%	99.72%	99.64%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.77 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 36

Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 10.

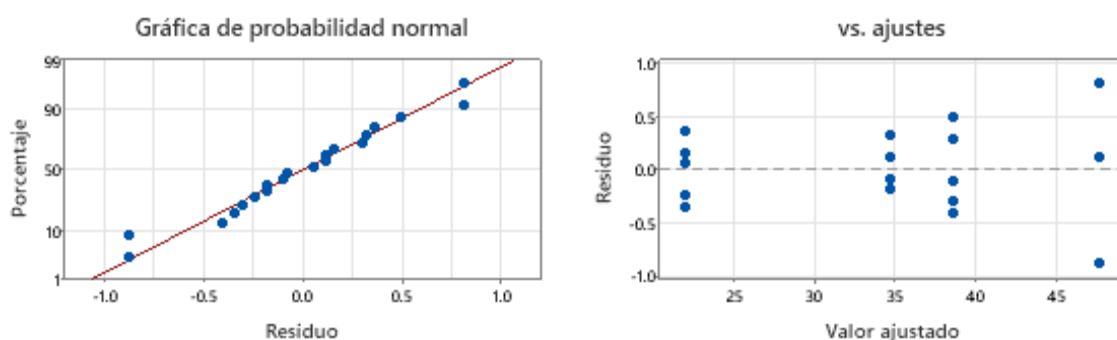
Tratamiento	N	Media	Agrupación	
Suelo 4	5	47.78	A	
Suelo 3	5	38.60		B
Suelo 2	5	34.78		C
Suelo 1	5	21.94		D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y la medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 10 de germinación del frijol fue de 1.40 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 29

Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 10.



Nota: En la figura 29 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 30

Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 10.

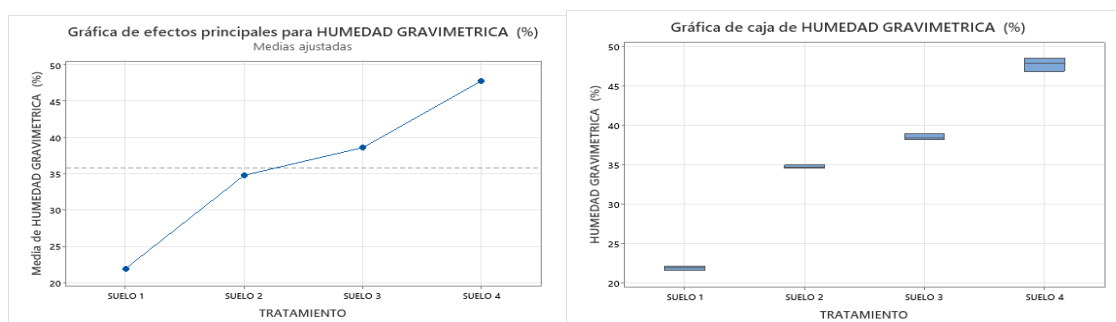


Tabla 37

Análisis de varianza de la W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 11.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	1572.49	524.164	2218.68	3.6473E-21**
Residuos	16	3.78	0.236		
Total	19	1576.27			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 37, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende a aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 38

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 11.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.486056	99.76%	99.72%	99.63%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.76 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 39

Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 11.

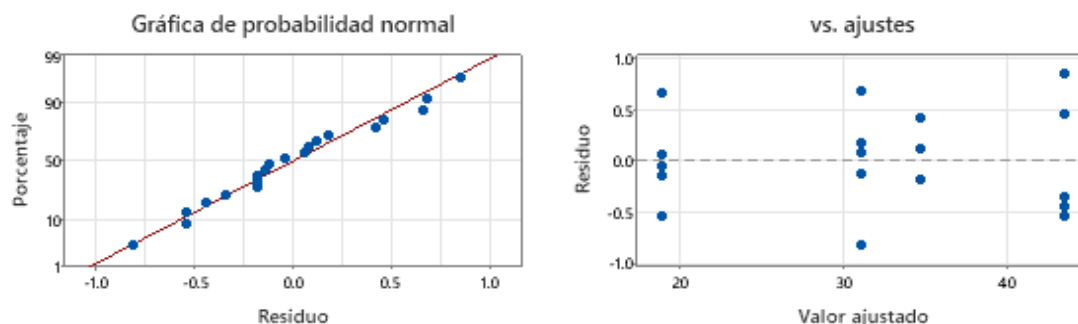
Tratamiento	N	Media	Agrupación		
Suelo 4	5	43.54	A		
Suelo 3	5	34.68	B		
Suelo 2	5	31.02	C		
Suelo 1	5	18.84	D		

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 11 de germinación del frijol fue de 1.51 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 31

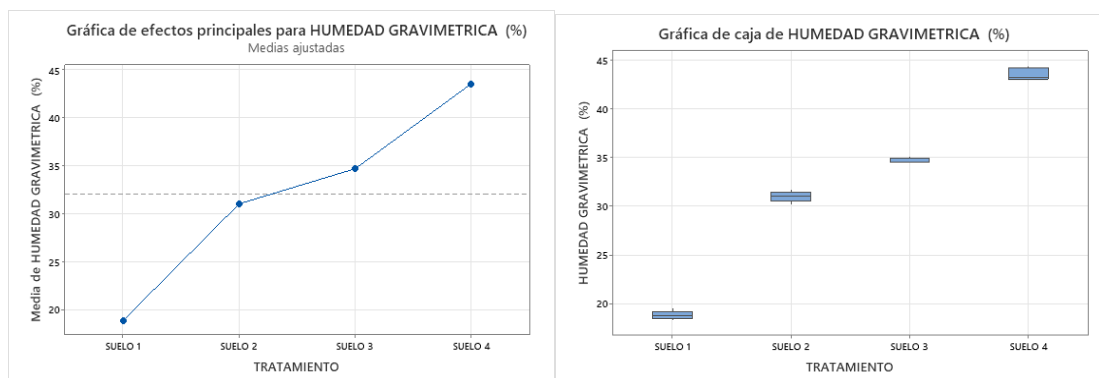
Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 11.



Nota: En la figura 31 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 32

Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 11.

**Tabla 40**

Análisis de varianza de la W (%) del suelo con el módulo ESP32 de la semana 12.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	1474.32	491.439	1168.01	6.0711E-19**
Residuos	16	6.73	0.421		
Total	19	1481.05			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 40, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende a aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 41

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 12.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.648652	99.55%	99.46%	99.29%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.55 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 42

Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 12.

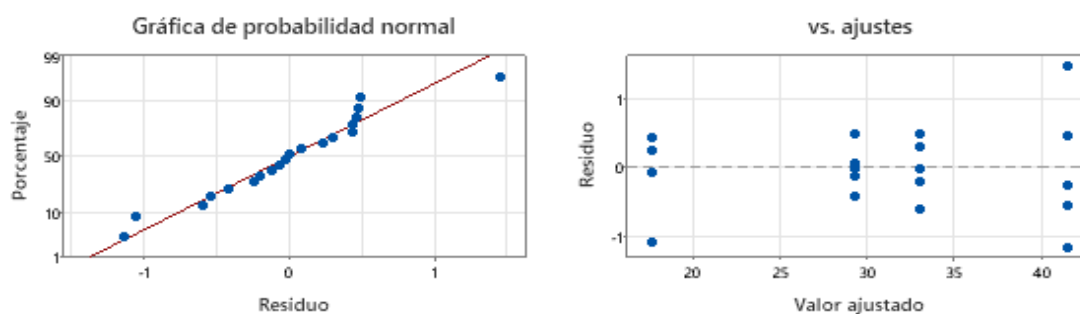
Tratamiento	N	Media	Agrupación
Suelo 4	5	41.54	A
Suelo 3	5	33.10	B
Suelo 2	5	29.32	C
Suelo 1	5	17.66	D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y la medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 12 de germinación del frijol fue de 2.13 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 33

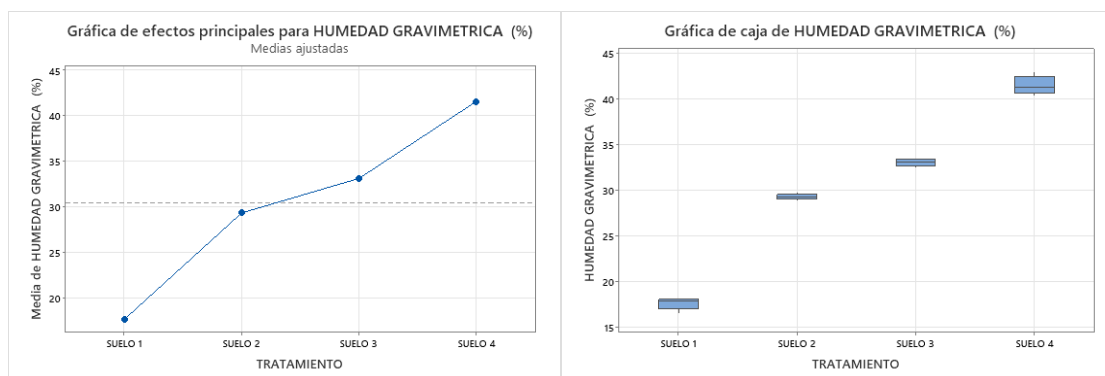
Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 12.



Nota: En la figura 33 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 34

Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 12.

**Tabla 43**

Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 de la semana 13.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	1753.56	584.521	4059.18	2.9324E-23**
Residuos	16	2.30	0.144		
Total	19	1755.87			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 43, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende a aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 44

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 13.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.379473	99.87%	99.84%	99.79%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.87 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 45

Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 13.

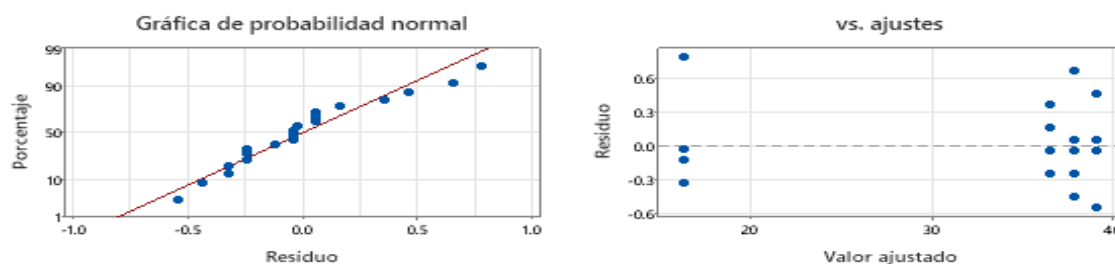
Tratamiento	N	Media	Agrupación	
Suelo 4	5	39.14	A	
Suelo 3	5	37.84		B
Suelo 2	5	36.54		C
Suelo 1	5	16.32		D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y la medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 13 de germinación del frijol fue de 1.16 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 35

Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 13.



Nota: En la figura 35 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 36

Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 13.

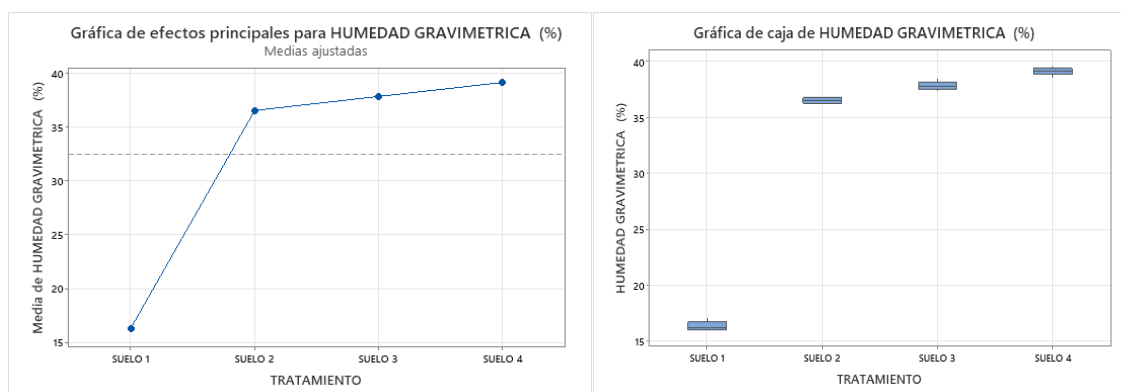


Tabla 46

Análisis de varianza de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 14.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	843.821	281.274	1506.15	8.0098E-20**
Residuos	16	2.988	0.187		
Total	19	846.809			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 46, se muestra el efecto significativo W (%) del módulo ESP32 con p-valor < 0.000. Es decir, al menos uno de los tratamientos tiende a aumentar la W (%) del suelo, esta diferencia se verificó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un margen de error del 5 %.

Tabla 47

Resumen del modelo lineal para el diseño completamente al azar semana 14.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.432146	99.65%	99.58%	99.45%

Nota: El coeficiente de determinación múltiple (R^2) nos indica que el 99.65 % de la variabilidad de la W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados.

Tabla 48

Comparaciones por parejas método de Tukey de la semana 14.

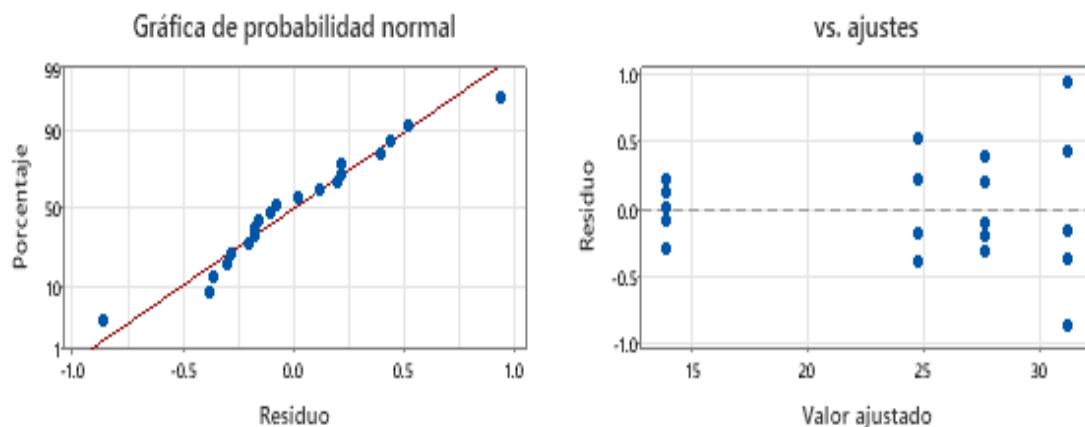
Tratamiento	N	Media	Agrupación
Suelo 4	5	31.26	A
Suelo 3	5	27.70	B
Suelo 2	5	24.78	C
Suelo 1	5	13.88	D

Nota: Donde A, B, C y D presentan las medias de la muestra y la medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza de la humedad gravimétrica del suelo con módulo ESP32 de la semana 14 de germinación del frijol fue de 1.17 %. Esto indica una mínima variación o una alta homogeneidad de los tratamientos en las unidades de análisis.

Figura 37

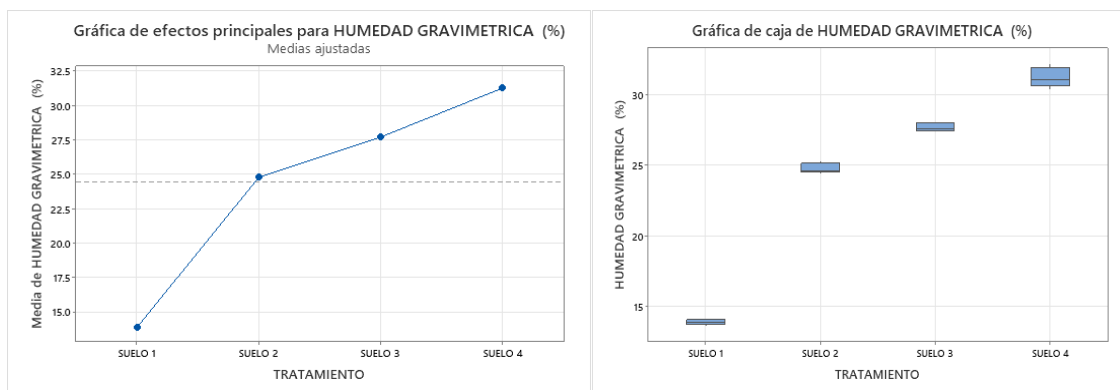
Grafica de residuos de W (%) del suelo con el módulo ESP32 semana 14.



Nota: En la figura 37 de probabilidad normal se observa que los puntos se acercan a línea diagonal de la tendencia. En la figura de valor ajustado y residuos no muestra un patrón en forma de embudo, lo cual es de error constante.

Figura 38

Grafica de efectos principales y grafica de cajas de W (%) semana 14.



Análisis de regresión lineal para humedad gravimétrico con el promedio de los datos agrupados para el suelo 1, modulo ESP32 Vs laboratorio

Tabla 49

Estadística de regresión lineal para todos los datos agrupados del suelo 1.

Estadísticas de la regresión suelo 1	
Coefficiente de correlación (r)	0.9998
Coefficiente de determinación (R ²)	0.9996
R ² ajustado	0.9996
Error típico	0.1118
Observaciones	14

Nota: En la tabla 49 estadística de regresión lineal de la variable independiente W (%) del módulo ESP32 siendo el coeficiente de correlación $r = 0.9998$ respecto a la variable dependiente W (%) del laboratorio, indicando una relación muy alta entre las variables.

Tabla 50

Análisis de varianza de regresión lineal para el suelo 1.

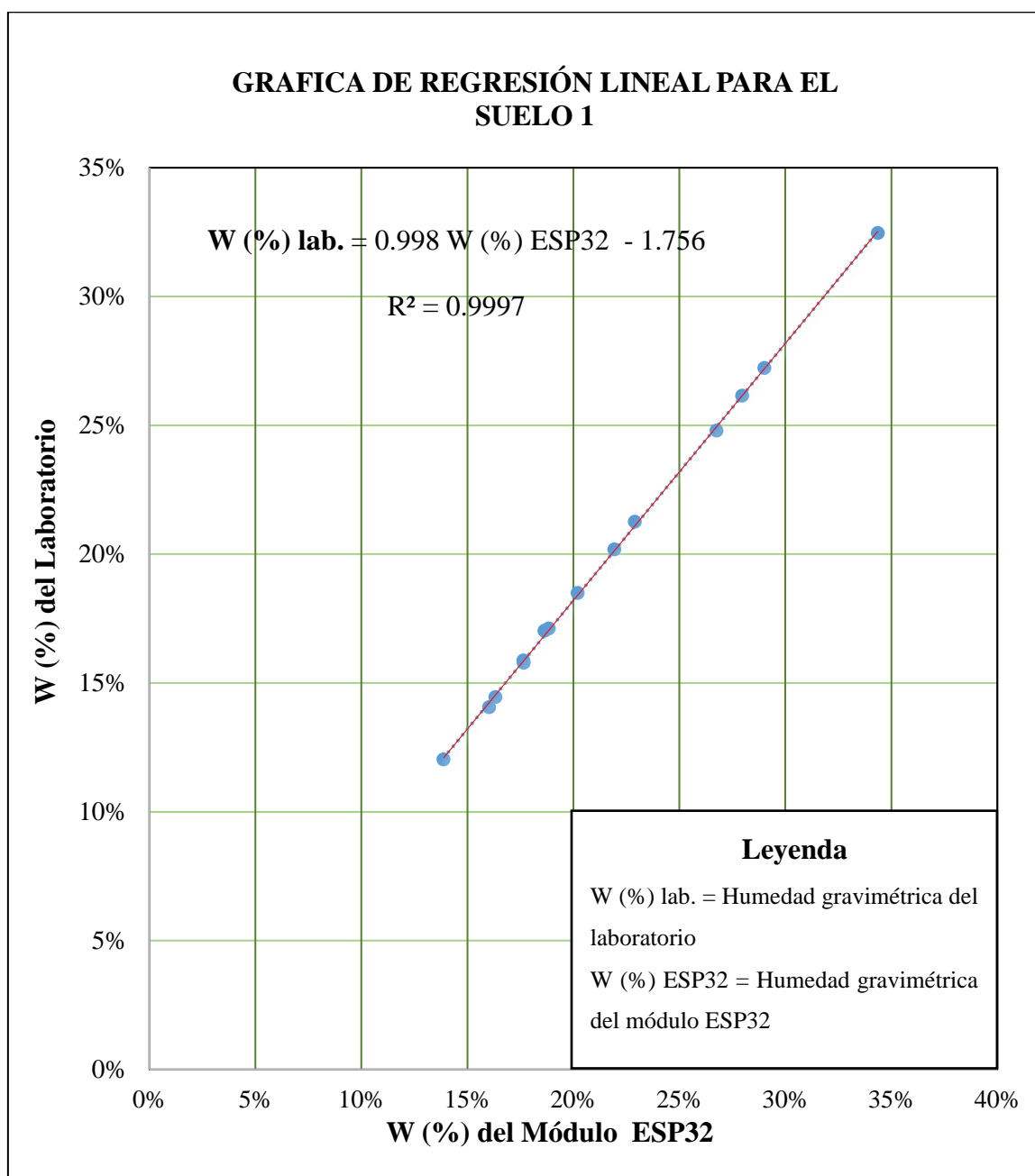
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	453.049	453.049	36215.2653	2.98022E-22**
Residuos	12	0.1501	0.0125		
Total	13	453.1991			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 50, se muestra p-valor < 0.000 . Esto nos indica la relación que hay entre W (%) del módulo ESP32 respecto al W (%) del laboratorio; siendo estadísticamente muy significativa.

Figura 39

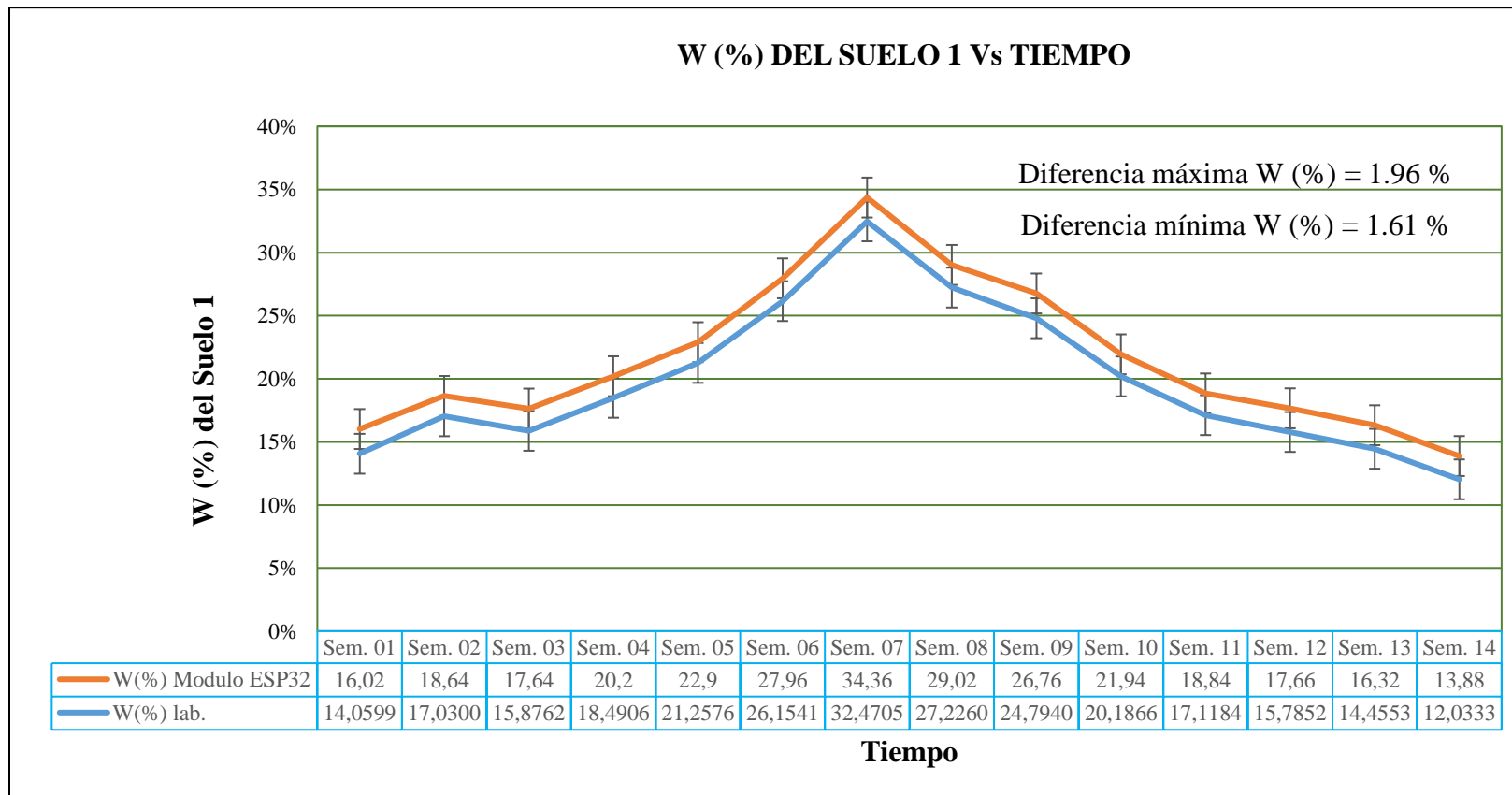
Grafica de regresión lineal del suelo 1. W (%) del módulo ESP32 Vs W (%) del laboratorio.



Nota: En la gráfica se muestra la ecuación de regresión lineal W (%) del laboratorio en función al módulo ESP32, la cual el 99.97% de variabilidad de W (%) del laboratorio es explicado por la variable W (%) módulo ESP32.

Figura 40

Grafica de W (%) del suelo 1 Vs tiempo, en toda la etapa fenológica del cultivo frijol.



Nota: En la figura 39 se muestra la gráfica de W (%) del laboratorio y del módulo ESP32 de las 14 semanas de etapa de desarrollo del cultivo de frijol, además se muestra la barra de errores siendo diferencia máxima de humedad 1.96 % y la diferencia mínima de humedad 1.61%.

Análisis de regresión lineal para humedad gravimétrico con el promedio de los datos agrupados para el suelo 2, laboratorio vs módulo ESP32

Tabla 51

Estadística de regresión lineal para todos los datos agrupados del suelo 2.

Estadísticas de la regresión suelo 2	
Coefficiente de correlación (r)	0.9991
Coefficiente de determinación (R ²)	0.9983
R ² ajustado	0.9982
Error típico	0.3911
Observaciones	14

Nota: En la tabla 51 estadística de regresión lineal de la variable independiente W (%) del módulo ESP32 siendo el coeficiente de correlación $r = 0.9991$ respecto a la variable dependiente W (%) del laboratorio, indicando una relación muy alta entre las variables.

Tabla 52

Análisis de varianza de regresión lineal para el suelo 2.

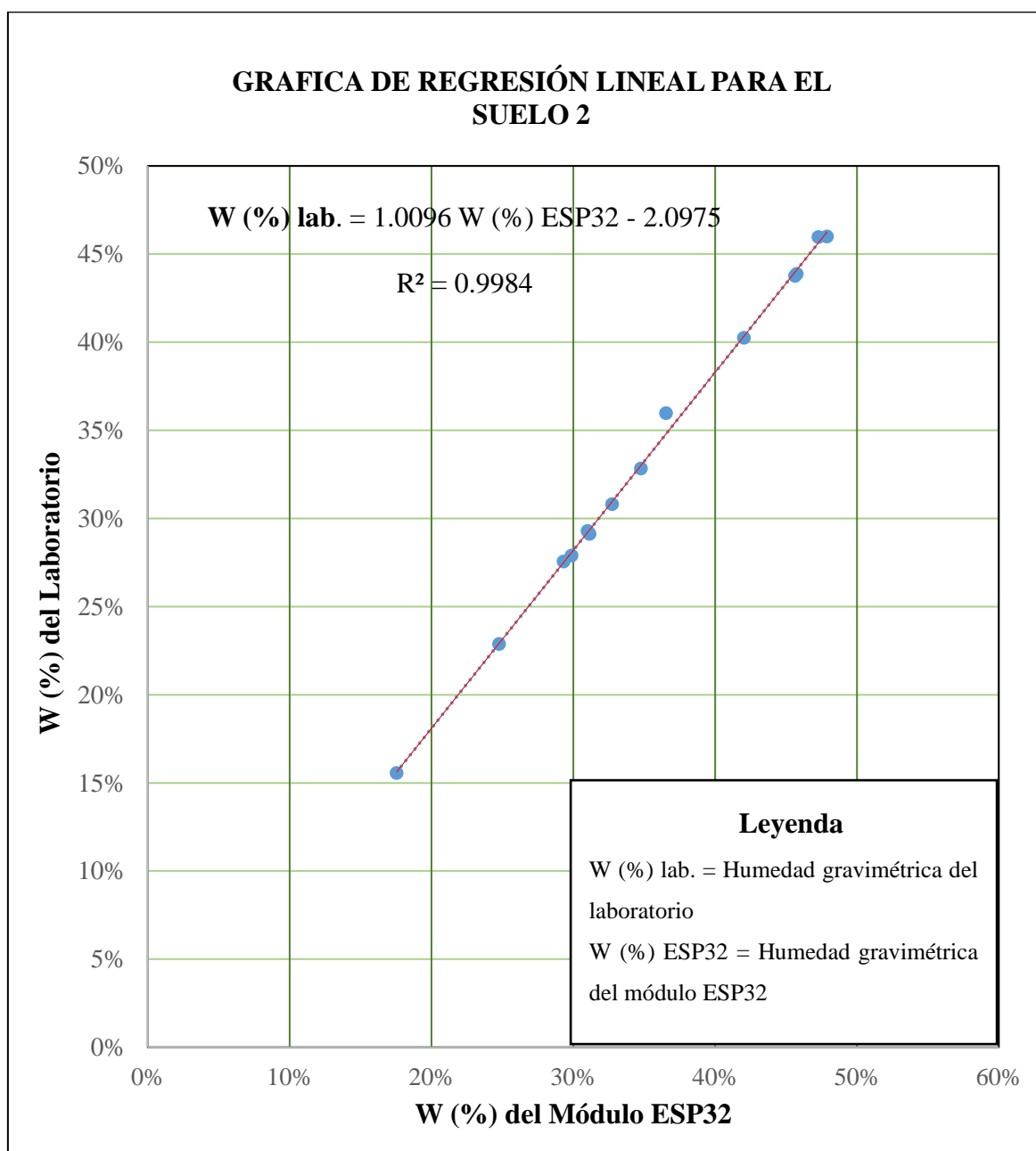
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1119.6232	1119.6232	7316.2898	4.352E-18**
Residuos	12	1.8363	0.1530		
Total	13	1121.4596			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 52, se muestra p-valor < 0.000 . Esto nos indica la relación que hay entre W (%) del módulo ESP32 respecto al W (%) del laboratorio; siendo estadísticamente muy significativa.

Figura 41

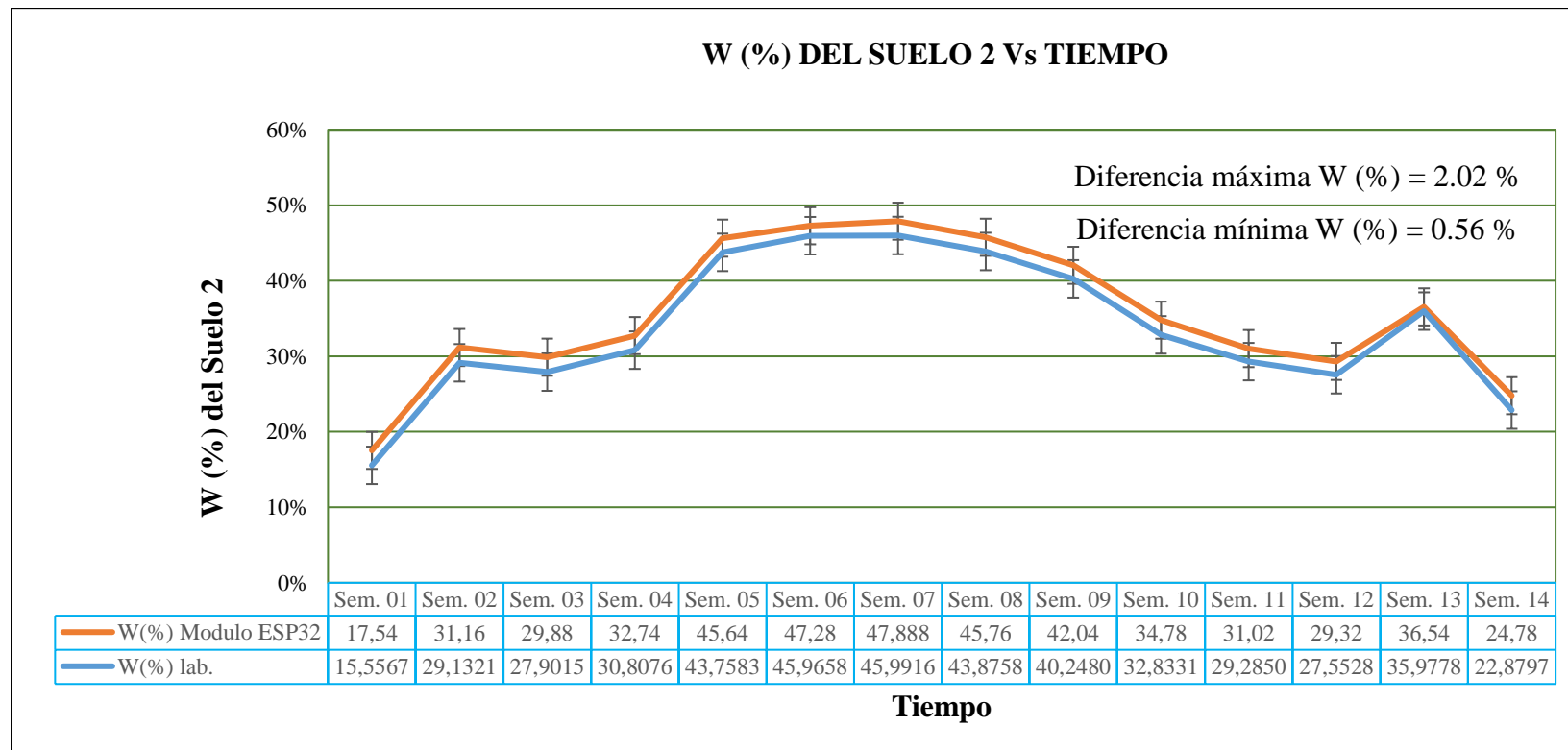
Grafica de regresión lineal del suelo 2. W (%) del módulo ESP32 Vs W (%) del laboratorio.



Nota: En la gráfica se muestra la ecuación de regresión lineal W (%) del laboratorio en función al módulo ESP32, la cual el 99.84% de variabilidad de W (%) del laboratorio es explicado por la variable W (%) módulo ESP32.

Figura 42

Grafica de W (%) del suelo 2 Vs tiempo, en toda la etapa fenológica del cultivo frijol.



Nota: En la figura 41 se muestra la gráfica de W (%) del laboratorio y del módulo ESP32 de las 14 semanas de etapa de desarrollo del cultivo de frijol, además se muestra la barra de errores siendo diferencia máxima de humedad 2.02 % y la diferencia mínima de humedad 0.56 %.

Análisis de regresión lineal para humedad gravimétrico con el promedio de los datos agrupados para el suelo 3, laboratorio vs módulo ESP32

Tabla 53

Estadística de regresión lineal para todos los datos agrupados del suelo 3.

Estadísticas de la regresión suelo 3	
Coefficiente de correlación (r)	0.9998
Coefficiente de determinación (R ²)	0.9997
R ² ajustado	0.9996
Error típico	0.1730
Observaciones	14

Nota: En la tabla 53 estadística de regresión lineal de la variable independiente W (%) del módulo ESP32 siendo el coeficiente de correlación $r = 0.9998$ respecto a la variable dependiente W (%) del laboratorio, indicando una relación muy alta entre las variables.

Tabla 54

Análisis de varianza de regresión lineal para el suelo 3.

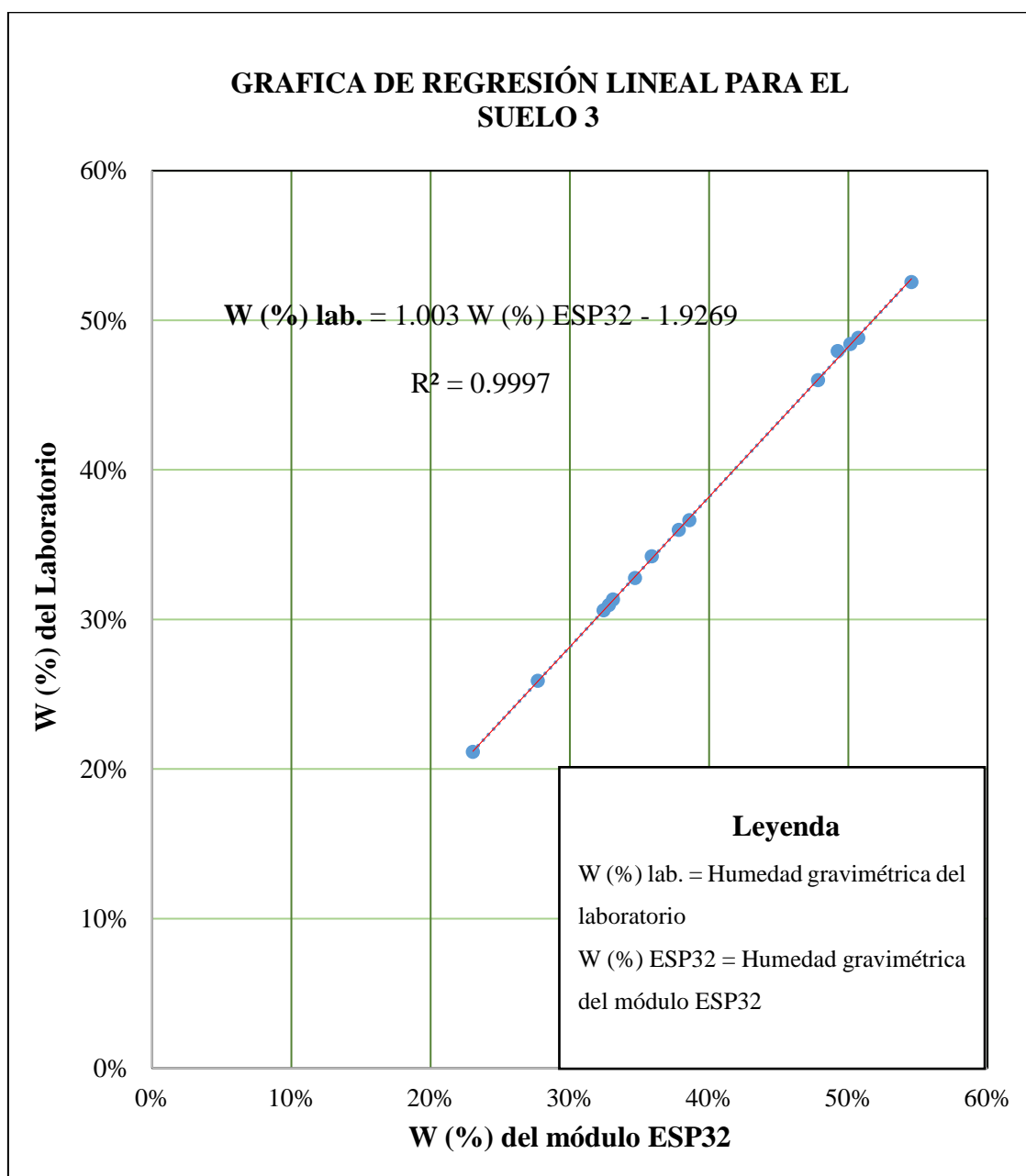
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1221.6782	1221.6782	40795.7188	1.4588E-22**
Residuos	12	0.3593	0.02994		
Total	13	1222.0375			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 54, se muestra p-valor < 0.000 . Esto nos indica la relación que hay entre W (%) del módulo ESP32 respecto al W (%) del laboratorio; siendo estadísticamente muy significativa.

Figura 43

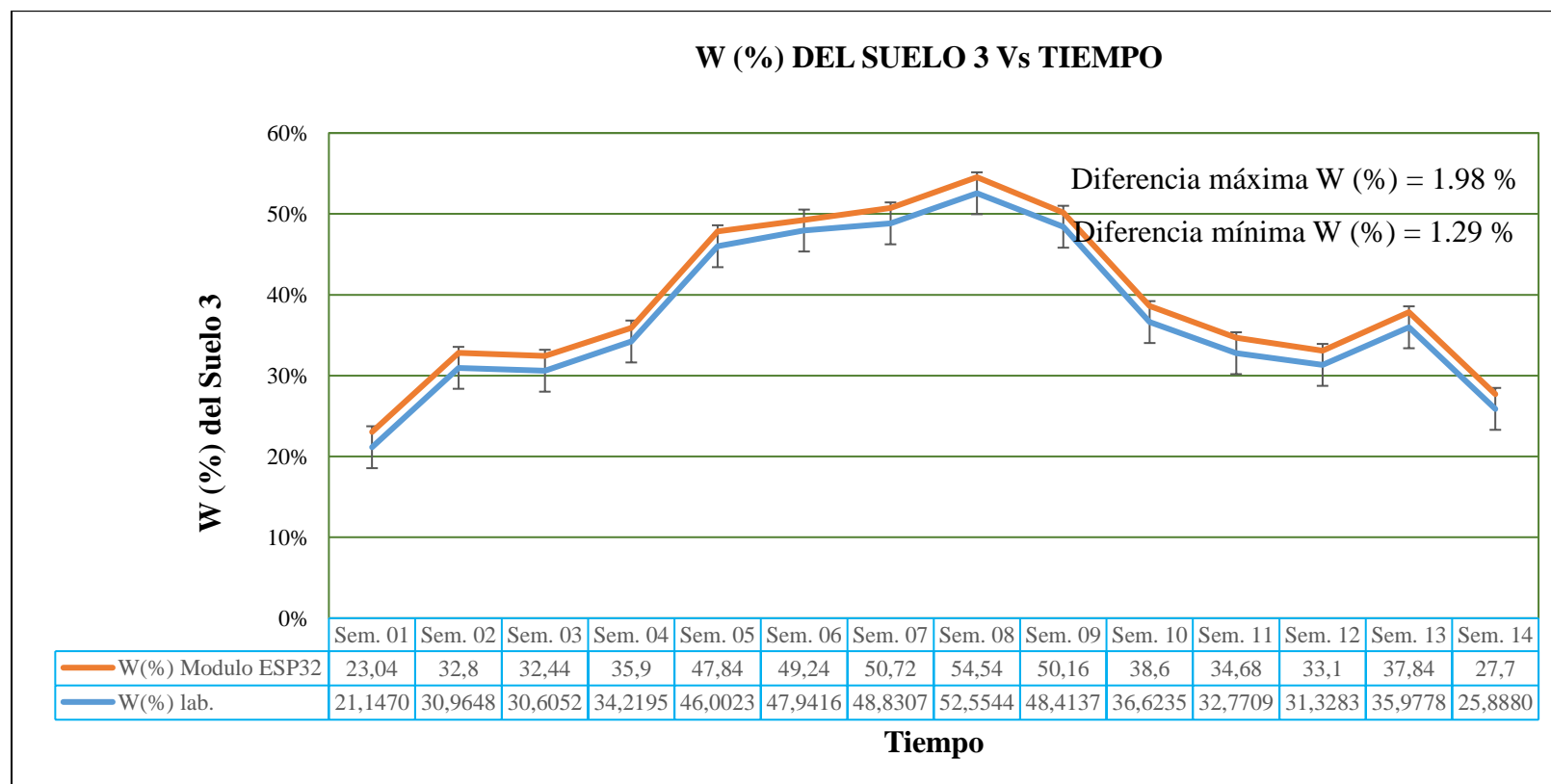
Grafica de regresión lineal del suelo 3. W (%) del módulo ESP32 Vs W (%) del laboratorio.



Nota: En la gráfica se muestra la ecuación de regresión lineal W (%) del laboratorio en función al módulo ESP32, la cual el 99.97% de variabilidad de W (%) del laboratorio es explicado por la variable W (%) módulo ESP32.

Figura 44

Grafica de W (%) del suelo 3 Vs tiempo, en toda la etapa fenológica del cultivo frijol.



Nota: En la figura 43 se muestra la gráfica de W (%) del laboratorio y del módulo ESP32 de las 14 semanas de etapa de desarrollo del cultivo de frijol, además se muestra la barra de errores siendo diferencia máxima de humedad 1.98 % y la diferencia mínima de humedad 1.29 %.

Análisis de regresión lineal para humedad gravimétrico con el promedio de los datos agrupados para el suelo 4, laboratorio vs módulo ESP32

Tabla 55

Estadística de regresión lineal para todos los datos agrupados del suelo 4.

estadísticas de la regresión suelo 4	
Coeficiente de correlación (r)	0.9998
Coeficiente de determinación (R ²)	0.9997
R ² ajustado	0.9997
Error típico	0.1503
Observaciones	14

Nota: En la tabla 55 estadística de regresión lineal de la variable independiente W (%) del módulo ESP32 siendo el coeficiente de correlación $r = 0.9998$ respecto a la variable dependiente W (%) del laboratorio, indicando una relación muy alta entre las variables.

Tabla 56

Análisis de varianza de regresión lineal para el suelo 4.

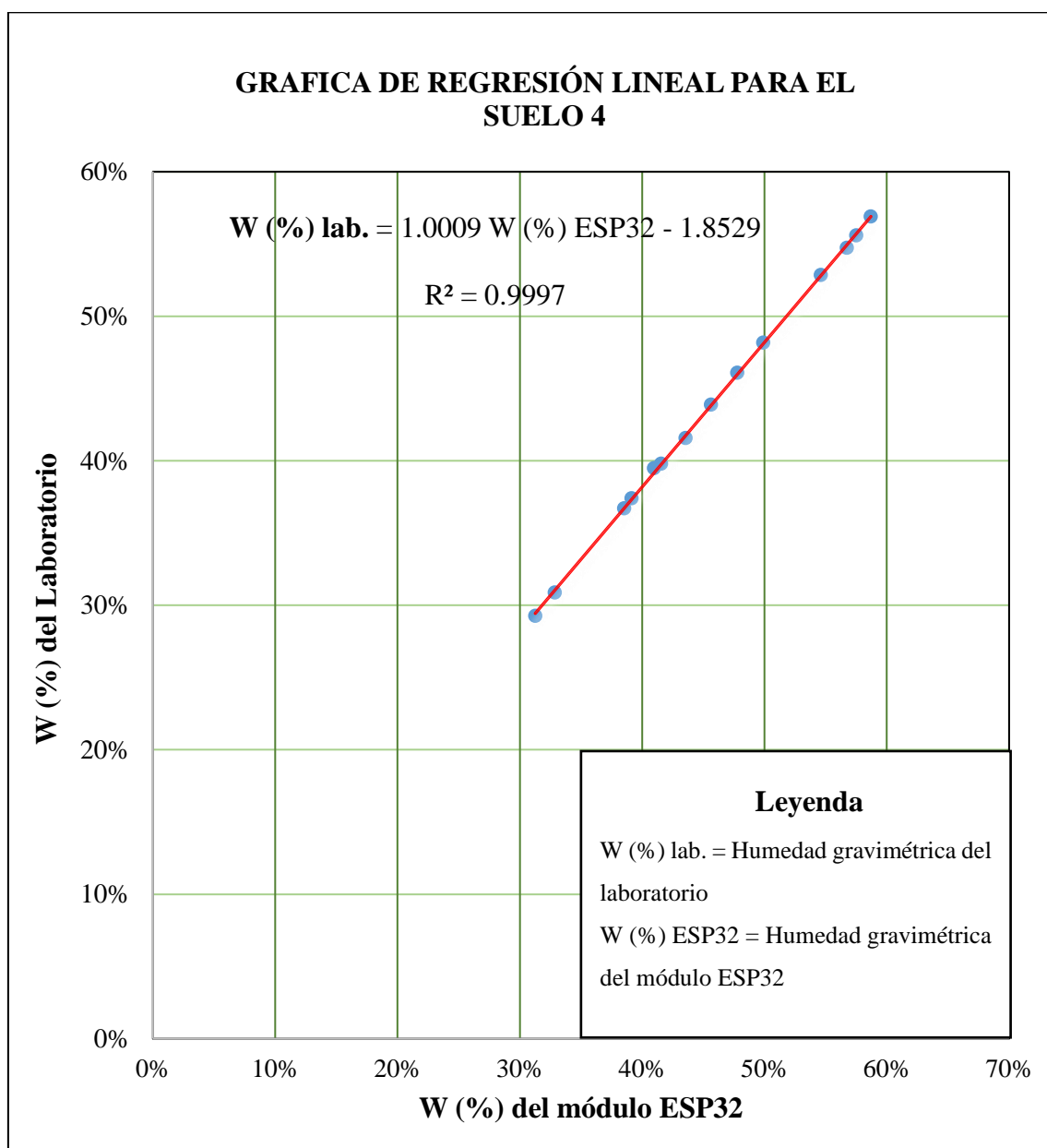
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1044.8911	1044.8911	46210.4719	6.9076E-23**
Residuos	12	0.2713	0.0226		
Total	13	1045.1624			

** Nivel de significancia

Nota: En la Tabla 56, se muestra p-valor < 0.000 . Esto nos indica la relación que hay entre W (%) del módulo ESP32 respecto al W (%) del laboratorio; siendo estadísticamente muy significativa.

Figura 45

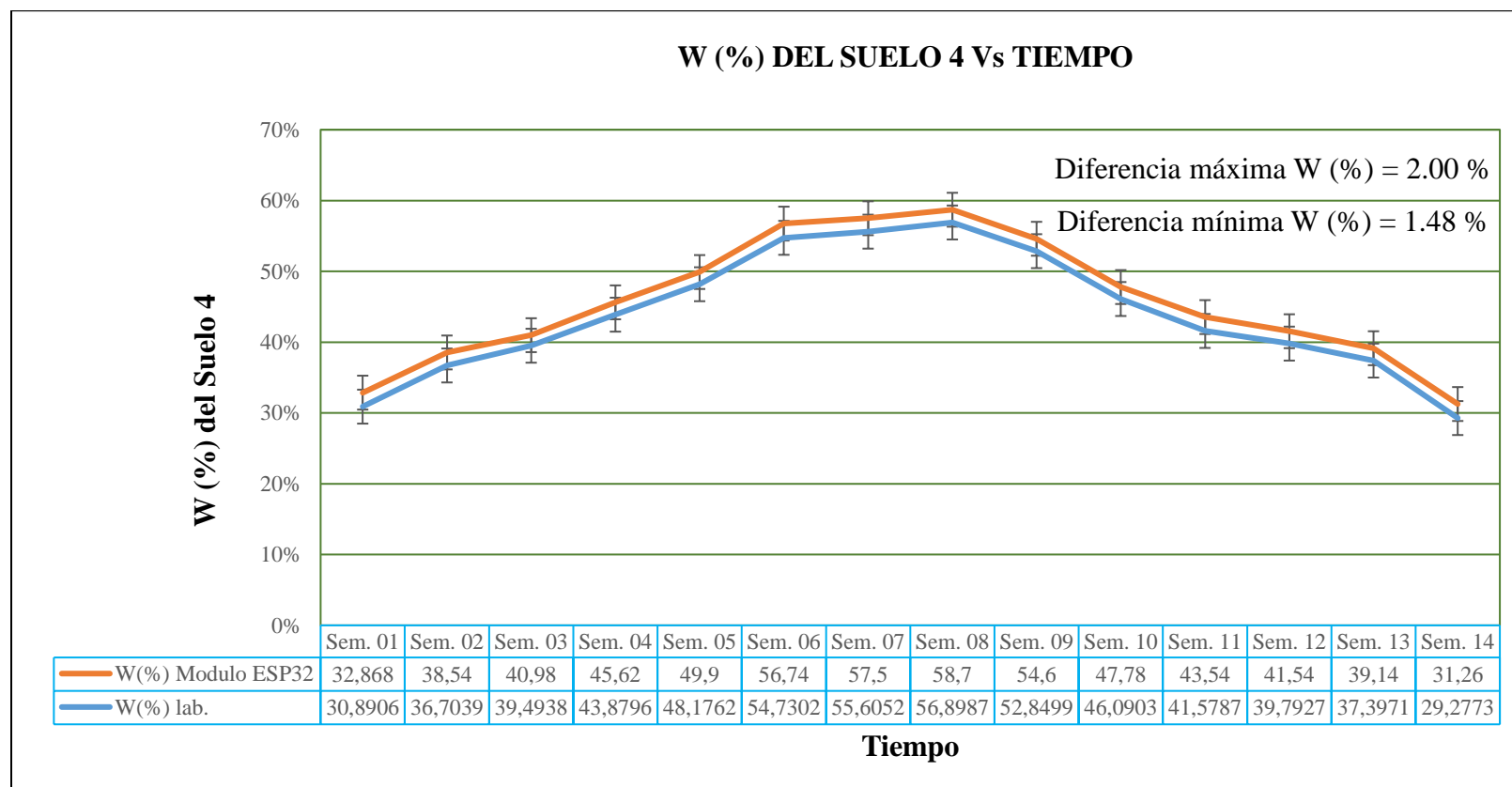
Grafica de regresión lineal del suelo 4. W (%) del módulo ESP32 Vs W (%) del laboratorio.



Nota: En la gráfica se muestra la ecuación de regresión lineal W (%) del laboratorio en función al módulo ESP32, la cual el 99.97% de variabilidad de W (%) del laboratorio es explicado por la variable W (%) módulo ESP32.

Figura 46

Grafica de W (%) del suelo 4 Vs tiempo, en toda la etapa fenológica del cultivo frijol.



Nota: En la figura 45 se muestra la gráfica de W (%) del laboratorio y del módulo ESP32 de las 14 semanas de etapa de desarrollo del cultivo de frijol, además se muestra la barra de errores siendo diferencia máxima de humedad 2.00 % y la diferencia mínima de humedad 1.48 %.

4.2. Contrastación de hipótesis

De acuerdo a los tratamientos: Suelo 1, Suelo 2, Suelo 3, Suelo 4 y 5 repeticiones de cada uno, registrado durante las 14 semanas de desarrollo del periodo vegetativo del frijol, se mostró la diferencia de la humedad gravimétrica, lo cual permitió observar cómo los distintos tratamientos de suelos influyen en la cantidad de humedad gravimétrica presente.

Se realizó un análisis estadístico DCA utilizando los registros de las 14 semanas, y los resultados demostraron que el valor calculado de F (F_{cal}) fue mayor que el valor tabular de F ($F_{tabular}$), además, el valor de P fue inferior al 5%. Aceptando la hipótesis alterna (H_a) en la investigación, lo cual indica que existe una influencia significativa de los tratamientos con diferentes tipos de suelos en la humedad gravimétrica.

4.3. Discusión de resultados

Respecto del objetivo específico 1

Los parámetros físicos para los cuatros tipos de suelos fueron: suelo 1 textura franco arenoso $D_a = 1.41 \text{ g/cm}^3$, $D_r = 2.63$, Porosidad 46.01 %, C.C = 19.00 % y P.M=7.00 %. Estos datos presentan en el anexo 1.

En cuanto al suelo 2 fue la proporción 30 % de turba, 30 % arena y 40 % suelo agrícola resultando las características físicas del suelo $D_a = 1.42 \text{ g/cm}^3$, $D_r = 2.62$, Porosidad 45.80 %, C.C = 19.00 % y P.M=7.00 % como se muestra en el anexo 2.

Para el suelo 3 fue la proporción 35 % de turba, 35 % arena y 30 % suelo agrícola resultando las características físicas del suelo $D_a = 1.40 \text{ g/cm}^3$, $D_r = 2.61$, Porosidad 46.36 %, C.C = 23.00 % y P.M=9.00 % como se muestra en el anexo 3.

Por último, para el suelo 4 fue la proporción 40 % de turba, 40 % arena y 20 % suelo agrícola resultando las características físicas del suelo $D_a = 1.39 \text{ g/cm}^3$, $D_r = 2.59$, Porosidad 46.33 %, C.C = 27.00 % y P.M=11.00 % como se muestra en el anexo 4.

Es importante señalar que estos resultados se compararon con el estudio previo realizado por Apaza & Torre (2017), quienes determinaron las características físicas de un suelo con textura franco, obteniendo un C.C = 22.00% y P.M = 10.00%. Sin embargo, es importante

destacar que estos resultados no concuerdan con los obtenidos en nuestra investigación debido a que se trata de una muestra de suelo diferente.

En relación a la determinación de la humedad gravimétrica de los cuatro tipos de suelo en el laboratorio durante todo el periodo de desarrollo del frijol, se realizaron mediciones como se muestra en la tabla 5. Sin embargo, según el antecedente Apaza & Torre (2017), no se llevaron a cabo tomas de muestra de suelo específicamente para la humedad gravimétrica en el laboratorio. Esto ha generado diferencias en los resultados obtenidos, ya que en nuestra investigación contamos con una mayor cantidad de datos provenientes del laboratorio.

Respecto del objetivo específico 2

Para la configuración del código del sensor de humedad en el módulo ESP32, utilizamos el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino junto con la librería específica del módulo ESP32. Empleamos el sensor de humedad de suelo SEN137, que cuenta con una placa de medida estándar capaz de medir tanto valores analógicos como generar una salida digital cuando la humedad supera un umbral determinado.

Durante la programación del código, tuvimos en cuenta la necesidad de obtener una salida digital que representara la humedad gravimétrica del suelo. Establecimos que la señal sería LOW cuando el suelo estuviera húmedo y HIGH cuando la humedad superara el valor de referencia establecido. Para lograrlo, conectamos los pines GND y 5V a los pines del módulo ESP32.

Es importante destacar que esta configuración difiere del enfoque presentado en el antecedente de Amores (2019). En su investigación, diseñó un código para la lectura analógica de la humedad gravimétrica, conectando la salida AO del sensor a una de las entradas analógicas. Esta diferencia en la codificación se debe a las particularidades de las lecturas de la variable de salida y al uso diferente de microcontrolador.

En nuestra investigación de tesis, optamos por utilizar el microcontrolador ESP32 de 32 bits con WI-FI incorporado, una pila TCP/IP completo para la conexión de bluetooth 4.2 e internet, así como sensores internos. Estas características ampliaron las capacidades de nuestro sistema y nos permitieron obtener mediciones más precisas y una mayor versatilidad en la transmisión y procesamiento de datos. Con esta configuración de código en el módulo ESP32, logramos desarrollar una solución más robusta y eficiente para la lectura de la humedad gravimétrica del suelo en nuestra investigación de tesis.

Respecto del objetivo específico 3

La evaluación de la humedad gravimétrica del suelo se llevó a cabo utilizando el sensor de humedad a una profundidad de 15 a 25 cm, para las 4 muestras y 5 repeticiones cada uno, abarcando un período de desarrollo del cultivo de 14 semanas. Los resultados obtenidos se muestra en las tablas 6.

En cuanto a los valores agrupados de humedad gravimétrica, se registraron para cada tipo de suelo:

Suelo 1: humedad gravimétrica máxima de 35.4% y mínima de 13.6%.

Suelo 2: humedad gravimétrica máxima de 48.44% y mínima de 16.80%.

Suelo 3: humedad gravimétrica máxima de 55.2% y mínima de 22.0%.

Suelo 4: humedad gravimétrica máxima de 59.6% y mínima de 30.40%.

Estos resultados fueron comparados con el estudio previo realizado por Rios et al (2019), quienes determinaron los valores de humedad gravimétrica para diferentes meses. En su investigación, encontraron que en el mes de mayo se registró una humedad gravimétrica máxima del 73% y mínima del 0%, en junio la máxima fue del 15% y la mínima del 0%, en julio la máxima fue del 25% y la mínima del 5%, y en agosto la máxima fue del 25% y la mínima del 0%.

Esta diferencia en los resultados se debe a las características particulares de la muestra de suelo utilizado y la diferencia del cultivo durante el desarrollo de la investigación. Es importante tener en cuenta estas variaciones al interpretar los resultados obtenidos en nuestro estudio.

Respecto del objetivo específico 4

Se realizó un análisis estadístico de las humedades gravimétricas del suelo correspondientes a los tratamientos de suelo 1, suelo 2, suelo 3 y suelo 4 durante las 14 semanas de la etapa vegetativa del frijol. Los resultados demostraron una explicación significativa de estos tratamientos en la cantidad de humedad presente en el suelo. Los cuales el coeficientes de determinación múltiple (R^2) se ajusta al modelo existiendo homogeneidad de varianza en la humedad gravimétrica siendo: semana 1 ($R^2 = 99.04\%$), semana 2 ($R^2 = 99.31\%$), semana 3 ($R^2 = 99.70\%$), semana 4 ($R^2 = 99.78\%$), semana 5 ($R^2 = 99.45\%$), semana 6 ($R^2 = 99.51\%$), semana 7 ($R^2 = 94.71\%$), semana 8 ($R^2 = 99.78\%$), semana 9 ($R^2 = 99.51\%$), semana 10 ($R^2 = 99.77\%$), semana 11 ($R^2 = 99.76\%$), semana 12 ($R^2 = 99.55\%$), semana 13 ($R^2 = 99.87\%$) y semana 14 ($R^2 = 99.58\%$). Además, el coeficiente de variación se mantuvo por debajo del 5% en todas las pruebas, lo que indica una consistencia y precisión en los resultados.

Adicionalmente para la validación de datos, se realizó un análisis de regresión lineal para datos agrupados por cada tipo de suelo: suelo 1 ($R^2 = 0.9997$), suelo 2 ($R^2 = 0.9984$), suelo 3 ($R^2 = 0.9997$) y suelo 4 ($R^2 = 0.9997$). Estos resultados confirman variabilidad de W (%) del laboratorio es explicado por la variable W (%) módulo ESP32, resultando una relación muy alta entre las variables. Esto análisis estadístico no contrastan con el estudio previo realizado por Perea (2016), donde solo se determinó la humedad gravimétrica de un suelo utilizando un microcontrolador. Los resultados obtenidos en nuestra investigación de tesis refuerzan y proporcionan una mayor validez a nuestros resultados.

V. CONCLUSIONES

Con respecto al objetivo general, se llevó a cabo la evaluación de la humedad del suelo utilizando el módulo ESP32 en cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) bajo condición de invernadero. Los resultados obtenidos demostraron que el módulo ESP32 es capaz de realizar la lectura de la humedad gravimétrica del suelo en tiempo real, presentando una correlación (r) muy alta, siendo diferencia máxima del 2.02% y una diferencia mínima del 0.56% en comparación con los valores obtenidos en el laboratorio. Estos resultados confirman que el módulo ESP32 es un microcontrolador potente y adecuado para medir variables climáticas en un entorno de invernadero.

Respecto del objetivo específico 1. Se realizaron los parámetros físicos de los cuatro tipos de suelos en el laboratorio FCA-UNASAM: suelo 1 textura franco arenoso $D_a = 1.41$ g/cm³, $D_r = 2.63$ g/cm³, Porosidad 46.01 %, C.C = 19.00 % y P.M=7.00 %, suelo 2 fue la proporción 30 % de turba, 30 % arena y 40 % suelo agrícola resultando las características físicas del suelo $D_a = 1.42$ g/cm³, $D_r = 2.62$ g/cm³, Porosidad 45.80 %, C.C = 19.00 % y P.M=7.00 %, suelo 3 fue la proporción 35 % de turba, 35 % arena y 30 % suelo agrícola resultando las características físicas del suelo $D_a = 1.40$ g/cm³, $D_r = 2.61$ g/cm³, Porosidad 46.36 %, C.C = 23.00 % y P.M=9.00 % y suelo 4 fue la proporción 40 % de turba, 40 % arena y 20 % suelo agrícola resultando las características físicas del suelo $D_a = 1.39$ g/cm³, $D_r = 2.59$ g/cm³, Porosidad 46.33 %, C.C = 27.00 % y P.M=11.00 % que nos ayudaron a conocer mejor, con respecto a la humedad gravimétrica del suelo en el laboratorio se obtuvieron durante las 14 semanas en todo el desarrollo del cultivo de frijol siendo la humedad del laboratorio para los datos agrupados suelo 1 humedad máxima 33.31 % y mínima 11.72 %, suelo 2 humedad máxima 46.99 % y mínima 15.11 %; suelo 3 humedad máxima 53.19 % y mínima 20.41 % y suelo 4 humedad máxima 57.35 % y mínima 28.70 % .

Respecto del objetivo específico 2, se configuró el código fuente para la lectura de la humedad gravimétrica del suelo, teniendo en cuenta el sensor de humedad SEN137. Este sensor utiliza dos sondas que pasan corriente a través del suelo y mide la resistencia producida por la humedad. Cuanto mayor sea la cantidad de agua, mayor será la conductividad eléctrica y menor será la resistencia. La conversión de la lectura se realiza en un rango de 0 a 1024 mediante una conversión de 10 bits. Además de la lectura de humedad gravimétrica del suelo, se añadieron códigos de conectividad a Internet y lectura de temperatura y humedad relativa sin alterar el código original.

Respecto del objetivo específico 3, se realizaron lecturas de humedad gravimétrica utilizando el módulo ESP32 durante las 14 semanas de desarrollo del cultivo de frijol, en los 4 tipos de suelo y con 5 repeticiones para cada uno. Los resultados obtenidos para los datos agrupados mostraron los siguientes valores de humedad gravimétrica: suelo 1 (máximo: 35.4%, mínimo: 13.6%), suelo 2 (máximo: 48.44%, mínimo: 16.80%), suelo 3 (máximo: 55.2%, mínimo: 22.0%) y suelo 4 (máximo: 59.6%, mínimo: 30.40%).

Respecto del objetivo específico 4, la validación de datos se realizó para los 4 tratamientos de suelo y 5 repeticiones, registrado durante las 14 semanas de desarrollo del periodo vegetativo del frijol, lo cual indica que existe una influencia significativa de los tratamientos con diferentes tipos de suelos en la humedad gravimétrica, la cual el coeficiente de determinación múltiple (R^2) para las 14 semanas nos indica que la variabilidad W (%) del suelo puede ser explicada por los tratamientos aplicados con la correlación muy alta entre la variable y el coeficiente de variación fue inferior al 5% en todas las pruebas, lo que indica una buena precisión en las mediciones realizadas. Para los datos agrupados se realizó análisis de regresión lineal para cada tipo de suelo, dando como resultado el coeficiente de determinación múltiple (R^2): suelo 1 ($R^2 = 0.9997$), suelo 2 ($R^2 = 0.9984$), suelo 3 ($R^2 = 0.9997$) y suelo 4 ($R^2 = 0.9997$) indicando que variabilidad de W (%) del laboratorio es

explicado por la variable W (%) con módulo ESP32. Estos resultados demuestran una relación lineal muy fuerte entre los valores obtenidos mediante el módulo ESP32 y los valores del laboratorio.

En conclusión, se observó una diferencia máxima del 2.02% y una diferencia mínima del 0.56% en la humedad del suelo, específicamente en el suelo 2, al comparar los datos obtenidos con el módulo ESP32 y los valores del laboratorio. Esto confirma la precisión y confiabilidad del módulo ESP32 para medir la humedad gravimétrica del suelo en tiempo real.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar la investigación aumentando otras variables como: pH del suelo, temperatura ambiente, humedad relativa, luminosidad y más en el módulo ESP32, para poder tener un microcontrolador potente que nos pueda medir las variables climáticas de un invernadero en tiempo real y bajo costo.

Realizar el uso de ESP32-CAM para la captura de imágenes y visualización de las plantas, para realizar un seguimiento del cultivo en toda su etapa de desarrollo en tiempo real dentro del invernadero.

Establecer conectividad de internet al módulo ESP32 y transmitir la información de humedad gravimétrico del suelo y otras variables en un teléfono celular para la visualización en tiempo real. Esto proporcionara un monitoreo más conveniente y efectivo de las condiciones del invernadero.

Realizar la lectura analógica con el módulo ESP32 para realizar trabajos como encendido y apagado de bomba a de agua de acuerdo al requerimiento del cultivo en un invernadero.

Estas recomendaciones buscan optimizar el uso del módulo ESP32 y brindar mayor funcionalidad para el control y seguimiento del cultivo en el invernadero, mejorando así la eficiencia y productividad de la agricultura.

VII. REFERENCIAS

- Apaza & Torre (2017). Diseño e implementación de un sistema automatizado para riego tecnificado basado en el balance de humedad de suelo con tecnología arduino en el laboratorio de control y automatización EPIME 2016. [Para optar el título profesional, Universidad nacional de Huancavelica]. Universidad Nacional Altiplano Puno.
- Aliaga & Quispe (2015). Sistema de control de la humedad relativa para un invernadero utilizando el controlador lógico programable. [Para optar el título profesional, Universidad nacional de Huancavelica]. Nombre del repositorio.
file:///D:/TESIS%202022/P.%20TESIS%202022/2.%20delimitacion.pdf
- Amores (2019). Desarrollo e implementación de un sistema de monitorización, control y automatizado para un invernadero tipo túnel [Para optar el título profesional, Universidad Andrés Bello]. Nombre del repositorio.
a131605_Amores_D_Desarrollo_e_implementacion_de_un_2019_tesis.pdf
- Arnau & Bono (2008). Modelos de diseño y análisis. [estudios longitudinales]. Universidad de Málaga España.
- Barroso (2015). control y monitorización de un invernadero a través de una aplicación móvil [trabajo fin de master]. Universidad politécnica de Madrid escuela técnica superior de ingeniería y diseño industrial.
- Benito (2019). Desarrollo de aplicaciones para IoT con el módulo ESP32 [Trabajo final de grado]. Universidad de Alcalá escuela politécnica superior.
- Bersallo, Loor & Paminboza (2018). Terminación de la humedad de suelo (método gravimétrico). Universidad de las fuerzas armadas.
<https://es.scribd.com/document/371719527/Determinacion-de-La-Humedad-Del-Suelo-Metodo-Gravimetrico>

- Bustos (2017). propuesta de un sistema de control y automatización con administración remota a través de un smartphone android para el riego del cultivo de lechuga en la finca los almendros del departamento de jinotega en el año [Tesis para optar el Título de Ingeniero]. Universidad nacional autónoma de Nicaragua.
- Gutierrez (2015). Diseño de bloque al azar [presentación]. Universidad Autónoma de México.
- Hermoso (2020). Determinación del coeficiente de cultivo (kc), para frijol (*phaseolus vulgaris* L.), bajo invernadero en el Centro de Investigación y Experimentación de Cañasbamba, 2018 [Tesis para optar el Título de Ingeniero]. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Hernández, Fernández & Baptista (2010). Los paradigmas de la investigación científica. Universidad las américas Ecuador.
- Lugo & Villavicencio (2014). Paquete tecnológico para el monitoreo ambiental en invernaderos con el uso de hardware y software libre. [Universidad Autónoma del Estado de México Texcoco].
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000100077
- Ossa (2017). Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos [SENA Regional Caldas, Centro de Procesos Industriales y Construcción. Manizales, Colombia]. [https:// DOI: 10.17151/vect.2017.12.6](https://doi.org/10.17151/vect.2017.12.6)
- Parent (martes, 9 de noviembre de 2021). ¿Cómo influye la humedad en la calidad de los cultivos? Promix. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-influye-la-humedad-en-la-calidad-de-los-cultivos/>

- Payan (2015). automatización de un invernadero didáctico mediante una tarjeta de desarrollo arduino. [Para optar el título profesional, universidad tecnológica de Pereira]. Nombre del repositorio.
<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/c5d2b2a8-d0ca-4696-8f46-6d7b05aa0f56/content>
- Perea (2016). diseño de un sistema de monitoreo, registro y control de temperatura y humedad para un cultivo de invernadero. [trabajo de investigación formativa, Universidad tecnológica de Pereira]. Nombre del repositorio.
<file:///D:/TESIS%202022/P.%20TESIS%202022/2.%20pdf.pdf>
- Reyna (2015). sistema automatizado para el monitoreo y control de humedad en un invernadero [Tesis para optar el Título de Ingeniero]. pontificia universidad católica del Perú facultad de ciencias e ingeniería
- Rios, Torre & Celis (2019). Monitoreo automatizado de la temperatura y la humedad del suelo de un invernadero para la producción de tomate, distrito de Morales, junio - diciembre 2015 [Informe de investigación, universidad nacional de san martín].
<file:///D:/TESIS%202022/P.%20TESIS%202022/HI%20%20%20Ho%20%20%20%20Buenaventura%20R%C3%ADos%20R%C3%ADos.pdf>
- Vargas (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. Revista Educación, 33(1), 155-165.
<http://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>

VIII. ANEXOS

Anexo 1

Resultado del suelo 1 análisis del fertilidad y físicos en el laboratorio FCA.



UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA - SHANCAYAN
Teléfono: 043-426588 - 106
HUARAZ - REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FERTILIDAD Y FÍSICOS

SOLICITANTE : Fernández Silva Rumishi Juller - Tesista

MUESTRA : suelo- 01

UBICACIÓN : CIA Cañasbamba – Yungay - Ancash

Muestra N°	Textura (%)			Clase Textural	pH	M.O%	Nt. %	P ppm	K ppm	C.E dS/m.
	Arena	Limo	Arcilla							
117	75	15	10	Franco arenoso	7.25	2.242	0.112	13	126	0.332

PARAMETROS FÍSICOS

M. N°	Da. g/cm ³	Dr. g/cm ³	Porosidad %	C.C. %	P.M. %
117	1.41	2.63	46.01	19.00	7.00

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

La muestra es de textura franco arenoso, se caracteriza por tener una reacción neutra, medianamente rica en materia orgánica y % de nitrógeno total, rico en fósforo y pobre en potasio, no tiene problemas de salinidad.

Huaraz, 06 de enero del 2023.


FCA
Mg. Sc. Guillermo Castro Romero
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos FCA

Anexo 2

Resultado del suelo 2 análisis del fertilidad y físicos en el laboratorio FCA.



UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA - SHANCAYAN
Teléfono. 043-426588 - 106
HUARAZ - REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FERTILIDAD Y FISICOS

SOLICITANTE : Fernández Silva Rumishi Juller - Tesista

MUESTRA : suelo-02

UBICACIÓN : CIA Cañasbamba – Yungay - Ancash

Muestra N°	Textura (%)			Clase Textural	pH	M.O.%	Nt. %	P ppm	K ppm	C.E ds/m.
	Arena	Limo	Arcilla							
117-a	75	17	09	Franco arenoso	5.82	2.881	0.144	16	156	0.464

PARAMETROS FISICOS

M. N°	Da. g/cm ³	Dr. g/cm ³	Porosidad %	C.C. %	P.M. %
117-a	1.42	2.62	45.80	19.00	7.00

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

La muestra es de textura franco arenoso, se caracteriza por tener una reacción ligeramente ácida, medianamente rica en materia orgánica y % de nitrógeno total, rico en fósforo y pobre en potasio, no tiene problemas de salinidad.

Huaraz, 06 de enero del 2023.



[Signature]
Ing. M.Sc. Guillermo Casimiro Romero,
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE SUELOS Y AGUAS

Anexo 3

Resultado del suelo 3 análisis del fertilidad y físicos en el laboratorio FCA.



UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FERTILIDAD Y FISICOS

SOLICITANTE : Fernández Silva Rumishi Juller - Tesista

MUESTRA : suelo- 03

UBICACIÓN : CIA Cañasbamba – Yungay - Ancash

Muestra N°	Textura (%)			Clase Textural	pH	M.O%	Nt. %	P ppm	K ppm	C.E dS/m.
	Arena	Limo	Arcilla							
118	76	16	08	Franco arenoso	5.74	2.345	0.117	12	116	0.320

PARAMETROS FISICOS

M. N°	Da. g/cm ³	Dr. g/cm ³	Porosidad %	C.C. %	P.M. %
118	1.40	2.61	46.36	23.00	9.00

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

La muestra es de textura franco arenoso, se caracteriza por tener una reacción ligeramente ácida, medianamente rica en materia orgánica y % de nitrógeno total, medianamente rico en fósforo y pobre en potasio, no tiene problemas de salinidad.

Huaraz, 06 de enero del 2023.



Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
 DE SUELOS Y ABONOS

Anexo 4

Resultado del suelo 4 análisis del fertilidad y físicos en el laboratorio FCA.



UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA - SHANCAYAN
Telefax: 043-426588 - 106
HUARAZ - REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FERTILIDAD Y FISICOS

SOLICITANTE : Fernández Silva Rumishi Juller - Tesista

MUESTRA : suelo- 04

UBICACIÓN : CIA Cañasbamba – Yungay - Ancash

Muestra N°	Textura (%)			Clase Textural	pH	M.O%	Nt. %	P ppm	K ppm	C.E dS/m.
	Arena	Limo	Arcilla							
118-a	77	17	06	Franco arenoso	5.35	2.680	0.134	13	130	0.262

PARAMETROS FISICOS

M. N°	Da. g/cm ³	Dr. g/cm ³	Porosidad %	C.C. %	P.M. %
118-a	1.39	2.59	46.33	27.00	11.00

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

La muestra es de textura franco arenoso, se caracteriza por tener una reacción ácida, medianamente rica en materia orgánica y % de nitrógeno total, rico en fósforo y pobre en potasio, no tiene problemas de salinidad.

Huaraz, 06 de enero del 2023.



Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE SUELOS Y AGUAS

Anexo 5

Resultados del peso húmedo y peso seco en el laboratorio FCA.

Semanas	Tratamiento	Bl. 1		Bl. 2		Bl. 3		Bl. 4		Bl. 5	
		Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)
Sem. 1	Suelo 1	100.002	87.105	100.027	87.964	100.077	87.612	100.021	87.972	100.002	87.832
	Suelo 2	100.086	86.584	100.072	86.842	100.062	86.074	100.033	86.544	100.061	86.921
	Suelo 3	100.023	83.012	100.032	82.173	100.054	83.094	100.005	82.083	100.001	82.465
	Suelo 4	100	76.565	100.076	76.015	100.023	76.927	100.004	75.832	100.005	76.754
Sem. 2	Suelo 1	100	86.36	100.011	85.304	100.007	85.304	100.005	85.304	100.001	85.002
	Suelo 2	100.003	77.343	100.031	77.546	100.021	77.754	100	77.543	100.006	77.065
	Suelo 3	100.009	76.478	100.023	76.343	100.054	76.343	100.001	76.343	100.002	76.343
	Suelo 4	100.003	73.02	100.032	72.951	100.005	73.951	100	72.951	100.041	72.951
Sem. 3	Suelo 1	100.022	86.009	100.007	86.004	100.005	86.623	100.007	86.631	100.087	86.343
	Suelo 2	100.017	78.006	100.011	78.234	100.052	78.012	100.007	78.532	100.043	78.246
	Suelo 3	100.04	76.343	100.041	76.542	100.068	76.523	100.024	76.931	100.002	76.633
	Suelo 4	100.002	71.951	100.032	71.761	100.095	71.812	100.065	71.241	100.005	71.821
Sem. 4	Suelo 1	100.008	84.216	100.024	85.114	100.007	84.525	100.052	84.172	100.093	84.111
	Suelo 2	100.004	76.743	100.027	76.249	100.012	76.268	100.036	76.537	100.027	76.527
	Suelo 3	100.006	74.581	100.002	74.469	100.023	74.578	100.061	74.245	100.026	74.741

	Suelo 4	100.001	69.69	100.035	69.758	100.06	69.347	100.074	69.201	100.005	69.642
Sem. 5	Suelo 1	100.031	82.216	100.041	82.134	100.007	82.745	100.093	82.721	100.002	82.677
	Suelo 2	100.043	69.461	100.004	69.031	100.052	69.872	100.065	69.923	100.06	69.682
	Suelo 3	100.087	68.642	100.032	68.969	100.083	68.013	100.0092	68.059	100.025	68.952
	Suelo 4	100.06	67.637	100.005	67.938	100.076	67.199	100.074	67.832	100.043	67.014
Sem. 6	Suelo 1	100.087	79.304	100.007	79.106	100.071	79.156	100.003	79.863	100.093	79.124
	Suelo 2	100.012	68.46	100.021	68.045	100.022	68.961	100.004	68.961	100.007	68.175
	Suelo 3	100.05	67.343	100.041	67.003	100.048	67.973	100.087	67.862	100.015	67.961
	Suelo 4	100.013	64.951	100.051	64.861	100.032	64.861	100.004	64.196	100.025	64.362
Sem. 7	Suelo 1	100.002	75.985	100.009	75.915	100.012	75.183	100.022	75.082	100.032	75.345
	Suelo 2	100.008	68.626	100.001	68.606	100.002	68.428	100.006	68.225	100.003	68.616
	Suelo 3	100.009	67.218	100.003	67.118	100.007	67.315	100.005	67.119	100.008	67.204
	Suelo 4	100.012	64.23	100.032	64.265	100.014	64.523	100.012	64.235	100.018	64.131
Sem. 8	Suelo 1	100.039	78.452	100.027	78.953	100.063	78.567	100.065	78.355	100.002	78.832
	Suelo 2	100.06	69.293	100.005	69.172	100.045	69.637	100.035	69.833	100.004	69.695
	Suelo 3	100.063	65.421	100.024	65.381	100.017	65.289	100.025	65.924	100.019	65.839
	Suelo 4	100.035	63.572	100.049	63.724	100.049	63.861	100.071	63.961	100.064	63.731
Sem. 9	Suelo 1	100.019	80.002	100.057	80.174	100.009	80.158	100.092	80.452	100.043	80.052
	Suelo 2	100.036	71.221	100.071	71.548	100.032	71.491	100.067	71.193	100.065	71.253
	Suelo 3	100.045	67.001	100.017	67.968	100.065	67.953	100.083	67.091	100.002	67.041

	Suelo 4	100.091	65.002	100.053	65.075	100.076	65.985	100.003	65.572	100.002	65.642
Sem. 10	Suelo 1	100.002	83.104	100.029	83.214	100.003	83.301	100.004	83.222	100.052	83.254
	Suelo 2	100.017	75.36	100.034	75.216	100.014	75.335	100.013	75.133	100.011	75.436
	Suelo 3	100.006	73.243	100.012	73.224	100.003	73.164	100.001	73.142	100.002	73.214
	Suelo 4	100.008	68.851	100.018	68.254	100.002	68.111	100.028	68.721	100.007	68.366
Sem. 11	Suelo 1	100.042	85.304	100.037	85.104	100.07	85.601	100.092	85.514	100.022	85.622
	Suelo 2	100.007	77.46	100.001	77.216	100.002	77.236	100.017	77.245	100.067	77.66
	Suelo 3	100.00	75.343	100.001	75.542	100.008	75.446	100.003	75.123	100.005	75.149
	Suelo 4	100.02	70.951	100.021	70.822	100.022	70.656	100.033	70.556	100.025	70.265
Sem. 12	Suelo 1	100.031	86.504	100.007	86.103	100.007	86.004	100	86.404	100.012	86.874
	Suelo 2	100.037	78.348	100.021	78.549	100.004	78.548	100.054	78.143	100.047	78.536
	Suelo 3	100.025	76.046	100.032	76.041	100.012	76.065	100.009	76.044	100.076	76.65
	Suelo 4	100.031	71.356	100.023	71.052	100.034	71.953	100.045	71.936	100.094	71.546
Sem. 13	Suelo 1	100.005	87.195	100.006	87.231	100.015	87.927	100.002	87.111	100.007	87.423
	Suelo 2	100.006	74.237	100.002	74.222	100.004	74.23	100.005	74.232	100.009	74.233
	Suelo 3	100.008	73.744	100.001	73.614	100.002	73.524	100.095	73.434	100.004	73.473
	Suelo 4	100.018	72.972	100.011	72.682	100.012	72.871	100.023	72.762	100.019	72.683
Sem. 14	Suelo 1	100.001	89.36	100.024	89.118	100.02	89.007	100.032	89.535	100.014	89.359
	Suelo 2	100.04	81.043	100.006	81.462	100.032	81.613	100.011	81.635	100.035	81.253
	Suelo 3	100.033	79.478	100.021	79.579	100.088	79.577	100.034	79.127	100.015	79.571
	Suelo 4	100.015	77.02	100.034	77.112	100.032	77.402	100.023	77.622	100.035	77.722

Anexo 6

W (%) del suelo para los datos agrupados del laboratorio.

Suelo	Semanas	Bl. 1	Bl. 2	Bl. 3	Bl. 4	Bl. 5	Promedio W (%)
		W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	
Suelo 1	Sem.1	14.806	13.714	14.228	13.696	13.856	14.060
	Sem.2	15.794	17.241	17.236	17.234	17.645	17.030
	Sem.3	16.292	16.282	15.449	15.440	15.918	15.876
	Sem.4	18.752	17.518	18.316	18.866	19.001	18.491
	Sem.5	21.669	21.802	20.862	21.001	20.955	21.258
	Sem.6	26.207	26.422	26.423	25.218	26.501	26.154
	Sem.7	31.608	31.738	33.025	33.217	32.765	32.471
	Sem.8	27.516	26.692	27.360	27.707	26.855	27.226
	Sem.9	25.021	24.800	24.765	24.412	24.973	24.794
	Sem.10	20.334	20.207	20.050	20.165	20.177	20.187
	Sem.11	17.277	17.547	16.903	17.048	16.818	17.118
	Sem.12	15.637	16.148	16.282	15.735	15.123	15.785
	Sem.13	14.691	14.645	13.748	14.798	14.394	14.455
	Sem.14	11.908	12.238	12.373	11.724	11.924	12.033
Suelo 2	Sem.1	15.594	15.235	16.251	15.586	15.117	15.557
	Sem.2	29.298	28.996	28.638	28.961	29.768	29.132
	Sem.3	28.217	27.836	28.252	27.346	27.857	27.901
	Sem.4	30.310	31.185	31.132	30.703	30.708	30.808
	Sem.5	44.028	44.868	43.193	43.107	43.595	43.758
	Sem.6	46.088	46.992	45.041	45.015	46.692	45.966
	Sem.7	45.729	45.761	46.142	46.583	45.743	45.992
	Sem.8	44.401	44.574	43.666	43.249	43.488	43.876
	Sem.9	40.459	39.866	39.923	40.557	40.436	40.248
	Sem.10	32.719	32.996	32.759	33.115	32.577	32.833
	Sem.11	29.108	29.508	29.476	29.480	28.853	29.285
	Sem.12	27.683	27.336	27.316	28.040	27.390	27.553
	Sem.13	35.615	35.845	36.013	36.306	36.110	35.978
	Sem.14	23.441	22.764	22.569	22.510	23.115	22.880
Suelo 3	Sem.1	20.492	21.733	20.411	21.834	21.265	21.147
	Sem.2	30.768	31.018	31.059	30.989	30.990	30.965
	Sem.3	31.044	30.701	30.769	30.018	30.495	30.605
	Sem.4	34.090	34.287	34.119	34.771	33.830	34.219
	Sem.5	45.810	45.039	47.153	46.945	45.065	46.002
	Sem.6	48.560	49.308	47.188	47.486	47.165	47.942
	Sem.7	48.783	48.996	48.566	48.997	48.813	48.831
	Sem.8	52.952	52.986	53.191	51.728	51.915	52.554

	Sem.9	49.319	47.153	47.256	49.175	49.165	48.414
	Sem.10	36.540	36.584	36.683	36.722	36.589	36.623
	Sem.11	32.726	32.378	32.556	33.119	33.076	32.771
	Sem.12	31.532	31.550	31.482	31.515	30.562	31.328
	Sem.13	35.615	35.845	36.013	36.306	36.110	35.978
	Sem.14	25.863	25.688	25.775	26.422	25.693	25.888
Suelo 4	Sem.1	30.608	31.653	30.023	31.876	30.293	30.891
	Sem.2	36.953	37.122	35.231	37.078	37.135	36.704
	Sem.3	38.986	39.396	39.385	40.460	39.242	39.494
	Sem.4	43.494	43.403	44.289	44.614	43.599	43.880
	Sem.5	47.937	47.200	48.925	47.532	49.287	48.176
	Sem.6	53.982	54.254	54.225	55.779	55.410	54.730
	Sem.7	55.709	55.655	55.005	55.697	55.959	55.605
	Sem.8	57.357	57.004	56.667	56.456	57.010	56.899
	Sem.9	53.981	53.750	51.665	52.509	52.345	52.850
	Sem.10	45.253	46.538	46.822	45.557	46.282	46.090
	Sem.11	40.971	41.229	41.562	41.778	42.354	41.579
	Sem.12	40.186	40.774	39.027	39.075	39.902	39.793
	Sem.13	37.064	37.601	37.245	37.466	37.610	37.397
	Sem.14	29.856	29.726	29.237	28.859	28.709	29.277

Anexo 7

W (%) del suelo para los datos agrupados del módulo ESP32.

Suelo	Semanas	Bl. 1	Bl. 2	Bl. 3	Bl. 4	Bl. 5	Promedio W (%)
		W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	
Suelo1	Sem.1	16.9	15.6	16.4	15.5	15.7	16.02
	Sem.2	17.4	19.3	18.8	18.7	19	18.64
	Sem.3	17.7	17.8	17.1	17.8	17.8	17.64
	Sem.4	20.2	19.4	20.3	20.7	20.4	20.2
	Sem.5	23.4	23.7	22.2	22.4	22.8	22.9
	Sem.6	27.9	28.2	27.8	27.1	28.8	27.96
	Sem.7	33.1	33.5	35.1	35.4	34.7	34.36
	Sem.8	29.8	28.3	29.3	29.2	28.5	29.02
	Sem.9	27.2	26.4	26.8	26.2	27.2	26.76
	Sem.10	22.3	21.6	21.7	22	22.1	21.94
	Sem.11	19.5	18.9	18.3	18.8	18.7	18.84
	Sem.12	17.6	18.1	18.1	17.9	16.6	17.66
	Sem.13	16.3	16.2	16	17.1	16	16.32
	Sem.14	13.8	13.9	14.1	14	13.6	13.88

Suelo 2	Sem.1	17.4	16.8	18.5	17.7	17.3	17.54
	Sem.2	31.6	30.9	30.9	30.6	31.8	31.16
	Sem.3	30.3	29.5	30.5	29.2	29.9	29.88
	Sem.4	32.4	33.3	32.5	32.4	33.1	32.74
	Sem.5	45.4	46.6	45.1	45.2	45.9	45.64
	Sem.6	47.2	48.3	46.5	46.3	48.1	47.28
	Sem.7	47.7	47.5	48.44	48.3	47.5	47.888
	Sem.8	45.9	46.6	45.3	45.4	45.6	45.76
	Sem.9	42.4	41.5	41.3	42.5	42.5	42.04
	Sem.10	34.6	35.1	34.6	34.7	34.9	34.78
	Sem.11	30.9	31.2	31.1	31.7	30.2	31.02
	Sem.12	29.2	28.9	29.3	29.8	29.4	29.32
	Sem.13	36.5	36.3	36.7	36.9	36.3	36.54
	Sem.14	25	24.4	24.6	24.6	25.3	24.78
Suelo 3	Sem.1	22	23.6	22.4	23.6	23.6	23.04
	Sem.2	32.7	32.5	33	32.9	32.9	32.8
	Sem.3	33.1	32.6	32.4	31.5	32.6	32.44
	Sem.4	35.7	35.9	36.2	36.4	35.3	35.9
	Sem.5	47.5	46.5	49.3	48.6	47.3	47.84
	Sem.6	49.7	50.4	48.5	48.8	48.8	49.24
	Sem.7	50.2	50.9	50.6	51	50.9	50.72
	Sem.8	55.2	54.6	55.1	53.9	53.9	54.54
	Sem.9	50.7	48.6	49.1	51.4	51	50.16
	Sem.10	38.3	38.2	38.5	39.1	38.9	38.6
	Sem.11	34.8	34.5	34.5	34.5	35.1	34.68
	Sem.12	33.1	33.4	33.6	32.9	32.5	33.1
	Sem.13	37.6	37.4	37.9	38.5	37.8	37.84
	Sem.14	27.4	27.6	27.9	28.1	27.5	27.7
Suelo 4	Sem.1	32.8	33.1	32.2	34.2	32.04	32.868
	Sem.2	39	38.6	36.8	39.1	39.2	38.54
	Sem.3	40.4	41.1	40.8	41.9	40.7	40.98
	Sem.4	45.2	45.1	46	46.4	45.4	45.62
	Sem.5	49.8	48.6	50.4	49.2	51.5	49.9
	Sem.6	55.6	56.4	56.2	58	57.5	56.74
	Sem.7	58	57.7	57.3	57.1	57.4	57.5
	Sem.8	59.6	59	58.5	57.9	58.5	58.7
	Sem.9	55.6	55.2	53.9	54.6	53.7	54.6
	Sem.10	46.9	47.9	48.6	46.9	48.6	47.78
	Sem.11	43.1	43	43.2	44	44.4	43.54
	Sem.12	42	43	41	40.4	41.3	41.54
	Sem.13	38.6	39.1	39.2	39.6	39.2	39.14
	Sem.14	32.2	31.7	31.1	30.9	30.4	31.26

Anexo 8

Panel fotográfico de habilitación de baldes para los tratamientos de los 4 tipos de suelo y 5 repeticiones cada uno, siendo en total 20 baldes.



Anexo 9

Pintado de algunos baldes para la uniformidad de la investigación.



Anexo 10

Muestra de los 4 tipos de suelo bajo invernadero del CIE Cañasbamba.



Anexo 11

Depositando los 4 tratamientos de suelo en 5 repeticiones cada uno.



Anexo 12

Sembrado de frijoles en cada balde, tres semillas por cada balde.



Anexo 13

Registrando el crecimiento de los frijoles en cada balde.



Anexo 14

Programación del código fuente en el módulo ESP32.



Anexo 15

Programación del código fuente en el módulo ESP32, con el IDE del arduino.

```

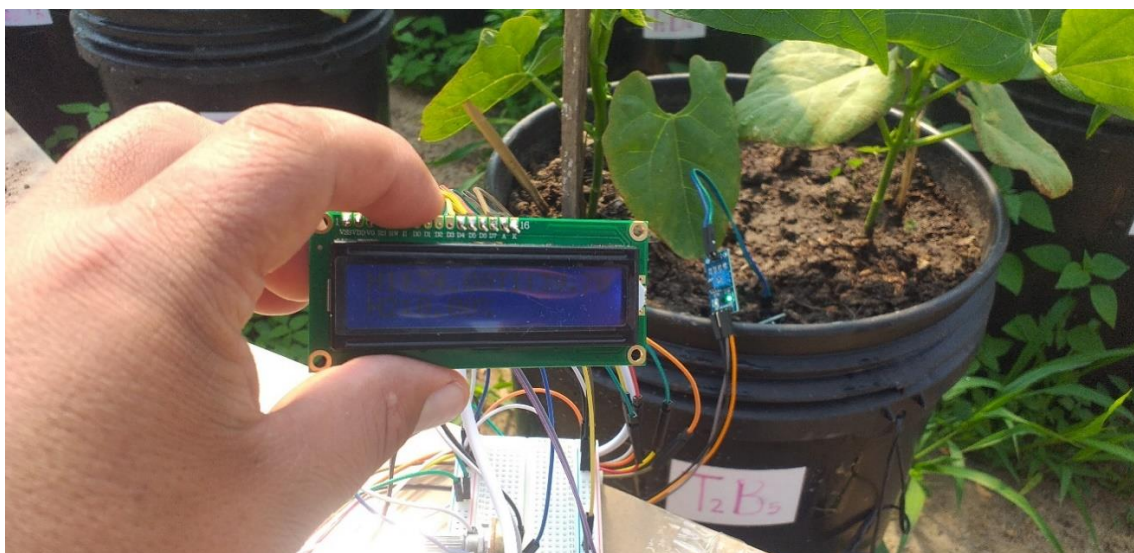
Ca_ssbamba Arduino 1.8.12
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Ca_ssbamba
1 #include <LiquidCrystal.h>
2 #include <DHT.h>
3
4 #include <WiFi.h>
5 #include <WiFiClient.h>
6 #include <PubSubClient.h>
7
8 const char* ssid = "MOVISTAR WIFI122?";
9 const char* password = "123456789num!";
10
11 //Datos constantes para identificar el ESP32
12 #define ORG "b3a9p"
13 #define DEVICE_TYPE "ESP32"
14 #define DEVICE_ID "282C70CB4EC"
15 #define TOKEN "0n1a5097V40-rub8"
16
17 //Direcciones del servidor y topics
18 char server[] = ORG ".messaging.internetofthings.ibmcloud.com";
19 char pubTopic1[] = "iot-2/evt/estado1/rm/json?";
20 char pubTopic2[] = "iot-2/evt/estado2/rm/json?";
21 char pubTopic3[] = "iot-2/evt/estado3/rm/json?";
22
23 //Autenticación del ESP32
24 char accessToken[] = "um-token-auca";
25 char token[] = TOKEN;
26 char clientId[] = "01" ORG "1" DEVICE_TYPE "1" DEVICE_ID;
27
28 //Crear cliente seguro
29 WiFiClient wifiClient;
30 PubSubClient client(server, 1883, NULL, wifiClient);
31
32
33
34 int sensor1 = 15;
35 int sensor2 = 35;
36 DHT dht (sensor1,DHT11);
37 LiquidCrystal lcd(13,12,14,27,26,28);
38
39 int i = 0, j=0;
40 void setup() {
41   // put your setup code here, to run once:
42   Serial.begin(9600);
43   Serial.println();
44   lcd.begin(16,2);
45   lcd.setCursor(0,0);
46   lcd.println("PROYECTO UNASAM");
47   dht.begin();
48   delay(1000);
49
50
51 //Imprime puntos mientras el ESP32 se conecta a la red
52 //Cuando se conecta imprime la IP local
53   lcd.setCursor(0,0);
54
55
56 }
57
58
59 void loop() {
60   lcd.clear();
61   int dataSensor2 = analogRead(sensor2);
62   Serial.println(dataSensor2);
63   // put your main code here, to run repeatedly:
64   float h = dht.readHumidity();
65   float t = dht.readTemperature();
66   float h1=0, t1=0, h2=0;
67   if (isnan(h) || isnan(t1) || isnan(t2)) {
68     lcd.setCursor(0,0);
69     lcd.print("S1 Disconnect");
70     lcd.setCursor(0,1);
71     Serial.println(h);
72     h1=h;
73     t1=t;
74   }
75   if(dataSensor2==0){
76     lcd.setCursor(0,1);
77     lcd.print("S2 Disconnect");
78     lcd.print(h2);
79     delay(1000);
80   }else{
81     double poro = (dataSensor2 * 100) / 4095-dataSensor2;
82     Serial.println("HUMEDAD");
83     Serial.println(poro);
84
85     if (poro <= 0){
86       h2=0;
87     }
88     if (poro >= 100){
89       h2=100;
90     }
91     if (poro < 100 && poro > 0 ){
92       h2=poro;
93     }
94   }
95   lcd.setCursor(0,0);
96   lcd.print("H1");
97   lcd.print(h1);
98   lcd.print("T1");
99   lcd.print(t1);
100  lcd.setCursor(0,1);
101  lcd.print("H2");
102  lcd.print(h2);
103  lcd.print("T2");
104  delay(1000);
105  //conexion IBM
106
107 }

```


Anexo 16

Extracción de muestra de suelo y medición de W (%) del suelo con módulo ESP32 a profundidad 15 a 25 cm.











Anexo 17

Cálculo de W (%) de los 4 tipos de suelo y 5 repeticiones cada uno, para toda la etapa de desarrollo del cultivo frijol.





Anexo 18

Supervisión del proyecto investigación por los jurados de tesis y el asesor.



