



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE AGRONOMÍA

*“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”*

Trabajo de tesis

Comparación de tres técnicas de análisis para la
determinación del contenido de materia orgánica del
suelo, Universidad Nacional Agraria - Managua,
enero - marzo 2020

Autores

Br. Kevin Daniel González Díaz
Br. Yulner Essiel Paz Estrada

Asesores

Ing. Edder Samuel González Molina
Lic. Irvin Miguel Alemán Vásquez
Ing. Luís Hernández González

Managua, Nicaragua
Septiembre, 2020



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
AGRARIA**

Universidad Nacional Agraria

Facultad de Agronomía

Trabajo de Tesis

Comparación de tres técnicas de análisis para la
determinación del contenido de materia orgánica del
suelo, Universidad Nacional Agraria-Managua, enero -
marzo 2020

Autores

Br. Kevin Daniel González Díaz

Br. Yulner Essiel Paz Estrada

Asesores

Ing. Edder Samuel González Molina

Lic. Irvin Miguel Alemán Vásquez

Ing. Luís Hernández González

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2020



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AGRARIA

Universidad Nacional Agraria

Facultad de Agronomía

Trabajo de Tesis

Comparación de tres técnicas de análisis para la
determinación del contenido de materia orgánica del
suelo, universidad Nacional Agraria-Managua, enero -
marzo 2020

Autores

Br. Kevin Daniel González Díaz

Br. Yulner Essiel Paz Estrada

Asesores

Ing. Edder Samuel González Molina

Lic. Irvin Miguel Alemán Vásquez

Ing. Luís Hernández González

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2020

Hoja de aprobación del Tribunal Examinador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable Tribunal Examinador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito parcial para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrícola para el desarrollo sostenible

Miembros del Tribunal Examinador

Presidente (Grado académico y nombre)

Secretario (Grado académico y nombre)

Vocal (Grado académico y nombre)

Lugar y Fecha: _____

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCION	PAGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo General:	2
2.2 Objetivos específicos:	2
III MARCO DE REFERENCIA	3
3.1 Materia orgánica del suelo	3
3.2 Fuentes y composición de la materia orgánica	3
3.2.1 Sustancias húmicas del suelo	4
3.3 Función de la materia orgánica en el suelo	6
3.4 Expresión de la materia orgánica	6
3.5 Factores que afectan la materia orgánica	7
3.5.1 Factores climáticos	7
3.5.2 Factores Biológicos	7
3.5.3 Factores físicos	8
3.5.4 Factores químicos	8
3.6 Métodos para análisis cuantitativo de un analito	9
3.6.1 Técnica volumétrica (V): Titulación Oxidación – Reducción	9
3.6.2 Técnica colorimétrica (C): Espectrofotometría Ultravioleta/Visible	11
3.6.3 Técnica Gravimétrica	18
3.6.4 Antecedentes	18

IV	MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1	Ubicación del sitio de estudio	20
4.2	Tipo de estudio	20
4.2.1	Según el alcance	20
4.2.2	Según el sentido del tiempo	20
4.2.3	Según la aplicabilidad de los resultados	20
4.3	Población y muestra	21
4.4	Manejo del ensayo	21
4.4.1	Recolección de las muestras	22
4.4.2	Preparación de las muestras	22
4.5	Métodos utilizados	22
4.5.1	Preparación de soluciones reactivos que se usaron en el método De (Walkley & Black)	23
4.6	Procedimiento para la determinación de materia orgánica por la técnica Volumétrica	24
4.7	Procedimiento para la determinación de materia orgánica por la técnica colorimétrica	25
4.8	Procedimiento para la determinación de M.O por la técnica gravimétrica	26
4.9	Datos evaluados	27
4.9.1	Variables	27
4.10	Análisis de los datos	27
4.11	Materiales y equipos	28
V	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
5.1	Prueba de normalidad para las técnicas V, C y G en la muestra de El Timal, El Plantel y Los Alpes	30
5.2	Prueba de ANOVA de dos factores	31
5.2.1	Prueba de ANOVA de dos factores para las tres técnicas en la muestra de El Timal, El Plantel y Los Alpes	31
5.3	Precisión de las técnicas	36
VI	CONCLUSIONES	37
VII	RECOMENDACIONES	38
VIII	LITERATURA CITADA	39
IX	ANEXOS	42

DEDICATORIA

A mis padres

Por confiar en mí, apoyarme incondicionalmente, económicamente y emocionalmente para lograr cumplir mis metas.

A mi abuela

Desde siempre dándome su apoyo incondicional.

A mis hermanos

Ustedes que me han demostrado que siempre podemos superar nuestros retos.

Br. Kevin Daniel González Díaz

DEDICATORIA

A Dios

Sobre todas las cosas porque fue quien abrió el camino y me inspiró para poder concluir mis estudios.

A mis padres

Quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos y el amor incondicional que ellos me tienen que sin ellos esto no hubiese sido posible.

A mis hermanos

Por estar en las buenas y en las malas e inspirarme a luchar para lograr nuestros objetivos.

A mis maestros

Quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase a ellos que a un seguían depositando esperanza en mí.

Br. Yulner Essiel Paz Estrada

AGRADECIMIENTO

El esfuerzo y tiempo que se ha invertido en la realización de este trabajo no ha sido solo mío, si no, de gente que se ha empeñado en colaborar con su conocimiento a quienes necesitan y desean aprender cosas nuevas. Aprovechando al máximo esta etapa de mi vida he conseguido explorar nuevas emociones y experiencias que me impulsarán a conseguir mis metas y de ser posible con ello ayudar a quien necesite un impulso para lograr las suyas, de la misma forma que las personas a quienes mencionaré lo han hecho conmigo.

A mi tutor Ing. Luis Hernández, y seguidamente a mis co asesores: Ing. Samuel González y Lic. Irvin Alemán por darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación científica en el Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria. Por guiarme durante todo el camino y así alcanzar los objetivos propuestos que fundamentalmente han sido adquirir nuevas habilidades y sobre todo tener en cuenta siempre el trabajo en equipo.

A mi madre y Padre por sus consejos y enseñanzas para caminar con sabiduría por este camino que es la vida. A ellos les agradezco su ayuda para mejorar cada día como persona responsable, y como profesional decidido a enfrentar los retos que se me presenten.

A mis hermanos que me han ayudado y motivado a tomar el camino de adquirir siempre conocimientos y descubrir cosas nuevas.

Al personal del Laboratorio de Suelos y Agua por ser tan amables y motivarme a seguir adelante, y que sin duda dieron un aporte importante en la culminación de esta investigación.

A mi colega Yulner Essiel Paz Estrada quien durante todo el tiempo que duró nuestra carrera siempre ha estado en las buenas y en las malas, y que mejor manera de demostrar nuestra amistad que culminar un estudio siendo los dos los protagonistas.

Br. Kevin Daniel González Díaz

AGRADECIMIENTO

En este trabajo realizado primeramente tengo que darle las gracias a Dios sobre todas las cosas por haberme permitido llegar a este nivel, derramar bendiciones, alegrías y muchos éxitos.

Agradezco la confianza y el inmenso apoyo de mis padres por haber confiado en mí, por inculcarme valores de los cuales hoy en día me han sido de mucho provecho para mi formación como profesional.

A mis hermanos, porque de una u otra forma han contribuido positivamente para que se haya podido llevar a cabo esta difícil jornada de estudio.

A mis tíos y tías por darme su apoyo que de una u otra manera me animaban a que siguiera luchando para que pudiera lograr mis objetivos.

A mi tutor Ing. Luis Hernández por tener la paciencia de guiarme y ayudarme en este camino para lograr la culminación de este trabajo con mucho éxito.

A mi compañero de tesis Kevin Daniel Gonzales Díaz por hacer de este viaje de éxitos una buena experiencia.

Al personal del laboratorio de suelo (LABSA) por darnos su apoyo incondicional para que se pudiera cumplir nuestra meta.

Br. Yulner Essiel Paz Estrada

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
1	Descripción de los métodos gravimétricos	18
2	Materiales	28
3	Equipos	28
4	Reactivos	29
5	Resultados de la prueba de normalidad para V, C y G en la muestra de El Timal, El Plantel y Los Alpes	30
6	Prueba de hipótesis para las medias de V, C y G en la muestra de El Timal, El Plantel y Los Alpes	31
7	Comparaciones por pareja de Tukey para las técnicas, los días y la interacción	32
8	Resultados del %MO promedio y coeficientes de variación encontrados en las diferentes muestras de suelo	36
9	Descripción de los 9 órdenes de suelo de Nicaragua	44
10	Resultados de las determinaciones del %MO en la muestra de El Timal	56
11	Resultados de las determinaciones del %MO en la muestra de El Plantel	57
12	Resultados de las determinaciones del %MO en la muestra de Los Alpes	58

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Movimiento ondulatorio de la radiación electromagnética (Gary, 2009).	13
2	Absorción de la radiación (Gary, 2009).	15
3	Definición de la unidad de análisis, teniendo claro la variable principal y el objetivo general del estudio. (Piura López, 2008)	21
4	Separación de medias por Tukey para la interacción en la muestra de El Timal	33
5	Separación de medias por Tukey para la muestra de El Plantel	34
6	Separación de medias por Tukey para la muestra de Los Alpes	35
7	Factores influyentes en el origen y formación del suelo	42
8	Esquema de un perfil típico de suelo	43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Origen y formación del suelo	42
2	Perfil del suelo	43
3	Ordenes de suelo de Nicaragua	44
4	Técnicas analíticas para la determinación del %MOS	46
5	Ubicación del sitio de estudio	48
6	Flujo grama de los procedimientos de las técnicas analíticas para la determinación del %MOS	49
7	Ilustración del análisis con la técnica volumétrica y colorimétrica	50
8	Ilustración del análisis con la técnica gravimétrica	51
9	Solución estándar de glucosa 2.1753 mg C/ml	52
10	Volúmenes de las alícuotas tomadas de la solución estándar de glucosa	53
11	Curva de calibración a partir de estándares externos de concentración conocida	54
12	Valores críticos para la prueba de Anderson-Darling	55
13	Resultados de la determinación del %MOS por las técnicas V, C y G en la muestra de El Timal	56
14	Resultados de la determinación del %MOS por las técnicas V, C y G en la muestra de El Plantel	57
15	Resultados de la determinación del %MOS por las técnicas V, C y G en la muestra de Los Alpes	58
16	Gráficas de distribución normal de los %MOS para las técnicas V, C y G en la muestra de El Timal	59
17	Gráficas de distribución normal de los %MOS para las técnicas V, C y G en la muestra de El Plantel	60
18	Gráficas de distribución normal de los %MOS para las técnicas V, C y G en la muestra de Los Alpes	61
19	ANOVA de dos factores para la muestra de El Timal	62
20	ANOVA de dos factores para la muestra de El Plantel	63
21	ANOVA de dos factores para la muestra de Los Alpes	64

22	Resultados de separación de medias por Tukey para las técnicas y los días	65
23	Cálculo de g de carbono por kg de suelo, a %MOS	70
24	Muestra de la dispersión de las determinaciones del %MOS	71
25	Glosario	73

RESUMEN

Se compararon los contenidos de materia orgánica del suelo (%MOS), determinados mediante tres técnicas analíticas; volumetría (V), colorimetría (C) según Walkley & Black, y gravimetría (G) mediante pérdida de masa por ignición, en el Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria, para definir la que presenta datos más confiables y precisos. Un total de tres muestras analizadas corresponden a tres tipos de suelo; Vertisols, Molisols y Ultisols de las fincas; El Timal y El Plantel del municipio de Tipitapa, y Los Alpes de Nueva Guinea. Se obtuvieron los siguientes valores por volumétrica de: 1.71 % para El Timal, 2.72 % El plantel y 4.87 % para Los Alpes; por colorimétrica: 3.88 % para El Timal, 3.86 % El plantel y 6.16 % para Los Alpes; y por gravimétrica: 11.47 % para El Timal, 13.08 % para El plantel y 12.85 % para Los Alpes. El análisis de varianza demostró que existen diferencias significativas entre las técnicas y los días. La técnica gravimétrica mostró menores coeficientes de variación que V y C, sin embargo, esta estimó altos valores de %MOS probablemente a interferencias de carbonatos y agregados presentes en las muestras de suelo. Se recomienda utilizar las técnicas V y C por presentarse entre ellas poca diferencia en las determinaciones %MOS, dentro del rango de 1.14 % a 2.17 %; destacando la C con coeficientes de variación menores. Y en cuanto a G evaluar variación de temperatura de la mufla que puede ser la causa de la diferencia en cuanto a los días en que se realizan las determinaciones del %MOS.

Palabras clave: materia orgánica, volumetría, colorimetría, gravimetría

ABSTRACT

Soil organic matter content (% SOM), determined by three analytical techniques, were compared; volumetry (V), colorimetry (C) according to Walkley & Black, and gravimetry (G) through loss of mass by ignition, in the Soil and Water Laboratory of the National Agrarian University, to define the one that presents the most reliable and accurate data. A total of three samples analyzed correspond to three types of soil; Vertisols, Molisols and Ultisols from the farms; El Timal and El Plantel of the municipality of Tipitapa, and Los Alpes of Nueva Guinea. The following values were obtained by volumetric of: 1.71% for El Timal, 2.72% for the establishment and 4.87% for Los Alpes; by colorimetric: 3.88% for El Timal, 3.86% for the establishment and 6.16% for Los Alpes; and by gravimetric: 11.47% for El Timal, 13.08% for The campus and 12.85% for Los Alpes. The analysis of variance showed that there are significant differences between the techniques and the days. The gravimetric technique showed lower coefficients of variation than V and C, however, it estimated high values of% SOM, probably due to interference from carbonates and aggregates present in the soil samples. It is recommended to use the V and C techniques because there is little difference between them in the% MOS determinations, within the range of 1.14% to 2.17%; highlighting C with lower coefficients of variation. And as for G, evaluate the temperature variation of the muffle that may be the cause of the difference in terms of the days on which the% MOS determinations are made.

Keywords: organic matter, volumetry, colorimetry, gravimetry

I. INTRODUCCIÓN

Siempre que se habla de fertilidad de un suelo se toma en cuenta principalmente la cantidad de macro y micronutrientes que el suelo posee y puede proveer a las plantas, dejando en segundo plano un aspecto muy importante acerca de la fertilidad del suelo: la cantidad de materia orgánica del suelo (%MOS). Se sabe que esta representa aproximadamente un 5 % en el volumen de un suelo ideal. Es un porcentaje relativamente pequeño, a pesar de ello es muy significativo para el crecimiento, desarrollo de las plantas y mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Determinando el porcentaje de materia orgánica del suelo (%MOS) mediante metodologías que comprenden técnicas analíticas de laboratorio, podemos lograr una aproximación más confiable y precisa para interpretar aspectos relacionados con las propiedades del suelo y nutrición de las plantas. La determinación cuantitativa de la materia orgánica se realiza analizando el carbono orgánico (CO). Los métodos de análisis para el CO se basan en la oxidación de éste. Sin embargo, resulta importante estudiar la precisión de los resultados en las determinaciones obtenidas por cada técnica.

Los métodos se agrupan en combustión húmeda; Técnica volumétrica y colorimétrica, y combustión seca; técnica gravimétrica. Las dos primeras técnicas están basadas en el principio del método de Walkley & Black (1934), donde la cuantificación se basa en una oxidación incompleta del carbono orgánico por una mezcla oxidante de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), en cambio, la técnica gravimétrica consiste calcinar una muestra de suelo a una temperatura de $550^{\circ}C$.

La necesidad de contar con una técnica estandarizada para la determinación de materia orgánica del suelo que sea preciso y reduzca el uso de reactivos contaminantes proveniente del método de combustión húmeda, nos lleva a realizar este trabajo de investigación, la cual va dirigida a personal técnico analista de laboratorios de suelo. Se evalúan tres técnicas analíticas; volumetría (V), colorimetría (C) y gravimetría (G). Mediante contrastes estadísticos se comparan las determinaciones del %MOS en tres tipos de suelos; Molisols, Vertisols y Ultisols; estos por ser de importancia agrícola en nuestro país. Los resultados, producirán información básica sobre la conveniencia del uso de tales técnicas.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General:

- Comparar tres técnicas de análisis para la determinación del contenido de materia orgánica del suelo (MOS), Universidad Nacional Agraria-Managua, Nicaragua.

2.2. Objetivos específicos:

1. Evaluar los porcentajes de materia orgánica del suelo (%MO) de tres tipos de suelo (Molisols, Vertisols y Ultisols) obtenidos por las técnicas volumetría, colorimetría y gravimetría.
2. Identificar mediante coeficientes de variación la técnica analítica que demuestre mayor precisión en las determinaciones del porcentaje de materia orgánica del suelo (%MO).

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Materia orgánica del suelo

Se considera a la materia orgánica del suelo (MOS) como un continuo de compuestos heterogéneos con base de carbono, que están formados por la acumulación de materiales de origen animal y vegetal, parcial o completamente descompuestos en continuo estado de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente, del conjunto de microorganismos vivos y muertos y de animales pequeños que aún faltan descomponer (Meléndez y Soto, 2003).

La materia orgánica de los suelos (MOS) puede ser definida como una serie de fracciones a lo largo de un continuo proceso de descomposición. Su balance es mantenido por el aporte del mantillo al suelo, el cual ingresa al mismo proceso de descomposición como materia orgánica particulada (MOP). Conceptualmente, la MOP, a la que algunos autores también la denominan macro materia orgánica (Wilson et al., 2001), es la fracción transitoria de la MOS que, en ese continuo de transformación, se encuentra en un estado intermedio entre el mantillo más o menos reciente y la materia orgánica humificada (MOH) y estable (Ruíz Balladares, 2016).

Según Mustin (1987), citado por (Julca Otiniano, Meneses Florián, Blas Sevillano, y Bello Amez, 2006), la materia orgánica representa del 95 al 99% del total del peso seco de los seres vivos, pero su presencia en los suelos suele ser escasa.

El contenido total de materia orgánica que normalmente se encuentra en el suelo es pequeña, solo alrededor del 3-5% en peso, en el caso de un suelo típico en su capa superficial. Dentro de este porcentaje, el 85-90% está representado por humus, y solo una pequeña parte por los restos no humificados. Por esta razón se suele emplear corrientemente el termino materia orgánica del suelo en lugar de humus (Navarro García y Navarro García, 2013).

Hay que indicar, además, que en los análisis de suelos cuando se trata de conocer su contenido en materia orgánica, las muestras se trituran y se eliminan la mayor parte de los restos orgánicos aún no descompuestos. Por tanto, en la práctica no es necesario diferenciar el humus de la materia orgánica (Navarro García y Navarro García, 2013).

La materia orgánica es un indicador de la calidad del suelo, ya que incide directamente sobre propiedades edáficas, como estructura y disponibilidad de carbono y nitrógeno. Numerosos

estudios coinciden en que la materia orgánica, es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Quiroga y Furano, 2004).

3.2.Fuentes y composición de la materia orgánica del suelo

Los residuos de las plantas constituyen el material principal originario de la MOS. Bajo condiciones naturales, todos estos residuos (partes aéreas y raíces de los árboles, arbustos, malas hierbas y otras plantas) aportan anualmente al suelo una gran cantidad de residuos orgánicos (Navarro García y Navarro García, 2013).

En los suelos cultivados, una gran parte de las plantas son extraídas, pero muchos de sus tallos y raíces son abandonados en el suelo. Junto a estos también hay que incluir los cadáveres de microorganismos del suelo, especialmente bacterias y hongos. Se estima que las sustancias nitrogenadas del humus pueden proceder, en una proporción bastante elevada, del protoplasma celular de los citados microorganismos (Navarro García y Navarro García, 2013).

Los materiales de origen animal que pueden incorporarse al suelo están formados por los cadáveres y las deyecciones de los animales. Estos evolucionan rápidamente sin dejar compuestos duraderos en el suelo. En un conjunto se consideran tan solo fuentes secundarias de materia orgánica (Navarro García y Navarro García, 2013).

Inmediatamente después de la caída de los materiales al suelo y muchas veces antes, comienza un rápido proceso de transformación por parte de los macro y microorganismos que utilizan los residuos orgánicos como fuente de energía. El proceso de descomposición está acompañado de la liberación de CO₂ y de los nutrientes contenidos en los residuos orgánicos (Meléndez y Soto, 2003).

Del 75 – 90 % de los restos orgánicos están constituidos por agua. Una fracción pequeña de MOS está constituida por carbohidratos, aminoácidos, ácidos alifáticos, proteínas, grasas, etc., y en su mayor parte están formadas por las llamadas sustancias húmicas, que son una serie de compuestos de alto peso molecular. Estas sustancias húmicas han sido divididas en grupos de acuerdo a su solubilidad en soluciones ácidas y básicas concentradas: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas. Los ácidos húmicos son moléculas más grandes y complejas que los ácidos fúlvicos, además presentan contenidos más altos de N, pero menor de grupos funcionales (Meléndez y Soto, 2003).

3.2.1. Sustancias húmicas del suelo

Las sustancias húmicas constituyen el complejo de compuestos orgánicos de color marrón, pardo y amarillo que se extrae por soluciones de álcalis, sales neutras y disolventes orgánicos (Kononova, 1983) citado por (Meléndez y Soto, 2003)

La mayor parte de las sustancias húmicas se encuentran unidas de distintas formas con la parte mineral del suelo, quedando sólo una pequeña fracción en estado libre, por ende, para pasar a estado soluble es preciso destruir esta unión (Meléndez y Soto, 2003).

a. Ácidos Húmicos

Los ácidos húmicos son ácidos polibásicos de débil disociación que tienen el punto de equivalencia cerca de un pH de 8,0-9,0, como indica el carácter de las curvas que se obtiene en la valoración potenciométrica. A parte de los grupos carboxílicos, fenólicos y alcohólicos, hay en los ácidos húmicos grupos metoxílicos OCH_3 , cuya cantidad en los distintos representantes es oscilante. Se ha constatado que el contenido de los grupos metoxilos es mayor en los representantes menos maduros (6-8%) menor en los ácidos húmicos ya formados (1-2%) (Meléndez y Soto, 2003).

b. Ácidos Fúlvicos

Los ácidos fúlvicos se distinguen de los ácidos húmicos por su coloración más clara, por el contenido relativamente bajo en carbono (menos del 55%). Pertenecen al grupo de los ácidos hidroxicarboxílicos y en la hidrólisis ácida forman sustancias reductoras y furfural. Tienen alta capacidad de cambio (hasta 700 meq por 100 g de sustancia). Actúan destructivamente sobre los minerales, son propensos a formar complejos R_2O_3 que poseen gran movilidad (Meléndez y Soto, 2003).

Parece ser que ya no existen dudas sobre los ácidos fúlvicos como grupos independientes de materias húmicas con propiedades distintas a la de los ácidos húmicos. A parte de los ácidos fúlvicos propiamente dicho se han descubierto hidratos de carbono, glucósidos, sustancias de naturaleza fenólica, ácidos urónicos y ácidos orgánicos nitrogenados (Meléndez y Soto, 2003).

Datos obtenidos de espectroscopía infrarroja, dan testimonio de la presencia de elementos de naturaleza aromática en los ácidos fúlvicos. Sobre la baja aromatización de los ácidos fúlvicos hablan los datos de la composición elemental en el cual el porcentaje de carbono es

significativamente más bajo y el de hidrógeno supera el de los ácidos húmicos (Meléndez y Soto, 2003).

c. Ácidos himatomelánicos

No son un grupo independiente de sustancias húmicas, sino es la fracción soluble en alcohol de los ácidos húmicos. Por tanto, el tema del humus en el suelo tiene muchos puntos confusos. Los materiales existentes permiten trazar únicamente los principios generales de las estructuras de las materias, sin embargo, es un problema extraordinariamente importante establecer las peculiaridades de su estructura, determinadas por las condiciones concretas del suelo (Meléndez y Soto, 2003).

d. Huminas

Las huminas del suelo representan en sí ácidos húmicos, en general muy próximos a los ácidos húmicos extraídos del suelo y la pérdida de su capacidad para disolverse en álcali, así como por la firmeza de su unión por la parte mineral del suelo. Sin embargo, no en todos los casos el grupo de las sustancias orgánicas denominadas huminas están representadas por los ácidos húmicos. Así en suelos turbosos, éstos pueden contener gran mezcla de restos vegetales que no están del todo humificados (Meléndez y Soto, 2003).

3.3. Función de la materia orgánica en el suelo

La materia orgánica del suelo constituye sólo una pequeña parte de la fase sólida, pero desempeña una gran función, no solo en la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, sino también en lo que respecta al desarrollo de los cultivos. Representa todas las sustancias de origen animal y vegetal que se acumulan o aplican a los suelos, independientemente de la fase de descomposición (Navarro García y Navarro García, 2013).

Una de las contribuciones más importante de la materia orgánica a la fertilidad de suelo es su capacidad de suplir nutrimentos, especialmente nitrógeno, fósforo, y azufre. Los nutrimentos son secuestrados y liberados de la materia orgánica por 2 procesos distintos: biológicos (N, P, S) y químicos (Ca, Mg, K) (Julca Otiniano, Meneses Florián, Blas Sevillano, y Bello Amez, 2006).

Un proceso importante en la síntesis de la materia orgánica del suelo es la fotosíntesis. Las plantas superiores, gracias a la absorción de energía solar y nutrientes del suelo, son capaces de sintetizar compuestos tales como lignina, materia prima en la síntesis de la MOS (Juárez Sanz, Sánchez Andreu, y Sánchez Sánchez, 2006).

3.4. Expresión de la materia orgánica del suelo

La cantidad de materia orgánica en los suelos generalmente se expresa como porcentaje en base al peso del suelo. En la práctica, es difícil en el laboratorio separar el material orgánico e inorgánico de un suelo, por lo que una estimación del contenido de materia orgánica se obtiene indirectamente a través del análisis de un elemento que es constituyente de todas las sustancias orgánicas en el suelo: el carbono (Casanova, 2005).

Al conocer la cantidad de carbono orgánico, una expresión indirecta del contenido de materia orgánica presente en una muestra de suelo, de forma indirecta podremos estimar el contenido de materia orgánica expresada en porcentaje. Multiplicando por un factor empírico como el de Van Benmelen equivalente a 1,724 (asumiendo que la materia orgánica tiene 58 % de carbono) (Jackson, 1958) citado por (Alemán Vásquez y Guido Paniagua, 2016).

3.5. Factores que afectan la materia orgánica del suelo

3.5.1. Factores climáticos

a. Clima

El clima va a condicionar el tipo de vegetación, la producción de biomasa y la actividad microbiana en el suelo, por lo que está directamente relacionado con el contenido de materia orgánica. En general podemos hablar de contenidos elevados de materia orgánica en zonas tropicales, donde los aportes son continuos, aunque debido a la humedad y la temperatura, también se incrementan los procesos de mineralización. En climas fríos, la materia orgánica se acumula, mientras que, en climas áridos con poca vegetación, los contenidos son muy bajos, debido a que se ven favorecidos los procesos de mineralización frente a los de humificación (Ibáñez, 2006).

b. Relieve

Las formas del relieve varían a lo largo del tiempo, y estas variaciones influyen en las características de los suelos que se desarrollan en estas zonas. García y Maass (1998) citado por (Pérez García, López Blanco, y Vela Correa, 2007) sugieren que el relieve influye en el contenido de la materia orgánica y de nutrientes, modificando las características micro climáticas, el contenido de humedad y el movimiento del agua dentro y fuera del suelo.

3.5.2. Factores Biológicos

a. Vegetación

Es el factor determinante a la hora de cuantificar la cantidad y calidad de la necro masa que se aporta al suelo. Variará en función del ecosistema en el que nos encontremos y tendrá una especial incidencia en el contenido de materia orgánica en el suelo (Ibáñez, 2006).

b. Organismos del suelo

Intervienen en los procesos de alteración de la materia orgánica y en su interacción con la materia mineral. Podemos hablar de microflora, bacterias, hongos, actinomicetos, alga, micro fauna, en el caso de nematodos, protozoos, etc. y macro fauna, refiriéndonos a los artrópodos, anélidos, moluscos y mamíferos (Ibáñez, 2006).

3.5.3. Factores físicos

a. Textura del suelo

Los suelos con textura arcillosa se caracterizan por una mayor retención de agua y nutrientes, lo que favorece la producción de biomasa y por consiguiente un mayor contenido de materia orgánica. Aunque si los contenidos de arcilla son muy elevados podemos encontrarnos problemas de aireación que dificulten la descomposición de esa materia orgánica, que tenderá a acumularse si el suelo está permanentemente saturado de humedad (Ibáñez, 2006).

b. Composición mineralógica de las arcillas

En función de la composición de las arcillas se va a producir un mecanismo de adsorción o complicación de las moléculas orgánicas, que va a actuar como coraza protectora frente a la acción de los microorganismos (Ibáñez, 2006).

3.5.4. Factores químicos

a. Oxígeno

El suministro de oxígeno regula el alcance y las tasas de desasimilación de sustratos añadidos. Este efecto es una consecuencia del papel del oxígeno en el metabolismo microbiano. El dióxido de carbono es liberado de los ambientes completamente anaeróbicos a través de las actividades de los anaerobios obligados y facultativos, pero la aireación estimula invariablemente la mineralización del carbono. El decaimiento de los principales constituyentes vegetales es similarmente deprimido a medida que el suministro de O₂ disminuye (Descomposición de la materia orgánica, 2020).

b. pH

Cada organismo tiene su pH óptimo para crecer y un rango fuera del cual no tiene lugar ninguna proliferación celular. Las enzimas elaboradas por una cepa microbiana determinada son afectadas por el pH. El pH también regula el tipo de microorganismos involucrados en el ciclo del carbono en cualquier hábitat. La descomposición procede típicamente más fácilmente en zonas neutras más que en ácidas (Descomposición de la materia orgánica, 2020).

3.6. Métodos para análisis cuantitativo de un analito

El método empleado para la medición cuantitativa real del analito dependerá de un número de factores, y no es de menor importancia la cantidad de analito presente, así como la exactitud y la precisión que se requieren. Muchas técnicas disponibles tienen grados variables de selectividad, sensibilidad, exactitud y precisión, costo y rapidez (Gary, 2009).

3.6.1. Técnica volumétrica (V): Titulación Oxidación – Reducción

El análisis volumétrico posee una enorme ventaja con respecto al análisis gravimétrico: su rapidez. La aceleración de las determinaciones se consigue gracias a que, en el análisis volumétrico, en lugar de pesar el producto de la reacción, se mide el volumen de reacción de reactivo utilizado, cuya concentración siempre se conoce exactamente de este modo, la determinación cuantitativa de sustancias químicas se efectúa por medio de la determinación precisa de volúmenes de las soluciones que entran en reacción (Zumbado, 2004) citado por (Aleman Vásquez y Guido Paniagua, 2016).

a. Método de Walkley y Black

El método de combustión húmeda de Walkley & Black consiste en una oxidación con dicromato de potasio en un medio de ácido sulfúrico. La reacción toma el calor de la disolución del ácido, lo que eleva la temperatura y logra la oxidación del carbono orgánico. El dicromato residual es posteriormente titulado con sal ferrosa (Carreira, 2005). El método de combustión húmeda determina solo una parte del carbono orgánico, discriminando las formas condensadas y excluyendo en un 90 a 95% el carbono elemental (Skoog, West, Holler, y Crouch, 2005).

En sus aplicaciones analíticas, el ion dicromato se reduce al ion cromo (III) de color verde. Las valoraciones con el dicromato generalmente se llevan a cabo en soluciones que son aproximadamente 1 M en ácido clorhídrico o sulfúrico. Las soluciones de dicromato de potasio son estables indefinidamente, se pueden hervir sin descomposición y no reaccionan con el ácido clorhídrico. Las desventajas del dicromato de potasio, comparadas con las del ion cerio (IV) y permanganato, son un bajo potencial de electrodo y la lentitud de reacción con ciertos agentes reductores (Skoog, West, Holler, y Crouch, 2005).

Es sabido que la amplia variación encontrada en el coeficiente de oxidación del carbono orgánico, logrado por el método de Walkley & Black, responde principalmente a características propias del suelo (textura, calidad de materia orgánica). Pero también existen diferencias relacionadas con aspectos metodológicos, siendo crítica la etapa de oxidación debido a variaciones en la cantidad de calor aportada durante la misma (Nelson y Sommers, 1996) citado por (Carreira y Ostinelli, 2010).

b. Valoración o titulación

La valoración o titulación se utiliza para determinar la concentración desconocida de un reactivo conocido y lo que se hace es medir el volumen de una solución patrón (“valorante” o “titulante patrón”) de concentración conocida que se necesita para reaccionar completamente con el analito, de concentración desconocida. Se le conoce como *análisis volumétrico* debido a que las medidas de volumen juegan un papel fundamental en las titulaciones (Vargas Fiallo y Camargo Hernández, 2012).

En una titulación, tanto la sustancia patrón, como el analito deben estar en fase líquida (o en disolución). Si la muestra no es un líquido o una disolución, debe disolverse. Si el analito está muy concentrado en la muestra a analizar, suele diluirse. Aunque la mayoría de las titulaciones

se llevan a cabo en disolución acuosa, pueden usarse otros disolventes como ácido acético o etanol con igual finalidad, para determinados análisis (Vargas Fiallo y Camargo Hernández, 2012).

Una cantidad medida de muestra se coloca en un frasco donde se disuelve y se diluye si es necesario. El resultado matemático de la valoración puede calcularse directamente mediante la cantidad de valorante medida. Cuando la muestra ha sido disuelta previamente a la valoración, la cantidad de disolvente utilizado para esto debe conocerse (un coeficiente entero) para poder considerarlo en el resultado matemático de la valoración de la muestra original (Vargas Fiallo y Camargo Hernández, 2012).

Utilizando una bureta para añadir el valorante es posible determinar la cantidad exacta que se ha consumido cuando se alcanza el punto final. El punto final es el punto en el que se le da fin a la valoración, y se determina mediante el uso de un indicador. Idealmente es el mismo volumen que en el punto de equivalencia, el número de moles de valorante añadido es igual al número de moles del analito (Vargas Fiallo y Camargo Hernández, 2012).

c. Reactivos

Una clase de compuestos orgánicos conocidos como las 1,10-fenantrolinas u Ortofenantrolinas forman complejos estables con el hierro (II) y otros iones. El compuesto original tiene un par de átomos de nitrógeno, situados en posición tal que cada átomo puede formar un enlace covalente con el ion hierro (II). Tres moléculas de Ortofenantrolina se combinan con un ion de hierro, de modo que se forma la estructura mostrada al margen, conocida como ferroina y se representa por medio de $(\text{fen})_3 \text{Fe}^{2+}$ (Skoog, West, Holler, y Crouch, 2005).

Para la mayoría de las aplicaciones, el dicromato de potasio de grado reactivo es lo suficientemente puro para permitir la preparación directa de soluciones patrón: el sólido simplemente se seca de 150 a 200 grados antes de ser pesado. El color anaranjado de la solución de dicromato no es bastante intenso para utilizarlo en la detección del punto final (Skoog, West, Holler, y Crouch, 2005).

Las soluciones de hierro (II) se preparan fácilmente a partir de sulfato de hierro (II) y amonio, $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (sal de mohr), o sulfato de hierro (II) y etilendiamina. $\text{Fe}(\text{C}_2\text{H}_4(\text{NH}_3)_2)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (sal de Oesper). La oxidación del hierro (II) por el aire ocurre rápidamente en soluciones neutras, pero se inhibe en presencia de ácidos, siendo las preparaciones más estables

aproximadamente 0.5 M en H₂SO₄. Estas soluciones son estables durante no más de un día, como mucho. Numerosos agentes oxidantes se determinan adecuadamente tratando la solución del analito con un exceso de hierro (II) (Skoog, West, Holler, y Crouch, 2005).

3.6.2. Técnica colorimétrica (C): Espectrofotometría Ultravioleta/Visible

Las técnicas instrumentales se usan para muchos análisis y constituyen la disciplina del análisis instrumental. Se basan en la medición de una propiedad física de la muestra; por ejemplo, una propiedad eléctrica o la absorción de radiación electromagnética. Estas por lo general son más sensibles y selectivas que las técnicas clásicas (volumetría y gravimetría), pero son menos precisas, en el orden de 1 a 5% más o menos (Gary, 2009).

a. Espectrofotometría

La espectrofotometría estudia los fenómenos de interacción de la luz con la materia. En general, cuando una lámpara ilumina cualquier objeto, pueden suceder algunos fenómenos: La luz puede ser emitida, reflejada, transmitida o absorbida. Desde que sabemos que la energía no puede ser destruida, la cantidad total de luz debe ser igual al 100%; por lo tanto, cuando un objeto es iluminado, se puede medir cuánta radiación ha sido reflejada o transmitida y podemos decir entonces cuánta fue absorbida, cuál es la cantidad que ha interactuado con el objeto (Arenas Sosa y López Sánchez, 2004).

b. Espectroscopia de absorción molecular

La espectrofotometría de absorción está relacionada con el hecho de que una sustancia absorbe la luz, provocando que los electrones “salten” de un nivel de energía a otro mayor; este fenómeno permite explicar por qué algunas sustancias son coloreadas. Es usualmente usada con moléculas disueltas en un solvente transparente. La absorbancia de un soluto depende linealmente de la concentración y por consiguiente la espectrofotometría de absorción es ideal para hacer mediciones cuantitativas. La longitud de absorción y la fuerza de absorbancia de una molécula no sólo depende de la naturaleza química, si no del ambiente molecular en donde se encuentre el cromóforo (Arenas Sosa y López Sánchez, 2004).

c. El espectrofotómetro

Los espectrofotómetros son espectrómetros que permiten medir la relación entre la energía radiante de dos rayos, lo cual es necesario para medir la absorbancia. Tienen la notable ventaja de que la longitud de onda se pueda modificar continuamente, por lo que es posible registrar espectros de absorción. El instrumento está provisto de un ocluser, que consiste en una aleta que se interpone automáticamente entre el rayo y el detector cada vez que la celda cilíndrica se retira de su soporte. El dispositivo de control de luz es una apertura en forma de v que se acerca y se aleja del rayo para controlar la cantidad de luz que llega a la rendija de salida (Skoog, West, Holler, y Crouch, 2005).

d. El espectro electromagnético

La radiación electromagnética es una forma de energía radiante que se propaga en forma de ondas transversales. Su vibración es perpendicular a la dirección de su propagación, lo cual imparte un movimiento ondulatorio a la radiación, como se muestra en la figura 3. La onda se describe ya sea en términos de su longitud de onda, que es la distancia que ocupa un ciclo completo, o en función de su frecuencia, que es la cantidad de ciclos que pasan por un punto fijo por unidad de tiempo. Al recíproco de la longitud de onda se le llama número de onda, y es la cantidad de ondas que hay en una longitud unitaria, o sea la distancia por ciclo (Gary, 2009).

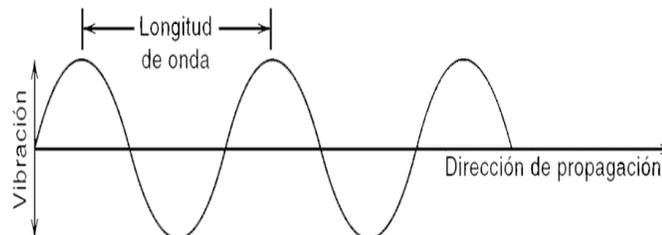


Figura 1. Movimiento ondulatorio de la radiación electromagnética (Gary, 2009).

La relación entre longitud de onda y frecuencia es:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad \text{(Ecu. 1)}$$

Donde λ es la longitud de onda en centímetros (cm), ν es la frecuencia en segundos recíprocos (s^{-1}), o hertz (Hz), y c es la velocidad de la luz (3×10^{10} cm/s). El número de onda se representa mediante $\bar{\nu}$, en cm^{-1} :

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} \quad (\text{Ecu. 2})$$

La longitud de onda de la radiación electromagnética varía desde algunos angstroms hasta varios metros. Las unidades que se usan para describir la longitud de onda son las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{\AA} = \text{angstrom} &= 10^{-10} \text{ metro} = 10^{-8} \text{ centímetro} = 10^{-4} \text{ micrómetro} \\ nm = \text{nanómetro} &= 10^{-9} \text{ metro} = 10 \text{ angstroms} = 10^{-3} \text{ micrómetro} \\ \mu m = \text{micrómetro} &= 10^{-6} \text{ metro} = 10^4 \text{ angstroms} \end{aligned}$$

La unidad de longitud de onda que se prefiere en las regiones ultravioleta y visible del espectro es el nanómetro, aunque se prefiere el micrómetro para la región del infrarrojo.

e. Fotón como fuente de señal

La radiación electromagnética posee cierta cantidad de energía. La energía de una unidad de radiación, llamada fotón, se relaciona con la frecuencia mediante la ecuación:

$$E = h\nu = \frac{h}{c} \quad (\text{Ecu. 3})$$

Donde E es la energía del fotón, en ergios, y h es la constante de Planck, 6.62×10^{-34} joules-segundo (J/s). Se ve, entonces, que cuanto más corta sea la longitud de onda o mayor sea la frecuencia, la energía de la radiación es mayor (Gary, 2009).

f. Transmitancia y absorbancia: Ley de Lambert-Beer

Es el resumen de dos leyes que nos permiten relacionar la fracción de radiación absorbida con la concentración del analito y el espesor del medio. La cantidad de radiación monocromática que absorbe una muestra obedece a la ley de Beer-Bouguer-Lambert, que comúnmente se

conoce como ley de Beer. Considérese la absorción de radiación monocromática que se ilustra en la figura 4.



Figura 2. Absorción de la radiación (Gary, 2009).

P_0 = potencia de la radiación incidente; P = potencia de la radiación transmitida;

c = concentración; b = distancia recorrida por la radiación.

La radiación incidente, con potencia radiante P_0 , atraviesa una solución de una sustancia absorbente con concentración c recorriendo una trayectoria b (la longitud de la celda donde se encuentra la muestra); de aquí sale como radiación emergente (o transmitida), la cual posee una potencia radiante P . Esta potencia radiante es la cantidad que miden los detectores espectrométricos (Gary, 2009).

Cuando se absorbe la energía electromagnética, la potencia de la energía transmitida disminuye geoméricamente (en forma exponencial). Ya que la fracción de energía radiante disminuye en forma exponencial en función de la longitud de onda, se puede escribir la siguiente forma exponencial:

$$T = \frac{P}{P_0} = 10^{-kb} \quad \text{(Ecu. 4)}$$

Donde k es una constante, y T se denomina transmitancia, fracción de la energía radiante transmitida. Expresando la ecuación anterior en forma logarítmica se llega a:

$$\log T = \log \frac{P}{P_0} = -kb \quad \text{(Ecu. 5)}$$

En 1852, Beer (A. Beer, Ann. Physik Chem., 86 (1852) 78] y Bernard [F. Bernard, Ann. Chim. et Phys., 35 (1853) 385] establecieron que una ley similar rige la dependencia entre T y la concentración c:

$$T = \frac{P}{P_0} = 10^{-k'c} \quad \text{(Ecu. 6)}$$

en la que k' es una nueva constante, y entonces:

$$\log T = \log \frac{P}{P_0} = -k'c \quad \text{(Ecu. 7)}$$

Al combinar estas dos leyes se obtiene la ley de Beer, que describe la dependencia de T respecto de la trayectoria recorrida a través de la muestra y la concentración:

$$T = \frac{p}{p_0} = -abc \quad \text{(Ecu. 8)}$$

Donde a es una constante que resulta de la combinación de k y K' , y

$$\log T = \log \frac{P}{P_0} = -abc \quad \text{(Ecu. 9)}$$

Es más conveniente omitir el signo negativo del lado derecho de la ecuación y definir un término nuevo, absorbancia:

$$A = -\log T = \log \frac{1}{T} = \log \frac{P_0}{P} = abc \quad \text{(Ecu. 10)}$$

Donde A es la absorbancia. Ésta es la forma común de la ley de Beer. Nótese que la absorbancia es la directamente proporcional a la concentración.

El porcentaje de transmitancia se define como:

$$\%T = \frac{P}{P_0} \times 100 \quad \text{(Ecu. 11)}$$

La ecuación **10** se puede reacomodar. Como: $T = \frac{\%T}{100}$

$$A = \log \frac{100}{\%T} = \log 100 - \log \%T \quad \text{(Ecu. 12)}$$

O sea:

$$A = 2.00 - \log \%T$$

y

$$\%T = \text{anti log}(2.00 - A)$$

La longitud de trayectoria b (ancho de la celda) en la ecuación **10** se expresa en centímetros, y la concentración c en gramos por litro. A la constante a se le llama absorptividad, y depende de la longitud de onda y de la naturaleza del material absorbente. En un espectro de absorción, la absorbancia varía con la longitud de onda en proporción directa de a (con b y c constantes). El producto de la absorptividad por el peso molecular de la sustancia absorbente se llama absorptividad molar ϵ . Entonces:

$$A = \epsilon bc \quad \text{(Ecu. 13)}$$

Donde c está ahora en moles por litro. La longitud de trayectoria en la celda, en espectrometría ultravioleta y visible, a menudo es 1 cm; entonces, las unidades de ϵ son $\text{cm}^{-1} \text{mol}^{-1} \text{L}$, en tanto que las de a son $\text{cm}^{-1} \text{g}^{-1} \text{L}$.

3.6.3. Técnica Gravimétrica

La gravimetría es la parte de la química analítica que estudia aquellos procedimientos analíticos basados en mediciones de peso. Los métodos gravimétricos se dividen en dos: De precipitación y de volatilización (Riaño, 2007).

Cuadro 1. Descripción de los métodos gravimétricos

Modificado de (Riaño, 2007)

Métodos Gravimétricos	Precipitación	El precipitado obtenido se pesa en una balanza de precisión (0.0001 g), después de una filtración, un lavado y un tratamiento térmico adecuado. Se basan en la relación de peso del precipitado, de composición conocida, con la cantidad del constituyente de interés en la muestra analizada.
	Volatilización	El analito o sustancia a analizar, o sus productos de descomposición, se volatilizan a una temperatura adecuada, se pesa el residuo y por diferencia se determina el peso del analito.

3.6.4. Antecedentes

En el año 2005, el equipo de trabajo: Johnbrynnner García Galvis, María Inés Ballesteros González, de la revista Colombia de química trabajaron en: “Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos”. En el estudio de la cuantificación de carbono orgánico en suelos por el método de Walkley-Black se compararon dos técnicas de análisis (colorimetría y volumetría) con el fin de evaluar los parámetros de calidad y así indicar la técnica más conveniente para implementarla en el análisis de suelo. El método colorimétrico presento menores costos y numero de reactivos por análisis, a la vez que ofreció la mejor repetibilidad (Alemán Vásquez y Guido Paniagua, 2016).

El método de combustión seca (gravimétrico) permite determinar el COT, es exacto y preciso, pero requiere personal calificado. Una desventaja de esta metodología es que, en suelos con presencia de carbonatos sobre estima el valor de COT. Rosell (2001) y Konare (2010) reportaron que a temperaturas mayores a 500 °C pueden implicar importantes errores en la determinación del %MOS por perdidas de dióxido de carbono de los carbonatos, agua estructural de los

minerales de arcilla, oxidación del ion ferroso, descomposición de las sales hidratadas y óxidos (Eyherabide, Saínz Rozas, Barbieri, y Echeverría, 2014).

(García Galvis y Ballesteros González, 2005) Compararon la técnica volumétrica y colorimétrica para evaluar parámetros de calidad para la determinación del carbono orgánico en suelos. Observando que, al comparar ambas técnicas, en todas las muestras de suelos es mayor el porcentaje de carbono orgánico determinado por colorimetría (1.32, 3.28 y 9.28 %CO) que por volumetría (1.88, 3.24 y 9.34 %CO) lo cual indica que la valoración por volumetría está sujeta a errores sistemáticos que no permiten cuantificar tan eficientemente la cantidad de materia orgánica en el suelo. Así mismo, obtuvieron menor porcentaje de coeficiente de variación por colorimétrica (2.16, 1.82 y 1.29 %CV) que por volumétrico (5.83, 3.78 y 2.64 %CV).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del sitio de estudio

El ensayo se estableció en dos etapas: la primera etapa consistió en la recolección de las muestras en estudio, la cual se desarrolló en campo, en los municipios de Tipitapa y Nueva Guinea. La segunda etapa en el procesamiento de análisis de las submuestras en el Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria, localizado en el Km 12.5 carretera norte, con coordenadas geográficas 12°8'49'' Latitud Norte y 86°09'49.37'' Longitud Oeste, en el periodo comprendido de enero - marzo 2020.

4.2. Tipo de estudio

La investigación científica que hace énfasis en el medir, corresponde a la investigación tradicional. Este tipo de investigación tiene como propósito principal establecer relaciones entre dos o más variables (Piura López, 2008). Por ello este estudio es tradicional, con diseño experimental cuantitativo.

4.2.1. Según el alcance

Según el alcance, consideramos que es del tipo descriptivo. Información detallada respecto a un fenómeno o problema para describir sus dimensiones (variables) con precisión. Esta busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010).

4.2.2. Según el sentido del tiempo

La investigación según el sentido del tiempo es transversal. Esta se caracteriza por no realizar el abordaje del fenómeno en seguimiento a partir de su desarrollo o evolución (Piura López, 2008).

4.2.3. Según la aplicabilidad de los resultados

La investigación según la aplicabilidad de los resultados es del tipo de desarrollo tecnológico. Esta persigue la búsqueda de la tecnología apropiada para la intersección en la práctica productiva de los aportes de las investigaciones aplicadas o teóricas (Piura López, 2008).

4.3. Población y muestra

Se considera como población a los 9 órdenes de suelo presentes en Nicaragua: Entisols, Andisols, Inceptisols, Mollisols, Alfisols, Ultisols, Oxisols, Vertisols y Histosols. Para el

estudio, la muestra para evaluar las técnicas corresponde a tres órdenes de suelo de Nicaragua: Molisols, Vertisols, y Ultisols. Procedentes de las fincas; el plantel y los ángeles (El Timal) del municipio de Tipitapa, y los alpes de Nueva Guinea.

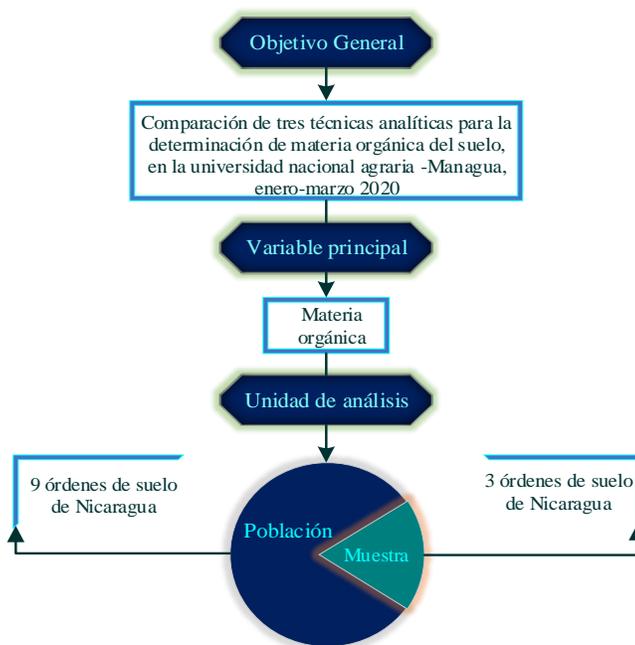


Figura 3. Definición de la unidad de análisis, teniendo claro la variable principal y el objetivo general del estudio. (Piura López, 2008)

4.4. Manejo del ensayo

El estudio se realizó en condiciones de laboratorio, en un ambiente controlado, con previa recolección de muestras en campo. La metodología empleada para determinar materia orgánica en el suelo fueron las técnicas de volumetría (V), colorimetría (C) y gravimetría (G). Las muestras recolectadas corresponden a tres tipos de suelo de Nicaragua; Vertisols, Molisols y Ultisols, procedentes de las fincas; Los Ángeles (El Timal) y El Plantel del municipio de Tipitapa, y Los Alpes de Nueva Guinea. Para cada suelo se analizaron 10 repeticiones con las tres técnicas en tres momentos (días) bajo las mismas condiciones de análisis, es decir mismo experimentador, los mismos materiales y equipos.

4.4.1. Recolección de las muestras

Las tres fincas seleccionadas presentan antecedentes de levantamientos de suelos, descripción de perfiles y clasificación taxonómica (Acuña, Rodríguez, y Wielemaker, 1992). Se recolectaron

las muestras de manera sistemática a una profundidad de 20 cm, de manera que el muestreo fuese representativo. Para el traslado al laboratorio, en bolsas plásticas Ziploc, se mantuvieron con humedad el mayor tiempo posible porque se tomó en consideración que en general en una muestra seca se reducen las reacciones químicas y bioquímicas al mínimo, evitando que tales reacciones pudieran ser una fuente de error.

4.4.2. Preparación de las muestras

Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente, se extendieron en bandejas previamente identificadas con su código, en registro continuo como norma interna del LABSA, y con un pistilo y mortero de cerámica se destruyeron con cuidado los agregados del suelo que se detectaron a simple vista.

El suelo se extendió formando una capa de grosor no superior a 15 mm, para esto se utilizaron bandejas impermeables de plástico, del modo que no absorbieran humedad del suelo y que no produjeran contaminación.

La fase de preparación se realizó hasta obtener un determinado tamaño de partícula:

- Homogenización
- Trituración
- Tamizado

Para preparar una muestra de laboratorio, se dividieron en fracciones de 0.5 para utilizar en gravimétrico y 2mm para utilizar en combustión húmeda en porciones de 100 a 300g respectivamente.

4.5. Métodos utilizados

Para comparar el contenido de materia orgánica en las muestras en estudio, se utilizaron las técnicas de volumetría (V), colorimetría (C) y gravimetría (G). La metodología se describe a continuación:

Las dos primeras están basadas en el método de combustión húmeda de Walkley & Black, la cuantificación se basa en una oxidación incompleta del carbono orgánico por una mezcla oxidante de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), acentuada por el calor de dilución acuosa del ácido sulfúrico.

En la técnica “V” el calor desprendido durante la incorporación del ácido sulfúrico, es el que permite la oxidación parcial del C orgánico. En este proceso se produce una reducción del dicromato de potasio, equivalente al contenido de C orgánico que es oxidado. El dicromato de potasio residual es luego titulado con sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

La técnica “C” trata de la formación de una sal compleja que reacciona en presencia del carbono orgánico y desarrolla una coloración verde (formación de complejo ácido crómico). Los reactivos reaccionan con el carbono orgánico en solución para formar complejos de carbono orgánico coloreados que se pasan a través de un detector, donde la cantidad de luz absorbida se mide a una longitud de onda equivalente a las propiedades del color del reactivo utilizado. El carbono orgánico por espectrofotometría ultravioleta visible (Uv/Vis) se cuantifica determinando el color verde del ácido crómico a 590 n. m.

En la técnica “G” la materia orgánica es incinerada a 550°C . La pérdida de peso experimentada por la muestra de suelo durante esta reacción es fácilmente determinada, pesando la muestra antes y después de ser calcinada. Esta pérdida de peso está estrechamente relacionada con el contenido de materia orgánica. En esta técnica se utiliza un pre calentamiento de 105°C para la eliminación de humedad y ser empleado como factor de corrección.

4.5.1. Preparación de soluciones reactivos que se usaron en el método de (Walkley & Black)

- a. Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), 1 N. Con agua destilada se disolvieron 49.035 g de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ grado reactivo (secado a 105°C por 1 h), se llevó a un volumen de 1 L en un matraz volumétrico.
- b. Ácido sulfúrico (H_2SO_4), concentrado.
- c. *o*-fenantrolina-ferrosa, 0.025 M: Con agua destilada se disolvieron 14.85 g de *o*-fenantrolina nonahidratada y 6.95 g de sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Se aforó a 1 L.
- d. Solución de sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), 0.5 N: Con agua destilada se disolvieron 140 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, se agregaron 15 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4), luego de dejar enfriar la solución se diluyó a un volumen de 1 L.

- e. Solución control para la técnica colorimétrica: Solución de glucosa ($C_6H_{12}O_6$). Con agua destilada se disolvieron 0.2719 g de $C_6H_{12}O_6$ y luego fue diluida a un volumen de 50mL.

4.6. Procedimiento para la determinación de materia orgánica por la técnica Volumétrica

Se pesaron 0.5 g de suelo secado a temperatura ambiente, luego se transfirió a un erlenmeyer de 500 ml. Se prepararon dos testigos (blancos). Con el dispensador automático se agregaron 10 ml de solución de dicromato de potasio 1N ($K_2Cr_2O_7$) en un erlenmeyer de 500 ml. Cuidadosamente con un dispensador se agregaron en el erlenmeyer 20 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Se dejó reposar el erlenmeyer durante 30 minutos, pasado este tiempo se agregaron 250 ml de agua destilada para detener la reacción.

En un erlenmeyer con la muestra, se agregaron 4 gotas de indicador O-fenantrolina y se valoró con sulfato de hierro heptahidratado 0.5N ($Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$). Para calcular la normalidad experimental de la solución valorante se realizó titulado el testigo (blancos). El punto final se dio con el paso de un color verde a un rojo ladrillo, la cantidad de sulfato ferroso consumida en la valoración determina la cantidad del analito en la muestra.

Se calculó el % de MO multiplicando el % de CO por el factor de conversión de Van Benmelen equivalente a 1,724. La ecuación utilizada para el % de CO se muestra a continuación:

$$[\%C \cdot O] = \frac{(B - M)N * (0.003)}{Pm} * 100 \quad \text{(Ecu. 14)}$$

Donde:

B: ml de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco.

M: ml de sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra.

Pm: Peso de la muestra (gr)

0.003: Peso meq del C

100: Para convertir en base a 100

1.724: Resulta de dividir 100% entre 58% (se asume que la materia orgánica tiene 58 % de carbono orgánico)

N: Normalidad experimental de la solución ferrosa, esta se obtiene así:

$$N \text{ Sol. Ferrosa} = \frac{\text{ml de dicromato de potasio 1N añadidos}}{\text{ml de solución ferrosa gastados en el blanco}} \quad \text{(Ecu. 15)}$$

4.7. Procedimiento para la determinación de materia orgánica por la técnica colorimétrica

Se pesaron 0.5 g de suelo secado a temperatura ambiente. Este se vertió en un matraz volumétrico de 50 ml, seguidamente se agregaron 5 ml de dicromato de potasio 1N, y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se dejó reposar por 30 minutos. Pasado este tiempo se detuvo la reacción con agua destilada y se llevó hasta la marca de aforo.

En la preparación de estándares para la recta de calibrado se pesaron 0.2719 g de glucosa, disolviéndose con agua destilada en un matraz volumétrico de 50 ml. De esa solución se extrajeron volúmenes conocidos; 0.0, 1.00, 2.00, 3.00, 5.00 y 6.00 ml para preparar las siguientes concentraciones; 0.0, 2.18, 4.55, 6.53, 10.88, 13.05. Seguidamente se le agregaron 5 ml de dicromato de potasio y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado, dejándose reposar por 30 minutos.

Se transfirió la solución del matraz volumétrico a una celda de cuarzo, luego se llevó al equipo detector. Utilizando una computadora, mediante el software Agilent ChemStation” para espectroscopía UV-visible se obtuvieron las lecturas de absorbancia para los estándares.

Seguidamente se tomó la lectura de absorbancia de las muestras, donde la cantidad de luz absorbida se midió a una longitud de onda de 590 n.m equivalente a las propiedades del color del analito. La ecuación utilizada para el %MOS se muestra a continuación:

$$[MO](\%) = \frac{A - I}{P \times m} \times \frac{F_d}{1000} \times 1.333 \times 1.724 \quad (\text{Ecu. 16})$$

Donde:

A: Lectura de Absorbancia

I: Intercepto de la regresión

P: Pendiente de la regresión

m: Masa de la muestra

1.333: Factor de oxidación del Carbono orgánico promedio (75%)

1.724: Factor de conversión a MOS

1000: Para obtener el resultado en porcentaje de MOS

F_d: Factor de dilución de la muestra

$$F_d = \frac{V}{m} = \frac{50ml}{0.5g}$$

4.8. Procedimiento para la determinación de M.O por la técnica gravimétrica

Se realizó porcentaje de humedad a cada muestra pesando un Beakers y 0.5 gramos de suelo, y se colocaron en un horno a 105°C por 16 horas. Pasado este tiempo se retiraron las muestras del horno y fueron colocadas en un desecador para que estas alcanzaran temperatura ambiente.

Una vez calculado el porcentaje de humedad se procedió a iniciar el proceso de incineración de la muestra. Para ello se pesó el recipiente de porcelana vacío (crisol). Seguidamente se trasladaron 0.5 g de las muestras secas al recipiente (crisol + muestra). Los recipientes con las muestras se trasladaron a una mufla a 550 °C durante 8 horas.

Pasado el tiempo de calcinación las muestras + crisol fueron retiradas de la mufla y colocadas a un desecador, a las muestras calcinadas se les añadió una pequeña cantidad de agua destilada para recuperar la posible pérdida de agua estructural (por deshidratación de las arcillas). Seguidamente las muestras fueron secadas en una estufa a 60 °C durante 8 horas, pasado este tiempo se transfirieron a un desecador permitiendo su enfriamiento a temperatura ambiente.

La diferencia de peso de la muestra antes y después de la calcinación permite determinar el contenido en porcentaje de materia orgánica en las muestras de suelo analizadas. La ecuación utilizada para determinar el porcentaje de materia orgánica es la siguiente:

$$LOI_{\%m.o} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} * 100 \quad \text{(Ecu. 17)}$$

Donde:

$LOI_{\%m.o}$ = Pérdida por ignición

P1: Peso de la muestra antes de la calcinación

P2: Peso de la muestra después de la calcinación

4.9. Datos evaluados

4.9.1. Variables

- Materia Orgánica
- Técnica Volumétrica
- Técnica Colorimétrica
- Técnica gravimétrica

4.10. Análisis de los datos

Después de cuantificar el porcentaje de materia orgánica de las muestras de suelo por las tres técnicas analíticas, los datos obtenidos se procesaron mediante hojas de cálculo de Microsoft Office Excel y los programas estadísticos Minitab 18 y InfoStat 2020.

El análisis de datos obtenidos a través de cada técnica analítica para las muestras de suelo se realizó mediante los siguientes contrastes estadísticos;

- a) Pruebas de Normalidad: Mediante la prueba de Anderson-Darling que comparó la función de distribución acumulada empírica de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales. Se tomó la decisión de rechazar o no la Hipótesis nula de que si los datos provienen de una población distribuida normalmente.
- b) Prueba de ANOVA de dos factores: Cuando a los resultados de un experimento le pueden afectar dos factores, se tiene que emplear el análisis de varianza de dos factores para estudiar sus efectos. En este caso, las técnicas con respecto a los diferentes días en que se hacen los análisis del %MOS. Los factores son las técnicas para análisis del %MO (factor A) y los diferentes días en que se realizaron los análisis (factor B), con tres niveles por factor. El nivel de significancia seleccionado con un del 95% de confianza (0.05). Se realizaron pruebas de separación de medias por Tukey para cada factor y la interacción entre estos.
- c) Coeficiente de variación: Para determinar la técnica que demuestre mayor precisión en las determinaciones del %MO

4.11. Materiales y equipos

Los materiales y equipos, además de los reactivos que se utilizaron:

Cuadro 2. Materiales

Materiales	
▪ Matraces volumétricos	▪ Papel filtro
▪ Buretas	▪ Toallas Cleaner
▪ Pipeta volumétrica	▪ Crisoles de porcelana
▪ Beakers	▪ Dispensador
▪ Erlenmeyer	▪ Probeta
▪ Celdas para espectroscopia	▪ Piseta
▪ Guantes para análisis	▪ Bandejas plásticas

Cuadro 3. Equipos

Equipos	
▪ Campana extractora de gases	▪ Balanza analítica
▪ Espectro fotómetro	▪ Laptop
▪ Mufla	▪ Cronómetro
▪ Horno	▪ Impresora
▪ Desecador de vidrio	

Cuadro 4. Reactivos

Reactivos	
▪ Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$)	▪ Sulfato Ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)
▪ Ácido Sulfúrico (H_2SO_4)	▪ Agua destilada
▪ Glucosa ($C_6H_{12}O_6$)	▪ Agua
▪ Orto – Fenantrolina ($C_{11}H_8N_2$)	

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Prueba de normalidad para las técnicas V, C y G en la muestra de El Timal, El Plantel y Los Alpes

Los resultados de la prueba de probabilidad para los porcentajes de materia orgánica obtenidos por las técnicas volumétrica, colorimétrica y gravimétrica en la muestra de El Timal, El Plantel y los Alpes muestran que el conjunto de datos se sitúa cerca de la línea normal ajustada y dentro del intervalo de confianza (ver anexo 16, 17 y 18). Los valores de p (>0.05) por cada técnica en las sub muestras están por encima del nivel de significancia seleccionado de 0.05, este valor sugiere aceptar la Hipótesis nula (H_0) de que no hay suficiente evidencia estadística para decir que los datos no siguen una distribución normal, procediendo a realizar el análisis de varianza (ANOVA).

Cuadro 5. Resultados de la prueba de normalidad para V, C y G en la muestra de El Timal, El Plantel y Los Alpes

El Timal	Día	V- El Timal					C- El Timal					G- El Timal				
		\bar{x}	s	N	AD	p	\bar{x}	s	N	AD	p	\bar{x}	s	N	AD	p
El Timal	1	1.69	0.14	10	0.325	0.457	3.78	0.6779	10	0.609	0.081	11.11	0.6232	10	0.224	0.758
	2	1.72	0.11	10	0.212	0.798	3.86	0.4288	10	2.298	0.52	9.38	0.7027	10	0.18	0.888
	3	1.71	0.12	10	0.238	0.707	3.99	0.4028	10	0.346	0.405	13.92	0.266	10	0.281	0.56

El Plantel	Día	V- El Plantel					C- El Plantel					G- El Plantel				
		\bar{x}	s	N	AD	p	\bar{x}	s	N	AD	p	\bar{x}	s	N	AD	p
El Plantel	1	2.78	0.4861	10	0.477	0.182	3.79	0.5455	10	0.274	0.581	12.62	0.3712	10	0.33	0.444
	2	2.66	0.5143	10	0.448	0.218	3.98	0.4929	10	0.453	0.212	11.88	0.3361	10	0.255	0.646
	3	2.72	0.5307	10	0.332	0.438	3.81	0.7874	10	0.259	0.629	14.76	0.118	10	0.223	0.76

Los Alpes	Día	V- Los Alpes					C- Los Alpes					G- Los Alpes				
		\bar{x}	s	N	AD	p	\bar{x}	s	N	AD	p	\bar{x}	s	N	AD	p
Los Alpes	1	4.77	0.6397	10	0.31	0.497	6.15	0.4389	10	0.331	0.441	12.18	0.8044	10	0.27	0.593
	2	5.30	0.8594	10	0.496	0.162	6.32	0.7096	10	0.128	0.974	12.09	0.3568	10	0.581	0.097
	3	4.55	0.9107	10	0.383	0.326	6.00	0.702	10	0.461	0.201	14.28	0.2623	10	0.269	0.597

Donde:

\bar{x} = Media

S= Desviación estándar

N= Réplicas por día (N=10)

AD= Valor calculado de Anderson-Darling

p= Valor p calculado para un nivel de significancia de 95%

5.2. Prueba de ANOVA de dos factores

5.2.1. Prueba de ANOVA de dos factores para las tres técnicas en la muestra de El Timal, El Plantel y Los Alpes

Se muestran los resultados en el cuadro 6, de las pruebas de ANOVA de dos factores para la muestra de El Timal, El Plantel y Los Alpes. Donde se compararon las medias de los factores Técnicas y Días. En estas pruebas el valor p (< 0.0001) calculado para las técnicas está por debajo del nivel de significancia seleccionado de 0.05, este valor revela rechazar la hipótesis nula (H_0) la cual dicta que no existen diferencias significativas en las determinaciones del %MO. Así mismo con un valor de p (< 0.0001) se muestra una diferencia entre los días en que se realizaron los análisis (Ver en anexos 19, 20 y 21).

Cuadro 6. Prueba de hipótesis para las medias de V, C y G en la muestra de El Timal, El Plantel y Los Alpes

ANOVA (Dos factores)						
	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	P
El Timal	Técnicas	157.19	2	788.60	3931.58	<0.0001
	Día	37.35	2	18.68	93.11	<0.0001
	Técnicas * Día	67.77	4	16.94	74.60	<0.0001
El Plantel	Técnicas	1938.26	2	969.13	3954.16	<0.0001
	Día	13.90	2	6.95	28.36	<0.0001
	Técnicas *Día	31.14	4	7.79	31.77	<0.0001
Los Alpes	Técnicas	1100.58	2	550.29	1235.74	<0.0001
	Día	5.16	2	2.58	5.79	0.0045
	Técnicas * Día	29.06	4	7.27	16.29	<0.0001

En las tres pruebas de ANOVA la interacción ha dado significativa ($p < 0.0001$), esto dicta que un factor afecta al otro, por lo que se considera que hay un efecto relevante en cuanto a la fecha en que se realizaron los análisis, debido a que el factor día supone un factor incontrolado ya que produce una variación incontrolada causada por los cambios de temperatura del laboratorio, presión, etc. Y por ligeras diferencias en la concentración de las soluciones.

Como la interacción entre los factores técnicas y días resultó significativa ($p < 0.001$) se realizó la comparación por parejas de Tukey, obteniendo resultados de la comparación de las técnicas por cada día en que se realizaron los análisis para la determinación del %MO.

Las comparaciones por parejas realizadas por Tukey a un nivel de significancia del 95%, para $N=30$, para la muestra de El Timal, El Plantel y Los Alpes, con un 95% de confianza agrupa las medias de las técnicas en tres categorías estadísticamente diferentes, mostrando que las técnicas V, C y G tienen diferencias significativas. Así mismo, para la muestra de El Timal y Los Alpes se agrupan las medias para los días en tres categorías diferentes, mostrando de forma general que las determinaciones en los diferentes días difieren significativamente. Para la muestra de El Plantel se agrupan las medias para los días en dos categorías diferentes, mostrando que las determinaciones del día tres difieren de los días uno y dos (Ver Anexo 22).

A continuación, en las figuras 4, 5 y 6 se muestra un resumen de los resultados resumidos de las categorías de la comparación para la interacción realizado con el programa estadístico InfoStat, para la muestra de El Timal, El Plantel y Los Alpes.

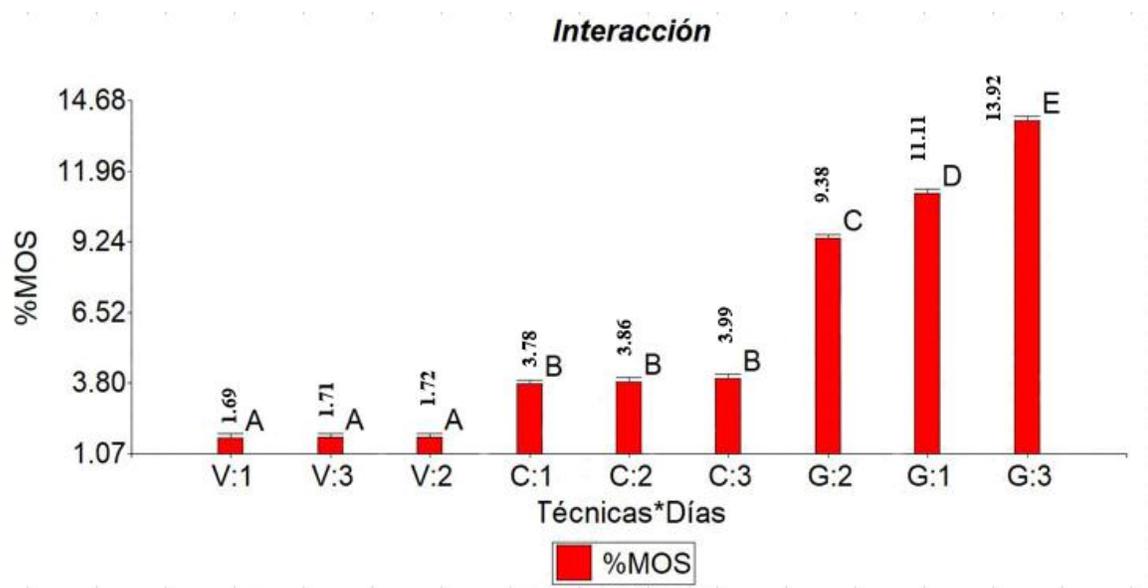


Figura 4. Separación de medias por Tukey para la interacción en la muestra de El Timal

Salida de InfoStat 2020

En la muestra de El Timal, la comparación por parejas de Tukey con un 95% de significancia, para n=10, agrupa las medias de las técnicas en cinco categorías diferentes. Obteniéndose que existen diferencias entre las medias de la técnica V, C y G. La determinación del %MO para V y C no varió en los tres días, al contrario de G que tuvo variación en los tres días.

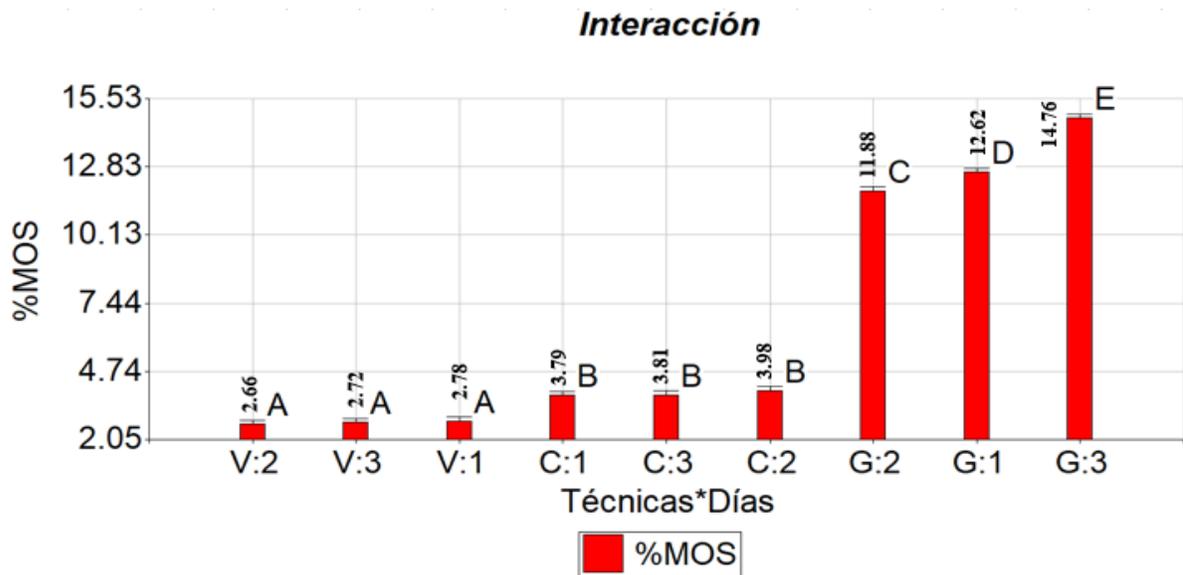


Figura 5. Separación de medias por Tukey para la muestra de El Plantel

Salida de InfoStat 2020

En la muestra de El Plantel, la comparación por parejas de Tukey con un 95% de significancia, para n=10, agrupa las medias de las técnicas en cinco categorías. Obteniéndose que existen diferencias entre las medias de la técnica V, C y G. La determinación del %MO para V y C no varió en los tres días, al contrario de G que tuvo variación en el tercer día.

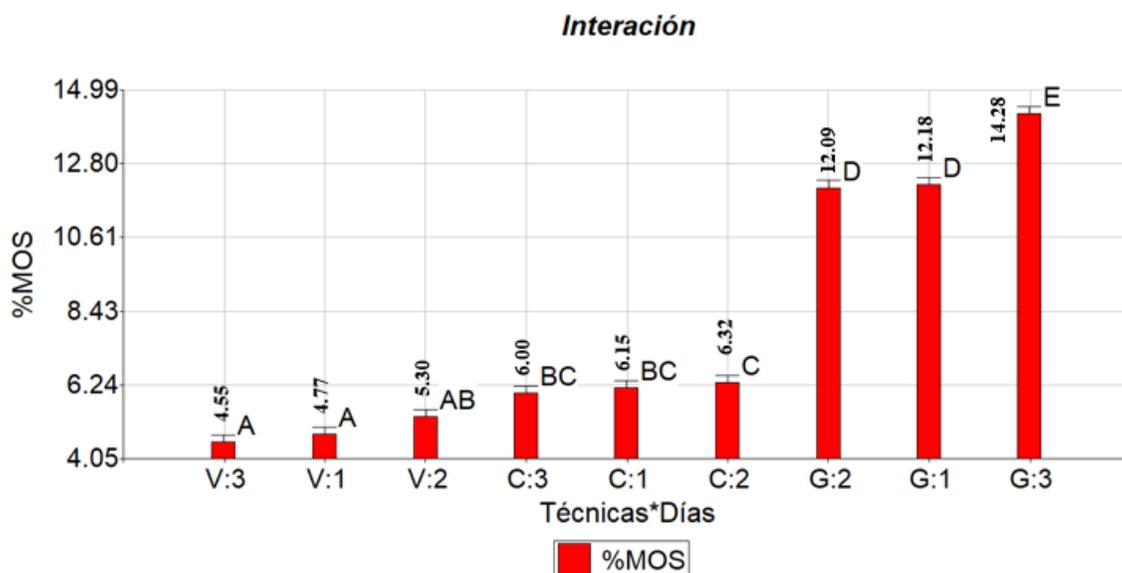


Figura 6. Separación de medias por Tukey para la muestra de Los Alpes

Salida de InfoStat 2020

En la muestra de Los Alpes, la comparación por parejas de Tukey con un 95% de significancia, para $n=10$, agrupa las medias de las técnicas en seis categorías. Obteniéndose que existen diferencias entre las medias de la técnica V, C y G. La determinación del %MO para V y C varió en el segundo día, al contrario de G que tuvo variación en el tercer día.

5.3. Precisión de las técnicas

En el cuadro 8 se muestran los resultados promedios del %MO y los coeficientes de variación para las técnicas V, C y G en la muestra de El Timal, El Plantel y Los Alpes.

Cuadro 7. Resultados del %MOS promedio y coeficientes de variación encontrados en las diferentes muestras de suelo

	Técnica volumétrica (V)		Técnica colorimétrica (C)		Técnica gravimétrica (G)	
	%MOS	%CV	%MOS	%CV	%MOS	%CV
El Timal	1.71	7.04	3.88	13.09	11.47	17.24
El Plantel	2.72	18.22	3.86	15.71	13.08	9.74
Los Alpes	4.87	17.38	6.16	10.10	12.85	8.94

Con el fin de evaluar la precisión de las técnicas se hizo su análisis estadístico mediante sus coeficientes de variación. Se observó que, al comparar las técnicas, en todas las muestras de suelo son mayores los contenidos %MO obtenidos por la técnica G que V y C.

Las medias obtenidas por las técnicas V y C fueron similares a los reportados por (Alemán Vásquez y Guido Paniagua, 2016) que compararon las técnicas V y C, para determinar Carbono orgánico en suelo, los cuales, para la muestra de El Plantel donde obtuvieron una media de 13.95 g/kg CO (2.41 %MO) con la técnica V, y 15.84 g.kg CO (3.64 %MO) con la técnica C.

Para la muestra de El Timal, el coeficiente de variación fue menor en la técnica V, esto revela que tiene mayor precisión en comparación con la técnica C y G. Caso contrario en la muestra de El Plantel y Los Alpes donde G resulta la de mayor precisión. Sin embargo, los %MO obtenidos por G son considerablemente mayores comparados con V y C, esto debido posiblemente a que toda la MO es calcinada (materia orgánica total), y a reacciones no relacionadas con MO como por ejemplo interferencias de carbonatos, agua higroscópica presente en las arcillas, debido a lo anterior la técnica gravimétrica no es adecuada para análisis de rutina en el laboratorio.

VI. CONCLUSIONES

En promedio se obtuvieron valores más altos de porcentajes de materia orgánica del suelo por la técnica gravimétrica que en la valoración por volumétrica y colorimétrica.

La prueba de ANOVA revela que existen diferencias estadísticamente significativas en las determinaciones del %MOS relacionando los factores días y técnicas. Las determinaciones por la técnica gravimétrica mostraron diferencia considerable en cuanto a los días, posiblemente a una variación de temperatura que pudiese presentar la mufla al momento de la calcinación.

La técnica gravimétrica presentó menores coeficientes de variación, sin embargo, esta determina %MOS muy elevados de 7.2 a 10.36 % mayor en relación a la volumétrica y colorimétrica. Entre la técnica volumétrica y colorimétrica, se obtuvieron coeficientes de variación menores con colorimétrica.

VII. RECOMENDACIONES

Para determinar el porcentaje de materia orgánica del suelo, la técnica volumétrica (V) y colorimétrica (C), se pueden utilizar ya que la diferencia en cuanto al día en que se realizaron las determinaciones, según resultados del análisis estadístico es aceptable. Destacando la técnica colorimétrica por presentar mayor precisión y reducción en el uso de reactivos.

Realizar un estudio para determinar %MOS con las tres técnicas (volumétrica, colorimétrica y gravimétrica), donde se tomen en cuenta aumentar el número de muestra (mayor de $n=30$) para realizar un análisis estadístico completo.

Realizar más estudios utilizando la técnica gravimétrica (G), tomando en cuenta aquellos factores que influyen en los resultados del %MOS, y en base a ello generar un factor de corrección para ajustar los %MOS.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acidos humicos*. (2020). Recuperado el 2020, de <https://www.acidoshumicos.com/la-leonardita/>
- Acuña, E., Rodríguez, I., & Wielemaker, W. G. (1992). *Estudio del Uso de la Tierra, Suelos y Paisajes de Nueva Guinea, Nicaragua*. Turrialba: CATIE, UAW y MAG.
- Alemán Vásquez, I., & Guido Paniagua, F. (2016). *Comparación de dos Técnicas para la determinación de carbono orgánico del suelo, en el LAFQA Departamento de Química, UNAN MANAGUA, Septiembre-diciembre, 2015*.
- Arenas Sosa, I., & López Sánchez, J. L. (2004). *Espectrofotometría de absorción*. Cuernavaca: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 12 de Julio de 2020, de http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/met/espectrometria_de_absorcion.pdf
- Averill, M., & W, D. (1991). *Simulation Modeling & Analisis* (Segunda ed.).
- Biología de Suelos*. (s.f.). Recuperado el Marzo de 2020, de <https://biologiadesuelos2014.wordpress.com/humus/>
- Carreira, D. A., & Ostinelli, M. M. (2010). *Carbono Orgánico del Suelo por Wlkley y Black-Evaluación de Dos Escalas de Trabajo*. Argentina: INTA. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-cox_microescala.pdf?fbclid=IwAR2b9w7Tsm_kC1SNV_1k1VALbA_Z1U-hvxwPy3928NIVAcT2v3pVHuy8qoA
- Casanova Olivo, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. Caracas: L + N XXI Diseños, C.A.
- Clasificación del suelo:WRS y Soil Taxonomy. (2017). *INTAGRI*, 5.
- Claves para la taxonomía de suelos* (Décima segunda edición ed.). (2014). Obtenido de USDA Departamento de Agricultura de los Estados Unidos: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
- Definición.de*. (s.f.). Recuperado el Marzo de 2020, de <https://definicion.de/hidratos-de-carbono/>
- Descomposición de la materia orgánica. (s.f.). *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*. Recuperado el 2020, de <http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/archivos/file00003984>
- EcuRed*. (s.f.). Recuperado el Marzo de 2020, de <https://www.ecured.cu/Turba>
- Edafología 1* (Primera edición ed.). (2011). Caldas, Colombia.
- Eyherabide, M., Saínz Rozas, H., Barbieri, P., & Echeverría, H. E. (2014). *Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo*. Asociación Argentina Ciencia del Suelo (AACS). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/276917420_COMPARACION_DE_METODOS_PARA_DETERMINAR_CARBONO_ORGANICO_EN_SUELO
- Factores que influyen en la descomposición de la Materia orgánica. (15 de Marzo de 2015). *GARANFRUIT*. Obtenido de http://www.garanfruit.com/garanfruit/2015/03/16/factores_que_influyen_descomposicion_materiaorganica?AspxAutoDetectCookieSupport=1

- FAO. (2000). Manual sobre manejo integrado del suelo y prácticas de conservación.
- García Galvis, J., & Ballesteros González, M. I. (2005). *EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS*. Bogotá, Colombia: Revista Colombiana de Química. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042005000200009&fbclid=IwAR2rK8ZesPna1HKFmnFvpEFODIUNA8ActI-0Ll83rAMMG8kKFpvmV5kmPVY
- Gary D, C. (2009). *Química Analítica* (Sexta ed.). McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Ibáñez, J. J. (8 de Febrero de 2006). *Madrimasd*. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/02/08/13137>
- InfoStat 2020*. (2020). Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Obtenido de <http://www.infostat.com.ar>
- Jaimés Martínez, L. (2005). Estandarización y validación de algunos parámetros físico-químicos en suelos para uso agrícola. 15-16. Obtenido de <http://www.tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2005/118490.pd>
- Juárez Sanz, M., Sánchez Andreu, J., & Sánchez Sánchez, A. (2006). *Química del suelo y medio ambiente*. Alicante, España.
- Julca Otiniano, A., Meneses Florián, L., Blas Sevillano, R., & Bello Amez, S. (Abril de 2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *IDESIA*, 49-61. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Lechón Simbaña, M. J. (2015). *Determinación de la variabilidad en el grado de fertilidad de los suelos en cinco barrios de Tumbaco, Pichincha*. Repositorio Digital - UCE, DSPACE. Obtenido de DSPACE: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4554>
- Lefevre, C., Rekik, F., Alcantara, V., & Wiese, L. (2017). *Carbono Orgánico del suelo, el potencial oculto*. (L. Wiese, V. Alcantara, R. Baritz, & R. Vargas, Edits.) Italia, Roma. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura: <http://www.fao.org/3/i6937es/I6937ES.pdf>
- Mapa de suelos de la república de Nicaragua. (Septiembre de 2015). Managua, Nicaragua.
- Meléndez, G., & Soto, G. (Edits.). (Marzo de 2003). Taller de abonos orgánicos. CIA. Costa Rica. Obtenido de Centro de Investigaciones Agronómicas: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Orgánicos.pdf>
- Minitab 18*. (2018). State College, PA: Minitab, Inc. (www.minitab.com).
- Navarro García, G., & Navarro García, S. (2013). *Química Agrícola - Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. Madrid, España.

- Pensamiento de sistemas. (Marzo de 2013). *Definiendo el alcance de una investigación: exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa*. Obtenido de <https://pensamientodesistemasaplicado.blogspot.com/2013/03/definiendo-el-alcance-de-una.html>
- Pérez García, C. A., López Blanco, J., & Vela Correa, G. (2007). *Influencia del Relieve en las Propiedades de un Suelo Afectado por Incendio en el Volcán de El Pelado, Centro de México*. México: SCIELO. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200002#:~:text=Aguirre%20y%20Rey%20\(1980\)%20indican,contenido%20de%20humedad%20y%20el](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200002#:~:text=Aguirre%20y%20Rey%20(1980)%20indican,contenido%20de%20humedad%20y%20el)
- Piñero, S. (2012). *Aplicación de lignitos nacionales para el mejoramiento de suelos agrícolas: Estudios en microcosmos*. Obtenido de <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/800/spinero.pdf?sequence=4>
- Piura López, J. (2008). *Metodología de la Investigación Científica/Un enfoque integrador*. Managua, Nicaragua.
- QUÍMICA.ES. (s.f.). Recuperado el Marzo de 2020, de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Analito.html>
- Quiroga, A., & Furano, D. (2004). *Materia orgánica: Factores que condicionan su utilización como indicador de calidad en Molisoles, de las regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana*.
- Reynosa Correa, C. M., & Díaz Mena, F. M. (2016). *Estado de los suelos y capacidad de uso de la tierra en la finca El Cacao, La Fonseca –Kukra Hill*. Managua. Obtenido de Estado de los suelos y capacidad de uso de la tierra en la finca El Cacao, La Fonseca –Kukra Hill
- Riaño Cabrera, N. (2007). *Fundamentos de química analítica básica, análisis cuantitativo* (Segunda ed.). Colombia: Universidad de Caldas.
- Rocha, P. (Abril de 2015). Edafología (III): Nomenclatura ABC del suelo. *Ciencia y biología*. Obtenido de <https://cienciaybiologia.com/edafologia-iii-nomenclatura-abc-del-suelo/>
- Ruíz Balladares, S. S. (2016). Efecto de diferentes usos del suelo sobre la materia orgánica en la microcuenca La Danta, Somotillo, 2016. *Repositorio UNA*. Obtenido de <http://repositorio.una.edu.ni/3520/1/tnp33r934.pdf>
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2005). *Química Analítica*. México: Thomson Editores.
- Vargas Fiallo, L. Y., & Camargo Hernández, J. H. (2012). *Manual 4: Prácticas de laboratorio de análisis químico I*. Universidad Industrial de Santander. Obtenido de http://matematicas.uis.edu.co/9simposio/sites/default/files/V00Man04AnalQcoI-MFOQ-AQ.01_14122012.pdf

IX. ANEXOS

Anexo 1. Origen y formación del suelo

El punto de partida en la formación del suelo lo constituye las rocas situadas en la superficie terrestre (en su mayoría rocas ígneas y sedimentarias), las cuales, con el tiempo, y a través de un conjunto de procesos que se engloban en el término “meteorización”, son desintegradas y alteradas por acción de diversos agentes de naturaleza física, química y biológica (Navarro García & Navarro García, 2013).

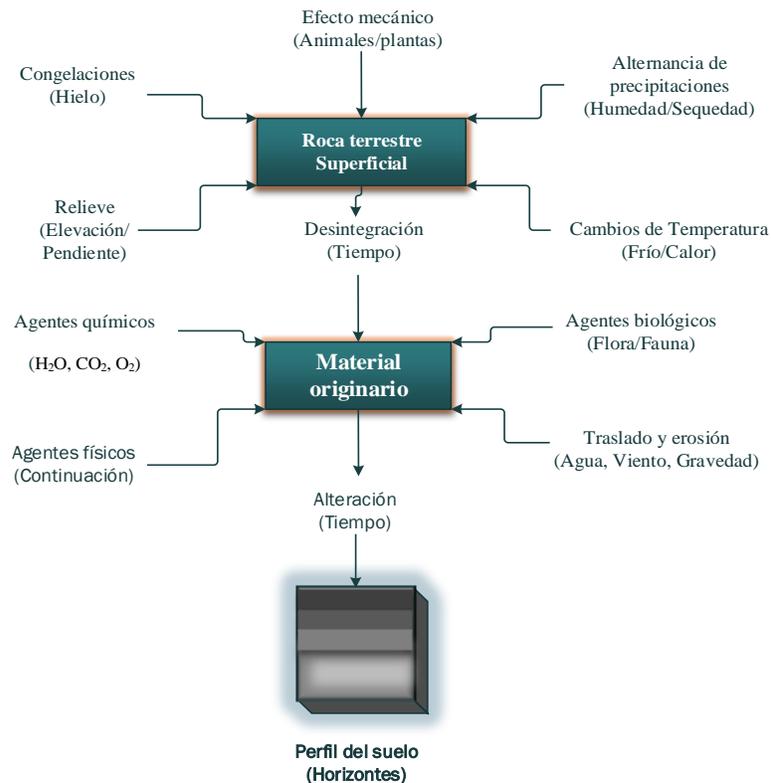


Figura 7. Factores influyentes en el origen y formación del suelo

Modificado de (Navarro García & Navarro García, 2013)

Anexo 2. Perfil del suelo

El perfil del suelo se considera como la exposición vertical de una proporción superficial de la corteza terrestre que incluye todas las capas u horizontes que han sido alteradas durante el periodo de su formación, junto con las más profundas que influyeron en su génesis. Básicamente, y sin profundizar en el aspecto puramente edafológico (subhorizontes y sistemas de nomenclatura), el perfil de un suelo comprende tres horizontes principales designados por las letras A, B Y C (Navarro García & Navarro García, 2013).

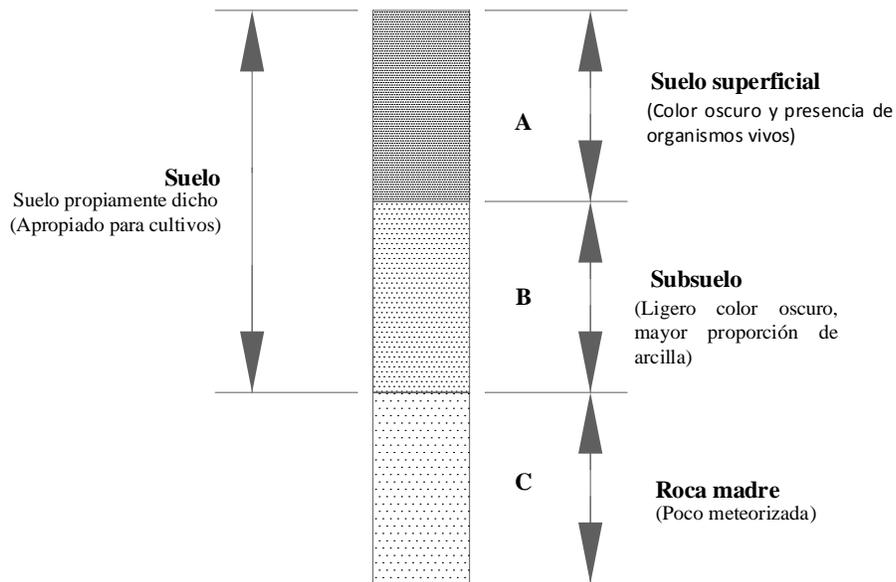


Figura 8. Esquema de un perfil típico de suelo

Modificado de (Navarro García & Navarro García, 2013)

Anexo 3. Ordenes de suelo de Nicaragua

En Nicaragua hay una gran variedad de suelos distribuidos en función de la geología, el clima, el relieve, con distintos estados de desarrollo. Estos se clasifican con diferentes sistemas, siendo los más utilizados los creados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (USDA.NRSC) llamada Soil Taxonomy (SSS; 1975) y la Word Reference Base (WRB) creada por la FAO como mapa de Suelos del Mundo (FAO-UNESCO, 1971-1981).

Los suelos de Nicaragua se han clasificado en 9 órdenes principales, dependiendo del origen. También se clasificaron en sub grupos taxonómicos, que combinan suelos y los diferentes elementos climáticos, lo que sirve para definir el uso potencial del mismo en la planificación agropecuaria (Zúñiga, 2012), Citado por (Reynosa Correa & Díaz Mena, 2016).

Cuadro 8. Descripción de los 9 órdenes de suelo de Nicaragua

Modificado de (*Mapa de suelos de la república de Nicaragua, 2015*)

Orden de suelo	Descripción	Visualización
ENTISOLS	Presentan escasa o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes porque se encuentran en un estado inicial de formación. Generalmente son muy superficiales. Ocupan cerca del 13.18% a nivel nacional.	
ANDISOLS	Suelos porosos con alta capacidad de infiltrar agua al manto acuífero. Se originan a partir de descomposición de cenizas volcánicas (tefras). Son altamente productivos por su fertilidad, aunque retienen el fósforo. Ocupan cerca del 2.75% a nivel nacional.	
INCEPTISOLS	Suelo joven o de poco desarrollo. En su perfil se empieza a acumular arcillas y materia orgánica. No presenta óxidos de hierro y/o aluminio. Ocupan cerca del 4.82% a nivel nacional.	

(Cuadro 9. Continuación...)

Orden de suelo	Descripción	Visualización
MOLLISOLS	<p>Típicos en pastizales. Presentan un horizonte superficial fértil de al menos 2.5 centímetros de espesor, con color pardo oscuro o negro.</p> <p>Suelos enriquecidos por los altos contenidos de materia orgánica. Tienen alta fertilidad natural. Ocupan cerca del 12.64 % a nivel nacional.</p>	
ALFISOLS	<p>Suelos maduros o bien desarrollados con un horizonte superficial claro u oscuro (menos de 2.5 cm de espesor) y un subsuelo formado por la lenta acumulación de arcilla.</p> <p>Son suelos de fertilidad media a baja. Pueden presentar pH ligeramente ácido a muy ácido. Ocupan cerca del 16.37 % a nivel nacional.</p>	
ULTISOLS	<p>Suelos en estado senil, la última etapa de degradación de sus propiedades químicas por efecto de las lluvias y el paso del tiempo.</p> <p>Estos suelos son unos de los órdenes más abundantes en el país, ocupan más del 33% a nivel nacional, principalmente en la zona d la costa caribe, norte de los departamentos Matagalpa, Jinotega y Nueva Segovia.</p>	
OXISOLS	<p>Suelos de trópico húmedo y subhúmedo. Tienen comúnmente un color rojizo o amarillento debido a las altas concentraciones de óxido de hierro o aluminio respectivamente.</p> <p>Tienen una capacidad de intercambio de cationes menor de 16 cmol o menor por kg de arcilla, esto los hace tener una fertilidad natural sumamente baja y pH extremadamente ácidos. Ocupan cerca del 0.5 a nivel nacional.</p>	
VERTISOLS	<p>Suelo arcilloso (Sonsocuite) de color gris o negro, que se contrae y forma grietas cuando está seco y se expande y encharca al humedecerse.</p> <p>Estos suelos constituyen un orden de suelos importante para el país, ya que muchos de ellos están distribuidos en clima del trópico seco y sub húmedo. Ocupan cerca del 4.33 % a nivel nacional.</p> <p>Estos pueden contener altos contenidos de materia orgánica.</p>	
HISTOSOLS	<p>Suelo con elevado contenido de materia orgánica en descomposición procedente de juncos, pastos, hojas, plantas acuáticas y madera. Se encuentran en zonas bajas, planas mal drenadas como bosques inundados, pantanos y turberas. Ocupan cerca del 0.15 % a nivel nacional.</p>	

Anexo 4. Técnicas analíticas para la determinación del %MO

Se muestran tres técnicas para el análisis de la materia orgánica en el suelo, mencionándose sus ventajas y desventajas. Compilado de Lorenz y Lal, 2016; Secretaría AMS y GTIS, 2016; Pallasser, 2013; Chatterjee et al., 2009. Por (Lefevre, Rekik, Alcantara, & Wiese, 2017)

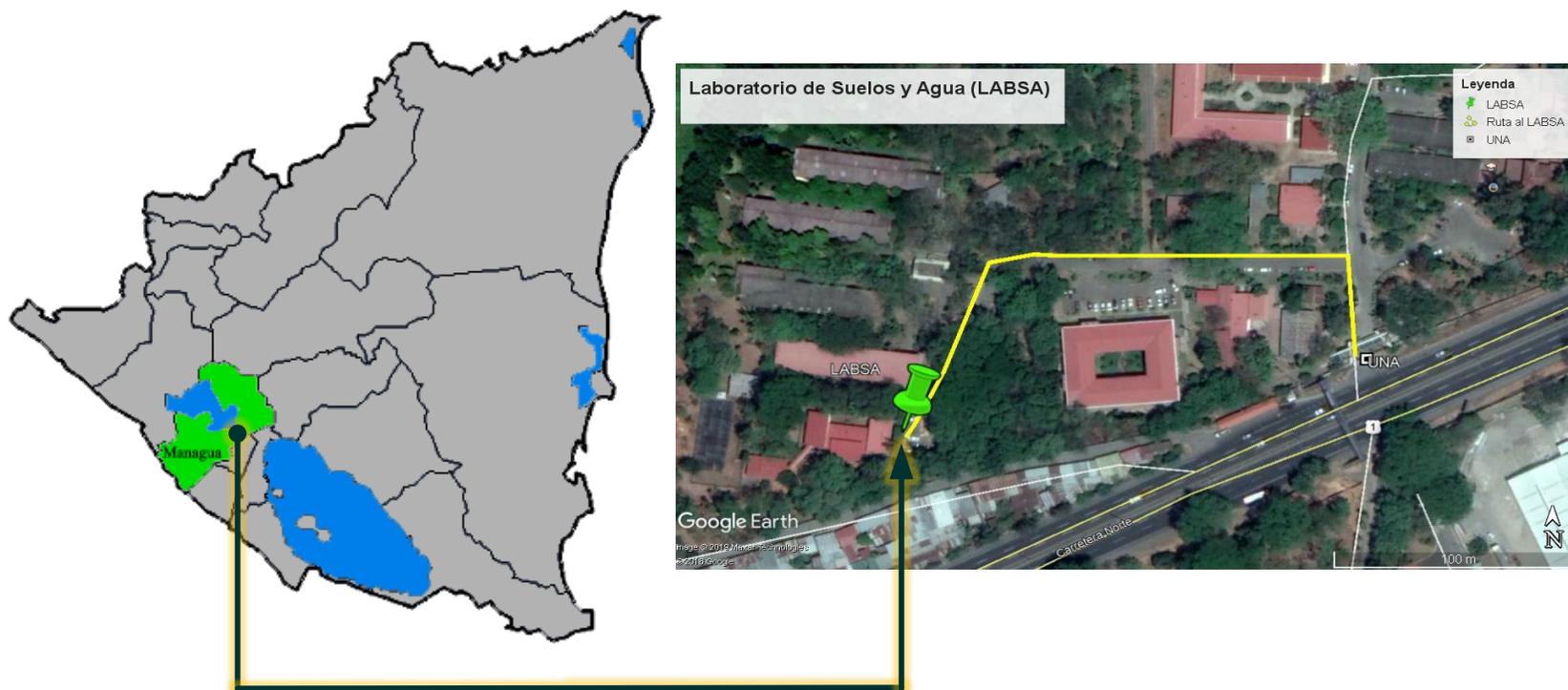
Método	Nombre	Ventajas	Inconvenientes
Analítico	Combustión Seca	<p>Perdida por calcinación (LOI)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ampliamente utilizado ▪ Método fácil de aplicar ▪ Barato 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No es fiable debido a reacciones no relacionadas con MO (por ejemplo, interferencia de carbonatos o agua entre celdas) ▪ Sobrevalora el contenido de materia orgánica (probable que ocurra para óxidos y carbonatos debido a las altas temperaturas) ▪ COS obtenido de la MOS con un factor de conversión (0.58) que se sabe que es incorrecto para capas orgánicas
	Combustión Húmeda	<p>Walkey & Black</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ampliamente utilizado ▪ Barato ▪ Evaluación aproximada rápida ▪ Se dirige selectivamente a piscinas de MO ▪ Poca interferencia de los carbonatos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Destructivo ▪ Oxidación incompleta: factor de corrección necesario ▪ Tiende a subestimar el COS ▪ Interferencia con cloruros y óxidos de Mn²⁺ y Fe²⁺ ▪ Requiere químicos nocivos

(Anexo 4. Continuación...)

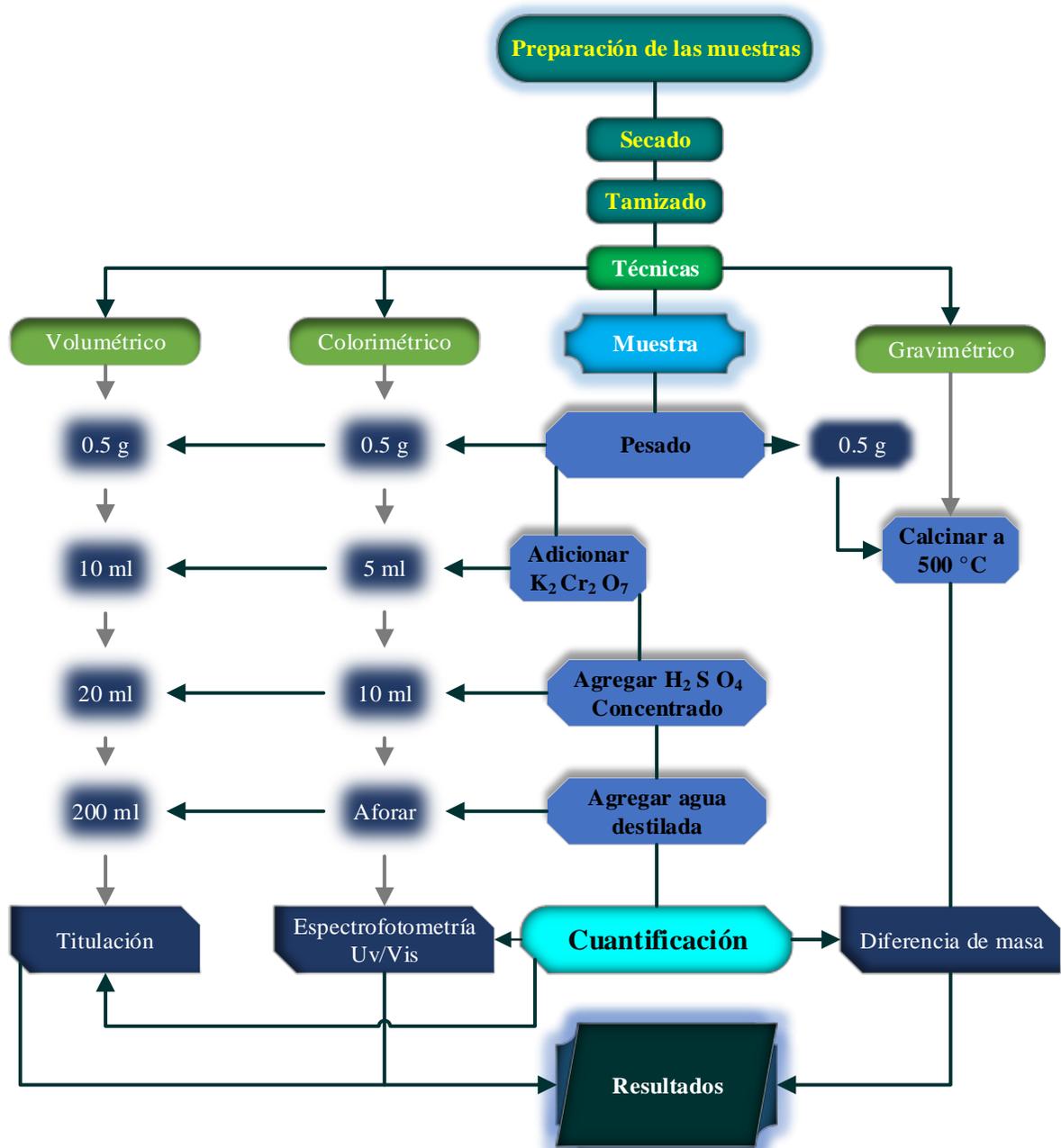
Método	Nombre	Ventajas	Inconvenientes
Espectroscopia	Espectroscopia de absorbanza o reflectancia infrarroja: Espectroscopia visible e infrarrojo cercano (Vis-NIR) e infrarrojo medio (MIR).	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Preciso y exacto (menos preciso en la región visible) ▪ Rápido ▪ Rentable ▪ No-destructivo ▪ Uso en laboratorio o en campo ▪ Alta capacidad de procesamiento ▪ Potencial para teledetección ▪ Permite una alta densidad de muestreo ▪ Potente técnica de análisis 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necesidad continua de calibración a un número relativamente grande de muestras necesarias ▪ La humedad del suelo puede limitar la precisión ▪ Necesidad de datos de laboratorio de referencia apropiados, correctos y concordantes ▪ Incapacidad de tratar directamente con interferencias de componentes distintos a COS en muestras de origen desconocido ▪ Análisis quimiométrico necesario

Anexo 5. Ubicación del sitio de estudio

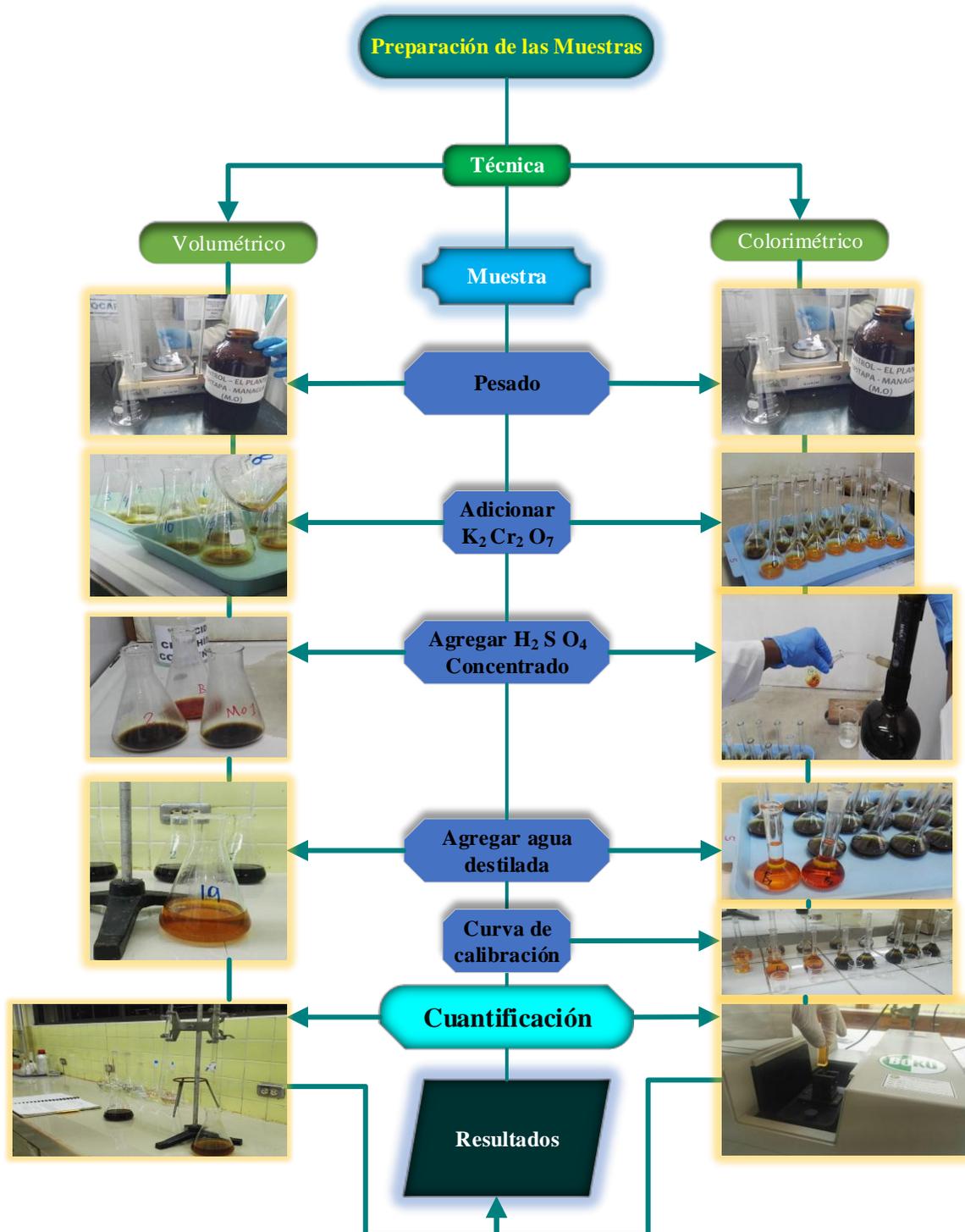
El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de suelos y agua (LABSA) perteneciente a la Universidad Nacional Agraria (UNA - Managua), con las coordenadas: 12°8'49" Latitud Norte y 86°09'49.37" Longitud Oeste, en el periodo comprendido de enero - marzo 2020.



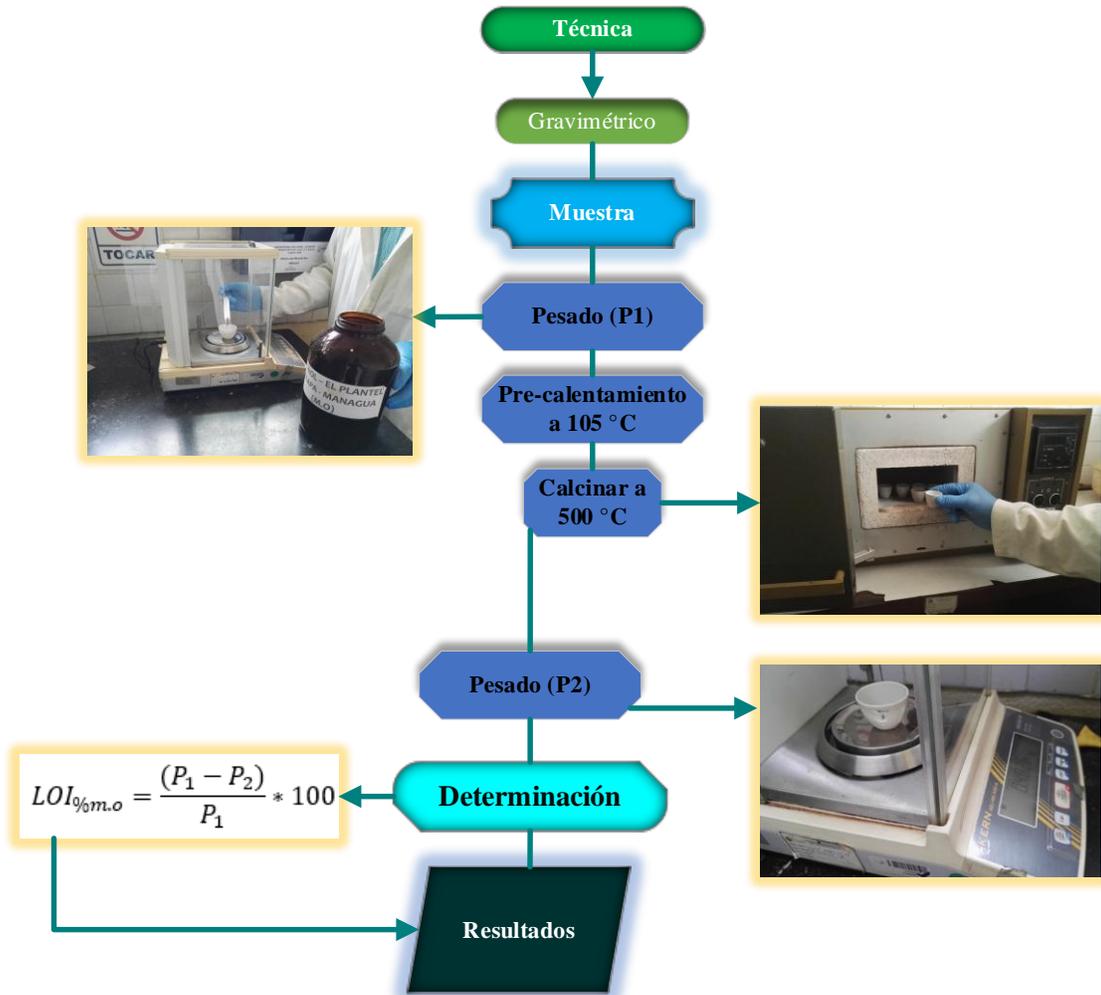
Anexo 6. Flujo grama de los procedimientos de las técnicas analíticas para la determinación del %MO



Anexo 7. Ilustración del análisis con la técnica volumétrica y colorimétrica



Anexo 8. Ilustración del análisis con la técnica gravimétrica



Anexo 9. Solución estándar de glucosa 2.1753 mg C/ml

Glucosa (C ₆ H ₁₂ O ₆)				
Elemento	Número de Átomos	Masa Atómica u.m.a	Masa Atómica u.m.a	Masa Atómica en mg
C	6	12.0096	72.0576	72057.6
H	12	1.0079	12.0948	12094.8
O	6	15.9994	95.9964	95996.4
Masa Molecular			180.1488	180148.8

$$m_{Glucosa} = \frac{2.1753 \text{ mg C}}{1 \text{ ml}} * \frac{180.1484 \text{ g Glucosa}}{1 \text{ mmol Glucosa}} * \frac{1 \text{ mmol Glucosa}}{72057.6 \text{ mg C}} * 50 \text{ ml} \quad (\text{Ecu. 18})$$

$$m_{Glucosa} = 0.2719 \text{ mg C}$$

Para calcular los mg de carbono que tiene una concentración de 2.1753 mg de C/ml se multiplica por 50 ml, el cual es el volumen que pertenece al matraz aforado en la cual se prepara la solución, esto permite obtener la masa de carbono que hay en la solución, este procedimiento se realizó para toda las concentraciones de los estándares para obtener la cantidad de carbono en miligramos (mg), esto con el objetivo de graficar la absorbancia con la masa de carbón calculada y no con la concentración, así se obtiene los resultados en unidades de medida de mg C/g lo cual equivale a g/kg C. (1 mg/g=1g/kg)

$$m_{Carbono} = \frac{2.1753 \text{ mg C}}{\text{ml}} * 50 \text{ ml}$$

$$m_{Carbono} = 108.765 \text{ mg C}$$

Anexo 10. Volúmenes de las alícuotas tomadas de la solución estándar de glucosa

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$v_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1} \quad \text{(Ecu. 19)}$$

0.087004 (2ml),

$$v_1 = \frac{(0.00 \text{ mg C/ml}) * (50 \text{ ml})}{(2.1753 \text{ ml C/ml})} = 0 \text{ ml} \quad \text{STD (1)}$$

$$v_2 = \frac{(0.043502 \text{ mg C/ml}) * (50 \text{ ml})}{(2.1753 \text{ mg C/ml})} = 1 \text{ ml} \quad \text{STD (2)}$$

$$v_3 = \frac{(0.087004 \text{ mg C/ml}) * (50 \text{ ml})}{(2.1753 \text{ ml C/ml})} = 2 \text{ ml} \quad \text{STD (3)}$$

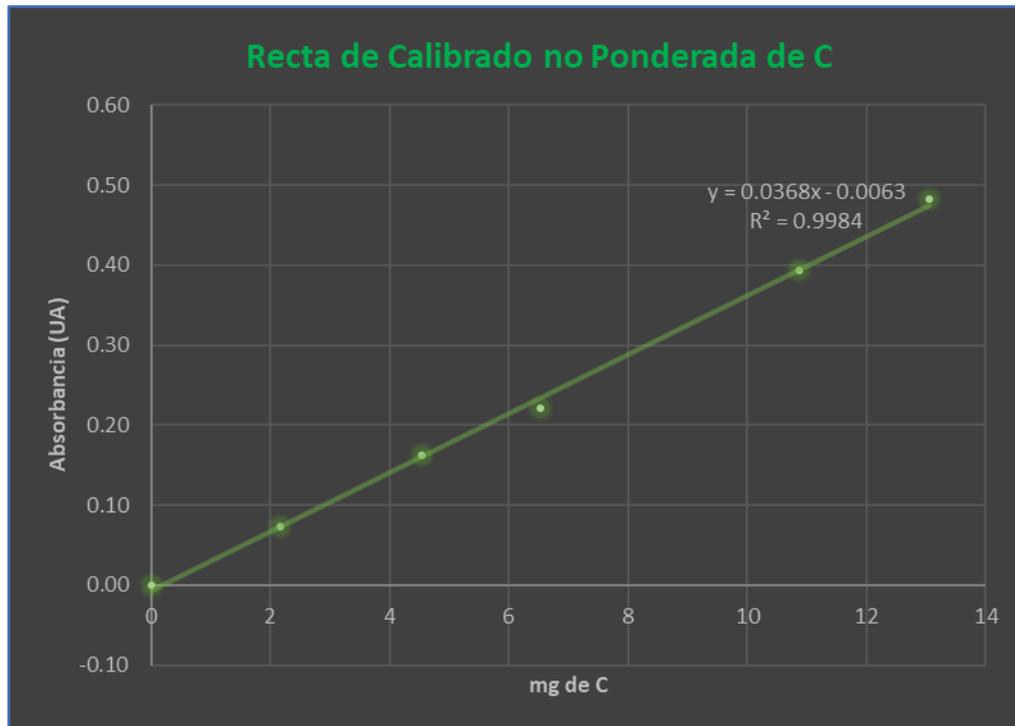
$$v_4 = \frac{(0.130506 \text{ mg C/ml}) * (50 \text{ ml})}{(2.1753 \text{ mg C/ml})} = 3 \text{ ml} \quad \text{STD (4)}$$

$$v_5 = \frac{(0.217510 \text{ mg C/ml}) * (50 \text{ ml})}{(2.1753 \text{ mg C/ml})} = 5 \text{ ml} \quad \text{STD (5)}$$

$$v_6 = \frac{(0.261012 \text{ mg C/ml}) * (50 \text{ ml})}{(2.1753 \text{ mg C/ml})} = 6 \text{ ml} \quad \text{STD (6)}$$

Anexo 11. Curva de calibración a partir de estándares externos de concentración conocida

Recta de calibrado no ponderada, en análisis colorimétrico



Para realizar la curva de calibración del método se grafica la absorbancia contra los miligramos de carbono (mg C) y no la concentración, esto con el fin de que los datos que proporcione la curva, sean en unidades de medida de mg C /g, la cual a su vez es igual a g/kg C, debido a que un miligramo de carbono por gramo de suelo es igual a un gramo de carbono por kilogramo de suelo.

Anexo 12. Valores críticos para la prueba de Anderson-Darling

Case	Adjusted test statistic	$1 - \alpha$			
		0.900	0.950	0.975	0.990
All parameters known	A_n^2 for $n \geq 5$	1.933	2.492	3.070	3.857
$N(\bar{X}(n), S^2(n))$	$\left(1 + \frac{4}{n} - \frac{25}{n^2}\right) A_n^2$	0.632	0.751	0.870	1.029
$\text{Expo}(\bar{X}(n))$	$\left(1 + \frac{0.6}{n}\right) A_n^2$	1.070	1.326	1.587	1.943
$\text{Weibull}(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$	$\left(1 + \frac{0.2}{\sqrt{n}}\right) A_n^2$	0.637	0.757	0.877	1.038
$\text{Log-logistic}(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$	$\left(1 + \frac{0.25}{\sqrt{n}}\right) A_n^2$	0.563	0.660	0.769	0.906

Obtenido de (Averill & W, 1991)

Anexo 13. Resultados de la determinación del %MO por las técnicas V, C y G en la muestra de El Timal

Cuadro 9. Resultados de las determinaciones del %MO en la muestra de El Timal

Día	n	V	C	G
1	1	1.74	4.51	11.11
	2	1.89	3.36	12.39
	3	1.84	3.35	11.39
	4	1.79	3.77	11.12
	5	1.74	3.46	10.70
	6	1.74	4.19	10.55
	7	1.60	3.05	10.17
	8	1.59	3.57	11.18
	9	1.55	5.26	10.85
	10	1.45	3.31	11.69
Promedio		1.69	3.78	11.11
2	11	1.65	3.40	10.55
	12	1.50	4.29	9.16
	13	1.65	3.25	9.03
	14	1.84	4.44	8.36
	15	1.79	3.42	8.74
	16	1.69	3.68	8.67
	17	1.74	4.11	9.72
	18	1.79	4.35	9.59
	19	1.89	3.91	10.07
	20	1.69	3.71	9.94
Promedio		1.72	3.86	9.38
3	21	1.60	3.74	13.86
	22	1.74	4.44	13.72
	23	1.79	3.20	13.82
	24	1.79	3.97	13.50
	25	1.69	4.41	14.05
	26	1.55	4.23	14.11
	27	1.89	4.45	13.88
	28	1.64	4.00	14.05
	29	1.60	3.71	14.47
	30	1.84	3.77	13.75
Promedio		1.71	3.99	13.92

Anexo 14. Resultados de la determinación del %MOS por las técnicas V, C y G en la muestra de El Plantel

Cuadro 10. Resultados de las determinaciones del %MO en la muestra de El Plantel

Día	n	V	C	G
1	1	3.87	4.55	12.27
	2	2.97	4.02	12.08
	3	2.71	3.06	12.30
	4	2.45	3.21	13.06
	5	2.51	3.49	12.81
	6	3.23	4.33	13.13
	7	2.38	3.31	12.69
	8	2.25	3.60	12.25
	9	2.84	4.52	12.65
	10	2.54	3.83	12.92
Promedio		2.78	3.79	12.62
2	11	2.07	3.74	11.42
	12	2.19	3.43	11.53
	13	2.92	4.30	11.50
	14	3.61	3.44	11.88
	15	2.32	4.65	12.04
	16	2.89	3.67	12.23
	17	3.22	4.43	12.07
	18	2.20	4.70	11.68
	19	2.84	3.90	12.42
	20	2.33	3.57	12.01
Promedio		2.66	3.98	11.88
3	21	2.84	2.86	14.62
	22	2.46	3.34	14.71
	23	2.84	2.78	14.68
	24	3.88	3.39	14.87
	25	2.20	4.29	14.94
	26	2.07	3.99	14.79
	27	2.38	3.72	14.84
	28	2.71	4.97	14.58
	29	2.58	5.07	14.85
	30	3.23	3.68	14.70
Promedio		2.72	3.81	14.76

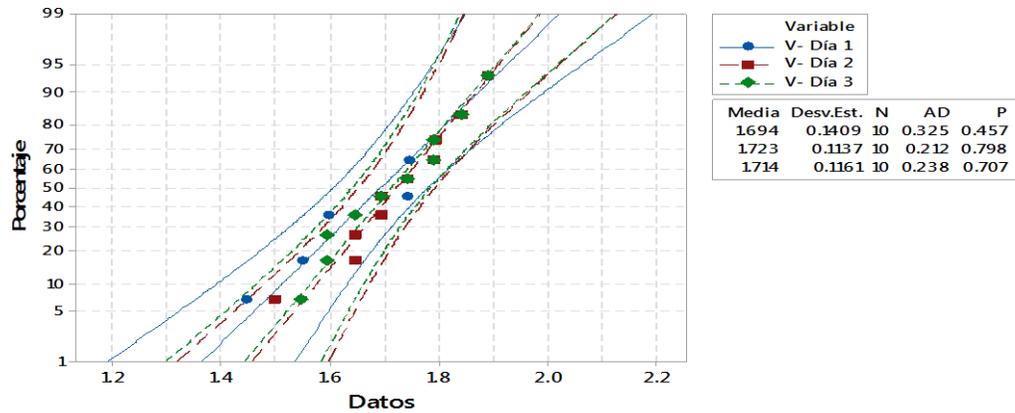
Anexo 15. Resultados de la determinación del %MO por las técnicas V, C y G en la muestra de Los Alpes

Cuadro 11. Resultados de las determinaciones del %MO en la muestra de Los Alpes

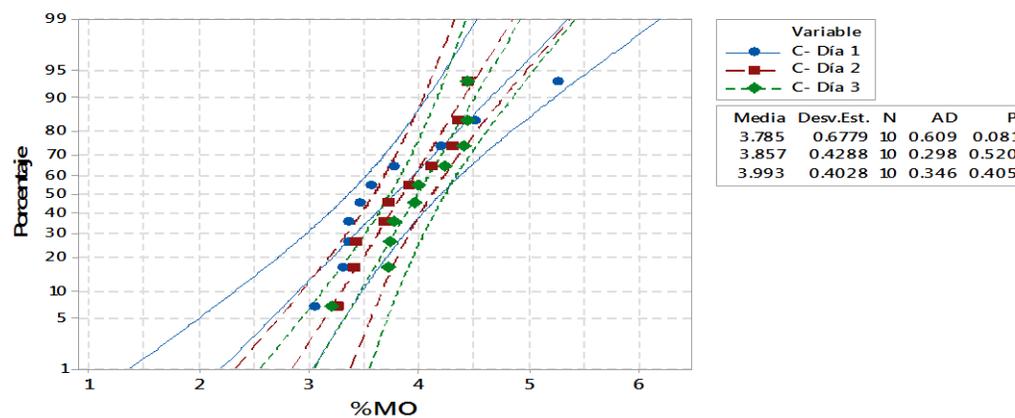
Día	n	V	C	G
1	1	3.77	5.91	12.93
	2	5.20	6.33	12.44
	3	4.55	6.08	13.55
	4	4.29	6.59	11.46
	5	4.03	6.36	12.51
	6	5.33	5.18	12.47
	7	5.46	6.36	11.72
	8	5.07	6.11	10.78
	9	5.59	5.82	11.56
	10	4.42	6.71	12.38
Promedio		4.77	6.15	12.18
2	11	5.46	5.16	12.03
	12	5.33	6.84	12.20
	13	5.46	6.28	12.61
	14	5.07	6.34	12.26
	15	5.59	6.75	12.34
	16	4.42	5.80	12.24
	17	5.98	7.40	12.14
	18	3.38	5.55	11.40
	19	6.24	7.09	11.57
	20	6.11	5.98	12.11
Promedio		5.30	6.32	12.09
3	21	5.85	4.92	14.67
	22	5.33	5.65	14.55
	23	5.59	6.78	14.57
	24	5.33	5.71	14.35
	25	4.55	7.01	14.25
	26	4.16	5.84	14.15
	27	4.03	6.98	13.96
	28	3.77	5.43	13.94
	29	3.38	5.63	14.02
	30	3.51	6.07	14.34
Promedio		4.55	6.00	14.28

Anexo 16. Gráficas de distribución normal de los %MO para las técnicas V, C y G en la muestra de El Timal

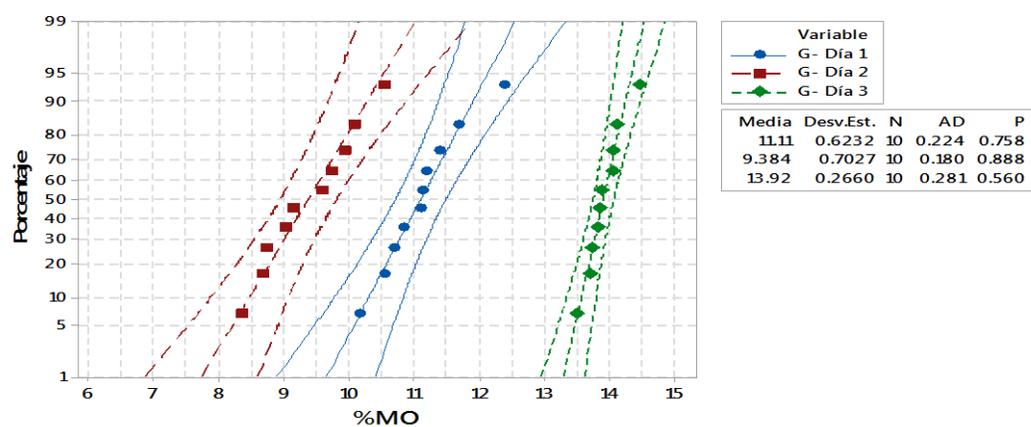
Gráfica de probabilidad de V- El Timal
Normal - 95% de IC



Gráfica de probabilidad de C- El Timal
Normal - 95% de IC



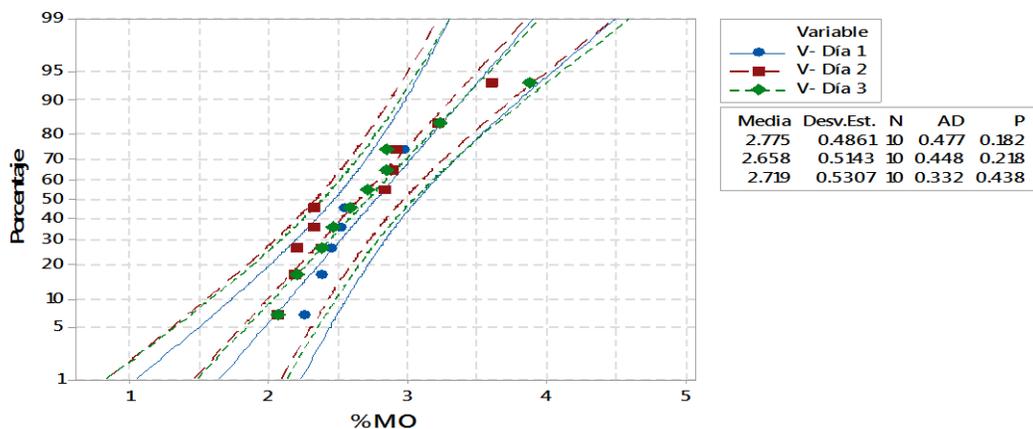
Gráfica de probabilidad de G- El Timal
Normal - 95% de IC



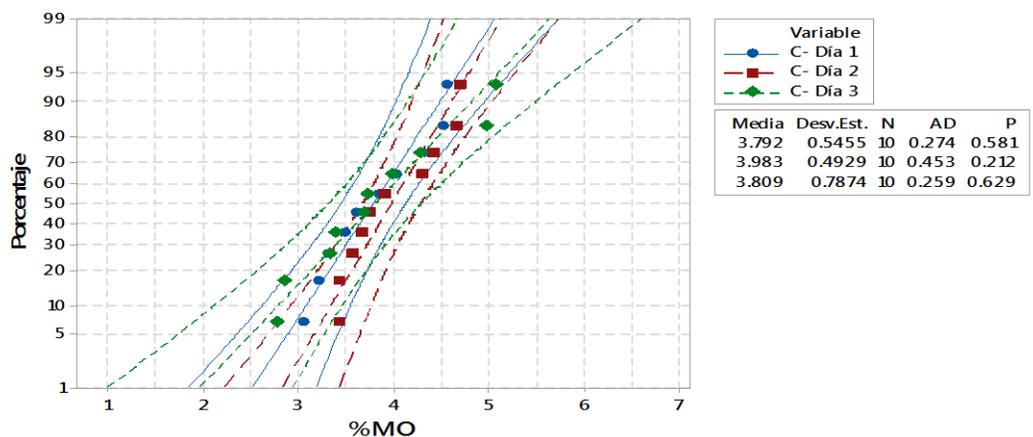
Salida del software estadístico Minitab

Anexo 17 . Gráficas de distribución normal de los %MO para las técnicas V, C y G en la muestra de El Plantel

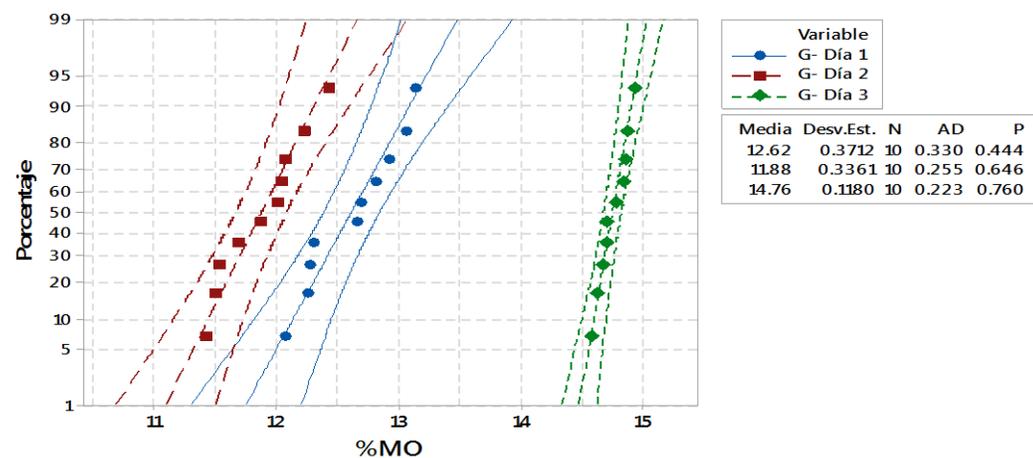
Gráfica de probabilidad de V- El Plantel
Normal - 95% de IC



Gráfica de probabilidad de C- El Plantel
Normal - 95% de IC



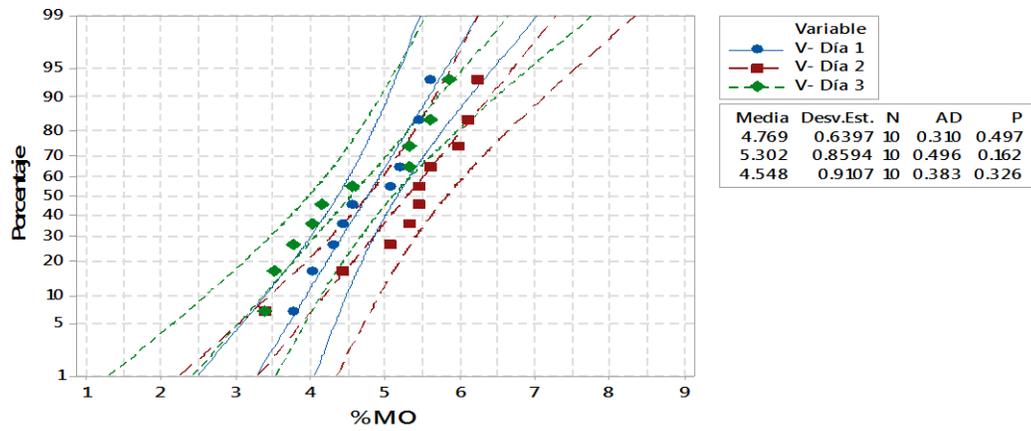
Gráfica de probabilidad de G- El Plantel
Normal - 95% de IC



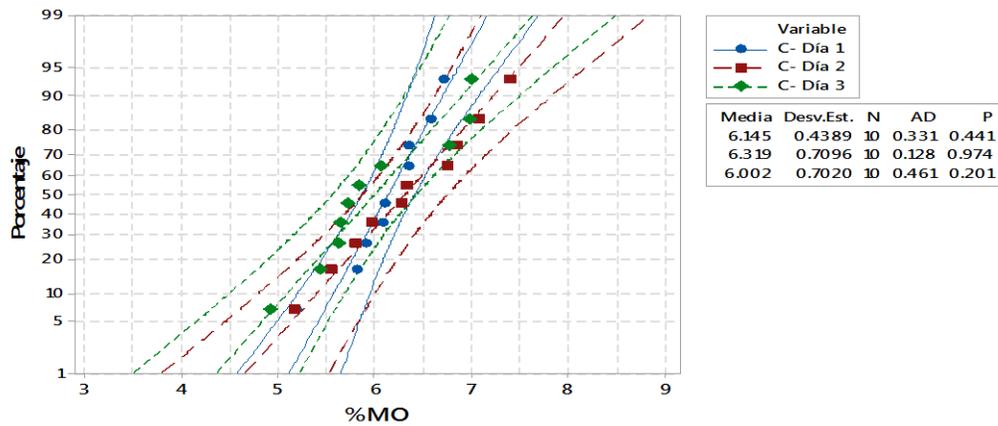
Salida del software estadístico Minitab

Anexo 18. Gráfica de distribución normal de los %MO para las técnicas V, C y G en la muestra de Los Alpes

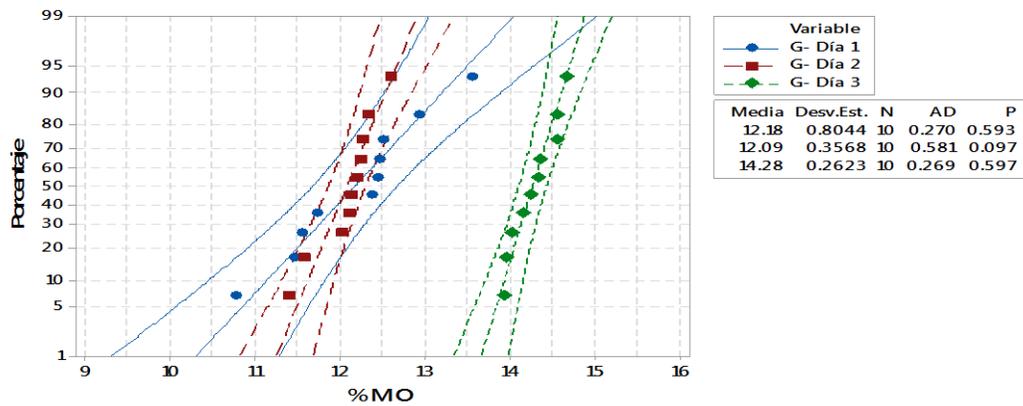
Gráfica de probabilidad de V- Los Alpes
Normal - 95% de IC



Gráfica de probabilidad de C- Los Alpes
Normal - 95% de IC



Gráfica de probabilidad de G- Los Alpes
Normal - 95% de IC



Salida del software estadístico Minitab

Anexo 19. ANOVA de dos factores para la muestra de El Timal

Análisis de la varianza, salida del software estadístico InfoSatat

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%MOS	90	0.99	0.99	7.88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1682.31	8	210.29	1048.40	<0.0001
Técnicas	1577.19	2	788.60	3931.58	<0.0001
Días	37.35	2	18.68	93.11	<0.0001
Técnicas*Días	67.77	4	16.94	84.46	<0.0001
Error	16.25	81	0.20		
Total	1698.56	89			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.27609

Error: 0.2006 gl: 81

Técnicas	Medias	n	E.E.	
V	1.71	30	0.08	A
C	3.88	30	0.08	B
G	11.47	30	0.08	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.27609

Error: 0.2006 gl: 81

Días	Medias	n	E.E.	
2	4.99	30	0.08	A
1	5.53	30	0.08	B
3	6.54	30	0.08	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.63837

Error: 0.2006 gl: 81

Técnicas	Días	Medias	n	E.E.	
V	1	1.69	10	0.14	A
V	3	1.71	10	0.14	A
V	2	1.72	10	0.14	A
C	1	3.78	10	0.14	B
C	2	3.86	10	0.14	B
C	3	3.99	10	0.14	B
G	2	9.38	10	0.14	C
G	1	11.12	10	0.14	D
G	3	13.92	10	0.14	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 20. ANOVA de dos factores para la muestra de El Plantel

Análisis de la varianza, salida del software estadístico InfoStat

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%MOS	90	0.99	0.99	7.55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1983.31	8	247.91	1011.51	<0.0001
Técnicas	1938.26	2	969.13	3954.16	<0.0001
Días	13.90	2	6.95	28.36	<0.0001
Técnicas*Días	31.14	4	7.79	31.77	<0.0001
Error	19.85	81	0.25		
Total	2003.16	89			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.30519

Error: 0.2451 gl: 81

Técnicas	Medias	n	E.E.	
V	2.72	30	0.09	A
c	3.86	30	0.09	B
G	13.08	30	0.09	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.30519

Error: 0.2451 gl: 81

Días	Medias	n	E.E.	
2	6.17	30	0.09	A
1	6.39	30	0.09	A
3	7.10	30	0.09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.70565

Error: 0.2451 gl: 81

Técnicas	Días	Medias	n	E.E.	
V	2	2.66	10	0.16	A
V	3	2.72	10	0.16	A
V	1	2.78	10	0.16	A
c	1	3.79	10	0.16	B
c	3	3.81	10	0.16	B
c	2	3.98	10	0.16	B
G	2	11.88	10	0.16	C
G	1	12.62	10	0.16	D
G	3	14.76	10	0.16	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 21. ANOVA de dos factores para la muestra de Los Alpes

Análisis de la varianza, Salida del software estadístico InfoStat

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%MOS	90	0.97	0.97	8.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1134.81	8	141.85	318.02	<0.0001
Técnicas	1100.58	2	550.29	1233.74	<0.0001
Días	5.16	2	2.58	5.79	0.0045
Técnicas*Días	29.06	4	7.27	16.29	<0.0001
Error	36.13	81	0.45		
Total	1170.94	89			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.41171

Error: 0.4460 gl: 81

Técnicas	Medias	n	E.E.	
V	4.88	30	0.12	A
c	6.16	30	0.12	B
G	12.85	30	0.12	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.41171

Error: 0.4460 gl: 81

Días	Medias	n	E.E.	
1	7.70	30	0.12	A
2	7.90	30	0.12	A B
3	8.28	30	0.12	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.95194

Error: 0.4460 gl: 81

Técnicas	Días	Medias	n	E.E.	
V	3	4.55	10	0.21	A
V	1	4.77	10	0.21	A
V	2	5.30	10	0.21	A B
c	3	6.00	10	0.21	B C
c	1	6.15	10	0.21	B C
c	2	6.32	10	0.21	C
G	2	12.09	10	0.21	D
G	1	12.18	10	0.21	D
G	3	14.28	10	0.21	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 22. Resultados de separación de medias por Tukey para las técnicas y los días

Cuadro 12. Separación de medias por Tukey para las técnicas en El Timal, El Plantel y Los Alpes

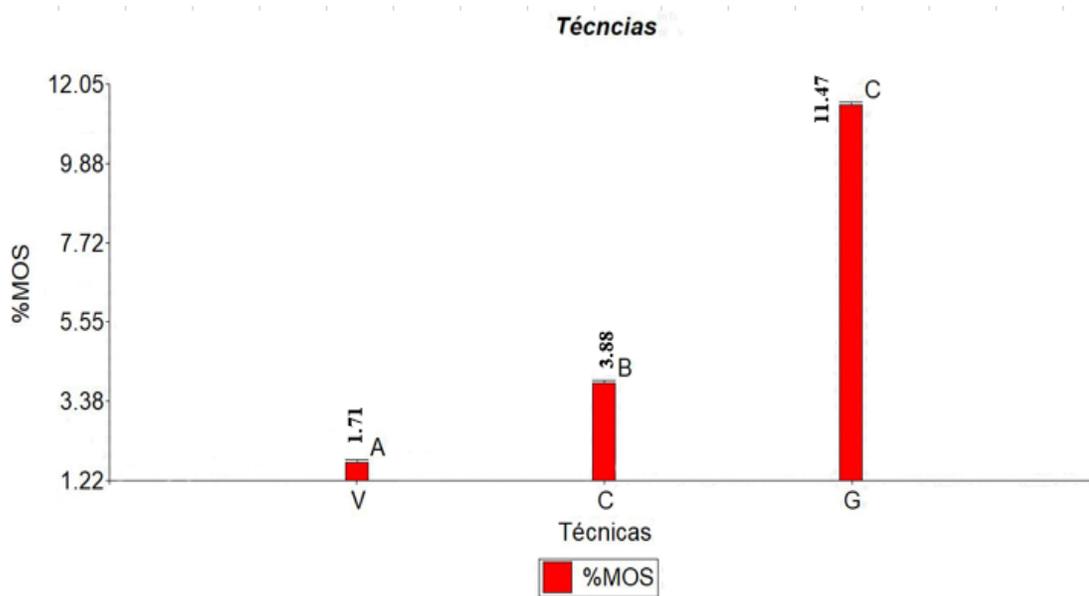
		Comparaciones por parejas de Tukey					
El Timal	Técnicas	Técnicas	N	Media	Agrupación		
		C	30	3.88	A		
		V	30	1.71		B	
		G	30	11.47			C
	Días	Días	N	Media	Agrupación		
		2	30	4.99	A		
		1	30	5.53		B	
		3	30	6.54			C
	Interacción	Técnicas*Días	n	Media	Agrupación		
		C-1	10	3.78	A		
C-2		10	3.86	A			
C-3		10	3.99	A			
V-1		10	1.69		B		
V-3		10	1.71		B		
V-2		10	1.72		B		
G-2		10	9.38			C	
G-1		10	11.12			D	
G-3	10	13.92			E		

El Plantel	Técnicas	Técnicas	N	Media	Agrupación		
		V	30	2.72	A		
		C	30	3.86		B	
		G	30	13.08			C
	Días	Días	N	Media	Agrupación		
		2	30	6.17	A		
		1	30	6.39	A		
		3	30	7.10		B	
	Interacción	Técnicas*Días	n	Media	Agrupación		
		V-2	10	2.66	A		
V-3		10	2.72	A			
V-1		10	2.78	A			
C-1		10	3.79		B		
C-3		10	3.81		B		
C-2		10	3.98		B		
G-2		10	11.88			C	
G-1		10	12.62			D	
G-3	10	14.76			E		

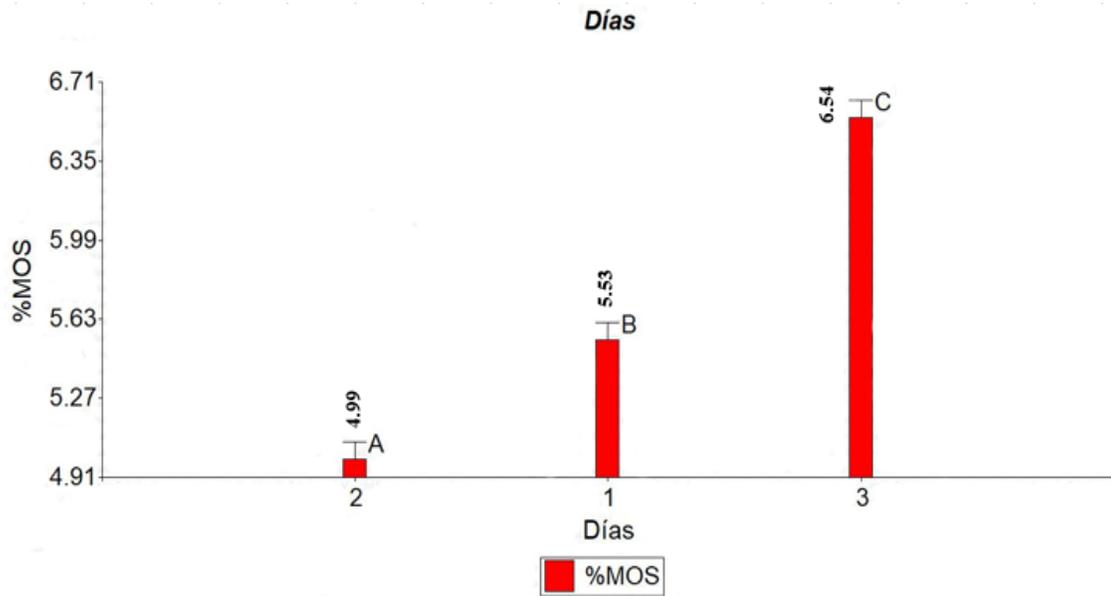
(Cuadro 13. Continuación...)

Los Alpes	Técnicas	Técnicas	N	Media	Agrupación				
		V	30	4.88	A				
		C	30	6.16		B			
	G	30	12.85			C			
	Días	Días	N	Media	Agrupación				
		1	30	7.70	A				
		2	30	7.90	A	B			
	3	30	8.28		B				
	Técnicas*Días	Técnicas*Días	N	Media	Agrupación				
		V-3	10	4.55	A				
V-1		10	4.77	A					
V-2		10	5.30	A	B				
C-3		10	6.00		B	C			
C-1		10	6.15		B	C			
C-2		10	6.32			C			
G-2		10	12.09				D		
G-1		10	12.18				D		
G-3	10	14.28					E		

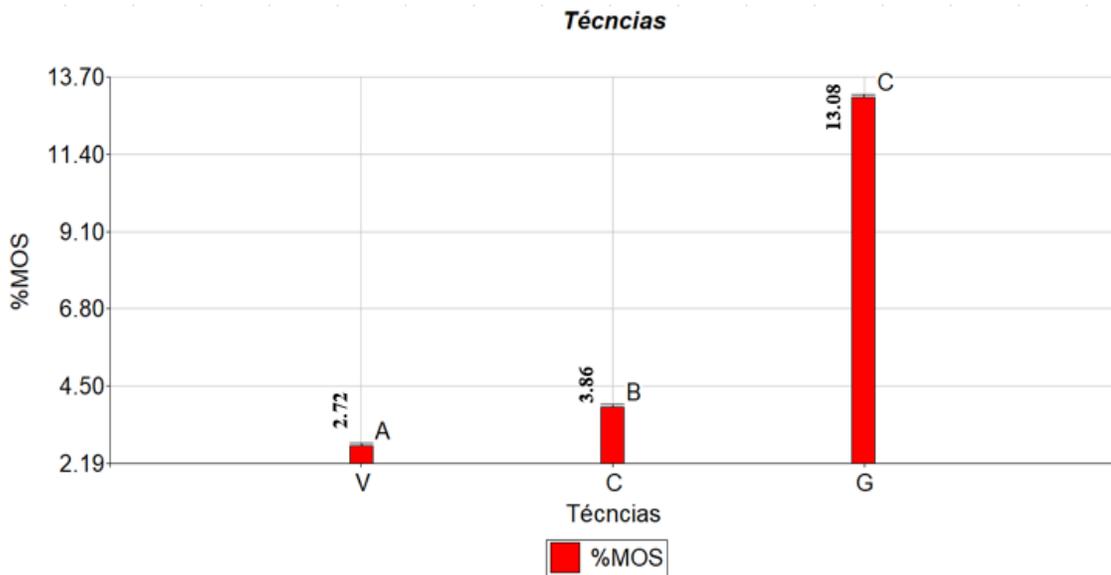
Separación de medias por Tukey para las técnicas en la muestra de El Timal



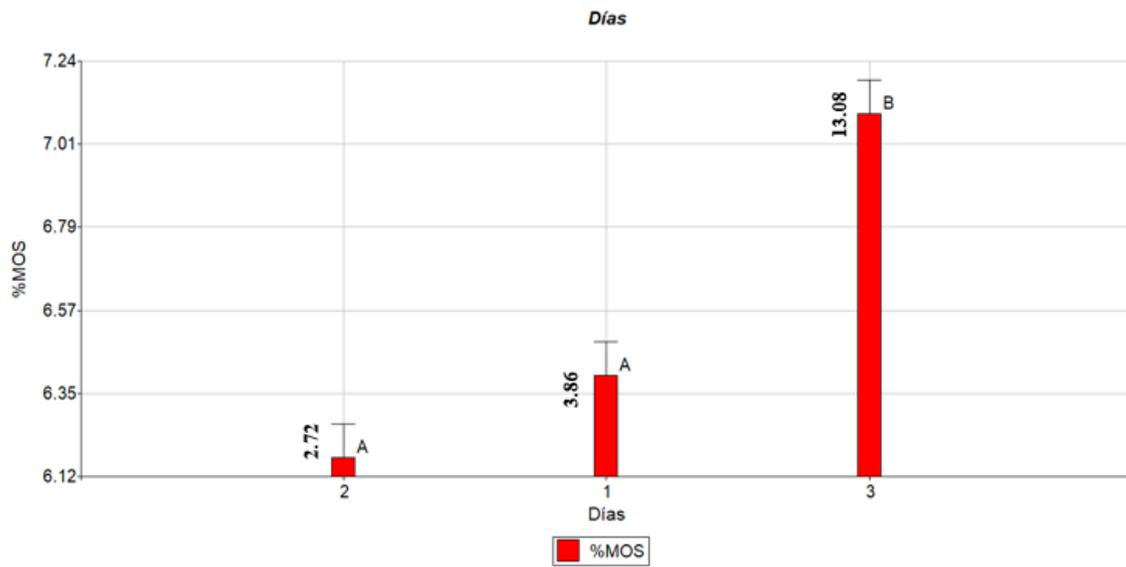
Separación de medias por Tukey para los días en la muestra de El Timal



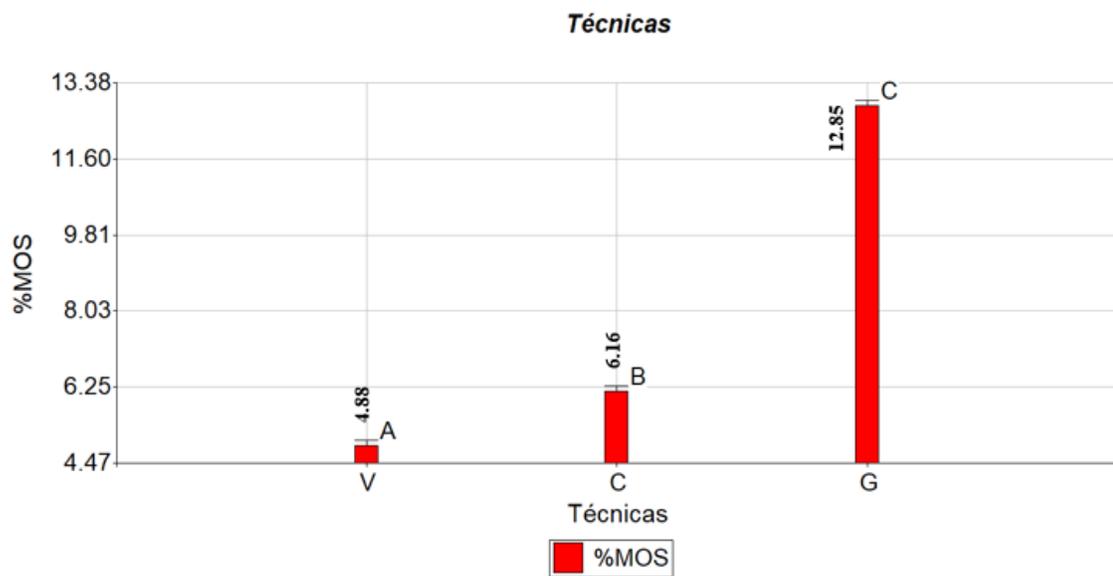
Separación de medias por Tukey para las técnicas en la muestra de El Plantel



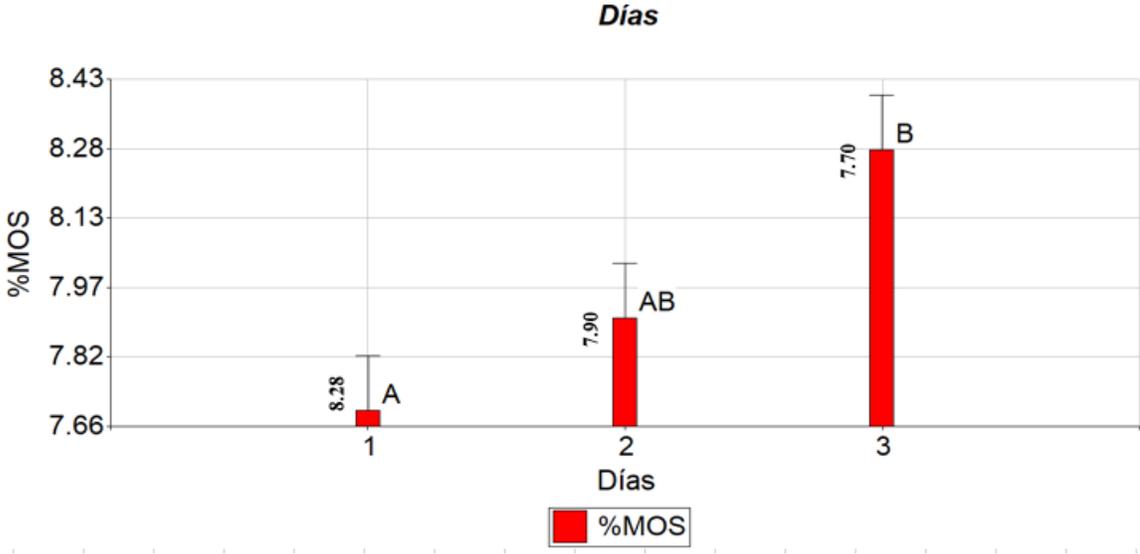
Separación de medias por Tukey para los días en la muestra de El Plantel



Separación de medias por Tukey para las técnicas en la muestra de Los Alpes



Separación de medias por Tukey para los días en la muestra de Los Alpes



Anexo 23. Cálculo de g de carbono por kg de suelo, a %MO

Medias de g C/kg obtenidos por (Alemán Vásquez & Guido Paniagua, 2016) en su estudio, para La muestra el Plantel:

13.95 g C/kg de suelo, por la técnica volumétrica. Utilizando el factor de conversión de Van Benmelen equivalente a 1,724 descrito en la fórmula N° **14**

$$[MO](\%) = 13.95 \times 1.724 \times \frac{100}{1000}$$

$$Mo (\%) = 2.41\%$$

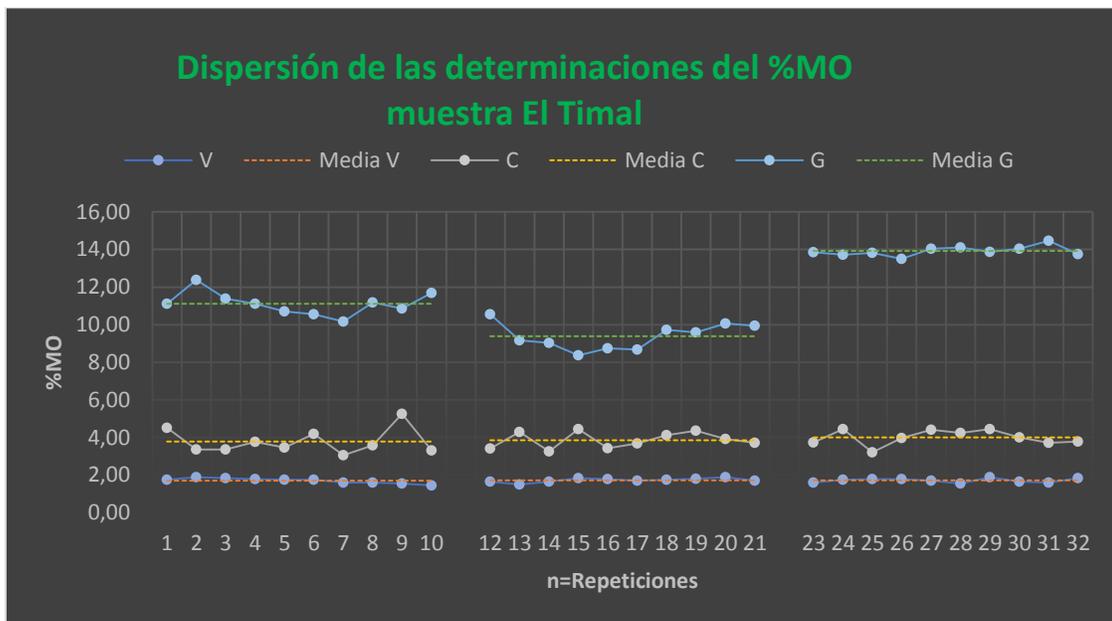
15.835 g C/kg de suelo, por la técnica colorimétrica. Utilizando la formula N° **16**

$$[MO](\%) = 15.835 \times \frac{100}{1000} \times 1.333 \times 1.724$$

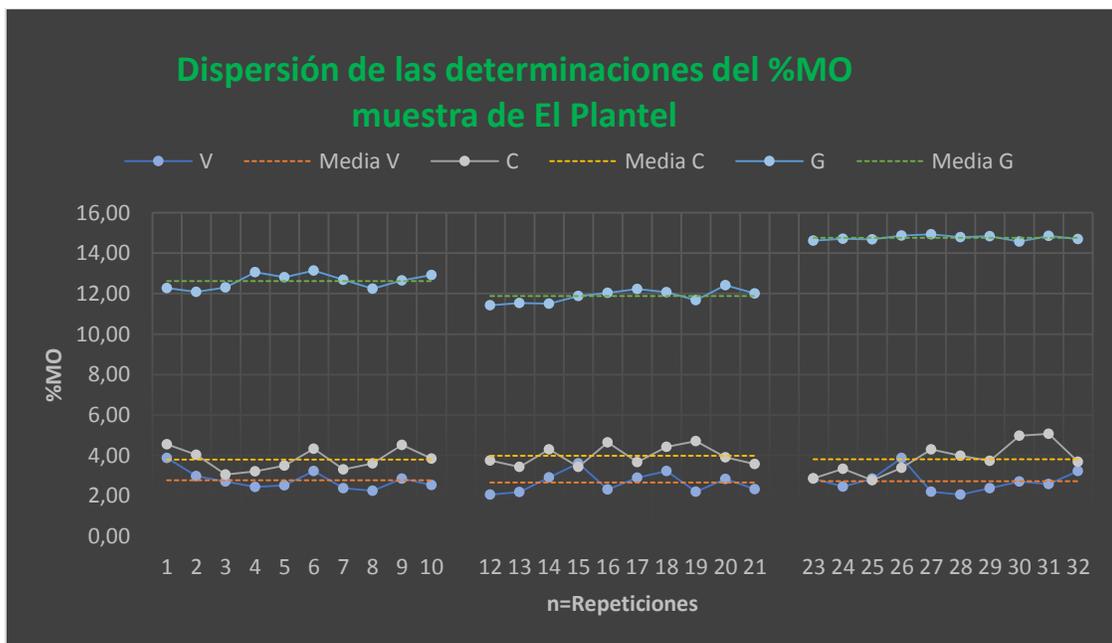
$$Mo (\%) = 3.64\%$$

Anexo 24. Muestra de la dispersión de las determinaciones de %MOS

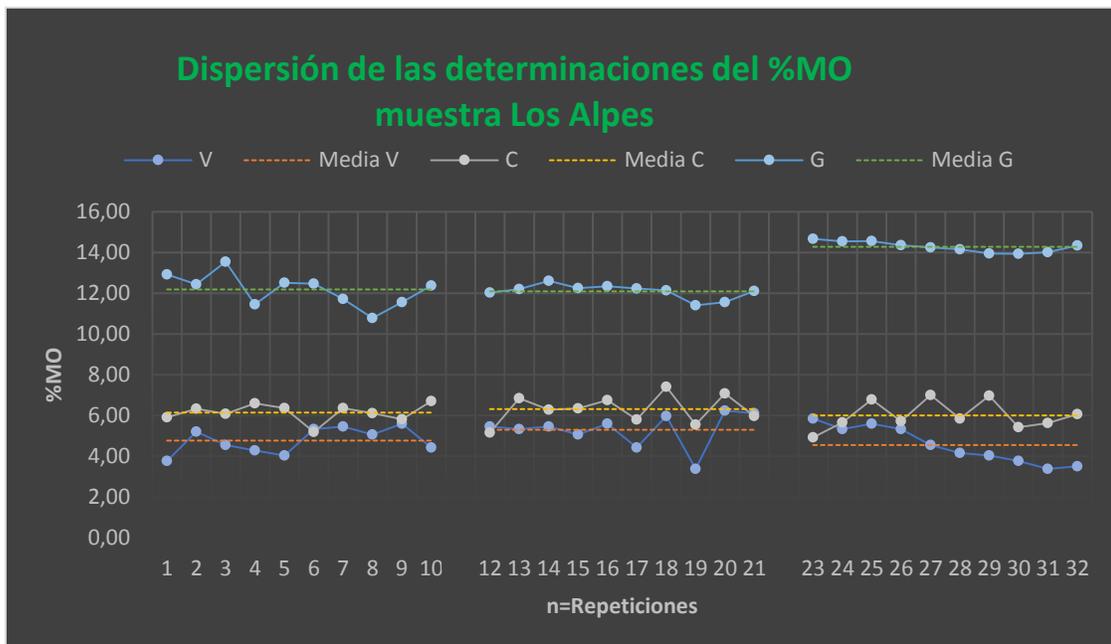
Dispersión de los datos para la muestra El Timal



Dispersión de los datos para la muestra El plantel



Dispersión de los datos para la muestra Los Alpes



Anexo 25. Glosario

Turbas: Material orgánico compacto, de color pardo por lo general oscuro y rico en carbono (EcuRed, s.f.).

Humus: Es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos por organismos y microorganismos benéficos (hongos y bacterias). Se caracteriza por su color negruzco debido a la gran cantidad de carbono que contiene. Se encuentra principalmente en las partes altas de los suelos con actividad orgánica (Biología de Suelos, s.f.).

Lignitos: Es un mineral de origen sedimentario perteneciente a la familia del carbón constituido por componentes de origen vegetal, principalmente ácidos húmicos. Los mismos juegan un rol importante en la agricultura por su influencia significativa en la calidad y productividad de los suelos debido a que muestran una alta capacidad de intercambio catiónico, lo que aumenta la fertilidad en los suelos (Piñero, 2012)

Leonardita: Es una materia orgánica asociada al **lignito** que aún no ha terminado su proceso de transformación hacia carbón. Esta difiere de las turbas humificadas por su mayor grado de oxidación (La Leonardita, 2020).

Hidratos de Carbono: Los hidratos de carbono, carbohidratos, glúcidos o sacáridos son las sustancias orgánicas compuestas por hidrógeno, oxígeno y carbono, que presentan los primeros dos componentes en idéntica proporción que aparece en el agua. Los hidratos de carbono están considerados como la forma de almacenamiento energético primaria desde el punto de vista biológico y constituyen uno de los tres principales grupos químicos que componen la materia orgánica (junto a las proteínas y las grasas) (Definición.de, s.f.).

Aminoácidos: Son las unidades básicas que forman las proteínas. Sus moléculas están formadas por un grupo carboxilo y un grupo amino. Una veintena de los aminoácidos son los elementos esenciales de las proteínas (Definición.de, s.f.).

Ácidos alifáticos: Los hidrocarburos alifáticos son compuestos orgánicos constituidos por carbono e hidrógeno cuyo carácter no es aromático.

Solución Alcalis: Sustancia química que se puede disolver en agua, combinarse con ácidos para formar sales y hacer que el ácido sea menos ácido. Los álcalis tienen gusto amargo y hacen que ciertas tinturas se vuelvan azules.

Analito: En química analítica un analito es el componente (elemento, compuesto o ion) de interés analítico de una muestra. Son especies químicas cuya presencia o concentración se desea conocer. El analito es una especie química que puede ser identificado y cuantificado, es decir, determinar su cantidad y concentración en un proceso de medición química (QUÍMICA.ES, s.f.)

En analito que se determina en una muestra puede ser de naturaleza inorgánica, orgánica o bioquímica, y según su concentración en ésta se clasifica como macro componente (más del 1%), microcomponente (entre 0'01% y 0'1%) o traza (menos del 0'01%) (QUÍMICA.ES, s.f.).

Reacciones redox: Las reacciones redox, nombre simplificado de las reacciones de reducción-oxidación, son aquellas reacciones de tipo químico que llevan a la transferencia de electrones entre reactivos, alterando el estado de oxidación. De este modo, un elemento libera electrones que otro elemento acepta.

Aquel elemento que aporta los electrones recibe la denominación de agente reductor. Se trata del elemento que se oxida en el marco de la reacción redox. El elemento que recibe los electrones, por su parte, se denomina agente oxidante. Este agente se reduce ya que minimiza su estado de oxidación (Definición.de, s.f.).