

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**  
**FACULTA DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y TECNOLOGIA**  
**ESCUELA DE QUÍMICA**

**EFFECTO DE UNA QUEMA PRESCRITA EN LA MINERALOGÍA DE UN SUELO  
CULTIVADO CON CAÑA DE AZÚCAR**

Trabajo de grado para optar por el título de Licenciatura en Química

**PRESENTADO POR:**

**YERIS LISBETH VALDÉS HERNÁNDEZ**  
**3-718-2302**

**ASESOR**

**Dr. JUAN ANTONIO JAEN**

**PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2025**

# **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado principalmente a Dios Todopoderoso, quien con su infinita misericordia me ha permitido alcanzar esta meta. A ÉL, la razón de mi ser y mi más grande fortaleza y por haber encendido en mi la llama del conocimiento para la culminación de esta etapa.

En segundo lugar, a mi mentor Dr. Juan Antonio Jaén mi infinito agradecimiento por ser mi guía y mi inspiración. Tus enseñanzas han sido fundamentales para mi crecimiento y el desarrollo de este trabajo.

Le dedico este trabajo también a Ian Arturo Mendoza Valdés mi pequeño motor en la vida, por el cual la perseverancia tiene significado; solo espero ser una inspiración para ti y despertar en ti la pasión por el conocimiento para ver logradas tus metas en un futuro.

Por último, dedico este trabajo a mis padres por siempre estar presentes en mi vida y a cada uno de los familiares y amigos que me dieron su apoyo y confianza en mí.

**Yeris L. Valdés H.**

# **AGRADECIMIENTOS**

La autora agradece por todo el apoyo y guía brindada en cada etapa de este trabajo de tesis a mi asesor el profesor Dr. Juan Jaén por habernos proporcionado las muestras de suelo, su guía en cada etapa de este proceso y la obtención de los resultados por espectroscopia de Mössbauer.

Agradecimiento al Dr. Juan Miguel Osorio, Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá por facilitarme el poder ejecutar las pruebas en sus laboratorios.

Agradecimiento al Dr. Francisco Mora, coordinador del laboratorio de suelo FCA por su apoyo brindado en este proceso y por haberme prestados todos los implementos y recursos necesarios para la determinación de la textura y separación de las muestras. También gracias por toda la información brindada que son de mucha utilidad para la elaboración de este trabajo de tesis.

Agradecimiento a la profesora Lic. Berta Carrera, por ser mi guía y orientadora en el proceso ejecutado en el laboratorio de suelo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Gracias por su paciencia y cariño brindados en el proceso.

# INDICE

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	viii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
CAPÍTULO I.....	5
ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.1 Antecedentes del problema .....	6
1.2 Planteamiento del Problema.....	8
1.2.1 Formulación del problema .....	12
1.3 Objetivos .....	12
1.3.1 General .....	12
1.3.2 Específicos .....	12
CAPÍTULO II .....	13
METODOLOGÍA Y PARTE EXPERIMENTAL .....	13
2.1 Delimitación del área de estudio y muestreo .....	14
2.2 Ubicación del área de estudio .....	14
2.3 Tratamiento de las muestras.....	16
2.4 Medida de la Textura por el Método de Bouyoucos .....	17
2.4.1 Ley de Stokes .....	18
2.4.2 Pretratamiento de las muestras (Método de Bouyoucos) .....	20
2.4.3 Determinación de la textura .....	21
2.5 Tratamiento químico de las muestras.....	24
2.5.1 Tratamiento A - NAOH 5M.....	24
2.5.2 Tratamiento B - Ditionito Citrato Bicarbonato (DCB) .....	25
2.6 Caracterización mineralógica.....	25
CAPÍTULO III.....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
3.1 Análisis Granulométrico y Clasificación Taxonómica del Suelo .....	28
3.2 Difracción de Rayos X.....	35

3.3 Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR).....	38
3.4 Espectroscopia Mössbauer .....	41
3.5 Análisis microbiológico .....	47
CAPÍTULO IV .....	48
CONCLUSIONES .....	48
Capítulo V .....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del Distrito de Santa María.....	10
Figura 2. Imágenes aéreas del área de estudio (obtenido de Google Earth).....	16
Figura 3. Imágenes de las muestras recolectadas y su tratamiento. ....	17
Figura 4. Muestras en el cilindro de sedimentación.....	22
Figura 5. Resultados gráficos de análisis de elementos seleccionados. ....	32
Figura 6. Difractogramas de la fracción arcillosa con tratamiento con DCB de las muestras .....	37
Figura 7. Difractogramas de la fracción arcillosa con tratamiento con NaOH de las .....	38
Figura 8. Espectros FTIR de las muestras de arcillas de A3C1 y B3C1.tratadas con DCB.....	39
Figura 9. Espectros FTIR de las muestras de arcillas de A3C1 y B3C1.tratadas con NaOH. ....	41
Figura 10. Espectros Mössbauer de los suelos A3C1 y B3C1 (a) sin tratamiento químico, (b) tratados con NaOH y (c) tratados con DCB.....	42
Figura 11. Espectros Mössbauer de las fracciones arcilla de A3C1 y B3C1 (a) tratados con NaOH y temperatura ambiente (b) tratados con NaOH a 80 K (c) tratados con NaOH a 20 K y (d) tratados con DCB a temperatura ambiente. ....	45

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados del Análisis Granulométrico .....	29
Cuadro 2. Resultado de los análisis de las variables químicas en los suelos .....	33
Cuadro 3. Bandas IR importantes en minerales con sus posibles asignaciones (Jozanikohan y Abarghooei, 2021).....	40
Cuadro 4. Resultados Mössbauer a TA de muestras de suelo.....	46
Cuadro 5. Resultados Mössbauer de muestras de las arcillas .....	46

# **RESUMEN**

Este estudio se realizan un análisis fisicoquímico y la determinación mineralógica de las muestras colectadas en la zona de Distrito de Santa María (Divisa), provincia de Herrera, en donde la principal cosecha de estos suelos son las plantaciones de caña de azúcar. Las muestras se obtienen de una parcela rectangular de 1000 m<sup>2</sup> de superficie. Se seleccionaron dos puntos de muestreo, las muestras del camellón y las muestras del entresurco, a dos profundidades (0-25 cm). A estas muestras se les determina la textura y a la vez se segregan en sus tres fracciones de arena, limo y arcilla.

Se determino que los suelos eran ácidos, de textura franco arcilloso-arenoso. Se clasifican taxonómicamente como Ultisoles. Tienen poca variación en las características fisicoquímicas y mineralógicas antes y después de la quema prescrita, así como entre camellones y entresurcos.

Se determinó la mineralogía de los suelos y su fracción arcillosa mediante difracción de Rayos X, espectroscopia Infrarrojo y Espectroscopia de Mössbauer.

# **ABSTRACT**

This study performs a physicochemical analysis and mineralogical determination of the samples collected in the Santa Maria (Divisa) area, Herrera province, specifically in the Santa Rosa Sugar Mill, Farm No. 2, where the main crop of these soils is sugar cane plantations. The samples are obtained from a rectangular plot of 1000 m<sup>2</sup> of surface. Two sampling points were selected, the samples from the ridge and the samples from the inter-furrow, at two depths (0-25 cm). The texture of these samples is determined, and at the same time, they are segregated into three fractions: sand, silt, and clay.

It was determined that the soils were acidic, with a sandy clay loam texture. They are taxonomically classified as Ultisols. They have slight variations in the physicochemical and mineralogical characteristics before and after the prescribed burning, as well as between ridges and inter-furrows.

X-ray diffraction, infrared spectroscopy, and Mössbauer spectroscopy determined the mineralogy of the soils and their clay fraction.

**CAPÍTULO I**  
**ASPECTOS GENERALES DE LA**  
**INVESTIGACIÓN**

## 1.1 Antecedentes del problema

Desde los orígenes de la humanidad el hombre ha utilizado el fuego para diversos fines, siendo vital para su existencia a través del tiempo. Consideraba, en el pasado, que su uso era favorable en la agricultura, no solo porque se lograba despejar el terreno para la siembra, sino que su efecto era beneficioso para el suelo (Talamera Valdez, 2017). Así se inició el sistema agrícola utilizando la quema que, en la actualidad, se mantiene con algunas variantes. Señala el autor que:

“Los indígenas fueron los precursores en el uso del fuego para la siembra en el continente americano aplicando de técnicas particulares. Con la colonización llegó el capitalismo y, por tanto, la producción en masa, esto generalizó la práctica que llegó a considerarse por los productores como un mal necesario.”

Se entiende que la utilización, desde culturas ancestrales, del fuego para la agricultura, les permitían el desmonte de los campos de cultivos, facilitando la eliminación de residuos de cosechas anteriores y preparando el terreno para la nueva siembra.

Hoy día, las quemas se usan como una técnica de manejo ambiental. Se les denomina **quema prescrita**, también conocida como **quema controlada**, que consiste en la aplicación deliberada y controlada del fuego sobre un área específica para cumplir con objetivos ecológicos, agrícolas o forestales. Se realiza bajo condiciones cuidadosamente planificadas (climáticas, de humedad y de viento) y siguiendo protocolos de seguridad.

La quema es una práctica común en la industria cañera, pero su conveniencia depende de varios factores, ya que tiene beneficios y desventajas. Algunas ventajas son la eliminación de residuos de cosecha, el control de plagas y enfermedades, la liberación rápida de nutrientes: Tiene la desventaja de que hay pérdida de materia orgánica, compactación y degradación del suelo, liberación de gases de efecto invernadero y el suelo puede volverse dependiente de los nutrientes liberados por el fuego, lo que lleva a una degradación progresiva.

En el presente la técnica de quema para desmonte sigue siendo utilizada por los agricultores de bajos recursos, debido a lo económica de esta para la eliminación de insectos y plagas perjudiciales para el hombre como lo son los alacranes y las culebras, además de no tener que esforzarse en el control de las malezas (Vielma Castro, 2017).

Por otra parte, especialistas en agricultura y geología, así como investigaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017), coinciden en que el fuego elimina los nutrientes y especies que fertilizan la tierra, lo que termina en cosechas más débiles y terrenos poco productivos.

Sobre el impacto biológico de la quema en los suelos de cultivos, Bianchi (2017) señala que “la primera capa del suelo es la más afectada, allí se encuentran los principales nutrientes que sustentan la vida de las plantas: fósforo, calcio y potasio, así como microorganismos vitales para la salud y oxigenación de la tierra”. Este último resulta otro factor que se suma al efecto de las quemas, generando contaminación atmosférica que atenta contra la protección ambiental y la salud, así como la debilitación de la capa de ozono y aumentando así las posibilidades del calentamiento global.

Afirma Castro (2017) “quemar cultivos antes de sembrar es contraproducente. No solo vuelve menos fértiles los terrenos, sino que las partículas tóxicas se pueden llegar a mezclar con el agua subterránea y perjudicar tanto la salud como la economía de los humanos”. De tal manera que, el suelo pierde humedad causando su erosión y desgaste. Por consiguiente, a pesar de los beneficios prácticos que se deducen de manera inmediata de la aplicación de las quemas, es importante indicar que también existen una serie de impactos negativos directos o indirectos, que en mayor o en menor medida se desarrollan, en función de la intensidad del fuego y de la sensibilidad del ambiente en que se utilice.

Con respecto los efectos del fuego sobre las propiedades físicas del suelo dependen de la temperatura alcanzada, en ensayos de laboratorio sobre suelos ricos en Carbono (C) orgánico bajo vegetación de pinos, encontraron que a temperaturas entre 220 °C y 460 °C se produjo

una fuerte desagregación, con desaparición casi total de los agregados mayores a 1 mm y, una disminución de la estabilidad de los agregados, lo que se relacionó con la combustión de la materia orgánica (García Corona, 2018).

Por el contrario, Giovannini y Lucchesi (1997) encontró que “el calentamiento hasta 600 °C resultó en una disminución de la materia orgánica del suelo, pero en un incremento de la proporción de macro agregados”. En la revisión de la literatura los autores coinciden que la estabilidad al agua de los agregados del suelo aumenta con la temperatura, a pesar de la combustión de la materia orgánica y, que este incremento es atribuido a la deshidratación de geles y a las transformaciones térmicas de los óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al) que actuarían como cementantes inorgánicos de las partículas del suelo.

Por consiguiente, desde un contexto global, se entiende que el fuego produce una serie de cambios en el suelo que van relacionados directamente con la intensidad de este, el tipo de combustible que se está consumiendo, las características propias del suelo, además de la contaminación del ambiente, el clima y la topografía. Estas transformaciones logran afectar de una manera significativa las propiedades físicas, químicas y biológicas de la capa superficial, que son de suma importancia para el mantenimiento de la productividad a largo plazo, alterando ciclos naturales en el que se incrementa la disponibilidad de ciertos nutrientes, mientras otros son volatilizados.

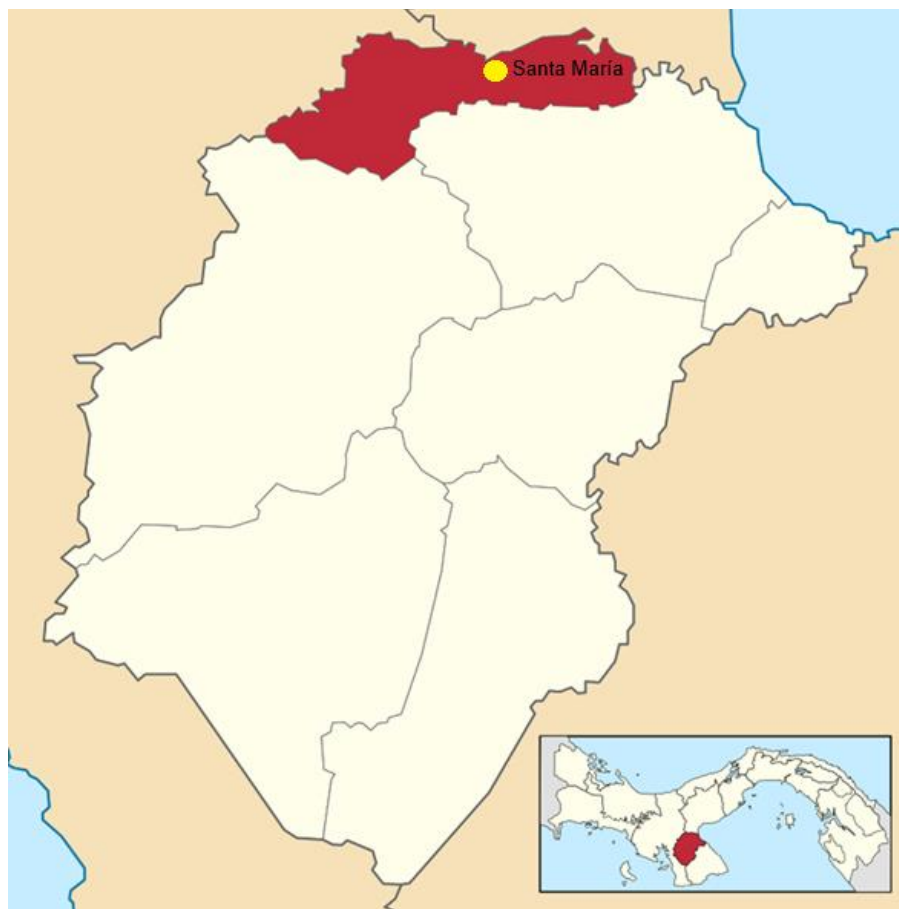
## **1.2 Planteamiento del Problema**

El escenario en Panamá concuerda, como en el resto de América Latina y el mundo, con el tema áreas secas y degradadas. El país tiene problemas severos de erosión y deterioro de suelos debido al acumulativo y creciente proceso de degradación que sufren las cuencas y, los de estos propiamente dicho por el desarrollo de actividades de ganadería extensiva y el uso desordenado de la tierra.

Las tierras secas y degradadas de Panamá ocupan un 27 % del territorio nacional. Se trata de espacios geográficos con suelos con graves problemas de erosión y de baja productividad, enfermedades y deforestación, entre otros (Méndez Arosemena, 2017).

En un estudio desarrollado por la Autoridad Nacional de Ambiente, través de Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Sequía y la Desertificación en Panamá (CONALSED), para el año 2015, destaca en el diagnóstico el reconocimiento de cuatro (4) áreas críticas sujetas a procesos de sequías y degradación de suelos. Éstas son: Cerro Punta, Comarca Ngäbe Buglé, el Arco Seco y la Sabana Central Veraguense. En total una superficie total de 20.787,57 kilómetros cuadrados y, una población estimada en 516.434 personas (Censo de Población del año 2000).

Específicamente, en el área El Arco Seco que abarca parte de las provincias de Herrera, Los Santos y Coclé. En la primera se incluye el Distrito de Santa María (ver Figura 1), ubicado en la Región Central del país.



Provincia de Coclé

Fuente. Imagen. [www.google.com](http://www.google.com) (2021)

Figura 1. Ubicación geográfica del Distrito de Santa María.

La superficie total es de 469.7 kilómetros cuadrados, que representan el 9.5% de la total de la Provincia. Ubicándose, así como el segundo Distrito más pequeño, que a su vez es uno de los más chicos del país. Dentro de la clasificación de Koppen tiene un clima tropical de sabana, con temperaturas que promedian los 27° C y, se registra una precipitación media anual de entre 1,404 a 1,500 milímetros. Con una estación seca prolongada; con temperatura de 23.2 °C mínima y 30.2 °C máxima. (Herrera González, 2017, p.66).

Con respecto a la capacidad y uso agrológica de los suelos del Distrito de Santa María, se puede decir que estos son de tipo arables con limitaciones por lo que requieren de

conservación y buen uso. Su principal rubro es la producción de caña de azúcar. En la literatura destaca Méndez Arosemena (2017) que:

“La propagación de insecticidas y el uso de las quemas como práctica agropecuaria tradicional se da para eliminar los rastrojos de las pasadas cosechas y, con ello facilitar la preparación del suelo para la siguiente siembra. Los incendios provocados por quemas agrícolas son más numerosos en la época seca; especialmente de febrero a abril. De igual forma para el pastoreo, se inducen las quemas con el objetivo de favorecer el desarrollo de herbáceas, tras la eliminación de vegetación leñosa (normalmente matorral espeso) en áreas en las que el ganado no puede acceder”.

Se infiere que producto de las formas de tratamiento para el desarrollo de la actividad cañera afectan no solo el suelo, lixiviando la tierra, ocasionando alteraciones, tanto a nivel físicas como químicas en esta, sino también desestabilizando el curso normal de los recursos hídricos y, además contribuyendo con la contaminación ambiental de la región.

Las situaciones referenciadas orientaron las intención investigativa y planteamiento de la situación problema a ser evaluadas en este trabajo. El suelo es un componente fundamental de los ecosistemas, en el que la productividad y sostenibilidad dependen de su calidad. Por otra parte, el fuego representa un factor antrópico económico, de gran disipación energética, capaz de ejercer un efecto benéfico o por el contrario dañino, en función de su intensidad, frecuencia, tipo de ecosistema y escala espacial en el que actúe.

La disertación investigativa para evaluar el impacto producido en el suelo y el ambiente generado por la quema prescrita de las siembras de cultivos en la zona de Santa María, Provincia de Herrera, año 2011, entiendo su importancia como soporte y fuente de nutrientes de la vegetación y la fauna, además de ser un cuerpo natural difícilmente recuperable a corto o medio plazo, de modo que su degradación física, química y biológicas, por la pérdida de su fracción más fértil y nutrientes, hacen que tenga un proceso de regeneración extremadamente lento.

Desde el aspecto metodológico servirá de apoyo y antecedente a otras investigaciones en el mismo campo de estudio, permitiendo contrastar los referentes teóricos desarrollados en la prosecución de la Licenciatura en Química con la práctica en contextos reales.

### **1.2.1 Formulación del problema**

¿Se producen cambios en las propiedades fisicoquímicas y mineralógicas del suelo producto de la quema antes y después de las siembras en zona de Santa María, Provincia de Herrera?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 General**

Evaluar el impacto producido en el suelo y cambios mineralógicos generado por la quema quemadas prescritas en época de zafra del año 2011 en Santa María, Provincia de Herrera.

### **1.3.2 Específicos**

- Establecer el tipo de suelo en cultivos cañeros den la zona de Santa María.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos y biológicos relevantes para la quema controlada en las siembras de cultivos en la zona de Santa María.
- Determinar las modificaciones mineralógicas en los suelos afectados por la quema prescrita en la siembra de cultivos en la zona de Santa María.

# **CAPÍTULO II**

## **METODOLOGÍA Y PARTE EXPERIMENTAL**

## 2.1 Delimitación del área de estudio y muestreo

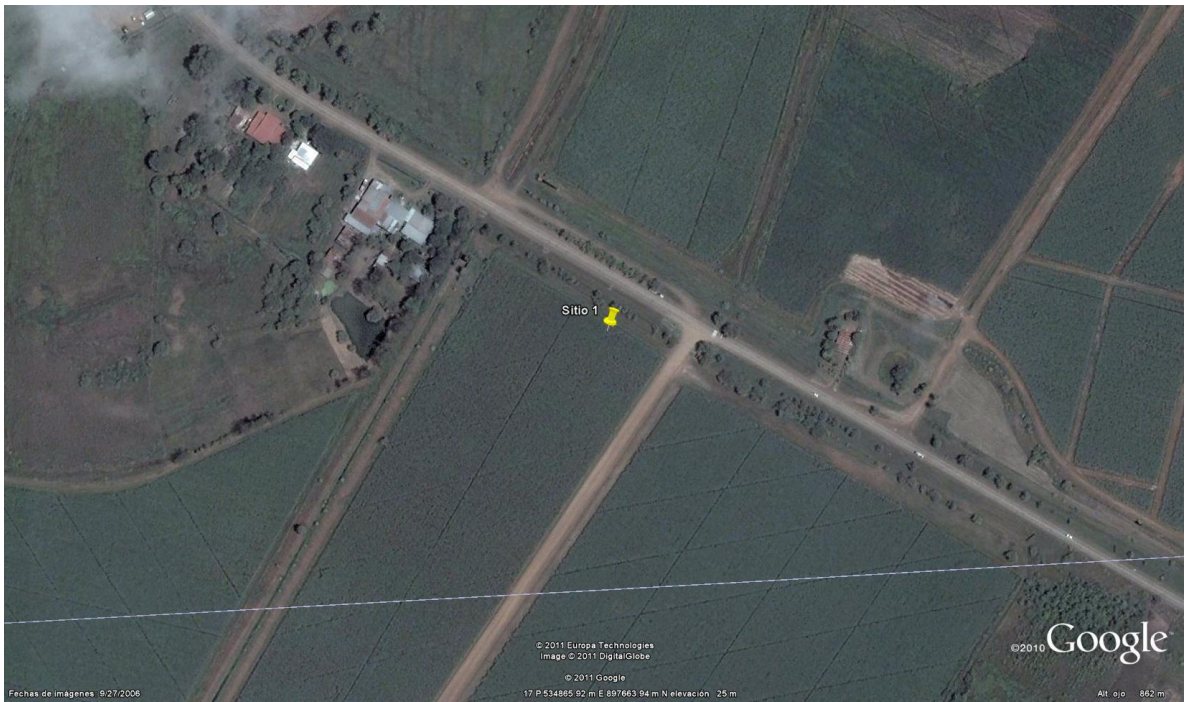
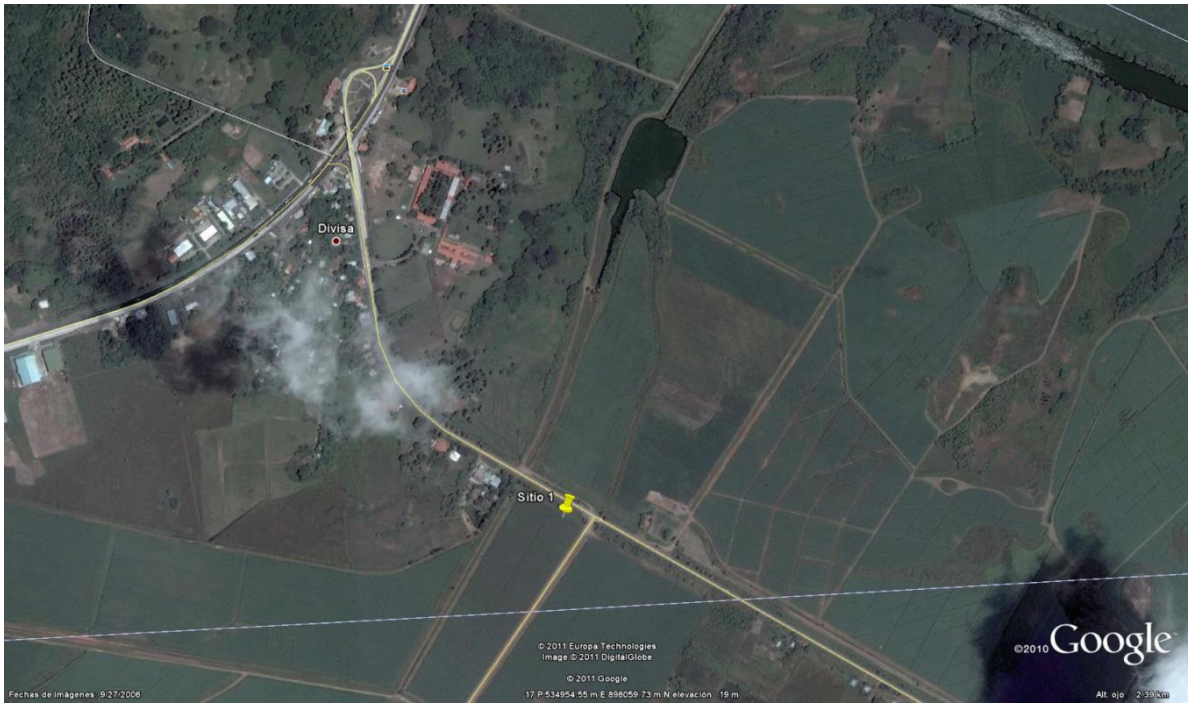
El área de estudio se localiza en Santa María, provincia de Herrera, con plantaciones de caña de azúcar. Se estableció una parcela rectangular de 1000 m<sup>2</sup> (20 m x 50 m) de superficie. Se seleccionarán 2 puntos de muestreo, las muestras del camellón las cuales serán identificadas con la letra “C” y las muestras del entresurco las cuales se identifican con la letra “E”, a con una profundidad de 0-25 cm, los cuales son identificados con el último número de la codificación alfanumérica, las letras “A” representa las muestras tomadas antes de realizarse la quema controlada en el área de estudio y la letra “B” representa las muestras dos semanas después de la quema.

## 2.2 Ubicación del área de estudio

La toma de la muestra fue realizada en la siguiente ubicación geográfica según el GPS:

Grados, minutos, segundos	UTM
Sitio 1) 8° 7'15.39"N	80°41'0.36"O (534875.18 m E 897681.79 m N)
Sitio 2) 8° 7'15.07"N	80°41'0.50"O (534870.80 m E 897671.90 m N)
Sitio 3) 8° 7'14.81"N	80°41'0.65"O (534866.28 m E 897663.97 m N)

La forma del muestreo realizada en esta área fue realizada de forma aleatoria en el campo, con el propósito de obtener muestras homogéneas y representativas del área. Las muestras fueron colectadas antes de la quema prescrita para iniciar la zafra (enero), adicional se colectan muestras dos semanas después de la misma.



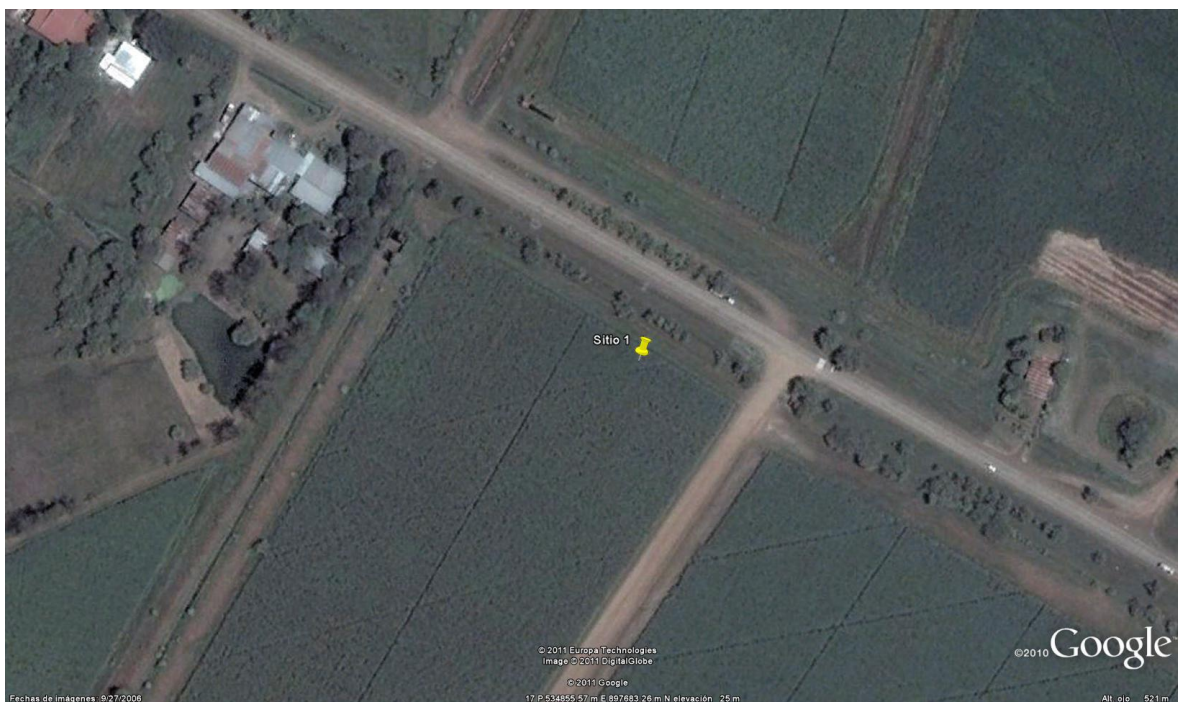


Figura 2. Imágenes aéreas del área de estudio (obtenido de Google Earth). Las tachuelas amarillas indican puntos de muestreo.

### 2.3 Tratamiento de las muestras

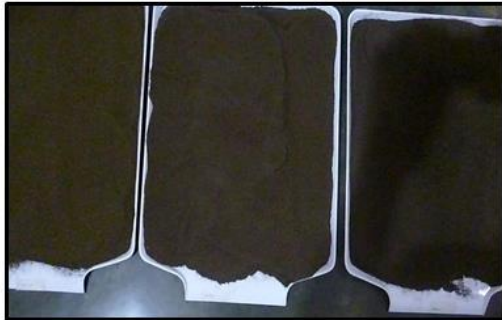
El muestreo de los suelos fue realizado por la Licenciada Dayra Yanisel Rivera, estudiante del Programa de Maestría en Ciencias Químicas. Una vez las muestras fueron recolectadas se secaron al aire, posteriormente molidas y tamizadas por una malla de 2 mm (malla #20) para la realización de los análisis de laboratorio. De esta forma se remueven restos de plantas, macrofauna del suelo y piedras. Posteriormente, las muestras se homogenizarán y almacenarán en bolsa plásticas cerrada herméticamente a una temperatura de 4°C hasta el momento de su uso (ver Figura 3).



**Mezclado de submuestras**



**Tamizado < 2 mm**



**Secado al aire < 40°C**



**Almacenamiento**

Figura 3. Imágenes de las muestras recolectadas y su tratamiento.

## **2.4 Medida de la Textura por el Método de Bouyoucos**

El método de Bouyoucos es una técnica de laboratorio utilizada en la agronomía y la ciencia del suelo para determinar la textura de una muestra de suelo.

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de partículas de diferentes tamaños que componen el suelo: arena, limo y arcilla. Esta proporción es fundamental para determinar propiedades importantes del suelo como: capacidad de retención de agua, permeabilidad y fertilidad.

- Capacidad de retención de agua: Suelos con mayor contenido de arcilla retienen más agua.
- Permeabilidad: Suelos arenosos permiten un mayor paso del agua.
- Fertilidad: La textura influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

### 2.4.1 Ley de Stokes

El método de Bouyoucos está relacionado directamente con la ley de Stokes ya que la caída de partículas en un líquido sigue la Ley de Stokes. Stokes (1851) descubrió la relación entre el radio de una partícula y la velocidad de caída en un líquido. Averiguo que la resistencia opuesta por el líquido a la caída de una partícula esférica variaba con el radio de la esfera, y no con la superficie, conforme a la siguiente expresión:

$$V = \frac{2}{9} (d_p - d) g r^2 / \eta$$

En donde  $v$  es la velocidad de caída en centímetros por segundo;  $g$  la aceleración debida a la gravedad;  $d_p$  a densidad de la partícula;  $d$  la densidad del líquido;  $r$  el radio de la partícula en centímetro; y  $\eta$  la viscosidad absoluta de líquido. Es evidente que la velocidad de caída de las partículas de igual densidad en un mismo líquido aumentará con el cuadrado del radio.

Supuestos de la ley de Stokes. La validez de la fórmula de Stokes se basa en los siguientes supuestos:

1. Las partículas deben ser grandes en comparación con las moléculas del líquido para que el movimiento browniano (movimiento aleatorio que se da en las partículas) no afecte a la caída.
2. La cantidad del líquido debe ser grande en comparación con el tamaño de la partícula. La caída de la partícula no debe ser afectada por la proximidad de la pared del recipiente ni por partículas adyacentes. Odén (1925) demostró que las partículas caen sin influencia mutua en suspensiones que no tengan más de 1% de partículas solidas
3. Las partículas deben ser rígidas y lisas, requisito difícil de satisfacer con las partículas del suelo. Es muy probable que las partículas no sean del todo lisas en su superficie. Se ha demostrado que las partículas no son esféricas, sino de forma irregulares, con gran número de partículas en forma de placa en las

fracciones de arcilla. Puesto que la diversidad figural de las partículas altera la velocidad de caída, se ha ideado el concepto de "radio equivalente" o "radio efectivo" para remediar esta dificultad al aplicar la ley de Stokes. Se entiende por radio equivalente el radio de una esfera del mismo material que caería con la misma velocidad que la partícula en cuestión.

4. No debe existir deslizamiento entre las partículas y el líquido. Este requisito se cumple en los suelos a causa de la cápsula de agua que rodea las partículas.

5. La velocidad de caída no debe rebasar un cierto valor crítico, a fin de que la viscosidad del líquido sea la única resistencia a la caída de la partícula. Las partículas mayores que las de limo no pueden ser separadas con precisión mediante la ley de Stokes.

Limitaciones de la ley de Stokes. El efecto de las diferentes formas de las partículas en la velocidad de asentamiento de las partículas de arcilla es una de las mayores limitaciones para la aplicación precisa de la ley de Stokes. Kelley y Shaw (1942), al utilizar el microscopio electrónico para medir el área de la sección transversal de las partículas de arcilla, esclarecieron las relaciones hidrodinámicas de la caída de partículas en cuanto es función de la forma. Encontraron que la separación en fracciones de las partículas en forma de bastón, basada en la velocidad de asentamiento, no es tan precisa como la de las que tienen forma de disco.

Además del efecto del tamaño y forma de las partículas en la aplicabilidad de la ley de Stokes al análisis del tamaño de partículas, existen limitaciones experimentales que deben tomarse en consideración al utilizar este principio. Como la velocidad de caída es inversamente proporcional a la viscosidad del medio, es necesario mantener una temperatura conocida constante durante el análisis. Por ejemplo, la velocidad de caída es 12% más alta a 30°C que a 25.

La temperatura constante también ayuda a evitar las corrientes de convección, que podrían surgir por diferencia de temperatura cerca de las paredes del recipiente y en el seno de la suspensión. Tales corrientes impedirían el asentamiento uniforme de las partículas. Las corrientes de convección también

pueden ocurrir por agitación del líquido y son más difíciles de eliminar que las producidas por las variaciones de temperatura.

La densidad de las partículas del suelo es otro factor que afecta la precisión de la ley de Stokes. La densidad depende de la constitución química y mineralógica y del grado de hidratación de las partículas. Es dudoso que se pueda determinar con precisión la densidad real que tiene la partícula cuando esta cae en el agua. El método del picnómetro es el más utilizado para medir la densidad. La muestra es secada a 110°C para eliminar las capsulas de agua absorbida. Es claro que una partícula hidratada que cae en la suspensión tiene menor densidad que la partícula solamente deshidratada.

#### **2.4.2 Pretratamiento de las muestras (Método de Bouyoucos)**

La distribución de las partículas del suelo por tamaño es considerada una característica de gran interés por la correlación existente entre la superficie específica y el tamaño de las partículas los cuales determinan un carácter importante del suelo para determinar la textura del suelo.

Para este estudio se utiliza el método internacional de determinación de textura de las muestras de suelo y así poder clasificar el suelo de estudio y dividir cada muestra en las fracciones de arena, limo y arcilla siguiendo la siguiente metodología brindada por el Departamento de Agronomía de la Universidad de Panamá. En donde se busca como objetivo principal el tratar las muestras de forma preliminar para obtener una dispersión máxima de la muestra durante el análisis, sin llegar a romper las partículas del suelo y así lograr una dispersión correcta para lograr la segregación adecuada de las muestras. Por esta razón antes de iniciar con la separación las muestras deben ser tratadas para tener un tamaño de partícula uniforme por lo cual deberán ser maceradas y tamizadas en una malla de 2mm (malla #20) con lo cual también se garantiza la eliminación de cualquier tipo de contaminante presente en la muestra que pueda interferir en la determinación.

Una vez las muestras hayan sido pretratadas se deberá pesar la cantidad establecida en la metodología en gramos en una balanza con una sensibilidad de 0.01 gramos.

Para esta determinación de textura se requieren los siguientes materiales a mencionar, los cuales son facilitados por la Facultad de Agronomía de la Universidad de Panamá: vaso químico de 400 o 600 mL, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%, NaOH al 1%, Calgón al 5% u otro dispersante como pirofosfato de sodio o hexametáfosfato de sodio o polifosfato de sodio, agitador mecánico con copa, cilindro de sedimentación de un litro graduado, termómetro, cronómetro, capsula de aluminio, malla de 2 mm (malla #20), botella lavadora, embolo para mezclar e hidrómetro calibrado y de uso opcional se utilizó alcohol amílico, unas pocas gotas para eliminar la espumidad que se forme en la superficie que desmejore la visibilidad cuando se realiza la lectura en la escala del hidrómetro.

### **2.4.3 Determinación de la textura**

Para calibración el hidrómetro, se colocan 100 mL de solución dispersante en el cilindro de sedimentación y se afora hasta un litro con agua destilada. Se mezcla la suspensión con la ayuda del embolo batidor; luego se introduce el hidrómetro lentamente para evitar que el mismo oscile en la mezcla y se tome la primera lectura en la parte superior del menisco de la asta del hidrómetro. Se debe tomar y anotar además la temperatura de la mezcla en la medición.

Para determinar la textura de las muestras se debe cernir las muestras para garantizar tener un tamaño de partícula de 2mm, en donde si la muestra esta aglomerada la misma se debe macerar previamente en un mortero para lograr la granulometría adecuada.

Luego se procedió a pesar 40 g del suelo de estudio y paralelamente se pesó 10 g de la misma muestra en una capsula diferentes para lo que sería la determinación de la humedad de la muestra gravimétrica (%H) y se colocan en el horno para secarlo a 105°C por un periodo de 24 horas.

Se debe de colocar los 40 g de suelo previamente pesados en una copa de dispersión y añadirle 100 mL del dispersante y 150 mL de agua destilada. Se debe dejar en reposo por 10 minutos para una adecuada digestión.

Luego de transcurrir los 10 minutos cronometrados se debe agitar la mezcla con el agitador mecánico por un periodo de 5 minutos. Dependiendo del tipo de suelo de estudio este tiempo puede aumentar hasta a 20 minutos para suelos muy arcillosos y en caso de suelos muy arenosos no se deben de agitar por un periodo mayor a los 5 minutos para evitar la destrucción de las partículas de la muestra de estudio.

Luego de haber mezclado la muestra, esta se debe de pasar de la copa de dispersión al cilindro de sedimentación con la ayuda de una botella lavadora, para transferir toda la mezcla de la muestra al cilindro y se completa el volumen de un litro con agua destilada hasta la línea de aforo.



Figura 4. Muestras en el cilindro de sedimentación

Se debe de colocar el cilindro de sedimentación en una posición completamente horizontal y sobre una superficie fija, donde no se perturbe la suspensión, como se muestra en la Figura 4. Luego se debe de tomar la temperatura de la mezcla y anotarla para los posteriores cálculos.

Luego se debe de mezclar la suspensión con la ayuda del embolo, esta agitación debe de ser con movimientos sucesivos y constante de abajo hacia arriba sin salpicaduras o pérdida del volumen de la mezcla. Hasta que todo el material solido quede en suspensión. Se añaden unas gotas de alcohol amílico si la suspensión está cubierta de muchas espumas. Se retira el émbolo, se anota y se inicia el cronometro (este será el tiempo cero de la sedimentación).

Para la clasificación según la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo la primera lectura se debe de hacer después de transcurrir 4 minutos del reposo inicial. Para esto el hidrómetro debe ser colocado inmediatamente una vez se retire el émbolo de la suspensión con cuidado de que no se derrame o salpique la suspensión y para que el hasta del hidrómetro este estable, no osciló a la hora de hacer la lectura.

Luego de haber realizado la lectura a los 4 minutos (LH1), el hidrómetro debe permanecer dentro de la suspensión hasta que trascurra dos horas para realizar la según lectura (LH2). La temperatura de la suspensión se debe de registrar después de cada lectura para la debida corrección que hay que realizar, para obtener resultados más precisos.

La Primera lectura que se hace LH1 corresponde a la parte de Limo y Arcilla en suspensión de las muestras a estudiar, dado que la Arena se sedienta a los 4 minutos en el método internacional. Luego de haber transcurrido las dos horas (LH2 la segunda lectura) toda la Arcilla se precipitará, quedando solo el Limo en suspensión.

Como el hidrómetro se calibra a  $19.4^{\circ}\text{C}$ , en las dos lecturas que se realizan se deben de tomar las temperaturas de ensayo, para hacer las correcciones pertinentes. Así que cada grado por encima o por debajo de  $19.4^{\circ}\text{C}$ , se debe

adicionar o disminuir respectivamente, 0.3 unidades. Se debe tener presente que el hidrómetro da lecturas directas en gramos de material sólido en suspensión por litro de suspensión.

Determinar el porcentaje de Humedad Gravimétrica del suelo a estudiar (%H). Con las lecturas LH1, LH2 y %H se determinará el porcentaje de Arena, Limo, Arcilla y la textura del suelo a estudiar. Esta determinación de la textura se hará con la ayuda del triángulo de Clases de La Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo.

$$\%H = (\text{Suelo Húmedo} - \text{Suelo seco a } 105^{\circ}\text{C} / \text{Suelo Seco}) \times 100$$

$$\% \text{ Arena total en TFSE} = 100 - (1^{\text{a}}\text{lectura corregida} \times 100 / \text{g TFSE usados})$$

$$\% \text{ Arcilla en TFSE} = 100 \times 2^{\text{a}}\text{lectura corregida} / \text{g de TFSE usados}$$

$$\% \text{ Limo en TFSE} = (1^{\text{a}}\text{lectura corregida} - 2^{\text{a}}\text{lectura corregida}) \times 100 / \text{g de TFSE usados}$$

## **2.5 Tratamiento químico de las muestras**

Se separaron cada muestra en sus tres fracciones correspondientes de arena, limo y arcilla para realizar estudios a cada una de estas fracciones de suelo.

Las muestras de limo y arcilla se trataron bajo dos métodos químicos para tratar los óxidos presentes en las muestras

### **2.5.1 Tratamiento A - NaOH 5M**

En la muestra de suelo seca se concentran los óxidos de hierro cristalinos calentando la muestra con NaOH 5M. Se peso  $1 \pm 0.001$  g de suelo en un envase de teflón de 100 mL, añadimos 50 mL de NaOH 5M, calentamos a  $90^{\circ}\text{C}$  en una plancha por 1 hora. Dejamos

enfriar y centrifugamos por 10 min a una velocidad de 800 RPM. Descartamos el líquido sobrenadante y repetimos el paso anterior con el residuo sólido (2 veces más). Extraemos la sodalita ( $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2$ ) de la muestra con 20mL de HCl 0.5 M agitando por 20 min y luego centrifugando por 10 min. Extraemos el NaCl con 20 mL de  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  1N agitando por 20 min y luego centrifugando por 10 min a 800 RPM (2 veces). Removemos el exceso de  $\text{NH}_4$  y  $\text{CO}_3$  con 25 mL de agua destilada y centrifugamos por 10 min a 800 RPM (2 veces). Transferimos el residuo sólido a un vaso de vidrio y colocamos al horno a  $110^\circ\text{C}$  toda la noche para volatilizar el  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  remanente.

Este tratamiento se realizó a la fracción de arcilla y limo de cada muestra solamente.

### **2.5.2 Tratamiento B - Ditionito Citrato Bicarbonato (DCB)**

Este tratamiento permite extraer óxidos de hierro cristalinos de la muestra de suelo. Para ello, pesamos  $1 \pm 0.001$  g de muestra en un vaso de teflón de 100mL, añadimos 40mL de  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.3 M (citrato de sodio) y 5mL de  $\text{NaHCO}_3$  1 M (bicarbonato de sodio) y colocamos en un baño de agua regulado a  $80^\circ\text{C}$  hasta que la muestra alcanzara dicha temperatura. Añadimos 1 g de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  (ditionito de sodio) y agitamos por 1 minuto e intermitentemente por 5 minutos, seguidamente añadimos 1 g más y continuamos agitando por otros 10 minutos. Dejamos enfriar para que inicie la floculación, siendo necesaria la adición de 10mL de NaCl (cloruro de sodio) saturado y 10 mL de  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  (acetona) para acelerar el proceso de floculación por la naturaleza alofónica (compuestos orgánicos que disponen de una cadena abierta en su estructura), seguido centrifugamos por 10 min a 800 RPM. Se llevó a cabo una segunda extracción en el residuo sólido. Al finalizar lavamos el residuo con la mezcla buffer (Citrato: Bicarbonato). Extraemos el residuo con agua destilada y lo colocamos en un horno para secado a  $105^\circ\text{C}$ . Molemos el residuo seco en un mortero de ágata y lo colocamos en un vial para preservar las muestras tratadas de arcilla y limo.

## **2.6 Caracterización mineralógica**

Las muestras sin y con tratamiento químico fueron analizadas por difracción de rayos X (DRX), espectroscopia Mössbauer (EM) y espectroscopia infrarroja. Las muestras de suelo sin tratar y los tratadas con DCB y NaOH 5M, fueron molidas finamente.

Las muestras en polvo fueron analizadas por DRX en un difractómetro (PANalytical X'Pert powder diffractometer). La radiación utilizada fue de rayos-X provenientes de Co-K<sub>a</sub>, aplicando 45.5 kV y 40 mA en los rangos de  $10^\circ < 2\theta < 90^\circ$  a barrido continuo en geometría Bragg-Brentano.

Los espectros IR se registraron en modo de transmitancia utilizando un espectrómetro Shimadzu IR-Affinity-1 (FT-IR 8400S). La resolución de los espectros fue de  $4 \text{ cm}^{-1}$ .

Los espectros Mössbauer se obtuvieron con pastillas de 1-2 mm de espesor, utilizando aproximadamente 100 mg. Se colocó la pastilla en el portamuestra del espectrómetro Mössbauer, operando en el modo de aceleración constante en 512 canales (doblado) con una fuente de  $^{57}\text{Co}/\text{Rh}$ . La escala de velocidad fue calibrada con respecto a láminas de  $\alpha\text{-Fe}$ . El software utilizado para modelar los espectros a temperatura ambiente es el Recoil 1.0. El ajuste de los espectros se llevó a cabo utilizando líneas Lorentzianas y de Voigt. Los espectros fueron ajustados a dobletes paramagnéticos y sextetos magnéticos. La calidad de cada ajuste se analizó mediante pruebas de chi cuadrado.

# **CAPÍTULO III**

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 Análisis Granulométrico y Clasificación Taxonómica del Suelo**

Para determinar la textura de los suelos estudiados se usó el método del hidrómetro. Una vez que se tienen ya las lecturas del hidrómetro corregido se procedió a realizar los cálculos para la obtención de las cantidades de arena, limo y arcilla y así lograr definir experimentalmente la textura de suelo mediante el triángulo de clases texturales de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (SICS).

En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos experimentalmente de cada muestra. Los resultados obtenidos concuerdan con lo descrito en la literatura, de que el suelo de esta zona de Panamá corresponde a suelos franco arcilloso-arenosos. El sustrato de textura arcillosa, franco arcilloso arenosa generalmente pedregosa, rojo y chocolate. El carácter franco Indica un equilibrio entre partículas de arena, limo y arcilla. Esto significa que el suelo tiene una buena estructura, lo que favorece la infiltración del agua y la aireación. Al ser arcilloso hay una cantidad significativa de arcilla en el suelo. La arcilla proporciona capacidad de retención de agua y nutrientes, pero en exceso puede dificultar el drenaje. La arena mejora el drenaje, pero disminuye la capacidad de retención de agua y nutrientes.

**Cuadro 1. Resultados del Análisis Granulométrico**

Muestras	Color del Suelo	Porcentaje			Textura
		Arena	Limo	Arcilla	
A1C1	Pardo amarillo oscuro	56	20	24	FARA
A1C2	Pardo amarillo oscuro	54	22	24	FARA
A1E1	Pardo amarillo oscuro	54	18	28	FARA
A1E2	Pardo amarillo oscuro	56	22	22	FARA
A2C1	Pardo amarillo oscuro	56	18	26	FARA
A2C2	Pardo amarillo oscuro	56	18	26	FARA
A2E1	Pardo amarillo oscuro	56	20	24	FARA
A2E2	Pardo amarillo oscuro	54	20	26	FARA
A3C1	Pardo amarillo oscuro	48	20	32	FARA
A3C2	Pardo amarillo oscuro	54	20	26	FARA
A3E1	Pardo amarillo oscuro	50	22	28	FARA
A3E2	Pardo amarillo oscuro	44	22	34	FARA
Muestras	Color del Suelo	Porcentaje			Textura
		Arena	Limo	Arcilla	
B1C1	Pardo amarillo oscuro	54	22	24	FARA
B1C2	Pardo amarillo oscuro	56	18	26	FARA
B1E1	Pardo amarillo oscuro	54	22	24	FARA
B1E2	Pardo amarillo oscuro	54	18	28	FARA
B2C1	Pardo fuerte	56	18	26	FARA
B2C2	Pardo fuerte	54	18	28	FARA
B2E1	Pardo fuerte	58	18	24	FARA
B2E2	Pardo fuerte	54	18	28	FARA
B3C1	Pardo rojizo oscuro	50	20	30	FARA
B3C2	Pardo amarillento	54	22	24	FARA
B3E1	Pardo oscuro	48	20	32	FARA
B3E2	Pardo rojizo oscuro	46	20	34	FARA

FARA = Franco Arcilla Arenosa

Estos suelos son de alto o moderadamente ácidos y de baja fertilidad.” (Celineth Ortiz y Brenda Vergara, 2022,). Los suelos arcillosos arenosos usados como suelos agrícolas pueden ser desde moderadamente profundo hasta profundo, con buenos drenajes, subsuelos arenosos, franco arcillosos arenosos y arcillosos, de reacción neutra a fuertemente ácida y de fertilidad natural baja a media, con deficiencia en fósforo y potasio.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de los análisis químicos de los suelos estudiados. Según la tabla de valores críticos de los nutrientes usada por el Laboratorio de Suelos del IDIAP,

Los niveles de potasio son medios, con ligera tendencia a incrementar después de la quema, lo que es favorable para la fertilidad del suelo. Los metales lixiviables potasio y calcio tienen niveles bajos. Esto puede provocar debilidad estructural, dificultad en la absorción de otros nutrientes y mayor susceptibilidad a enfermedades. Los niveles bajos de magnesio y sodio suelen ser bajos en suelos ácidos. El aluminio también se presenta en bajos niveles, lo que, dado el carácter ácido de estos suelos, resulta beneficioso para un mejor crecimiento y productividad de las plantas. La materia orgánica es baja, sin tendencia clara antes y después de la quema. Los niveles de cobre, manganeso y hierro son medios, sin tendencia clara antes y después de la quema. Los suelos estudiados son deficientes en Zinc, igual como en el resto del país.

El suelo estudiado es ácido, de textura franco arcilloso-arenoso, deficientes en macro y microelementos. Están altamente intemperizados y lixiviados. Los mapas de suelo de Panamá (Villarreal et al., 2016) clasifican estos suelos como suelos Ultisoles, cuyas características corresponden a los resultados aquí presentados. Tienen una baja saturación de bases y son de color amarillento o rojizo (debido a la presencia de óxidos de hierro y aluminio). Los Ultisoles, son conocidos por su intenso proceso de lixiviación y su bajo contenido de bases cambiables, pueden presentar una amplia variedad de texturas, incluyendo la textura franco-arcillosa arenosa. Tienen un horizonte argílico de acumulación de arcilla, nivel de lavado y meteorización (CIAT 1983). Además, Buol (2004) señaló que en estos suelos la eluviación y la iluviación son los procesos más importantes en el desarrollo

del perfil, dándose el caso de acumulación de arcillas en horizontes profundos del perfil, y produciéndose una pérdida de arcilla en los horizontes superficiales

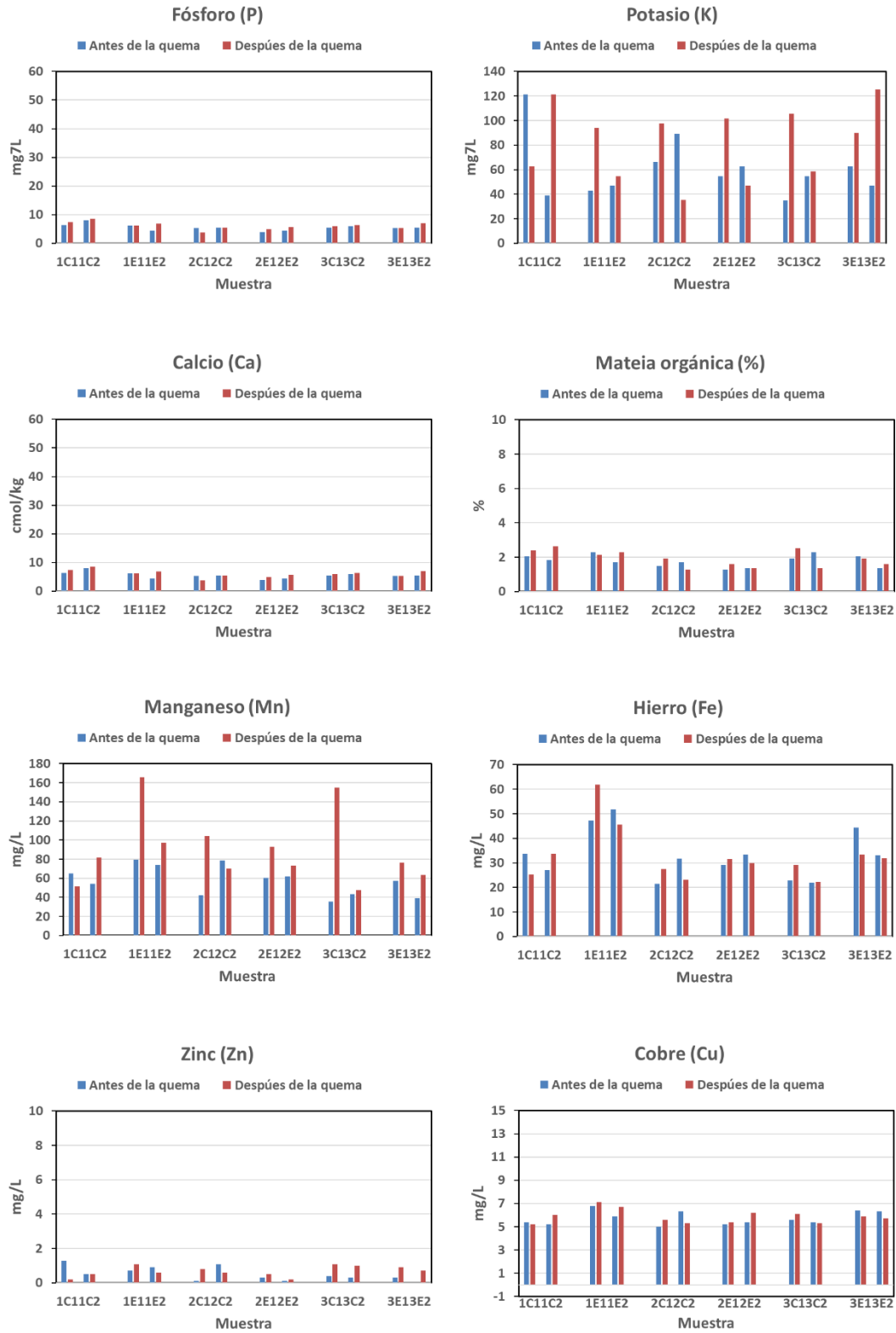


Figura 5. Resultados gráficos de análisis de elementos seleccionados.

**Cuadro 2. Resultado de los análisis de las variables químicas en los suelos**

Muestra	pH															Bases intercambiable				
		P	K	Ca	Mg	Al	MO	Mn	Fe	Zn	Cu	N	CIC meq/100g	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	K	Ca	Mg	Na	CE	
		mg/L		Cmol/Kg			%	mg/L					%	meq/100g				ds/m		
A1C1	5.4	5	121.2	6.3	1	0.2	2.05	65.0	33.7	1.3	5.4	0.1	44	1.12	0.02	10.16	3.02	0.05	0.18	
A1C2	5.6	Tr	39.1	8.1	1.1	0.1	1.82	54.3	27	0.5	5.2	0.09	41.6	1.15	0.00	13.58	2.88	0.09	0.22	
A1E1	5.7	3	43	6.1	1.4	0.2	2.28	79.6	47.2	0.7	6.8	0.11	43.2	1.17	0	14.38	3.63	0.08	0.11	
A1E2	5.5	Tr	46.9	4.5	1.1	0.3	1.71	73.6	51.8	0.9	5.9	0.09	45.6	1.14	0	13.06	3.3	0.09	0.18	
A2C1	5.5	Tr	66.4	5.3	1.3	0.2	1.49	42.2	21.4	0.1	5.0	0.07	42.4	1.20	0	12.31	3.18	0.07	0.10	
A2C2	5.5	1	89.0	5.4	1.4	0.3	1.71	78.4	31.7	1.1	6.3	0.09	40.4	1.13	0.01	12.70	3.58	0.05	0.09	
A2E1	5.7	Tr	54.7	3.9	1	0.2	1.28	60.5	29.1	0.3	5.2	0.06	40.4	1.16	0	12.31	3.3	0.07	0.2	
A2E2	5.6	1	62.5	4.4	1.2	0.3	1.38	62.1	33.4	0.1	5.4	0.07	43.2	1.13	0	12.1	3.43	0.06	0.17	
A3C1	5.5	Tr	34.7	5.5	1.5	0.2	1.93	35.4	22.8	0.4	5.6	0.10	44.4	1.10	0.01	14.54	3.75	0.11	0.12	
A3C2	5.3	Tr	54.7	6.0	1.5	0.3	2.28	43.3	21.8	0.3	5.4	0.11	42.8	1.13	1.25	14.76	3.97	0.09	0.14	
A3E1	5.3	Tr	62.5	5.3	1.4	0.3	2.05	57.1	44.3	0.3	6.4	0.10	42	1.07	0.02	13.62	3.43	0.09	0.18	
A3E2	5.4	Tr	47	5.4	1.2	0.3	1.38	39.4	33.1	Tr	6.3	0.07	49.2	1.07	2.48	13.44	3.60	0.11	0.10	

Muestra	pH	Bases intercambiable																	
		P	K	Ca	Mg	Al	MO	Mn	Fe	Zn	Cu	N	CIC meq/100g	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	K	Ca	Mg	Na	CE
		mg/L		Cmol/Kg			%	mg/L					%	meq/100g					ds/m
B1C1	5.7	2	62.5	7.4	1.2	0.2	2.40	51.8	25.3	0.2	5.2	0.12	37.2	1.16	0.04	15.21	3.12	0.06	0.10
B1C2	5.9	Tr	121.2	8.5	1.2	0.3	2.64	81.8	33.7	0.5	6.0	0.13	37.2	1.21	0.01	16.04	3.00	0.08	0.12
B1E1	5.5	5	93.8	6.1	1.6	0.3	2.16	166.0	61.8	1.1	7.1	0.11	42.4	1.24	0.04	13.51	3.65	0.09	0.08
B1E2	5.5	2	54.7	6.9	1.9	0.2	2.28	97.0	45.5	0.6	6.7	0.11	39.6	1.17	0.01	14.06	3.68	0.07	0.10
B2C1	5.5	Tr	97.7	3.7	1.6	0.4	1.93	104.1	27.5	0.8	5.6	0.10	43.6	1.19	0.04	14.73	3.53	0.05	0.18
B2C2	5.6	Tr	35.1	5.5	1.2	0.3	1.28	70.2	23	0.6	5.3	0.06	38.8	1.14	0.08	14.69	1.78	0.09	0.10
B2E1	5.4	1	101.6	5.0	1.7	0.3	1.60	92.7	31.6	0.5	5.4	0.08	44	1.20	0.24	14.53	3.67	0.08	0.12
B2E2	5.7	Tr	47	5.6	1.9	0.3	1.38	73.3	30	0.2	6.2	0.07	44	1.27	0.00	13.72	3.45	0.10	0.10
B3C1	5.5	Tr	105.5	6.0	1.8	0.3	2.52	155.1	29.1	1.1	6.1	0.12	57.6	1.18	0.02	12.98	3.78	0.04	0.08
B3C2	5.4	Tr	58.6	6.4	1.8	0.4	1.38	47.3	22.3	1.0	5.3	0.06	55.6	1.18	0.00	13.11	3.53	0.08	0.10
B3E1	5.4	Tr	90.0	5.3	1.6	0.3	1.93	76.2	33.3	0.9	5.9	0.10	51.2	1.16	0.02	13.06	3.48	0.04	0.14
B3E2	5.3	Tr	125.2	7.1	1.5	0.2	1.60	63.5	31.9	0.7	5.7	0.08	48.8	1.11	0.01	13.24	3.48	0.11	0.11

Los Ultisoles franco arcillosos arenosos son suelos con una buena estructura, que ofrecen un equilibrio entre drenaje y retención de agua. Su versatilidad los hace adecuados para una amplia variedad de cultivos. Sin embargo, es importante realizar un análisis de suelo detallado para determinar las necesidades específicas de cada cultivo y aplicar las prácticas de manejo adecuadas. Se espera que este suelo tenga una buena respuesta a la aplicación de potasio, siendo el potasio extraíble la principal fuente de este elemento para los cultivos (Name y Villarreal, 2004).

### **3.2 Difracción de Rayos X**

El método de difracción de rayos X por la técnica de polvo puede aplicarse a las diversas fases granulométricas del suelo (arena, limo y arcilla). Aunque todos los componentes minerales pueden ser estudiados por difracción, es usual el análisis de los minerales de la arcilla por difracción. Debido a la multitud de factores que pueden influir en la identificación de los minerales de la arcilla, se usan diversos tratamientos previos para el éxito de un análisis difractométrico. La preparación de la muestra para el análisis debe incluir los tratamientos para eliminar agentes cementantes y componentes amorfos. Ello incluye la eliminación de carbonatos, materia orgánica, óxidos de hierro libres, óxidos de manganeso, sílice y alúmina. En este trabajo se usó el análisis por difracción de la arcilla total sometida a un tratamiento con Ditionito Citrato Bicarbonato (DCB), que permite extraer óxidos de hierro de la muestra de suelo. También se usó un Tratamiento NAOH 5 M caliente con el que se concentran los óxidos de hierro cristalinos.

En la Figura 6 presentamos los difractogramas del DRX de la fracción arcillosa con tratamiento con DCB de las muestras A3C1 y B3C1. Se observa la ocurrencia de reflexiones características de fases mineralógicas lillita

$[(K,H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$ , 40% en la arcilla del suelo tratada con

DCB antes de la quema y 26% después. También se detecta la presencia de vermiculita  $Mg_{0.7}(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4 \cdot 8H_2O$  en la muestra de fracción arcillosa después de la quema. Resultados similares se obtienen en las arcillas de muestras provenientes de entresurcos. Notarás que en la muestra tratada con DCB, B3C1, hay una diferencia importante. En el difractograma de esta muestra hay un par de picos que ocurren a  $28.8^\circ$  y  $31.9^\circ$  que prácticamente no se observan en la muestra A3C1, también tratada con DCB. Estos picos se asocian al mineral illita.

La illita y la vermiculita son dos minerales arcillosos que pertenecen al grupo de los filosilicatos, lo que significa que sus estructuras están compuestas por láminas de tetraedros y octaedros. Estructura en capas: Tanto la vermiculita como la illita tienen una estructura en capas, lo que les confiere propiedades como la absorción de agua y la capacidad de intercambio catiónico. La vermiculita es conocida por su capacidad de expandirse considerablemente cuando se calienta o entra en contacto con agua debido a la presencia de moléculas de agua intercaladas entre sus capas. La illita, por otro lado, tiene una expansión mucho más limitada.

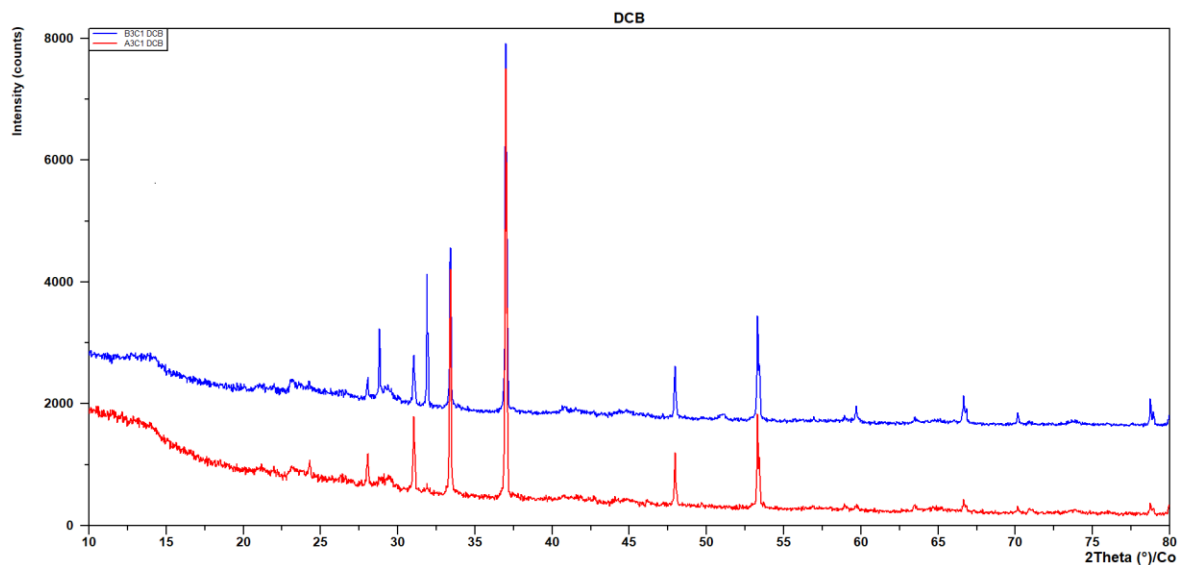


Figura 6. Difractogramas de la fracción arcillosa con tratamiento con DCB de las muestras A3C1 (azul) y B3C1 (rojo).

En la Figura 7 presentamos los difractogramas del DRX de la fracción arcillosa con tratamiento con NaOH de las muestras A3C1 y B3C1.

se aprecia la ocurrencia del alúmino silicatos illita, fases no magnéticas tales como cuarzo y caolinita  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , y en cantidades modestas el sesquióxido de Fe ordenado magnéticamente goethita ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ), con ligera sustitución de hierro por aluminio en su variedad alumínica,  $(\text{Fe},\text{Al})\text{OOH}$ , conocida como alumogoethita. Estas muestras mostraron picos agudos debido a la sodalita, un subproducto común del tratamiento, pero ninguno debido a algún otro mineral de óxido de hierro. Es importante notar que no se observa el óxido hematita. La goethita pierde sus grupos hidroxilos ( $-\text{OH}$ ) para formar hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) cuando se calienta entre  $300\text{ }^\circ\text{C}$  y  $400\text{ }^\circ\text{C}$ . Esto sugiere que en la quema prescrita no se alcanzan temperaturas elevadas y que es de corta duración. La caolinita (arcilla estratificada 1:1 de fórmula química  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) no posee potasio en su

estructura laminar, por lo que el potasio extraíble proviene de las pequeñas cantidades de vermiculita y de la materia orgánica.

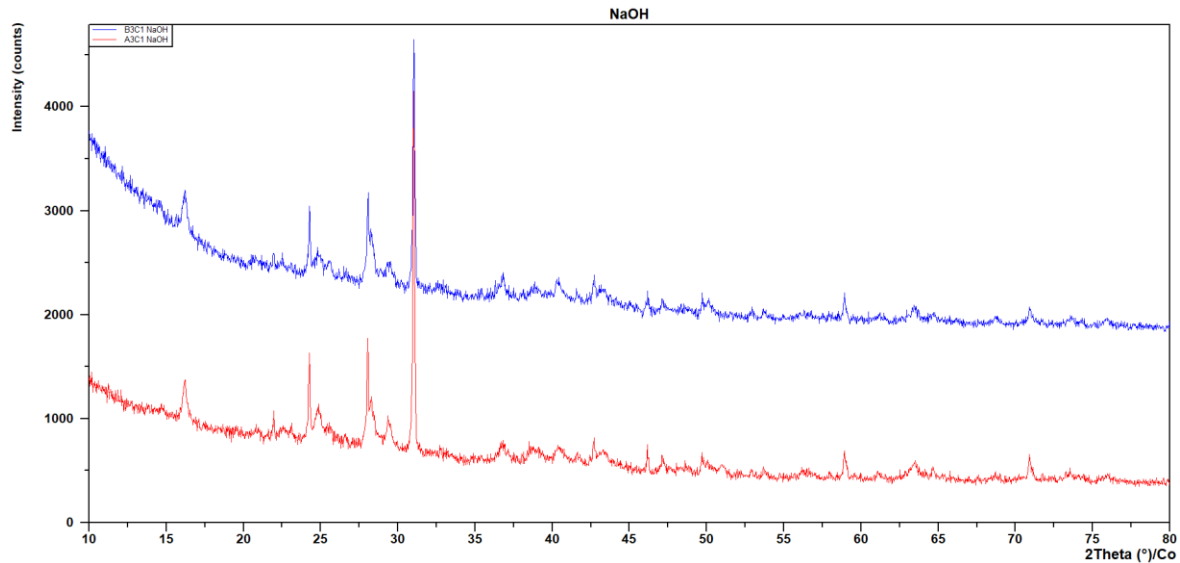


Figura 7. Difractogramas de la fracción arcillosa con tratamiento con NaOH de las muestras A3C1 (azul) y B3C1 (rojo).

### 3.3 Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)

Las bandas observadas para cada muestra analizada por FTIR en el rango  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  fueron asignadas usando los valores correspondientes a cada banda de vibración en minerales reportadas en la literatura (Jozanikohan y Abarghooei, 2022) (ver Cuadro 3).

El espectro FTIR de la muestra, fracción arcilla A3C1 y B3C1 tratada con DCB que se muestra en la Figura:8. Es bastante obvio que ambas muestras contienen los mismos minerales arcillosos, aunque algunas variaciones en las cantidades relativas. La presencia de bandas a  $1040\text{ cm}^{-1}$ ,  $798\text{ cm}^{-1}$ ,  $750\text{ cm}^{-1}$  y  $694\text{ cm}^{-1}$  nos indican que ambas muestras son ricas

en cuarzo. Las bandas de absorción a  $3691\text{ cm}^{-1}$ ,  $3630\text{ cm}^{-1}$ ,  $3449\text{ cm}^{-1}$ ,  $1639\text{ cm}^{-1}$ ,  $1034\text{ cm}^{-1}$  y  $798\text{ cm}^{-1}$  son un claro indicio de la presencia de illita. La banda de absorción a  $1024\text{ cm}^{-1}$ , acompañada del pico alrededor de  $1000\text{ cm}^{-1}$  sugieren que la mineral vermiculita se encuentra en estos suelos, principalmente en la muestra B3C1 obtenida después de la quema prescrita. La banda alrededor de  $1400\text{ cm}^{-1}$  puede estar ligada a carbonatos.

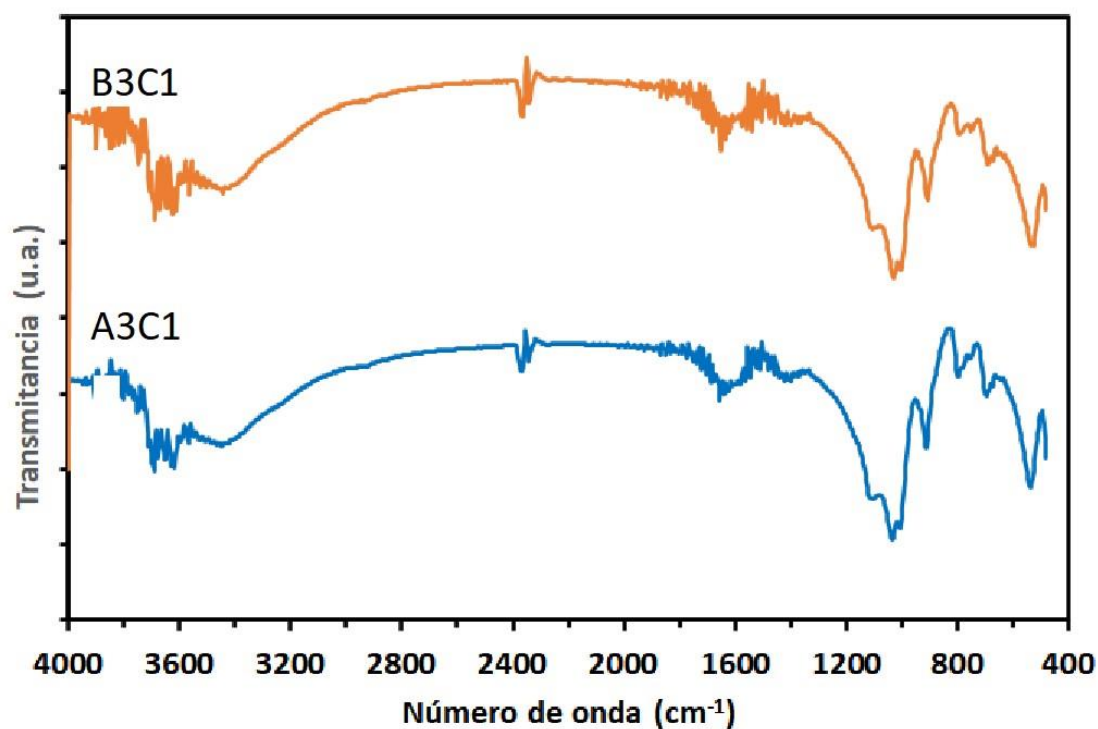


Figura 8. Espectros FTIR de las muestras de arcillas de A3C1 y B3C1 tratadas con DCB.

**Cuadro 3. Bandas IR importantes en minerales con sus posibles asignaciones (Jozanikohan y Abarghooei, 2021)**

Bandas (cm <sup>-1</sup> )	Asignación
3703	Hidroxilos superficiales
3695	Vibraciones de estiramiento simétrico en fase, grupos OH de superficie interna
3669	Vibraciones de estiramiento OH fuera del plano
3653	Vibraciones de dos hidroxilos superficiales
3620	Grupo OH internos, que se encuentran entre las láminas de unidades tetraédricas y octaédricas
3430	Vibraciones de agua adsorbida (H-O-H)
1633	Estiramiento H-O-H
1111	Modo de vibración de estiramiento se SO <sub>4</sub> , tetraedros
1102	Modo de vibración de estiramiento se SO <sub>4</sub> , tetraedros
1033	Si-O-Si, estiramiento Si-O
1094	Modo de vibración de estiramiento de SO <sub>4</sub> tetraedros
938	Banda de deformación de la caolinita
914	Banda de flexión de Al <sub>2</sub> OH de caolinita vibraciones Al-O-H
844	AlMgOH
790	Estiramiento de Si-O, estiramiento de Si-O-Al, estiramiento (Al, Mg)-O-H, Si-O-(Mg, Al)
693	Estiramiento de Si-O, estiramiento de Si-O-Al
538	Flexión Si-O, Estiramiento Si-O-Fe
468	Flexión Si-O, Estiramiento Si-O-Fe

El espectro FTIR de la fracción arcilla A3C1 tratada con NaOH, que se muestra en la Figura 9, está dominado con el del compuesto hidrosodalita (Vaičiukyniene, 2009). Sodalita (silicato de aluminio y sodio) puede precipitar durante el procedimiento de alcalinización. Se usa un lavado con HCl 0,5 M para eliminar la sodalita precipitada. No obstante, Singh & Gilkes (1991) observaron que una cantidad considerable de sodalita queda después de un lavado con HCl 0.5 M cuando los óxidos de hierro se concentran a partir de arcillas de suelo ricas en caolín. Estos autores propusieron un procedimiento modificado que no altera la sustitución de Al ni el tamaño del cristal de goethita, hematita y maghemita. La banda a 799 cm<sup>-1</sup>, una de las bandas diagnóstico de la goethita, sugiere la presencia de este mineral.

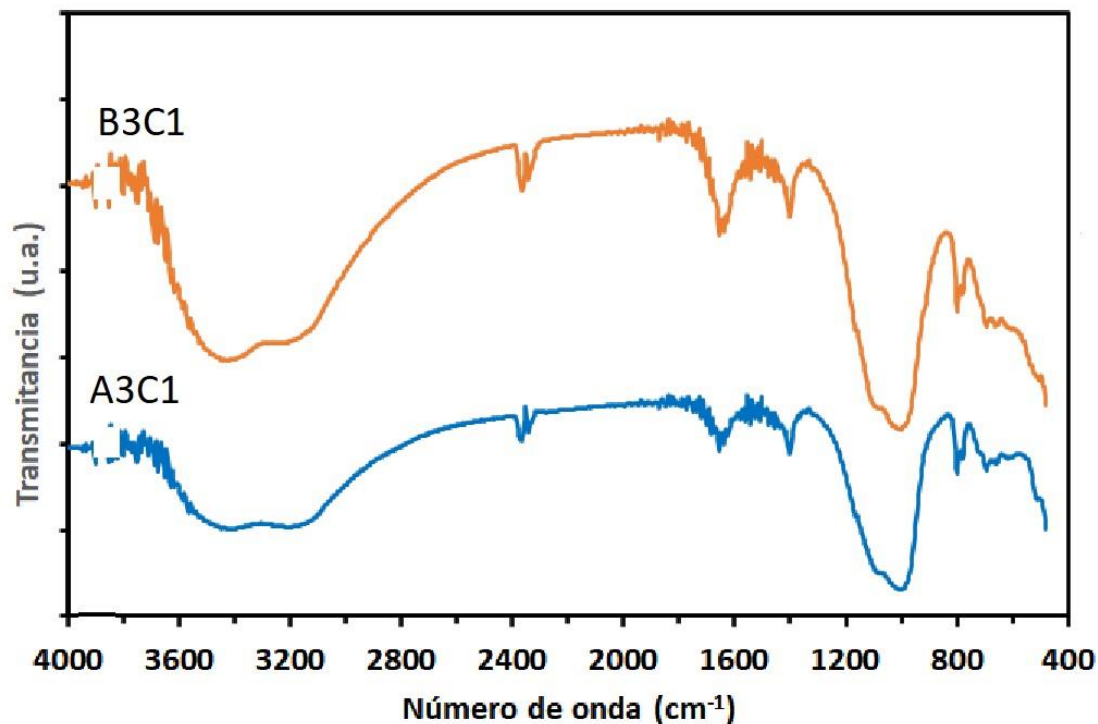


Figura 9. Espectros FTIR de las muestras de arcillas de A3C1 y B3C1 tratadas con NaOH.

### 3.4 Espectroscopia Mössbauer

Es una técnica desarrollada desde hace más de 35 años y que ha ganado mucha importancia porque nos permite explorar el mundo atómico a un nivel muy profundo. Se basa en un fenómeno muy particular: la emisión y absorción de rayos gamma por parte de ciertos núcleos atómicos, sin pérdida de energía. Analizando los espectros Mössbauer se puede obtener información importante de las muestras como su entorno químico de átomos, su estructura cristalina y sus propiedades magnéticas.

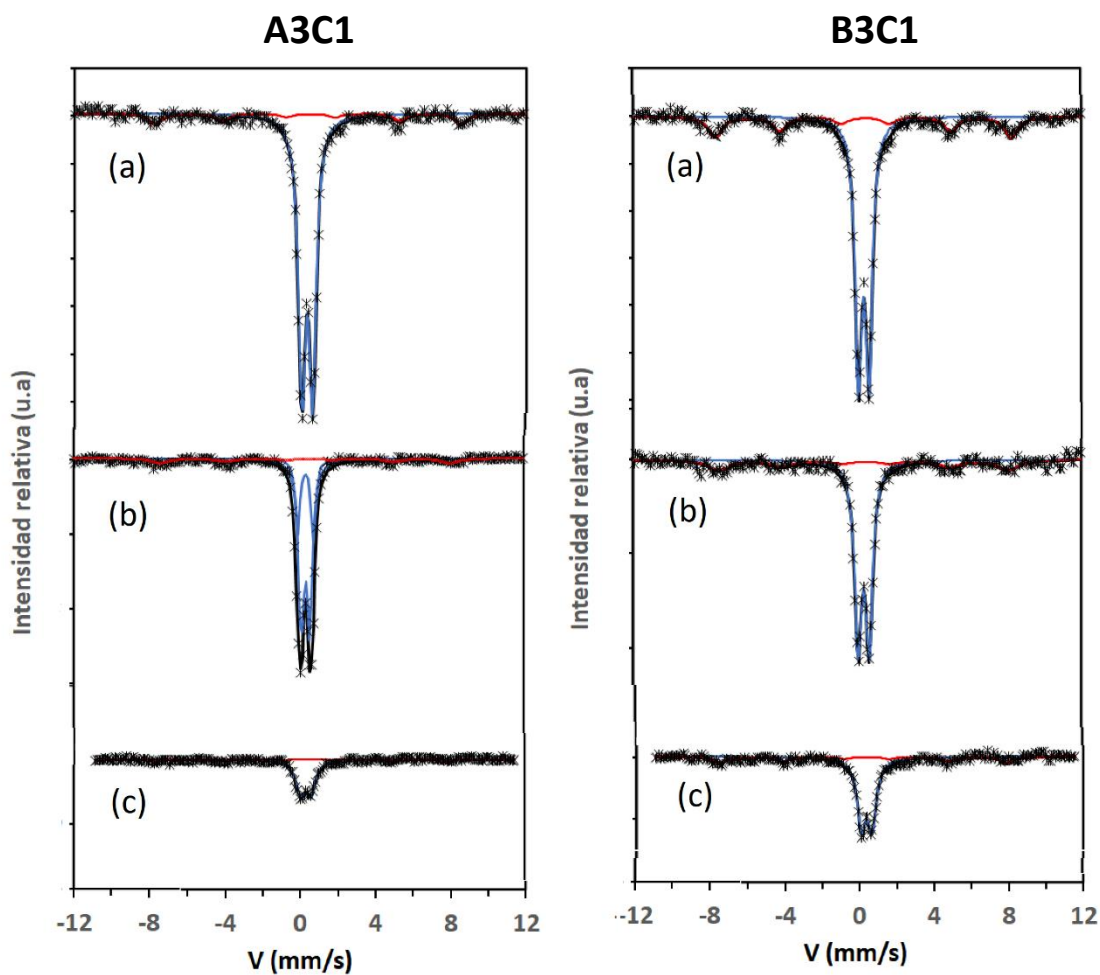


Figura 10. Espectros Mössbauer de los suelos A3C1 y B3C1 (a) sin tratamiento químico, (b) tratados con NaOH y (c) tratados con DCB.

El análisis Mössbauer muestra espectros a temperatura ambiente (RT) constituido por un doblete central, en todas las muestras. Este se debe a la presencia de  $\text{Fe}^{3+}$  en minerales de fases paramagnéticas o superparamagnéticas;  $\text{Fe}^{3+}$  en sitios octaédricos de diferentes silicatos o por contribuciones de óxidos paramagnéticos o superparamagnéticos de hierro.

En la Figura 10a se muestran los espectros de los suelos sin fraccionar de las muestras A3C2

y B3C1 tomados a temperatura ambiente. El espectro Mössbauer consiste en un pronunciado doblete central, con una pequeña contribución de un sexteto magnético. Es interesante observar que el suelo tratado con DCB la intensidad (efecto Mössbauer) del doblete está muy disminuida (ver Figura 10c). Esto se debe a que el hierro está presente como sustituyente en bajas concentraciones (1–5%); en las arcillas, la estructura de filosilicatos genera un entorno más complejo y menor rigidez cristalina, reduciendo el factor libre de retroceso  $f$ ; el hierro está diluido en una matriz no ferrosa (distribuido heterogéneamente entre las capas de silicato). . En las muestras tratadas con DCB, el doblete se asigna principalmente a caolinita, según los parámetros hiperfinos (Rozenon, 1979). En otros minerales arcillosos, como la illita, se espera una contribución de  $\text{Fe}^{2+}$ , lo que no se observa en los espectros de los suelos estudiados, indicando que menos del 3% del hierro total se encuentra en estas arcillas es divalente.

El doblete central en el espectro Mössbauer a temperatura ambiente de los suelos (Figura 10) y arcillas (Figura 11) puede mostrar una contribución superparamagnética que quedaría superpuesta con la de los minerales arcillosos. En consecuencia, es necesario bajar la temperatura para ver si la goethita muestra un espectro magnético y de este modo poder discernir su presencia, lo que se confirma de los de los espectros de las arcillas tratadas con NaOH a 80 K y 20 K, tal como se ilustra en la Figura 11, se desdoblan magnéticamente a estas bajas temperatura, obteniéndose espectros con un sexteto magnético con parámetros hiperfinos de la goethita. La goethita es un producto de meteorización, el más común oxihidróxido de hierro en suelos, que generalmente es de baja cristalinidad y a menudo contiene sustituciones isomorfas de Al para el Fe. En estos espectros a bajas temperaturas se observa una contribución adicional a la fase de goethita, por ejemplo, el doblete remanente

a 20 K. Se sugiere que esta contribución se debe a una ferrihidrita dopada probablemente con aluminio, que exhibe espectros relajados y hasta dobletes a muy bajas temperaturas (Chadwick, 1986). También se conoce que la materia orgánica, aún en pequeñas concentraciones, ejerce un claro impacto en la estructura, tamaño y propiedades magnéticas de la ferrihidrita (Eusterhues et al., 2008).

En el Cuadro 4 y 5 se resume el resultado del análisis Mössbauer de las fracciones arcillosas de las muestras A3C1 y B3C1 tratadas con NaOH y DCB. En unas pocas muestras se logra observar un incipiente sexteto, que por los campos magnéticos muy probablemente trazas de maghemita y/o hematita.

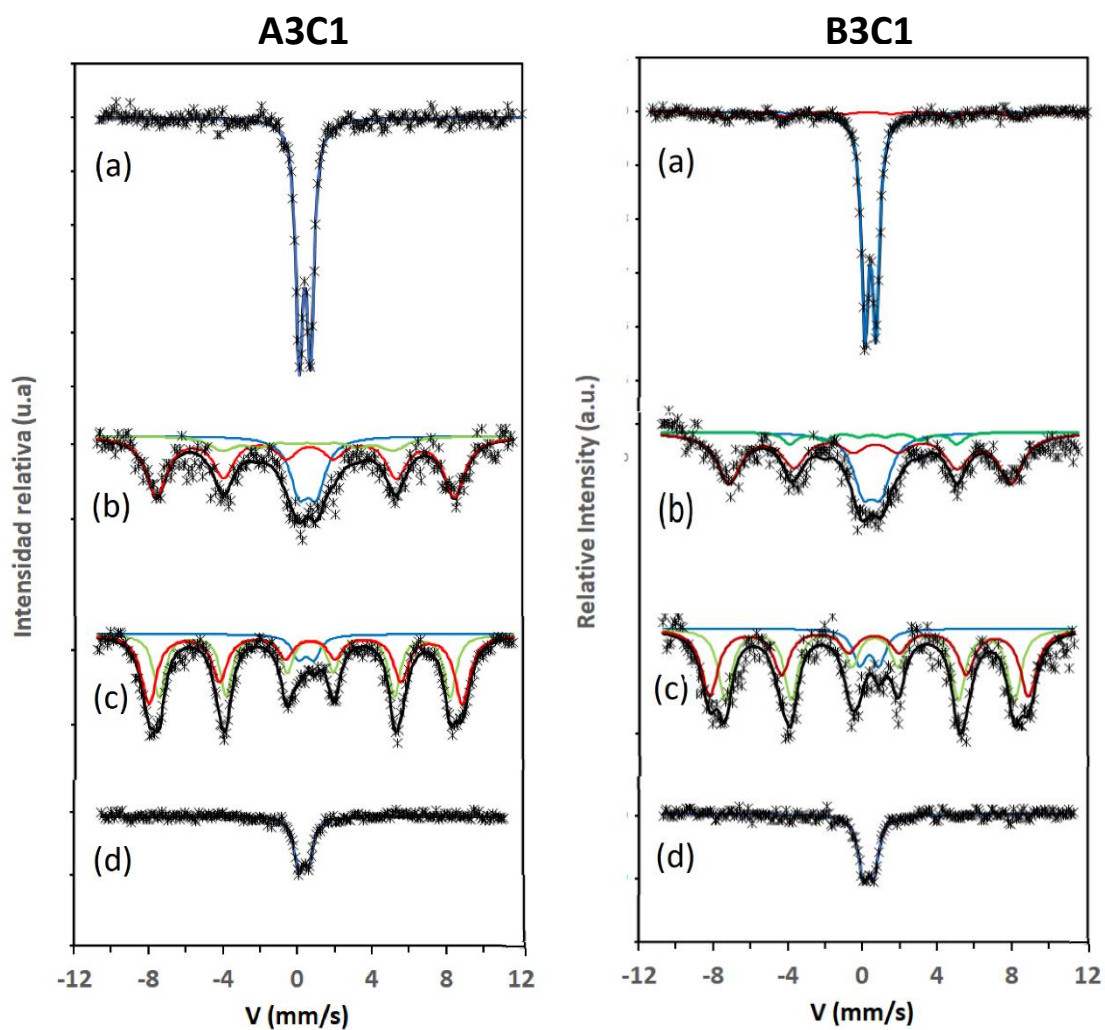


Figura 11. Espectros Mössbauer de las fracciones arcilla de A3C1 y B3C1 (a) tratados con NaOH y temperatura ambiente (b) tratados con NaOH a 80 K (c) tratados con NaOH a 20 K y (d) tratados con DCB a temperatura ambiente.

**Cuadro 4. Resultados Mössbauer a TA de muestras de suelo.**

Muestra	S1				D1			D2		
	H <sub>m</sub> (T)	2ε (mm/s)	IS (mm/s)	A (%)	QS (mm/s)	IS (mm/s)	A (%)	QS (mm/s)	IS (mm/s)	A (%)
<b>A3C1</b>										
Sin tratar	50.5	-0.14	0.50	13.1	0.585	0.326	86.9	-	-	-
NaOH	48.0	-0.20	0.46	12.3	0.455	0.361	62.6	0.839	0.360	25.1
DCB	48.0	-0.38	0.31	10.9	0.566	0.328	80.1	-	-	-
<b>B3C1</b>										
Sin tratar	49.2	-0.10	0.39	25.8	0.571	0.364	74.2	-	-	-
NaOH	48.1	-0.14	0.41	26.4	0.596	0.361	73.6	-	-	-
DCB	47.7	-0.18	0.27	20.8	0.582	0.361	79.2	-	-	-

H<sub>m</sub> campo magnético hiperfino;  $\epsilon$  el desplazamiento cuadrupolar; QS desdoblamiento cuadrupolar; IS desplazamiento isomérico relativo al a-Fe; A área subspectral relativa.

El error en los parámetros hiperfinos QS e IS es  $\pm 0.005$  mm/s para los dobletes y  $\pm 0.01$  mm/s para los sextetos.

**Cuadro 5. Resultados Mössbauer de muestras de las arcillas**

Muestra	S1				S2				D1		
	H <sub>m</sub> (T)	2ε (mm/s)	IS (mm/s)	A (%)	H <sub>m</sub> (mm/s)	2ε (mm/s)	IS (%)	A (%)	QS (mm/s)	IS (mm/s)	A (%)
<b>A3C1</b>											
NaOH TA	-	-	-	-	-	-	-	-	0.59	0.35	100
NaOH 80 K	49.6	-0.24	0.95*	60.7	28.5	-0.02	0.49*	16.6	0.93	0.50	22.7
NaOH 20 K	52.2	-0.26	0.49	49.2	48.4	-0.30	0.46	44.0	0.83	0.39	6.8
DCB	-	-	-	-	-	-	-	-	0.54	0.35	100
<b>B3C1</b>											
NaOH TA	48.5	-0.22	0.35	10.8	-	-	-	-	0.59	0.38	89.2
NaOH 80 K	46.8	-0.30	0.5*	63.1	27.8	0.08	0.5*	8.7	0.95	0.46	28.2
NaOH 20 K	53.0	-0.26	0.44	43.9	48.1	-0.28	0.48	47.3	1.04	0.31	8.8
DCB	-	-	-	-	-	-	-	-	0.56	0.31	100

H<sub>m</sub> campo magnético hiperfino;  $\epsilon$  el desplazamiento cuadrupolar; QS desdoblamiento cuadrupolar; IS desplazamiento isomérico relativo al a-Fe; A área subspectral relativa.

El error en los parámetros hiperfinos QS e IS es  $\pm 0.01$  mm/s.  
\*Fijo durante el ajuste

### **3.5 Análisis microbiológico**

En estudios microbiológicos previos (Álvarez y Palma, 2014) que se realizan a estos suelos, se determinaron cambios significativos en estas plantaciones a nivel microbiológico. Se observa una mayor respiración de estos suelos previos a la zafra y una mayor población de bacterias en estos suelos lo cual no ocurre igual con la población de hongos, ya que las colonias de hongos fueron mayores en las muestras tomadas posteriormente a la zafra. El índice de actividad microbiana mostró el mismo comportamiento que la tasa de respiración microbiana y la actividad de la deshidrogenasa. Los parámetros bioquímicos no variaron significativamente entre los camellones y los entresurcos, pero disminuyen drásticamente después de la quema. La quema trae consigo la pérdida del microbiota presente. Al momento de la quema mueren muchos microorganismos que favorecen la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de los nutrientes. Así, debido a su ausencia y a la pérdida de nutrientes, el suelo se ve condenado a ser cada vez más infértil y surge la necesidad de la fertilización mineral.

# **CAPÍTULO IV**

## **CONCLUSIONES**

1. Los suelos estudiados son ácidos, de textura franco arcilloso-arenoso. Se clasifican taxonómicamente como Ultisoles.
2. Los análisis fisicoquímicos revelan poca variación de los elementos del suelo antes y después de la quema prescrita, ni el camellón y entresurco. Los niveles de potasio son medios, con ligera tendencia a incrementar después de la quema, en tanto otros metales lixiviables potasio y calcio tienen niveles bajos. El aluminio y la materia orgánica también se presentan en bajos niveles.
3. No se observa una variación mineralógica marcada entre los suelos y las fracciones arcillosas antes y después de la quema controlada, ni el camellón y entresurco. Por DRX se identifican los minerales cuarzo, caolinita (arcilla 1:1), goethita y trazas de los minerales arcillosos illita y vermiculita. La presencia de estas fases, en general, se confirman con FTIR.
4. La caolinita no posee potasio en su estructura laminar, por lo que el potasio extraíble proviene de las pequeñas cantidades de vermiculita y de la materia orgánica.
5. Mediante espectroscopía Mössbauer se determinó la presencia del mineral goethita superparamagnética, ferrihidrita y caolinita. La práctica ausencia de hematita en el suelo sugiere que no se alcanzan temperaturas elevadas (>400 °C) en la quema prescrita y que la misma es de corta duración.
6. Las prácticas agrícolas deben ser cuidadosas para mantener una fertilidad y productividad apropiada; neutralizar la acidez, fertilización apropiada, manejo del agua, tener cuidados de la biota y la actividad microbiana.

**Capítulo V**  
**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Abdías Fuentes. (2013). Evaluación de Metales Pesados y Características Mineralógicas De Suelos Agrícolas de Cerro Punta Y Guarumal, Provincia de Chiriquí. Universidad Autónoma de Chiriquí. 47

Alvarez G., Karen L. y Palma M., Lesdiel A. Determinación de la actividad microbiana en suelo de uso cañero en el Distrito de Santa Maria, provincia de Herrera. Tesis de Grado, Licenciatura en Biología, Universidad de Panamá (2014)

Amonette J. E.y Zelazny L. W. (eds.). Quantitative methods in soil mineralogy. Madison, WI: Soil Science Society of American, 1994.

Astorga Bianchi, Y. (2017). Efectos a corto y largo plazo de la quema de plantaciones sobre propiedades del suelo. Caso experimental bajo condiciones de campo y de laboratorio. MED Soil Research Group. P.1-50.

BALWANT SINGH AND R. J. GILKES. Concentration of Iron Oxides From Soil Clays by 5 M Naoh Treatment: The Complete Removal of Sodalite and Kaolin Clay Minerals (1991) 26, 463-472.

Celineth Ortiz y Brenda Vergara. (2022). El desarrollo del distrito de aguadulce a través de la gestión alcaldía: 1990-2018. Universidad de Panamá. 25

D. VAIČIUKYNIENE, K. BALTAKYS, A. KANTAUTAS. (2009) Hydrosodalite ion exchange in saturated  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  solution. JATERIALS SCIENCE-POLAND 27(2):417-426

García Corona, C. (2018). Influencia de temperaturas de calentamiento sobre propiedades físicas y químicas de suelos con distinto material parental y uso antrópico. Revista Spanish Journal of Soil Science. 215-218.

Giovannini, G., S. Lucchesi, 1997. Modificaciones inducidas en los parámetros fisicoquímicos del suelo incendios experimentales a diferentes intensidades. *Ciencia del suelo*. 162(7): 479-486

Herrera González, S. (2017). Conservación de suelos en las tierras de la Provincia de Coclé. Tesis. Universidad Santa María La Antigua (USMA). Panamá. 66.

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1599.7844>

IDIAP, Sonificación de Suelos de Panamá por Niveles de Nutrientes, (2006).

Jozanikohan, G., Abarghooei, M.N. The Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis for the clay mineralogy studies in a clastic reservoir. *J Petrol Explor Prod Technol* 12, 2093–2106 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13202-021-01449-y>

L.D. Baver, Walter H. Gardner y Wilford R. Garner, Física de Suelos

Madejova, J. FTIR techniques in clay mineral studies, *Vibrational Spectroscopy* 31 (2003) 1–10

Madejová, J., Kečkéš, J., Pálková, H., & Komadel, P. (2002). Identification of components in smectite/kaolinite mixtures. *Clay Minerals*, 37(2), 377-388.

Méndez Arosemena, J. (2017). Procesos ecológicos en agricultura de quema. Un estudio de Casos. Tesis. Universidad Latina. Panamá.

Name. B. y Villarreal, J. Un Compendio de Resultados de Investigación del Programa de Suelos del IDIAP. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, 2004.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017).  
Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria. Reportaje.

Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016). El impacto de las quemas agrícolas: un  
problema de calidad del aire. Reportaje.

República de Panamá. Autoridad Nacional de Ambiente (2015). Atlas de las tierras secas y  
degradadas de Panamá. Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Sequía y  
la Desertificación en Panamá (CONALSED).

República de Panamá. Instituto Nacional de Estadística (INE, 2000). Censo de Población del  
año 2000.

Saikia, B. J, & Parthasarathy, G. (2010). Fourier Transform Infrared Spectroscopic  
characterization of Kaolinite from Assam and Meghalaya, Northeastern India. *J. Mod.  
Phys*, 1, 206-210.

Schroeder, P. A. (2002). Infrared Spectroscopy in clay science: In CMS Workshop Lectures,  
Vol. 11, Teaching Clay Science, A. The Clay Mineral Society, Aurora, CO,181-206.

Talamera Valdez, F. (2017). Rastrojo de cultivos y residuos forestales, Programa de  
transferencia de prácticas alternativas al uso del fuego en la Región del Biobío. Boletín  
INIA N.º 308. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile. 23.

V.C. Farmer, Transverse and longitudinal crystal modes associated with OH stretching  
vibrations in single crystals of kaolinite and dickite; *Spectrochim. Acta A* 56 (2000)  
927-930.

Vielma Castro, P. (2017). El uso del fuego en la agricultura: mitos y realidades. *Revista de  
Facultad de Ciencias Exactas. Escuela de Química. Universidad de Zulia, /Venezuela.*  
67-68.

Villarreal, J.E., Agudo, L. y Villalaz, J. (2016). Clasificación de suelos de Panamá y sus equivalencias. Instituto De Innovación Agropecuaria de Panamá.

Vu Cong Khang, Mikhail V. Korovkin and Ludmila G. Ananyeva; Identification of clay minerals in reservoir rocks by FTIR spectroscopy; 2016 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 43 012004