



# 3

Facultad de Ciencias Agropecuarias

ISSN L 2644-3856

Revista Investigaciones Agropecuarias

Volumen 2, N°1. pp. 34-48

Diciembre 2019 - Mayo 2020

Panamá

Recepción: 22 de febrero de 2019

Aceptación: 26 de noviembre de 2019

## DETERMINACIÓN MINERALÓGICA DE LA FRACCIÓN ARCILLA EN SUELOS DE IMPORTANCIA AGRÍCOLAS DE LA REPÚBLICA DE PANAMÁ

Francisco A. Mora Solís<sup>1</sup>\*, Reinmar Tejeira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Suelos y Agua

 \*famoras@hotmail.com, brta@usa.net

### RESUMEN

Se determina la mineralogía de la fracción arcilla de diferentes suelos de la República de Panamá debido a la importancia que tiene el conocer las arcillas presentes para la clasificación taxonómica de los suelos. Los suelos seleccionados para este análisis mineralógico presentan importancia agropecuaria y para la investigación. Los resultados de los minerales de arcilla determinados en cada uno de los suelos analizados son presentados en orden decreciente: Suelo 1 Facultad de Ciencias Agropecuarias – serie Chiriquí (Caolinita, Gibsita y Goetita); Suelo 2 Buena Vista (IDIAP), Colón, (Montmorilonita); Suelo 3 Salud, Colon, (Gibsita, Caolinita y Goetita); Suelo 4 Pacora (Felipillo), Panamá, (Caolinita y Gibsita-trazas); Suelo 5 El Ejido (IDIAP), Los Santos (Caolinita, Vermiculita y Montmorilonita); Suelo 6 Tonosí (bajo cultivo de arroz), Los Santos (Vermiculita) ; y Suelo 7 Gualaca (IDIAP), Chiriquí, (Caolinita, Gibsita y Goetita). Cada suelo se caracterizó física y químicamente con el objetivo de reunir información sobre su fertilidad e indicar su utilización en posibles proyectos futuros complementados con la información obtenida con la mineralogía determinada. La identificación de los minerales de arcilla presentes en los suelos fue posible mediante el uso de la técnica de difracción de los rayos X. Para los procedimientos analíticos, los suelos fueron fraccionados para la obtención de la fracción arcilla siguiendo la metodología indicada por Jackson (1969). Para facilitar la interpretación de los difractogramas de rayos X, y la identificación de las arcillas, fueron saturadas con magnesio y solvatadas con glicerol, y potasio, calentándose a 110 y 500°C.

**PALABRAS CLAVES:** Ciclo mineralogía de arcillas, difracción con rayos X, difractogramas, capacidad de intercambio catiónico y arcillas de Panamá,



MINEROLOGICAL DETERMINATION OF THE CLAY FRACTION OF SOILS OF AGRICULTURAL IMPORTANCE IN THE REPUBLIC OF PANAMA

**ABSTRACT**

The mineralogy of the clay fraction of different soils of the Republic of Panama is determined due the importance of knowing the type of clays present for the taxonomic classification of soils. The soils selected for this mineralogical analysis are of agricultural and research importance. The results of the clay minerals determination on each of the soils analyzed are presented in the following decreasing order. Soil 1 Faculty of Agricultural Science - Chiriqui series (Kaolinite, Gibbsite and Goethite); Soil 2 Buena Vista (IDIAP), Colon, (Montmorillonite); Soil 3 Salud, Colon (Gibbsite, Kaolinite, Goethite); Soil 4 Pacora (Felipillo), Panama (Kaolinite and Gibbsite traces); Soil 5 El Ejido (IDIAP), Los Santos (Kaolinite, Vermiculite and Montmorillonite); Soil 6 Tonosi (under rice cultivation), Los Santos (Vermiculite); Soil 7 Gualaca (IDIAP), Chiriqui (Kaolinite, Gibbsite and Goethite). Each soil was characterized physical and chemistry wise with the objective of gathering fertility information and indicate its use in future projects, as a complement to the information obtained in the mineralogical determination. The clay mineral identification present in the soils was made possible with the use of the X-Ray diffraction technique. For the analytical procedures used to separate the clay fraction the methods indicated by Jackson (1969) were followed. In order to facilitate the interpretation of the X-Ray diffractograms and thus the clay identification they were saturated with magnesium saturated and solvated with glycerol and potassium heated to 110° and 500° C.

**KEYWORDS:** clay mineralogy, x-ray diffraction, glycerol solvation, cation exchange capacity, clays from Panama.

---

## **INTRODUCCIÓN**

El suelo es un sistema complejo formado por numerosos componentes, que difieren entre sí por sus propiedades biológicas, físicas y químicas. Las partículas minerales constituyentes del suelo varían de tamaño, entre límites muy amplios, siendo las menores las de la fracción arcilla que, sin lugar a duda, son las que determinan la mayor parte de los procesos fisicoquímicos que ocurren en el suelo, y bajo determinadas condiciones, determinan las transformaciones biológicas.

La caracterización mineralógica del componente arcilloso de un suelo tiene considerable importancia, tanto del punto de vista puramente pedológico, como para el juzgamiento de la fertilidad del suelo y mejoramiento de sus condiciones, constituyendo su conocimiento gran utilidad para predecir el comportamiento de las tierras.

Se considera que los minerales de arcilla son el producto primario de la intemperización del material matriz o regolita y que el tipo de arcilla que se origina depende o está determinada por las condiciones ambientales

Constituyéndose, el análisis mineralógico un requisito previo en el entendimiento de los suelos y un medio eficaz para interpretar o relacionar y establecer algunas propiedades del suelo, tales como grado de meteorización, capacidad de intercambio catiónico, actividad e interacción iónica, disponibilidad o fijación de nutrientes, pH y otras.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Este trabajo se llevó a cabo con siete suelos superficiales provenientes de distintas regiones de la República de Panamá (Figura 1) que poseen diferentes condiciones climáticas, biológicas y topográficas. Para la identificación de las arcillas se usó la técnica de la difracción de rayos X. Cada suelo se analizó químicamente para conocer la capacidad de intercambio de cationes y la

presencia de otros nutrientes, siendo complementados estos datos con un análisis físico textural de cada uno de ellos.

Los suelos analizados representan áreas de investigación agrícola y de producción agropecuaria con condiciones de productividad diferentes. (13)

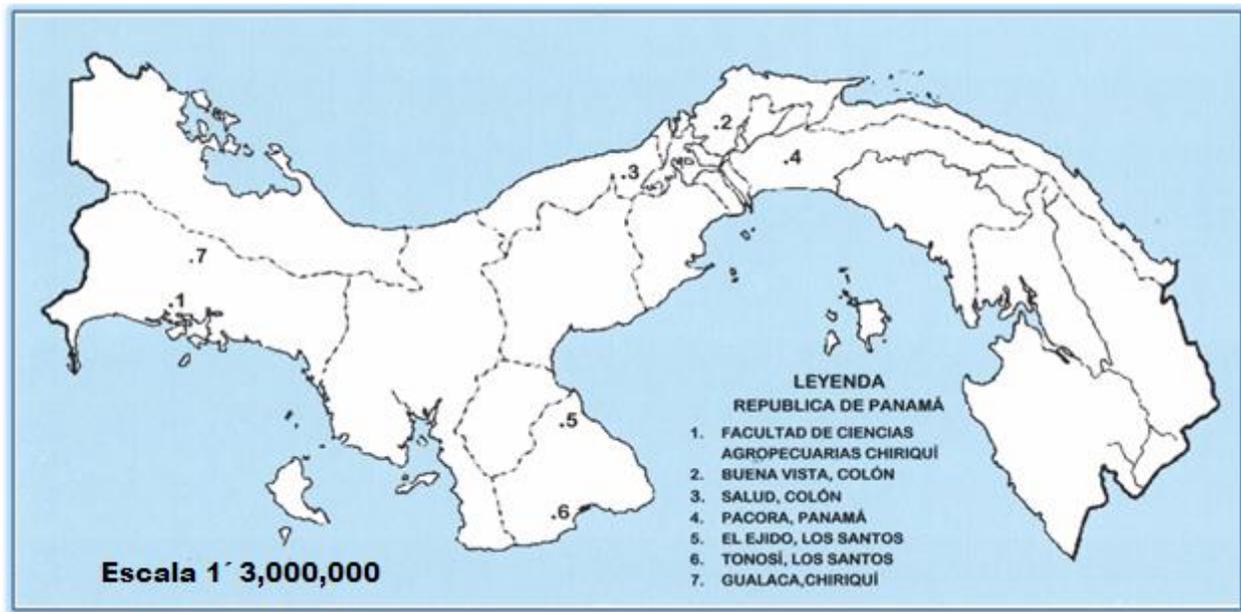


Figura 1. Localización de los suelos agrícolas de Panamá analizados (1).

### Técnica de análisis de arcillas por difracción de rayos x y principios básicos de esta técnica

Los rayos X, son energía radiante de una longitud de onda de aproximadamente  $1 \text{ \AA}$ . Si se hace pasar una luz de rayos X a través de un cristal y se coloca una placa fotográfica en cierto ángulo con respecto a las caras del cristal, los rayos al sufrir difracción producen un roentgenograma, característico de cada cristal. Así posible determinar la geometría de la unidad estructural del cristal. En general el método de difracción de rayos X, es la mejor técnica unitaria de investigación de las arcillas cristalinas, puesto que da una información completa de todos los componentes. El análisis de difracción de rayos X, y la determinación cualitativa de los diferentes minerales arcillosos presentes en los suelos en estudio se llevó a cabo en el

Department of Agronomic & Soil Science, College of Tropical Agriculture, University of Hawái, Estados Unidos. El tratamiento previo utilizado para distinguir la montmorilonita de la vermiculita y la clorita, es la saturación del complejo de intercambio de la arcilla con magnesio y la solvatación con etilenglicol o glicerol. La montmorilonita tiene un espaciamento interplanar característico de  $17 \text{ \AA}$  a  $19 \text{ \AA}$  La clorita y la vermiculita mantienen un espaciamento de  $14 \text{ \AA}$  y la mica (ilita) de  $10 \text{ \AA}$ . Para distinguir la vermiculita de la clorita y para identificar la caolinita, que tiene un espaciamento de  $7 \text{ \AA}$  el tratamiento previo consiste en la saturación de la arcilla, con potasio y el calentamiento en una platina de vidrio a  $500^{\circ}\text{C}$ . Los tratamientos térmicos intermedios, a  $110^{\circ}\text{C}$  y  $250^{\circ}\text{C}$  pueden utilizarse para estudiar los espacios entre capas en los minerales que se desmoronan u otros problemas especiales. Después del tratamiento a  $500^{\circ}\text{C}$ , la vermiculita y la montmorilonita se desmoronan completamente a  $10 \text{ \AA}$  la caolinita se hace amorfa y la clorita muestra todavía puntos extremos de  $14 \text{ \AA}$  y  $7 \text{ \AA}$ . La presencia de gibsita es dada en muestras saturadas con una solución potásica y a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  por picos a  $4.84 \text{ \AA}$  considerados de primer orden. También hay indicación de gibsita en muestras saturadas con Mg, correspondiéndole espaciamentos interplanares de  $4.79 \text{ \AA}$  y  $4.35 \text{ \AA}$  y para muestras saturadas con K a  $110^{\circ}\text{C}$ , con picos a los  $4.84 \text{ \AA}$  y  $4.37 \text{ \AA}$ .

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **A. Caracterización física y química de los suelos**

En las Tablas 1, 2 y 3 se presentan los resultados de los análisis físicos y químicos efectuados en las siete muestras de suelo, observándose una notable diferencia entre los valores para cada suelo. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) originalmente. Determinada por el método de acetato de amonio pH 7, fue también calculada mediante la determinación de la acidez cambiante por el método de cloruro de bario trietanolamina (BaCl<sub>2</sub>-TEA) pH 8.2 y por el método de cloruro de potasio (KCl), haciéndose la adición correspondiente de los meq de H y Al a los cationes ácidos registrados (Tabla 3).

**Tabla 1.** Características físicas de los suelos textura, clase textural, coloración en húmedo y seco.

SUELO	PORCENTAJE (%)			Clase textural	COLOR DOMINANTE			
	Are.	Arci.	Limo		SECO		HÚMEDO	
Fac. de Ciencias Agropec.	37.44	31.64	30.92	Franco arcillosa	5YR <sup>5</sup> / <sub>6</sub>	Rojo amarillento	5YR <sup>4</sup> / <sub>3</sub>	Pardo rojizo
Buena Vista	33.44	51.84	14.92	Arcilla	7.5 YR <sup>4</sup> / <sub>2</sub>	Pardo a pardo oscuro	7.5 YR <sup>3</sup> / <sub>2</sub>	Pardo oscuro
Salud	31.44	47.64	20.92	Arcilla	5YR <sup>5</sup> / <sub>6</sub>	Rojo amarillento	5YR <sup>4</sup> / <sub>4</sub>	Pardo rojizo
Pacora	47.44	35.64	16.92	Arcillo arenoso	10YR <sup>4</sup> / <sub>3</sub>	Pardo oscuro	10YR <sup>4</sup> / <sub>2</sub>	Pardo oscuro
El Ejido	31.44	49.64	18.92	Arcilla	5YR <sup>5</sup> / <sub>4</sub>	Pardo	5YR <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	Pardo rojizo oscuro
Tonosí	20.00	53.64	26.36	Arcilla	10YR <sup>3</sup> / <sub>2</sub>	Pardo grisáceo muy oscuro	10YR <sup>3</sup> / <sub>1</sub>	Gris muy oscuro
Gualaca	34.56	42.36	23.08	Arcilla	5YR <sup>5</sup> / <sub>6</sub>	Rojo amarillento	5YR <sup>4</sup> / <sub>3</sub>	Pardo rojizo

**Tabla 2.** Intercambiables, capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases

Suelos	pH en agua 1:2.5		Cationes intercambiables meq/100g de suelos				Acidez intercambiable meq/100g (H+Al)	CIC meq/100g	Porcentaje Saturación de bases	Relación Ca/Mg		
	H <sub>2</sub> O	KCl	Ca	Mg	K	Na						
1.	5.40	4.56	0.16	0.14	0.23	0.09	**8.4	***1.30	*14.61	**9.02	**6.90	1.14
2.	5.49	4.61	4.88	6.70	0.59	0.71	8.6	1.50	66.36	65.40	86.85	7.28
3.	5.26	4.33	0.28	0.08	0.11	0.14	8.9	2.90	12.26	9.51	6.40	3.50
4.	5.93	5.20	4.80	2.48	0.32	0.26	7.0	1.10	22.01	14.86	52.80	1.93
5.	6.25	5.76	22.00	8.51	0.40	0.46	4.1	0.45	34.02	35.70	88.40	2.58
6.	6.30	5.24	48.40	15.76	0.47	1.09	1.0	0.30	66.86	66.73	98.45	3.07
7.	5.08	4.18	0.96	0.50	0.17	0.05	18.4	6.10	22.09	20.08	8.36	1.92

\*Extracción con NH<sub>4</sub>OAc pH7.

\*\*Extracción de acidez con BaCl<sub>2</sub>-TEA pH 8.2.

\*\*\*Extracción de acidez con KCl.

**Tabla 3.** Características químicas de los suelos, porcentaje de materia orgánica, n total, fe libre, p extraíble, micronutrientes y relación c/n

Suelo	M.O.	C	N-Total	Fe-Libre	P	Cu	Mn	Fe	C/N
	-----%-----				-----ppm-----				
1. Fac. de Ciencias Agropecuarias	5.27	3.02	0.22	5.20	3.0	7	68	115	13.90
2. Buena Vista	10.63	6.18	0.56	3.55	13.6	Tr	60	129	11.03
3. Salud	4.57	2.65	0.24	4.72	4.5	7	15	53	11.04
4. Pacora	9.31	5.41	0.43	4.42	31.0	7	140	98	12.58
5. El Ejido	2.02	1.17	0.10	4.83	13.6	5	108	71	11.70
6. Tonosí	3.02	1.75	0.10	3.14	5.4	3	190	59	17.5
7. Gualaca	5.89	3.42	0.28	4.74	7	7	33	116	12.21
Tr: Trazas									

Los diferentes minerales de arcilla encontrados en los siete suelos caracterizados aparecen en la Tabla 4. Los análisis se hicieron mediante difracción de rayos X, usando muestras saturadas con magnesio y potasio, encontrándose caolinita, montmorilonita, vermiculita y minerales interestratificados. Entre los óxidos e hidróxidos cristalinos de: hierro y aluminio se encontró la gibsitita y pequeñas cantidades de goetitita.

La composición mineralógica de las arcillas dominantes en cada suelo y las cantidades relativas de las otras presentes, también son indicadas en forma aproximada, debido a que no fue realizado un análisis cuantitativo riguroso.

**Tabla 4.** Resultados de la composición de la fracción arcilla en los suelos de Panamá analizados

Suelo	Vermiculita	Montmorilonita	Caolinita	Gibsitita	Goetita
1.Fac. de Ciencias Agropecuarias	-	-	3X	3X	1X
2.Buena Vista	-	4X	-	-	-
3.Salud	-	-	2X	3X	1X
4.Pacora	-	-	4X	Tr	-
5.El Ejido	1X	1X	3X	-	-
6.Tonosí	4X	-	-	-	-
7.GUalaca	-	-	3X	3X	1X

Cantidades relativas: 4X= dominante; 3X= grande; 2X =moderada; 1X = pequeña; y Tr = traza

## B. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS SUELOS

### Suelo 1. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

El difractograma de rayos X de la fracción arcilla de este suelo, se presenta en la Figura 2 y la mineralogía se identifica en el Tabla 4. La arcilla está constituida predominantemente del mineral secundario, caolinita, lo cual es característico de suelos altamente meteorizados en climas húmedo-cálido de baja altitud. También hay presentes gibsitita y goetita. Si se relaciona la mineralogía de este suelo con sus propiedades, se nota que la predominancia de caolinita y óxidos cristalinos coincide con los más altos niveles de hierro libre encontrados en los suelos estudiados y con la baja capacidad de intercambio catiónico determinados en los análisis químicos, lo cual está de acuerdo con su clasificación taxonómica como ultisol (Méndez, (1980), Soil Survey Staff, (1960).

### Suelo 2. Buena Vista.

La Figura 3 muestra el difractogramas para este suelo, con la identificación mineralógica indicada en el Tabla 4. La montmorilonita predominó entre los minerales de arcilla. Si se compara la mineralogía con otras propiedades del suelo, se observa que las arcillas del tipo 2:1,

producen capacidad de intercambio catiónico relativamente alta, lo cual está de acuerdo con los resultados del análisis químico hecho para este suelo, notándose un alto contenido de cationes básicos. Los altos niveles de materia orgánica para este tipo de suelo, según Sutherland y MacEwan (Tejeira, 1960), también pueden ser el resultado de complejos organometálicos asociadas con esta mineralogía que dificulta la fácil descomposición del material orgánico.

### **Suelo 3. Salud.**

Los difractogramas de este suelo se muestran en la Figura 4 y la identificación de los minerales arcillosos en el Tabla 4. Este suelo presenta una dominancia de gibsita, además de la presencia de caolinita y de goetita. La alta concentración de óxido e hidróxidos de aluminio y hierro es una indicación de la meteorización intensa a que ha sido sometido el suelo, quizás por encontrarse en una de las regiones de mayor pluviosidad de la República de Panamá con 4,100 mm de precipitación promedio y bajo un clima tropical húmedo. Los minerales encontrados son propios de suelos ácidos, con baja capacidad de intercambio catiónico.

### **Suelo 4. Pacora.**

En la, Fig. 5 y en el Tabla 4, están presentados los difractogramas y los resultados mineralógicos del análisis de la fracción arcilla de este suelo, que mostró una dominancia de caolinita y trazas de gibsita. El grado de meteorización de este suelo parece ser menos intenso que el de los suelos 1 y 3 ya descritos, lo cual puede atribuirse en parte a la menor precipitación pluvial a que se encuentra sometida esta región de clima tropical de sabana. La baja capacidad de intercambio catiónico está de acuerdo con el tipo de arcilla encontrada.

### **Suelo 5. El Ejido.**

Este suelo presenta una composición poliminerálica mostrados en la Figura 6 y minerales de arcilla identificados en el Tabla 4. Predominan la caolinita, vermiculita y montmorilonita entre los minerales de arcilla. Suelo de pH ligeramente ácido, ubicado en una zona con bajo régimen pluviométrico y capacidad de intercambio catiónico intermedia, coincidente con los tipos de arcilla encontrados: minerales 1:1 en grandes cantidades y minerales 2:1 en pequeñas cantidades.

### **Suelo 6. Tonosí.**

Los resultados de la caracterización mineralógica para este suelo, dados en la Figura 7 y en el Tabla 4, presentan en este suelo aluvial una dominancia de arcilla 2:1, constituida por vermiculita. La presencia de vermiculita en suelos de origen aluvial ha sido observada también por otros investigadores en Centroamérica (Jackson, 1969). Al relacionarse la presencia de esta arcilla secundaria con otras propiedades y características del suelo de Tonosí, se puede notar que coincide con la reacción ligeramente acida del suelo donde es encontrada, y con la alta capacidad de intercambio catiónico propia de la vermiculita, en una zona con influencia de caliza, con altos niveles de calcio y magnesio, como fue reportado en los análisis químicos realizados. En este suelo se encontró el contenido de hierro libre menor de los siete suelos analizados, por lo que es posible considerar un grado bajo meteorización y que está de acuerdo con la posible clasificación dada como aluvial en el orden de los vertisoles (Soil Survey Staff, 1960); (Tejeira, 1960). La génesis que ha sido propuesta para la formación de la vermiculita en estos tipos de suelos consiste en una reconstitución por resilicación de las arcillas 1:1 en presencia de Si y bases, particularmente Mg y Ca, que tienden a encontrarse en estos suelos. Este proceso representa una inversión de las fuerzas destructivas en la meteorización del material parental (Martini, 1969).

### **Suelo 7. Gualaca.**

El difractograma de este suelo se presenta en la Figura 8 y la identificación de los minerales de arcilla es dada en el Tabla 4. La caracterización mineralógica resultante en este suelo es similar a la del Suelo 1, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Sin embargo, el suelo de Gualaca presenta una mayor capacidad de intercambio catiónico, lo cual puede ser atribuido a mayores valores en el contenido de arcilla y de la acidez cambiante al tipo de materia orgánica y a la presencia de minerales amorfos no determinados.

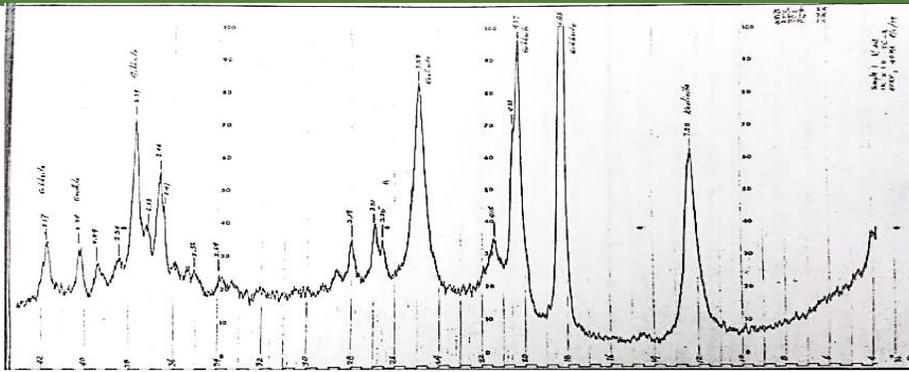


Fig.2. Suelo 1 Facultad de Ciencias Agropecuarias Difractograma de rayos X para la fracción arcilla

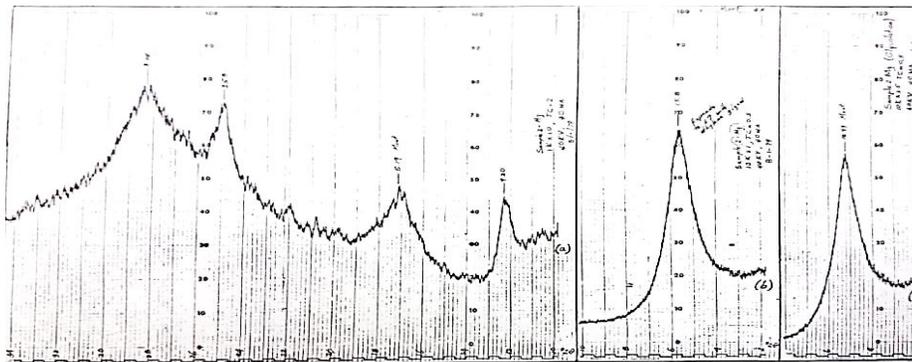


Fig.3. Suelo 2. Buena Vista, Colón. Difractogramas de rayos X para la fracción arcilla. Tratamientos: saturación con Mg (a) y (b); Mg y glicerol (c).

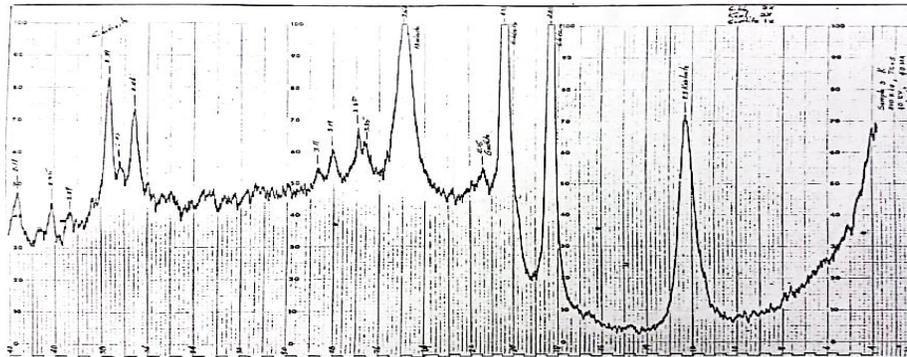


Fig.4. Suelo 3. Salud, Colón. Difractograma de rayos x para la fracción arcilla. Tratamiento: saturación con K.

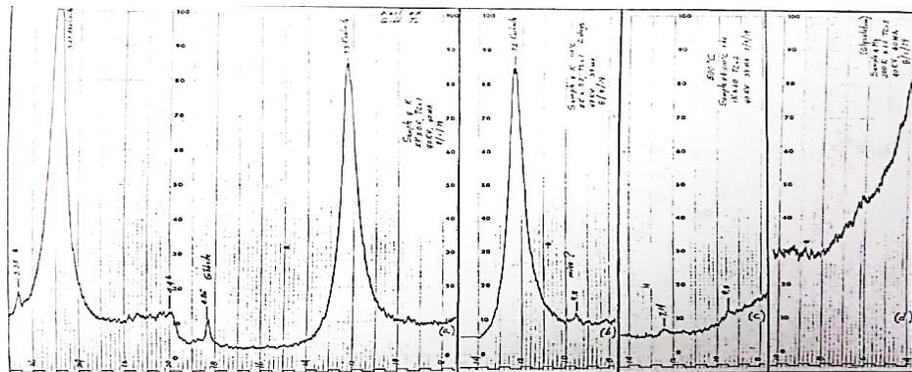


Fig.5. Suelo 4. Pacora, Panamá. Difractograma de rayos X para la fracción arcilla. Tratamientos: saturación con K (a); K-110°C (b), K-500°C (c); Mg y glicerol (d)

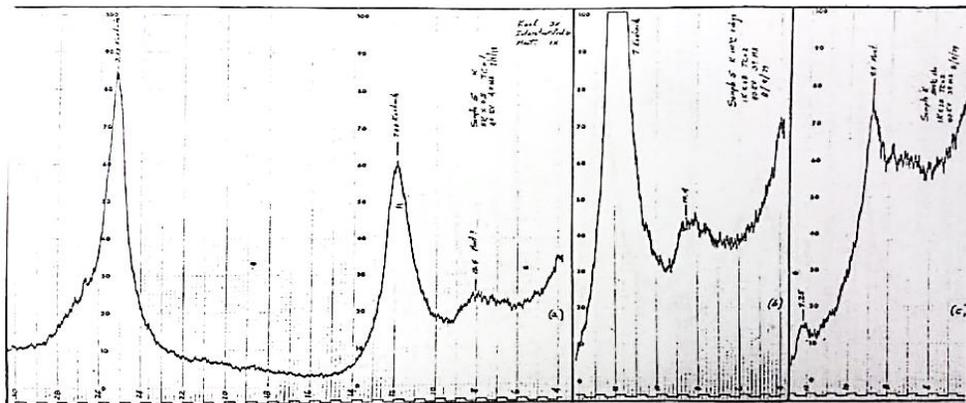


Fig. 6. Suelo 5. El Ejido, Los Santos. Difractograma de rayos X para la fracción arcilla.  
Tratamientos: saturación con K (a); K-110°C; y K-500°C (c)

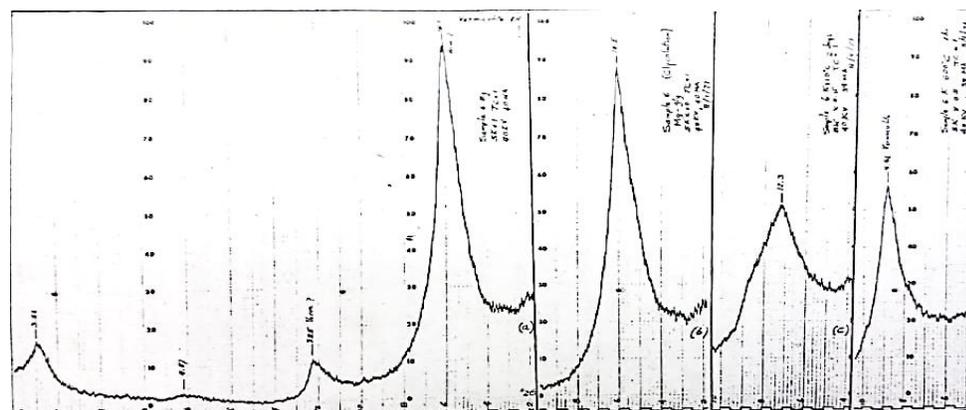


Fig. 7. Suelo 6. Tonosí, Los Santos. difractogramas de rayos X para la fracción arcilla.  
Tratamientos: saturación con Mg (a); Mg y glicerol (b); K-110°C (c); y K-500°C (d).

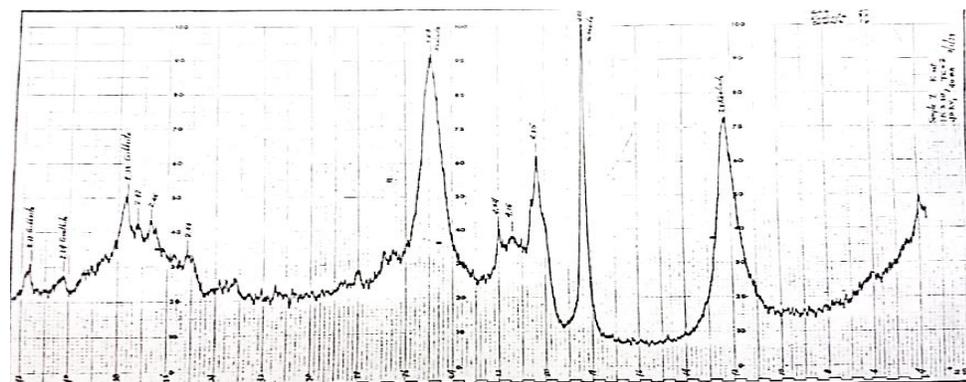


Fig. 8. Suelo 7. Gualaca, Chir. Difractograma de rayos X para la fracción arcilla  
Tratamientos: saturación con K.

## CONCLUSIONES

- En los suelos con dominancia de caolinita y, óxidos e hidróxidos cristalinos de hierro y aluminio, la CIC determinada mediante la suma de los cationes básicos obtenidos por el método de  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 7 con los cationes ácidos cambiabiles extraídos por el método de  $\text{KCl}$ , presento valores con diferencias sustanciales a la CIC de estos suelos determinada de la adición de los cationes básicos obtenidos mediante el método de  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 7 y la acidez cambiabie extraída con el método  $\text{BaCl}_2$  -TEA. Para estos mismos suelos, los valores de la CIC resultantes del método  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 7 y del método donde se utiliza  $\text{BaCl}_2$ -TEA son bastante similares.
- En los suelos con presencia de arcillas 2:1 y con alta saturación de bases, los valores de la CIC determinada por los tres métodos mencionados en el punto 1, son relativamente similares.
- Existe una relación general entre el porcentaje de saturación de bases y el pH de cada suelo, que se manifiesta en un aumento del pH al aumentar el porcentaje de saturación de base de los suelos estudiados.
- El porcentaje de hierro libre encontrado en los diferentes suelos no presenta marcada variación, a pesar de ser suelos diferentes en composición mineralógica, etapas de meteorización y de encontrarse en regiones sometidas a condiciones de intemperización variables.
- Se determine la presencia de minerales de arcilla 2:1 como vermiculita y montmorilonita, en los suelos de Tonosí y Buena Vista, los cuales presentan una CIC alta y un porcentaje de saturación de bases elevado.
- La presencia de minerales arcillosos 1:1 como caolinita y de óxidos e hidróxidos cristalinos de Fe y Al como gibsitita y goetita fue encontrada en los suelos de la Fac. de Ciencias Agropecuarias, Gualaca, Salud y Pacora, los cuales presentaron en general baja CIC y bajo porcentaje de saturación de bases puede afirmarse que posiblemente son los suelos más meteorizados de este estudio.
- Se encontró una composición poliminerálica de minerales arcillosos, con arcillas del tipo, 1:1 como, caolinita y arcillas 2:2 como montmorilonita y vermiculita en el suelo de El Ejido, que presentó una CIC intermedia a la de los otros suelos estudiados y un alto porcentaje de saturación de bases.
- Debido a la importancia que tiene el análisis de la mineralogía de los suelos para ayudar a explicar otras características físico-químicas inherentes a los mismos y para la evaluación

integral de cada suelo, a fin de obtenerse un conocimiento real y completo, se recomienda que se prosigan estudios de este tipo.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Atlas Nacional de la República Panamá (2016). Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, quinta edición, autoridad nacional de administración de tierras, Panamá. R.P.

Bornemisza, E. (1969). Minerales de arcilla en suelos centroamericano y de Panamá. Turrialba 19(1):97-102.

Brady, N.C. and Weil, R. (2008). The Nature and Properties of Soils, Pearson Prentice Hall, 14th ed., New Jersey, USA.

Brady, N. C. e Weil, R., (2013) Tradução técnica: Igo F. Lepsch, 3ª edição, Porto Alegre, Brasil.

Centro Regional de Ayuda Técnica. (1973). Investigaciones de Suelos. Métodos de Laboratorio y procedimientos para recoger muestras. Editorial Trillas, México, D. F. 90p.

Fassbender, H. W. (1975). Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Institute Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica 385p.

Grim, R. E. (1968). Clay Mineralogy. McGraw -Hill, Nueva York. 596p.

Jackson, M.L. (1965). Clay transformation in soil genesis during the quaternary. Soil Sci. 99:15-22.

Jackson, M.L. (1969). Soil Chemical analysis, advanced course University of Wis., Madison, Wisconsin 99lp.

Martini, J.A. 1969. Mineralogía de las arcillas, limos y arenas en seis suelos de Panamá. Turrialba 19(2):199-207.

Méndez, L. J. (1980). Comunicación personal. Profesor titular asignatura Edafología General, Facultad de Agronomía, Universidad de Panamá.

Méndez, L. J. (1975). Soil Taxonomy. A basic system of Soil Classification for making interpreting Soil Surveys. U.S.D.A. Soil Conservation Service, Washington, D. C. USA.

Mora, F. (1980). Análisis mineralógico de la fracción arcilla de siete suelos de la República de Panamá, tesis de Licenciatura, Facultad de a agronomía, UP, Panamá. R.P.

Tejeira, R. (1960). Mineralogical and chemical properties of three Panamenian soils. M.S. Thesis Ohio State University. 58p.