

**Comparación de dos métodos de
determinación de la capacidad de intercambio
catiónico en suelos de la región central de
Honduras**

Alejandro Rafael Chávez Avila

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2015

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Alejandro Rafael Chávez Avila

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2015

Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras

Presentado por:

Alejandro Rafael Chávez Avila

Aprobado:

Gloria E. Arévalo, Ph.D.
Asesor principal

John Jairo Hincapié, Ph.D.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria

Moises Sanchez, Ing.Quim.
Asesor

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras.

Alejandro Rafael Chávez Avila

Resumen. La capacidad de intercambio catiónico es una de las propiedades más determinantes de la fertilidad de los suelos. Los métodos más usados para la determinación de la CIC son por determinación con acetato de amonio y como CICE. El objetivo de este estudio fue comparar dos métodos de determinación de CIC y establecer la relación entre esta propiedad y pH, acidez intercambiable, materia orgánica y porcentaje de Arcilla. Se seleccionaron 70 muestras de la base de datos del Laboratorio de Suelos de la EAP, procedentes de la región central de Honduras, con pH en el rango de 4.0 a 6.0. Se determinó el pH en agua 1:1, acidez intercambiable con KCl 1N y estimada, textura (Bouyoucos) y materia orgánica (Walkey y Black). En cada muestra de suelo se determinó la CIC por el método de acetato de amonio a pH 7 y por sumatoria de bases y acidez intercambiable (CICE). Se compararon los resultados obtenidos por cada método a través del programa SAS con modelo GLM y separación de medias por Duncan ($P \leq 0.05$). Las variables analizadas fueron correlacionadas con cada método y entre sí. Los valores más altos de CIC fueron con acetato de amonio y con correlación media (r 0.30 a 0.50) con las variables de textura y CIC calculada por ambos métodos. La acidez estimada y acidez intercambiable determinada presentaron correlación alta y media respectivamente con pH, e inversa en los dos casos. Hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los dos métodos utilizados para determinar CIC. Se recomienda evaluar otros métodos de determinación de CIC.

Palabras clave: Análisis químico, arcilla, correlación, materia orgánica, pH.

Abstract. The cation exchange capacity is one of the most decisive properties of the soils. The methods used for the determination of the CEC are by definition with acetate of ammonium and as CECe. The objective of this study was to compare two methods of determination of CIC and the relationship between this property and pH, exchangeable acidity, organic matter and percentage of clay. There was selected 70 samples of the soils laboratory of the EAP database, from the central region of Honduras, with a pH in the range of 4.0 to 6.0 were selected. A pH in water 1:1 interchangeable with KCl 1N and estimated acidity, texture (Bouyoucos) and organic matter (Walkey and Black) was determined. In each soil sample was determined the CEC of ammonium to Ph7 acetate method and per summation of bases and exchangeable acidity (CECe). There were compared the results obtained by each method through the program SAS® GLM model with separation by Duncan ($P \leq 0.05$). The analyzed variables were correlated with each method and each other. The highest values of CIC were with ammonium acetate and medium correlation (r 0.30 to 0.50) with the variables of texture and CEC calculated by both methods. The estimated acidity and exchangeable acidity determined showed high correlation and middle respectively with pH, and inverse in two cases. There was significant difference ($P < 0.05$) between the two methods used to determine CEC. It is recommended to evaluate other methods of determination of CEC.

Key words enzymatic: Chemical analysis, clay, correlation, organic matter, pH.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
4. CONCLUSIONES.....	11
5. RECOMENDACIONES.....	12
6. LITERATURA CITADA.....	13
7. ANEXOS	15

ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Capacidad de intercambio catiónico (cmol ₊ /kg) a diferentes % de arcilla a través de dos métodos en suelos de la región central de Honduras.....	7
2. Determinación de CIC (cmol ₊ /kg) a través de dos métodos en suelos de la region central de Honduras, de acuerdo a los diferentes pH de las muestras	8
3. Correlación entre pH con: CIC Acetato de amonio, CICE , Acidez intercambiable, Acidez estimada, Textura y Materia orgánica, en suelos de la región central de Honduras.....	8
4. Correlación entre % de arcilla con: CIC acetato de amonio, CIC efectiva para suelos de la región central de Honduras.	9
5. Correlación entre Acidez Intercambiable determinada con: Saturación de Aluminio y Acidez Intercambiable estimada para suelos de la región central de Honduras.....	10
6. Correlación de la acidez estimada con los métodos de determinación de CIC y la saturación de aluminio para suelos de la región central de Honduras.....	10
Anexos	Página
1. Resultados de todos los análisis de las muestras del ensayo.....	15

1. INTRODUCCIÓN

La fertilidad del suelo está determinada por sus propiedades físicas y químicas, las propiedades físicas de más influencia son la textura, la estructura, la profundidad del suelo y el color. Las propiedades químicas que afectan en mayor grado la fertilidad son el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la materia orgánica y la acidez (FAO 2015).

La capacidad de intercambio catiónico es un indicador muy importante de la fertilidad del suelo,) es la cantidad de cargas negativas presentes en los minerales y la composición orgánica del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas), representa la cantidad de cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH₄ etc.) (Arevalo y Gauggel 2014). La CIC indica la disponibilidad y cantidad de nutrientes, la habilidad de los suelos de retener cationes, su pH potencial entre otros indicadores químicos de suelos. Una baja CIC hace referencia a la baja habilidad de ese suelo de retener nutrientes, es característico de los suelos arenosos o pobres en materia orgánica. La unidad de medición de CIC es en centimoles de carga por kg de suelo cmol₊/kg de suelo o su equivalencia en meq/100 g de suelo (FAO 2015).

Los materiales que tienen esa propiedad de intercambiar cationes son aquellos que poseen cargas negativas en superficie para establecer un intercambio (Cepeda 2007). Las arcillas, presentan esta propiedad, tanto las cristalinas como las amorfas, las cristalinas como la caolinita que tienen una relación 1:1 pueden presentar hasta valores de 200 cmol₊/kg de suelo mientras las arcillas cristalinas ilitas que tienen relación 2:1 pueden presentar de 60 hasta 100 cmol₊/kg, las cargas de las arcillas amorfas o no cristalinas las cuales provienen de la presencia de óxidos, hidróxidos y sesquióxidos, de hierro y aluminio y aumenta en relación al pH al igual que la materia orgánica la cual pueden presentar valores de 100 a 200 cmol₊/kg (Beosain 1985).

La importancia agronómica de determinar la capacidad de intercambio catiónico se basa en la teoría de que el suelo sirve como se reserva y suministro de nutrientes, y esta capacidad aumenta conforme se logre aumentar la CIC del suelo, ya que se considera que una gran capacidad de intercambio catiónico en los suelos es una característica importante ya que implica la posibilidad de aumentar el depósito de iones nutritivos. Gracias a la CIC del suelo las raíces de las plantas toman nutrientes mineral que son necesarios para el crecimiento de la planta (Arévalo y Gauggel 2014)

Sin el fenómeno de capacidad de intercambio catiónico las pérdidas de nutrientes serian inmensas, esto principalmente a la falta de cohesión suficiente presentada por los iones solubles de los fertilizantes

Hay diferentes métodos para la determinación de la CIC y difieren por diferentes factores que dependen de los tipos de iones usados para el desplazamiento de los mismos: Hay tres tipos de determinación de CIC (Boul *et al.* 2003).

1. Método de desplazamiento de cationes por saturación con amonio a pH 7.

2. Método de Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICE), los cationes básicos se desplazan por Melich 3 más acidez intercambiable desplazado por KCl. CICE = bases (Ca, Mg, K, Na) + (Al⁺³+H⁺) extractado con KCl.

Uno de los factores que determina el valor de la CIC es el pH, del cual depende la reacción de la solución del suelo. El pH es el logaritmo negativo de la concentración de iones H⁺, se le define como el grado o nivel de acidez, neutralidad o basicidad del suelo, debido a que está muy relacionado con las cantidades negativas de cationes ácidos (H⁺ y Al⁺³) y bases en los sitios de intercambio. El pH sube cuando las concentraciones de base aumentan, y bajan cuando se incrementa las de ácidos (Foth 1985).

La información que se puede obtener con la interpretación de los valores de pH es variada y puede ser útil desde el punto de vista agrícola; se puede utilizar para determinar la solubilidad, disponibilidad y movilidad de los elementos nutritivos para las plantas para conocer el tipo de cultivo que se puede desarrollar; para determinar el porcentaje de saturación de bases (Foth 1985).

Existen cargas negativas dependientes del pH, están relacionadas con la variación del pH del suelo. Con valores bajos de pH, las cargas negativas son y por lo tanto la capacidad de intercambio catiónico es inferior, comparado al aumentarse el pH que aumentan las cargas y los valores de capacidad de intercambio catiónico también (Fassbender 1975).

En Laboratorio de Suelos Zamorano (LSZ) se utilizan los métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico por acetato de amonio 1N pH 7 y el método de capacidad de intercambio efectiva el cual hace referencia a la sumatoria de cationes y acidez intercambiable.

El objetivo principal de este estudio fue comparar dos métodos para determinar Capacidad de Intercambio catiónico en los suelos, utilizados por LSZ. Determinar la relación entre el pH y la textura con la CIC y evaluar la relación entre la acidez intercambiable, el % de materia orgánica y la acidez estimada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio.

El experimento se realizó en el Laboratorio de Suelos (LSZ) de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. Ubicado en el Valle del Yeguaré, Departamento de Francisco Morazán, Honduras.

El experimento constó de dos fases; en la primera fase se seleccionó un total de 70 muestras que tuvieran pH menor a 6.0, a las cuales se determinaron las propiedades de textura, acidez intercambiable y materia orgánica. En la segunda fase se determinó la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE). Se hizo una comparación entre los métodos utilizados para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico de los suelos en estudio

Medición de pH.

Se midió mediante el método AOAC 994.16 (alternativa 1) haciendo uso del potenciómetro con un electrodo de vidrio combinado en una mezcla peso/volumen de 1:1 con agua destilada: suelo (Arévalo y Sanchez 2014).

Para calibrar el potenciómetro se usaron dos sustancias buffer con un pH conocido de 4.00 y 7.00 previo a la utilización del mismo, siguiendo el intervalo de trabajo para suelos minerales ácidos según el método de la AOAC.

Para medir el pH_{H_2O} se pesaron 10 g de suelo secado al aire y se mezclaron con 10 ml exactos de H_2O de agua destilada clase tres según la ISO 3696, de esta forma se obtuvo la relación 1:1 suelo: agua o solución (peso/volumen), la mezcla se homogenizó con una varilla de vidrio y luego se dejó reposar por 30 min, transcurridos los cuales se determinó el pH, con el potenciómetro.

Análisis de textura.

Se analizó textura por el método de Bouyoucos el cual se basa en la Ley de Stokes, en la que la caída de un cuerpo esférico por la acción de la gravedad es proporcional al cuadrado del radio de la partícula (Arévalo y Gauggel 2014)

Se pesó 50 g de suelo, en un beaker de 150 ml, se agregó 100 ml de NaOH 0.1 N y se mezcló con el suelo con una barra de agitación. Se dejó reposar por una noche, al día siguiente se transfirió al vaso de la batidora, se batió por 2 minutos en una agitadora, luego se transfirió la mezcla a una probeta de 1 L y la mezcla en la probeta se llevó al volumen de 1000 ml, se tapó y se agitó por unos segundos.

La muestra se dejó reposar por 40 segundos y se tomó la primera lectura con el hidrómetro, se dejó reposar 2 horas y se tomó la segunda lectura con el hidrómetro, siendo la primera lectura relacionada con el % de arena, y la segunda con el % de arcilla.

Análisis de Materia Orgánica.

Se determinó la materia orgánica con el método de Walkley and Black, en el suelo indirectamente determinando el carbono orgánico que se oxida al agregar un exceso de una solución medida de dicromato de potasio, el cual a su vez se reduce (Arévalo y Gauggel, 2014).

Se pesó 0.5 g de muestra de suelo secado al aire y tamizado por un tamiz n°40 y se transfirió a un Erlenmeyer de 500 mL, se agregó 10 mL de dicromato de potasio 1 N girando el frasco suavemente para mezclar los reactivos, se dejó reposar por 20 minutos. Después se le agregó 200 mL de agua al Erlenmeyer, se agregó 2 mL de ácido fosfórico, se le agregó 10 gotas de ferroin para luego titular con sulfato ferroso de amonio 0.5 N hasta alcanzar un color grisáceo a rojo vino.

El cálculo se realizó con la siguiente ecuación [1]:

$$M.O \frac{g}{100 g} = \frac{mL \text{ dicromato Iniciales} \times 1 - \frac{mL \text{ titulante muestra}}{mL \text{ titulante nula}} \times 0.672}{g \text{ muestra}} \quad [1]$$

Determinación de la Acidez Intercambiable (Al⁺³ H⁺)

- Extracción de la Acidez Intercambiable

Para remover la acidez se pesaron 10 g de muestra, se les agregó 25 mL de KCl 1N, posteriormente se agitó la muestra por 30 min en el agitador horizontal. La muestra se filtró lavando con porciones aproximadas de 5 mL de KCl 1 N el embudo, el frasco donde estaba la muestra y el tapón, para transferir toda la muestra al embudo. El filtrado se recibió en un beaker de 80 ml, Se determina la acidez intercambiable y el H⁺ intercambiable, por diferencia se determina el Al⁺³ intercambiable titulado con NaOH 0.005 N en un titulador automático (Sadzawka 2006).

- Acidez Intercambiable Estimada

El pH del suelo permite realizar una estimación de la acidez intercambiable (Al^{3+} y H^+). Si el pH se encuentra en el rango de 4 a 4.5 se estima un valor de 3 $cmol_+/kg$, con pH de 4.5 a 5 se asigna un valor de 1.3 $cmol_+/kg$, en suelos con pH de 5 a 5.5 se asigna un valor de 0.5 $cmol_+/kg$ y para suelos con pH de 5.5 a 6.0 se asigna un valor de 0.1 $cmol_+/kg$, en suelos de la región central de Honduras y el Pacífico (Oliva Escobar 2009).

Capacidad de intercambio catiónico.

La CIC es la habilidad de un suelo de absorber cationes de tal forma que puedan ser fácilmente reemplazables por iones competitivos. Se puede considerar como el equivalente de las cargas negativas del suelo. Los métodos utilizados para la determinación de la CIC son: por saturación de Acetato de Amonio 1N a pH 7.0, (Sumner y Miller 1996) y Método de sumatoria de bases más la acidez Intercambiable ($Al^{3+}+H^+$) CICE (Garavito 1979).

- Método Acetato de Amonio 1N a pH 7 (Utilizado en el LSZ)

Procedimiento:

Se pesaron 2 g de suelo seco al aire y pasado por un tamiz N° 10 para cada una de las muestras a ser evaluadas, el suelo se colocó en un frasco plástico y se le agregaron 20 ml de solución de acetato de amonio 1N con un pH de 7.00, luego la muestra se tapó y se agitó por aproximadamente 5 minutos, en el agitador horizontal. La mezcla de suelo y acetato de amonio se dejó reposar hasta el día siguiente.

Al día siguiente se filtró al vacío, se agitó suavemente y transfirió el suelo a un embudo Buchner sobre un kitazato y se lavó el suelo del frasco y el tapón usando 40 ml de solución de acetato de amonio adicionándolo lentamente en pequeñas porciones. Se lavó el embudo con etanol al 95% lentamente. Se descartó lo filtrado y se colocó el embudo en otro kitazato limpio, y se aumentó la velocidad de filtrado y se filtró la muestra lavando el embudo con 50 ml de NaCl acidificado.

El filtrado fue recogido luego se destiló por el método de Kjeltex y se determinó el amonio que había sido retenido por el suelo en los sitios de intercambio. Este amonio fue calculado al titular con H_2SO_4 0.1 N y registrar el volumen de ácido gastado en la titulación.

Se calculó la CIC con la siguiente ecuación [2]:

$$CIC \left(\frac{cmol+}{kg} \right) = \frac{(V \text{ muestra} - V \text{ blanco}) \times N \text{ H}_2\text{SO}_4 \times 100}{g \text{ de muestra}} \quad [2]$$

V muestra = mL de titulante gastado en la muestra

V blanco = mL de titulante gastados para titular

N H_2SO_4 = normalidad del titulante.

- Capacidad de intercambio catiónico efectiva.

Este método consistió en tomar los valores finales en cmol_+/kg de las bases de la muestra analizada por Espectrofotometría de absorción atómica más el aluminio e hidrógeno retenido en las cargas del suelo (Acidez intercambiable), estos datos de las bases como (Mg, Na, Ca y K), existían previamente en el laboratorio para las muestras y se encontraban en ppm. Los datos se convirtieron a cmol_+/kg dividiendo las ppm de cada base entre un factor que está determinado por los equivalentes de cada elemento, un equivalente (eq) de una de estas bases resulta de dividir el peso atómico de la base por su valencia (Juo *et. al.* 1976).

- $\text{ppm de Mg}/120 = \text{Mg cmol}_+/\text{kg}$
- $\text{ppm de Na}/230 = \text{Na cmol}_+/\text{kg}$
- $\text{ppm de Ca}/200 = \text{Ca cmol}_+/\text{kg}$
- $\text{ppm de K}/390 = \text{K cmol}_+/\text{kg}$.

El cálculo de la CICE se realizó haciendo uso de la ecuación [3]

$$\text{CICE} = \sum \text{bases} + \text{Acidez Intercambiable} \quad [3]. \quad (\text{Da Silva s.f})$$

Saturación de aluminio.

Para calcular la saturación de aluminio se dividió el aluminio existente en el suelo entre la capacidad de intercambio catiónico efectiva. Se calculó con la ecuación [4] (Sadzawka 2006).

$$\text{SAI} = \text{Al}^{3+} \div \text{CICE}. \quad [4]$$

SAL= Saturación de Aluminio.

Al^{3+} = Valor de Aluminio intercambiable de la muestra en cmol_+/Kg .

CICE= Capacidad de intercambio catiónico de la muestra en cmol_+/Kg determinada por sumatoria de bases + acidez intercambiable

Análisis estadístico

Se analizó la separación de medias por el Método Duncan para comparar los métodos de capacidad de intercambio catiónico, se hizo un análisis de correlación de pH con: CICacetato, CICE, Acidez Intercambiable y Acidez estimada y Materia Orgánica. Se comparó los dos métodos de estimación de capacidad de intercambio catiónico en base a % de arcilla y el pH a la misma vez se estableció la correlación de la capacidad de intercambio catiónico con las variables mencionadas. Todos los análisis estadísticos se determinaron por medio del software de análisis estadístico, SAS® Statistical Analysis System.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comparar los dos métodos de estimación de CIC, el método por acetato de amonio a pH 7 tuvo valores en cmol₊/Kg más alto que el método por sumatoria de bases medidas por absorción atómica. (Mengel s.f).

La arcilla es una de los materiales que posee la capacidad de intercambiar cationes, y está relacionado que a mayor nivel de arcilla los valores de CIC tienden a incrementar (Astera 2010). Se presentan (Cuadro 1) los valores de CIC obtenidos por los dos métodos en diferentes porcentajes de arcilla.

Cuadro 1. Capacidad de intercambio catiónico (cmol₊/kg) a diferentes % de arcilla a través de dos métodos en suelos de la región central de Honduras.

Método de determinación de CIC	CIC (cmol ₊ /kg)			
	Total de muestras	% de Arcilla		
		< 20	20-28	>28
CIC (Acetato de Amonio)	11.8 a	8.4 a	10.2	15.3
CIC (Efectiva)	10.1 b	6.2 b	8.9	13.8
Coeficiente de Variación	36	51	20	33

Valores con diferente letra en la misma columna difieren estadísticamente ($P \geq 0.05$) según prueba Duncan. CIC. capacidad de intercambio catiónico

Para la totalidad de las muestras se presentó diferencia entre los dos métodos, por otra parte para las muestras con un porcentaje de arcilla menor al 20%, si hubo diferencia entre los dos métodos, siendo el método de acetato de amonio el que presentó los valores más altos de CIC. Para las muestras con porcentaje de arcilla entre 20 y 28% no hubo diferencia. Finalmente para las muestras con un contenido de arcilla mayor al 28% no hubo diferencia.

El acetato de amonio puede formar complejo de superficie de esfera interna con las arcillas de relación 2:1 lo cual ocasiona imprecisión en los resultados. A su vez incrementa la carga variable de los suelos ácidos y por tanto aumenta su CIC (Rodríguez y Rodríguez 2002).

Las arcillas presentan cargas dependientes del pH, esto indica que al aumentar el pH también lo hace la CIC es por ello que se recomienda calcular la capacidad de intercambio catiónico a pH 7 tamponando el suelo, esto afecta que en suelos ácidos se obtenga valores más altos y en suelos alcalinos valores más bajo (Ma y Eggleton 2004). Es por ello que el rango de pH utilizado dentro del ensayo va de 4.0 a 6.0, no es recomendable aplicar el método de acetato de amonio con pH mayor a 7, es por ello que el valor máximo de pH utilizado es 6.0

El análisis de la CIC con base a pH, se determinó por 4 subrangos de 0.5 en la escala de pH. En el Cuadro 2. Se muestran los valores de CIC en cmol₊/kg para los dos métodos de estimación, categorizados por su valor de pH.

Cuadro 2. Determinación de CIC (cmol₊/kg) a través de dos métodos en suelos de la región central de Honduras, de acuerdo a los diferentes pH de las muestras.

Método de determinación de CIC	CIC (cmol ₊ /kg)				
	Total de muestras	Rango de pH			
		4.0-4.49	4.5-4.9	5.0-5.49	5.5-5.99
CIC(Acetato de Amonio)	11.83 a	8.1	9.5 a	15.1 a	14.0 a
CIC (Efectiva)	10.13 b	6.5	9.0 a	7.9 b	10.7 b
Coefficiente de Variación	36	35	25	24	35

Valores con diferente letra en la misma columna difieren estadísticamente ($P \geq 0.05$) según prueba Duncan. CIC. capacidad de intercambio catiónico

Los valores de CIC aumentan conforme aumenta el pH debido a la aparición de grupos funcionales, tales como carboxilos e hidroxilos (Rodríguez *et. al.* s.f). Para el rango de pH de 4.0-4.49 no se presentó diferencia entre los valores obtenidos de CIC por los dos métodos. Para las muestras con pH entre 4.5 a 4.99 no se presentó diferencia en los valores de CIC pero si existió un incremento en los valores obtenidos. Para los valores CICE en las muestras con rangos de pH de 5.0 a 5.49 el valor obtenido se redujo y existió diferencia entre los dos métodos dentro de este rango. Finalmente para el último rango de pH de las muestras, los valores obtenidos de CIC efectiva por el método de Sumatoria de bases y acidez intercambiable aumentaron, y existió una diferencia significativa en comparación a los dos métodos. Las diferencias presentadas en los rangos superiores de pH influyen que para el total de las muestras exista diferencia en los valores de CIC obtenidos, siendo así el método de Acetato de Amonio pH 7 por el cual se obtuvieron los valores más altos.

El pH se deriva de la presencia de aluminio, con la existencia de una relación inversa ya que a mayor cantidad de aluminio en el suelo menor va a ser el pH. La acidez intercambiable es la suma de $H^+ + Al^{3+}$ ambos cationes tienen una relación inversa con el pH, es por ello que al aumentar la Acidez intercambiable el pH desciende (cuadro 3).

Cuadro3. Correlación entre pH con: CIC Acetato de amonio, CICE, Acidez intercambiable, Acidez estimada, Textura y Materia orgánica, en suelos de la región central de Honduras.

Variable	r	P
Acidez Intercambiable Estimada (Oliva 2009)	-0.86	< .0001
Acidez Intercambiable determinada	-0.48	<.0001
CICE (Efectiva)	0.39	0.0007
CIC (Acetato de amonio pH 7)	0.38	0.0012
Textura	0.35	0.0029
Materia Orgánica	0.01	0.9069

r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística. CIC. Capacidad de intercambio Catiónico

Los valores de CIC obtenidos por ambos métodos mostraron una correlación media ($P \leq 0.05$) con el pH, con un valor r de 0.38 y de 0.39, para el método de acetato de amonio y el método de CICE respectivamente. El aumento del pH produce un incremento en los valores de CIC debido a que la carga del grupo funcional se hace negativa.

La acidez intercambiable es la suma de hidrogeno intercambiable más aluminio intercambiable ($H^+ + Al^{3+}$), la presencia de hidrogeno (H^+) y aluminio (Al^{3+}) que causan una disminución en el pH. (Fassbender 1975). La correlación obtenida entre la acidez intercambiable y el pH es media e inversa en los suelos estudiados.

Se han establecido valores estimados de Acidez intercambiable, estos valores fueron obtenidos por el método de regresión en el cual se correlaciona la variable pH y Acidez intercambiable dando así valores de acidez para un rango determinado de pH (Oliva Escobar 2009). El Laboratorio de Suelos Zamorano (LSZ) utiliza el estimado de acidez estimada, al correlacionar este valor con este valor con el pH se obtuvo una alta correlación inversa. La materia orgánica no presentó correlación con el pH y la textura con el pH presentó una correlación media.

Las partículas de arcilla presentan la capacidad de retener cationes, la correlación entre el % de arcilla con la CIC por acetato de amonio es media, y para el método de CICE la correlación con el porcentaje de arcilla es alta (Cuadro 4).

Cuadro 4. Correlación entre % de arcilla con: CIC acetato de amonio, CIC efectiva para suelos de la región central de Honduras.

Variable	r	P
CIC (Acetato de Amonio)	0.53147	<.0001
CICE (Efectiva)	0.77186	<.0001

r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística. CIC. capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico efectiva tiene una alta correlación con el porcentaje de arcilla presente en el suelo (Fassbender y Bornemisza 1987). Estas variables tienen relación directa, es decir, que a mayor porcentaje de arcilla los valores de CIC son altos y de la misma forma cantidades bajas de arcilla presentarán baja CIC. La arcilla puede tener carga permanente y carga dependiente de pH por sustitución isomorfica, por lo cual la CIC del suelo va a depender del tipo del tipo de arcilla que se presente (Summer y Miller 1999)

La acidez intercambiable incluye dentro de la sumatoria el Aluminio (Al^{3+}) el cual a altas cantidades genera toxicidad para las plantas, además afecta negativamente propiedades químicas del suelo como la solubilidad, disponibilidad y absorción de nutrientes. Una medida que se relaciona con la acidez intercambiable es la saturación de aluminio la cual está directamente relacionada, y si existe valores altos de aluminio la saturación aumenta.

En cuanto a acidez del suelo, ésta se da generalmente por altas precipitaciones, las cuales causan lixiviación. Por esta razón, se lavan gran cantidad de las bases del suelo, lo que causa un incremento en la acidez y por lo tanto un descenso del pH (Bohn *et al.* 1993).

La correlación entre la Acidez intercambiable determinada y la saturación de aluminio es alta, mientras que la correlación entre la Acidez intercambiable determinada y la estimada es baja (Cuadro 5). La acidez estimada se obtiene de regresiones lineales, mientras que la Acidez Intercambiable determinada se obtiene por métodos de laboratorio, esto puede ser determinante ya que pueden influir las características químicas del suelo, obteniéndose así una correlación media baja.

Cuadro 5. Correlación entre Acidez Intercambiable determinada con: Saturación de Aluminio y Acidez Intercambiable estimada para suelos de la región central de Honduras.

Variable	r	P
Saturación de Aluminio	0.75024	<.0001
Acidez Intercambiable estimada	0.34517	0.0034

r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística.

La capacidad de intercambio catiónico es la sumatoria de cationes intercambiables del suelo, incluyendo la acidez intercambiable. La acidez intercambiable estimada por Oliva Escobar (2009) presentó una correlación baja inversa con el valor de CIC determinado por el método de acetato de amonio pH 7, y con la CICE la correlación fue baja pero no significativo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Correlación de la acidez intercambiable estimada con los métodos de determinación de CIC y la saturación de aluminio para suelos de la región central de Honduras.

Variable	r	P
CIC (Acetato de Amonio pH 7)	-0.33619	0.0044
CICE (Efectiva)	-0.22119	0.0658
Saturación Aluminio	0.51305	<.0001

r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística.

4. CONCLUSIONES

- Los métodos de estimación de capacidad de intercambio catiónico resultan diferentes en suelos con $\text{pH} > 5.00$ o con un $\text{Ar} < 20\%$.
- Existe relación inversa entre el pH del suelo con: acidez intercambiable, saturación de aluminio y acidez intercambiable estimada.
- Existe relación directa entre el porcentaje de arcilla con: CIC determinada por acetato de amonio y CIC efectiva.
- Existe una relación inversa entre la acidez estimada con: CIC determinada por acetato de amonio y CIC efectiva.

5. RECOMENDACIONES

- Al utilizar valores de CIC determinados por el método de acetato de amonio de pH 7 tomar en cuenta que este presenta valores más altos.
- Utilizar el método de capacidad de intercambio catiónico efectivo debido a que la CIC se calcula al pH real del suelo.
- Realizar un estudio donde se considere el tipo de arcilla.
- Realizar un estudio donde se considere la fertilización previa al momento de determinar las variables.

6. LITERATURA CITADA

Arévalo, G. E., M. Sánchez. 2014. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos de Zamorano. Documento Interno de trabajo. Zamorano, Honduras. 10 p.

Arévalo, G., C. Gauggel. 2014. Manual de prácticas. Curso de manejo de suelos y nutrición vegetal. Zamorano, Honduras, 3ra edición. p 71

Astera, M. 2010. The Ideal Soil: A Handbook for the New Agriculture. Soil Minerals.p 139

Beosain, E. 1985. Mineralogía de arcillas de suelos. IICA. San Jose, Costa Rica. p 7

Bohn, H., B. McNeal., G. O'Connor. 1993. Química del Suelo. Editorial Limusa, México D.F. p 323-325

Boul, S.W., R. J. Southard, R. C. Graham, P.A.Mc Daniel. 2003. Soil Genesis and classification. Fifth Edron. Iowa State. p 64

Cepeda Dovala J. M. 2007. Química de suelos. Editorial Trillas, México. p 106

Da Silva, F. s.f. Extracao com solucao de Melich 3: fosforo, potassio, calcio, magnesio, sodio e micronutrientes (Fe, Cu, Mn e Zn). Manual de analises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª edicao revista e ampliada. Fabio Cesar da Silva.de la compañía editorial continental, S. A. de C. V. p 207

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2015. Levantamiento de suelos "Propiedades Químicas". Portal de Suelos FAO. Consultado el 09 de junio de 2015.Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/>

Fassbender, H. W. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de America Latina. San Jose, Costa Rica. 1era. Edición. Talleres Gráficos de Trejos Hnos. Sucs., S.A. p 173-187.

Fassbender, H. W., E. Bornemisza. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. 420 p

Foth, H.D. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. México. Tercera edición. Talleres.de la compañía editorial continental, S. A. de C. V. p 207

Garavito, F. 1979. Propiedades químicas de los suelos. 2da ed. Instituto Geografico "Agustin Codazzi", Bogota, Colombia. p 98.

Juo, A., S. Ayanlija, y A. Ogunwale. An Evaluation of Cation Exchange Capacity measurements for soils in the tropics. *Commun. Soil Science. Plant Anal.* p 751

Ma, C., R.A. Eggleton. 2004. Capacidad de intercambio catiónico de las caolinitas. American Geological Institute. p 6.

Mengel, D.B. s.f. Fundamentos de la capacidad de intercambio catiónico del suelo. *Agronomy Guide.* Universidad de Purdue.

Oliva Escobar, D. P. 2009. Determinación de la acidez intercambiable ($Al^{3+}+H^{+}$) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la Cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamerica. 12 p.

Rodriguez, O., E. Guerra y V. Rodriguez. s.f. Fertilidad edáfica potencial según la CIC determinada con cloruro de amonio. Zulia, Venezuela. p 6.

Rodriguez, O., A. Rodriguez. 2002. Comparación de la CIC en dos suelos, utilizando Acetato de Amonio, Acetato de Sodio y Cloruro de Amonio. Caracas, Venezuela, *Rev. Fac Agron.* 19(4).

Sadzawka, R. 2006. Aluminio. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Serie Actas INIA N° 34. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. p 45

Sumner, M.E y W. P. Miller. 1996. Ammonium Acetate (pH 7) Method. Cation Exchange. Capacity and Exchange Coefficients. Chapter 40. SSSA BOOK SERIES: 5. Methods of soil Analysis. Part 3- Chemical Methods. p 1220.

7. ANEXOS

Anexo 1. Resultados de todos los análisis de las muestras del ensayo.

Numero de Muestra	CIC [§] (Acetato de amonio)	CICe [£]	Acidez Intercambiable	pH	% Arcilla	Materia Organica
15-5-1619	2	2	1.01	4.97	0	0.33
15-5-2426	3	3	1.98	4.34	0	0.71
15-5-1617	5	6	1.16	4.45	6	0.84
15-5-2404	7	4	2.20	4.42	6	1.04
15-5-1618	12	5	0.55	5.09	8	0.58
15-5-2398	3	6	2.85	4.61	8	0.91
15-5-2411	5	4	1.04	4.8	8	0.78
15-5-2425	5	7	3.05	4.6	8	0.78
15-5-1616	17	7	0.13	5.46	10	0.72
15-5-1590	9	8	0.45	5.57	12	0.65
15-5-1587	29	10	0.85	5.69	12	0.97
15-5-2397	5	8	4.16	4.37	12	0.71
15-5-1622	8	5	0.68	4.93	14	0.65
15-5-1609	17	4	1.01	5.04	14	0.45
15-5-1593	9	11	0.33	5.88	14	0.59
15-5-2424	7	8	1.93	4.57	14	1.29
15-5-1621	8	7	0.53	4.99	16	1.36
15-5-1620	12	10	0.61	5.06	16	0.84
15-5-1597	4	3	0.73	5.28	16	1.29
15-5-0968	11	7	0.27	5.71	16	1.17
15-5-2387	5	7	0.44	4.6	16	0.84
15-5-2405	4	6	3.77	4.625	16	0.74
15-5-1564	8	9	0.26	5.5	18	0.46
15-5-2376	9	7	1.45	4.7	18	0.97
15-5-2430	11	6	1.05	4.82	18	0.78
15-5-1612	4	2	2.00	4.46	20	2.48
15-5-1611	9	5	1.59	5.25	20	0.58
15-5-1554	9	10	0.20	5.55	20	1.18
15-5-1599	7	6	0.23	5.52	22	1.29
15-5-2375	10	10	0.59	4.71	22	0.97

§Capacidad de intercambio catiónico.£Capacidad de intercambio catiónico efectiva

Anexo 1. Resultados de todos los análisis de las muestras del ensayo.

Numero de Muestra	CIC§ (Acetato de amonio)	CICe	Acidez Intercambiable	pH	% Arcilla	Materia Orgánica
15-5-1588	10	10	0.45	5.8	26	1.81
15-5-2377	10	11	1.41	4.57	26	1.23
15-5-2413	10	11	0.60	4.9	26	1.30
15-5-2399	14	12	3.05	4.83	28	1.76
15-5-2414	10	12	1.62	4.69	28	1.81
15-5-2420	16	11	1.52	4.65	28	0.97
15-5-1496	22	13	1.01	5.17	30	10.18
15-5-1615	16	15	0.11	5.49	30	2.28
15-5-0977	14	10	1.72	5.57	30	1.36
15-5-1598	10	9	0.64	5.62	30	0.91
15-5-0890	18	10	0.57	5.66	30	2.24
15-5-0887	15	13	0.58	5.78	30	1.42
15-5-2429	10	10	2.45	4.86	30	2.59
15-5-1499	17	11	6.76	4.55	32	9.49
15-5-1498	20	11	4.57	4.77	32	9.53
15-5-981	18	11	1.74	5.64	32	1.55
15-5-904	15	11	0.53	5.87	33	2.15
15-5-1500	17	12	1.46	5.23	34	8.16
15-5-1595	7	7	1.03	5.58	34	1.68
15-5-2384	13	11	0.69	4.825	34	2.10
15-5-0595	8	5	1.65	5.29	36	3.84
15-5-2431	15	15	0.77	4.99	36	1.94
15-5-1592	15	16	0.23	5.8	38	2.21
15-5-1555	16	29	0.14	5.98	38	1.45
15-5-2378	12	13	0.18	4.09	38	2.32
15-5-2401	22	14	3.52	4.2	38	2.93
15-5-1614	7	7	2.09	4.58	40	2.32
15-5-0897	15	11	1.41	5.51	40	3.36
15-5-974	8	14	0.40	5.96	40	2.66
15-5-0895	16	14	0.25	5.97	40	2.97
15-5-2381	9	14	0.84	4.69	40	1.36
15-5-1501	6	11	10.23	4.78	44	3.43
15-5-1552	31	18	0.29	5.68	44	2.24
15-5-0889	23	15	0.39	5.82	44	3.41
15-5-1602	24	22	0.25	5.46	52	4.48
15-5-1603	24	24	0.17	5.31	56	8.22

§Capacidad de intercambio catiónico.£Capacidad de intercambio catiónico efectiva