

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN SUELOS**



**“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO  
CATIONICO POR EL MÉTODO DEL FORMALDEHÍDO”**

Presentada por:

**JUAN MIGUEL GUERRERO LÁZARO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN SUELOS**

Lima – Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN SUELOS**

**“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO  
CATIONICO POR EL MÉTODO DEL FORMALDEHÍDO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN SUELOS**

Presentada por:

**JUAN MIGUEL GUERRERO LÁZARO**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente Jurado:**

Mg.Sc. Gilberto Rodríguez Soto

**PRESIDENTE**

M.S. Rubén Bazán Tapia

**ASESOR**

Dr. Oscar Loli Figueroa

**MIEMBRO**

Mg.Sc. Luis Tomassini Vidal

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

Llapanni waukiykunata paneykunata: Nuqanchis pachamamata arariwayta yanapaysunchis!!

A todos mis hermanos y hermanas: Ayudemos a cuidar a nuestra madre tierra!!

A mis padres, Miguel y Estela, por su ejemplo de vida y sacrificio para progresar. A mis hermanos, Marco y Marilú, quienes siempre estaban pendientes de mis logros. A todos mis profesores, las gracias por sus enseñanzas. A mi pueblo, para que esta contribución le sea útil.

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo expresarle mis agradecimientos a mi patrocinador de tesis, el M.Sc. Rubén Bazán Tapia por su orientación y guía en el desarrollo del presente trabajo.

Al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM, al Dr. Sady García Bendezú y a su personal técnico, y en particular al Sr. Leoncio Ymán Litano y al Bach. Kevin Cruz Fajardo, por las facilidades y apoyo brindados para lograr los objetivos del presente estudio.

Al M.Sc. Julio Nazario Ríos, por brindarme la relación de calicatas y suelos disponibles, ordenados según la taxonomía de suelos.

Al M.Sc. Julián Chura Chuquiya, al Dr. Carlos Burga y al Ing. Vicente Rojas por la revisión y orientación con los datos estadísticos obtenidos.

A mis amigos molineros: Biól. Alina Pace Guzmán, Ing. Luis Felipe Alvites e Ing. Angela Díaz Montoya, quienes me alentaron a culminar este estudio cuando me parecía una meta lejana.

A las siguientes personas, de quienes aprendí y me motivaron a conocer un poco más de la química agrícola: Sr. Oscar Sigil Dávila (†) y Dr. Guillermo Aguirre Yato (†).

## ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	1
2.1.	LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC).....	2
2.2.	EL MÉTODO DE KJELDAHL .....	6
2.3.	EL EQUIPO DE KJELDAHL.....	7
2.4.	MÉTODO DEL ACETATO DE AMONIO PARA DETERMINAR LA CIC TOTAL.....	8
2.5.	DESTILACIÓN DEL AMONIO EN UN EQUIPO MICRO-KJELDAHL.....	11
2.6.	DEL FORMALDEHÍDO .....	12
2.7.	EMPLEO DE LA VARIANTE TITULANDO CON FORMALDEHÍDO .....	12
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	15
3.1.	UBICACIÓN.....	15
3.2.	REACTIVOS, MATERIALES Y EQUIPOS .....	15
3.3.	MUESTRAS DE SUELOS .....	16
3.4.	METODOLOGÍA PARA LA TITULACIÓN CON FORMALDEHÍDO.....	17
3.5.	METODOLOGÍA PARA LA DESTILACIÓN CON EQUIPO MICRO- KJELDAHL.....	19
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1.	LOS SUELOS ARIDISOLS .....	22
4.1.1.	Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de los suelos Aridisols...	23
4.1.2.	Valores de la CIC encontrados en los suelos Aridisols empleando ambos métodos .....	24
4.1.3.	Evaluación estadística de los resultados en los suelos Aridisols.....	28
4.1.4.	Análisis de regresión y correlación lineal entre los dos métodos para los suelos Aridisols .....	30
4.2.	LOS SUELOS ENTISOLS .....	31
4.2.1.	Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de los suelos Entisols.....	32
4.2.2.	Valores de la CIC encontrados en los suelos Entisols empleando ambos métodos .....	35
4.2.3.	Evaluación estadística de los resultados en los suelos Entisols .....	42
4.2.4.	Análisis de regresión y correlación lineal entre los dos métodos para los suelos Entisols .....	45

4.3.	LOS SUELOS INCEPTISOLS .....	46
4.3.1.	Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de los suelos Inceptisols	47
4.3.2.	Valores de la CIC encontrados en los suelos Inceptisols empleando ambos métodos .....	49
4.3.3.	Evaluación estadística de los resultados en los suelos Inceptisols .....	52
4.3.4.	Análisis de regresión y correlación lineal entre los dos métodos para los suelos Inceptisols.....	54
4.4.	LOS SUELOS ANDISOLS.....	55
4.4.1.	Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de los suelos Andisols ...	56
4.4.2.	Valores de la CIC encontrados en los suelos Andisols empleando ambos métodos .....	57
4.4.3.	Evaluación estadística de los resultados en los suelos Andisols .....	59
4.4.4.	Análisis de regresión y correlación lineal entre los dos métodos para los suelos Andisols.....	60
4.5.	LOS SUELOS MOLLISOLS .....	61
4.5.1.	Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de los suelos Mollisols ..	62
4.5.2.	Valores de la CIC encontrados en los suelos Mollisols empleando ambos métodos .....	63
4.5.3.	Evaluación estadística de los resultados en los suelos Mollisols .....	65
4.5.4.	Análisis de regresión y correlación lineal entre los dos métodos para los suelos Mollisols.....	67
4.6.	LOS SUELOS DE MATERIAL ORGÁNICO .....	68
4.6.1.	Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de los suelos de material orgánico.....	69
4.6.2.	Valores de la CIC encontrados en los suelos de material orgánico empleando ambos métodos .....	71
4.6.3.	Evaluación estadística de los resultados en los suelos de material orgánico.....	73
4.6.4.	Análisis de regresión y correlación lineal entre los dos métodos para los suelos de material orgánico .....	75
4.7.	Análisis general de regresión y correlación lineal entre todos los suelos de este estudio .....	77
4.8.	OBSERVACIONES FINALES .....	80
V.	CONCLUSIONES .....	81

VI. RECOMENDACIONES .....	83
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
VIII. ANEXOS.....	92

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: CIC en suelos superficiales de diferentes procedencias, según su clase textural .....	4
Cuadro N° 2: Datos típicos para suelos minerales superficiales representativos de regiones húmedas-templadas y semiáridas-templadas .....	5
Cuadro N° 3: Valores de referencia de la Capacidad de Intercambio Catiónico .....	6
Cuadro N° 4: Coordenadas geográficas del Anexo “Las Malvinas” del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) .....	15
Cuadro N° 5: Parámetros fisicoquímicos que pueden influir en la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de los suelos Aridisols del presente estudio .....	24
Cuadro N° 6: Valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) encontrados en los suelos Aridisols empleando la titulación con formaldehído y la destilación con equipo micro-Kjeldahl .....	26
Cuadro N° 7: Diferencia de promedios, coeficiente de variabilidad y niveles de significación para la prueba t-Student para los suelos Aridisols del ensayo .....	29
Cuadro N° 8: Parámetros fisicoquímicos que pueden influir en la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de los suelos Entisols del presente estudio .....	33
Cuadro N° 9: Valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) encontrados en los suelos Entisols empleando la titulación con formaldehído y la destilación con equipo micro-Kjeldahl .....	37
Cuadro N° 10: Diferencia de promedios, coeficiente de variabilidad y niveles de significación en la prueba t-Student para los suelos Entisols del ensayo .....	43
Cuadro N° 11: Parámetros fisicoquímicos que pueden influir en la CIC de los suelos Inceptisols .....	48
Cuadro N° 12: Valores de la CIC encontrados en los suelos Inceptisols empleando ambos métodos .....	50
Cuadro N° 13: Diferencia de promedios, coeficiente de variabilidad y niveles de significación en la prueba t-Student para los suelos Inceptisols .....	53
Cuadro N° 14: Parámetros fisicoquímicos que pueden influir en la CIC de los suelos Andisols .....	56

Cuadro N° 15: Valores de la CIC encontrados en los suelos Andisols empleando ambos métodos .....	58
Cuadro N° 16: Diferencia de promedios, coeficiente de variabilidad y niveles de significación en la prueba t-Student para los suelos Andisols.....	60
Cuadro N° 17: Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de suelos Mollisols .....	63
Cuadro N° 18: Valores de la CIC encontrados en los suelos Mollisols empleando ambos métodos .....	64
Cuadro N° 19: Diferencia de promedios, coeficiente de variabilidad y niveles de significación en la prueba t-Student para los suelos Mollisols.....	67
Cuadro N° 20: Parámetros fisicoquímicos que pueden influir en la CIC de los suelos de material orgánico .....	71
Cuadro N° 21: Valores de la CIC encontrados en los suelos de material orgánico empleando ambos métodos.....	72
Cuadro N° 22: Diferencia de promedios, coeficiente de variabilidad y niveles de significación en la prueba t-Student para los suelos de material orgánico .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Método que emplea acetato de amonio para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico en los suelos.....	10
Figura N° 2: Comparación gráfica entre los métodos de titulación con formaldehído y el método de destilación micro-Kjeldahl para los suelos Aridisols.....	27
Figura N° 3: Relación de los dos métodos para estimar la CIC en los suelos Aridisols. ....	31
Figura N° 4: Comparación gráfica entre los métodos de titulación para los suelos Entisols. ....	41
Figura N° 5: Relación de los dos métodos para estimar la CIC en los suelos Entisols.....	46
Figura N° 6: Comparación gráfica entre los métodos de titulación para los suelos Inceptisols.....	51
Figura N° 7: Relación de los dos métodos para estimar la CIC en los suelos Inceptisols. .	55
Figura N° 8: Comparación gráfica entre los métodos de titulación con formaldehído y el método de destilación micro-Kjeldahl para los suelos Andisols. ....	58
Figura N° 9: Relación de los dos métodos para estimar la CIC en los suelos Andisols.....	61
Figura N° 10: Comparación gráfica entre ambos métodos para los suelos Mollisols.....	65
Figura N° 11: Relación de los dos métodos para estimar la CIC en los suelos Mollisols.....	68
Figura N° 12: Comparación gráfica entre ambos métodos para los suelos de material orgánico. ....	73
Figura N° 13: Relación de los dos métodos para estimar la CIC en los suelos de material orgánico. ....	77
Figura N° 14: Correlación entre los dos métodos para estimar la CIC entre todos los órdenes de suelos.....	79

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Análisis físico - químico de suelos : caracterización de los suelos en estudio.....	93
Anexo N° 2: Recuento fotográfico de algunas secuencias seguidas en el presente estudio.....	101
Anexo N° 3: Resumen de las pruebas de ANVA para los valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico de los suelos en estudio realizados por los dos métodos .....	107
Anexo N° 4: Requerimientos de materiales y reactivos de ambos métodos para determinar la CIC .....	121
Anexo N° 5: Costos unitarios por muestra de ambos métodos para determinar la CIC....	122

## RESUMEN

La saturación con amonio y posterior desplazamiento con KCl, es uno de los métodos más empleados para la determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de los suelos. El amonio desplazado es tradicionalmente capturado por destilación de Kjeldahl en una solución ácida y posteriormente titulado con una solución básica. Sin embargo, este procedimiento demanda mucho tiempo y reduce el número de muestras que pueden ser determinadas rutinariamente en los laboratorios. Un método alternativo para la determinación de la CIC es propuesto y evaluado. En este método se emplea formaldehído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) para neutralizar el amonio resultante luego de tratar el suelo con una solución de  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  N y de desplazarlo con KCl. La neutralización se realiza empleando 2 mL de una solución de formaldehído al 37 % agregado en una alícuota del extracto amónico anterior utilizando al indicador fenolftaleína para verificar el punto final de la neutralización al titular con una solución 0.02 N de NaOH. La operación antes mencionada no debe exceder de los diez minutos. Se realizó un ensayo para comparar los métodos del destilado y el tratamiento con formaldehído empleando ciento sesenta muestras de suelos de diferentes características físicas y químicas procedentes de diferentes calicatas, los cuales también estaban agrupados según la clasificación taxonómica de suelos en: Aridisols, Entisols, Inceptisols, Andisols, Mollisols y suelos de material orgánico. Se realizaron diez repeticiones por cada suelo. Los promedios de ambos métodos fueron comparados mediante la prueba t de Student, con un nivel de confianza de 95 %. Los promedios de ambos métodos mostraron ligeras diferencias estadísticas en la CIC en sesenta y ocho muestras analizadas y fueron semejantes en noventa y dos muestras. Además, se realizó la correlación lineal entre ambos métodos, encontrándose un coeficiente de regresión lineal ( $R^2$ ) igual a 0.9974. La titulación del amonio con formaldehído demostró ser un método rápido, económico y proveer suficiente confiabilidad en los resultados.

**Palabras clave:** Análisis de suelos, Capacidad de Intercambio Catiónico, destilación Kjeldahl, formaldehído.

## ABSTRACT

Saturation with ammonium and subsequent displacement with KCl, is one of the most used methods for the determination of Cation Exchange Capacity (CEC) of soils. Displaced ammonium is traditionally captured by distillation of Kjeldahl in an acid solution and subsequently titrated with a basic solution. However, this procedure takes a long time and reduces the number of samples that can be routinely determined in laboratories. An alternative method for determining the CEC is proposed and evaluated. In this method, formaldehyde (CH<sub>2</sub>O) is used to neutralize the resulting ammonium after treating the soil with a solution of CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> N and displacing it with KCl. The neutralization is performed using 2 mL of a 37% formaldehyde solution added in an aliquot of the above ammonium extract using the phenolphthalein indicator to verify the end point of neutralization when titrate it with a 0.02 N NaOH solution. The aforementioned operation must not exceed ten minutes. To compare the methods of distillate and formaldehyde treatment using one hundred and sixty soil samples of different physical and chemical characteristics from different profile pits, which were also grouped according to the taxonomic classification of soils in: Aridisols, Entisols, Inceptisols, Andisols, Mollisols and soils of organic material a test was carried out. Ten repetitions for each soil sample were performed. The averages of both methods by Student's t-test, with a 95% confidence level were compared. The averages of both methods showed slight statistical differences in CEC in sixty-eight samples analyzed and were similar in ninety-two samples. In addition, the linear correlation between both methods, finding a linear regression coefficient (R<sup>2</sup>) equal to 0.9974 was performed. Titration of ammonium with formaldehyde proved to be a fast and economical method and provide sufficient reliability in the results.

**Keywords:** Cation Exchange Capacity, formaldehyde, Kjeldahl distillation, soil analysis.

## I. INTRODUCCIÓN

El empleo de métodos analíticos para la determinación de ciertos parámetros físicos y/o químicos en los suelos agrícolas, pueden presentar en ciertas ocasiones algunos inconvenientes del orden logístico como, por ejemplo, la falta de algún equipo, material o reactivo químico. Si bien es cierto que toda institución dedicada a la investigación y prestación de servicios debe prever y disponer de los elementos necesarios para cubrir tales objetivos, en la práctica se ha visto que en muchas ocasiones, ya sea por carestía, problemas con el transporte, falta de repuestos, o discontinuidad en la fabricación de ciertos equipos o reactivos, se han detenido proyectos de investigación y/o alargado los tiempos de respuesta (resultados) al usuario o cliente. En ese sentido, es el propósito del presente trabajo, el contribuir con uno de los indicadores principales de la fertilidad natural de los suelos: la determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) empleando una reacción química sencilla, pero no carente por ello, de los cuidados y rigurosidad en las recomendaciones sobre su uso. Para lograr este propósito, se realizarán las correspondientes pruebas sobre diferentes tipos de suelos, en el ambiente del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para demostrar la utilidad de esta variación en el empleo de la metodología para determinar la CIC total de los suelos agrícolas. Cabe indicar que la CIC, puede estimarse al saturar el complejo arcillo-húmico de un suelo con el catión amonio presente en una solución de acetato de amonio 1N *bufferado* a pH 7.0, desplazando a los cationes adsorbidos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ , y  $\text{Al}^{3+}$  principalmente) en el complejo y quedando saturado con los cationes de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Por ello, son objetivos del presente estudio comparar la validez en el empleo de una variación del método para determinar la CIC de los suelos agrícolas empleando el método del acetato de amonio tradicional que emplea la destilación del amonio comparándola con la titulación del amonio que emplea una solución de formaldehído. Además se contempla emplear dicha variación como alternativa en aquellas condiciones donde no sea posible el empleo del equipo estándar de Kjeldahl y realizar un comparativo de los costos unitarios entre ambos métodos.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

Citando a Brady (1984), cabe mencionar su frase que dice: “al igual que la fotosíntesis y la respiración, probablemente no hay ningún otro proceso en la naturaleza que sea tan vital para la vida vegetal y animal como el intercambio de iones entre las partículas del suelo y las raíces de las plantas”. Se trata entonces, de unos de los procesos naturales más importantes en el planeta, del cual dependen directamente las plantas, e indirectamente, el resto de los seres vivos que sustenta.

Rhoades (1982) expone que la CIC, usualmente expresada en miliequivalentes por 100 g de suelo, es una medida de la cantidad de los cationes intercambiables que neutralizan las cargas negativas del suelo”. Las cargas negativas en los constituyentes del suelo se derivan de la sustitución isomórfica dentro de las estructuras de capas de los minerales de arcilla, ruptura de bordes y superficies externas de los minerales, disociación de los grupos funcionales acídicos de los compuestos orgánicos, y la desorción preferencial (mediante reacción química) de ciertos iones sobre las superficies de las partículas. Los cationes de entre capas no son fácilmente intercambiables, aunque pueden liberarse con ciertos tratamientos químicos y a través de la meteorización.

Citando a Bazán *et al.* (2010); Ciesielski *et al.* (1997); Bernardi y Tabilo (1975); Henríquez *et al.* (2005); Chapman y Pratt (1973) y Rhoades (1982), la mayoría de los métodos para determinar la CIC están provistos del uso de diferentes combinaciones de pre-tratamiento del suelo, saturación, lavado, procedimientos de extracción, así como de diferentes cationes de saturación y reemplazo, soluciones para el lavado, y el control de pH. Muchos de dichos métodos pueden identificarse en alguna de las siguientes descripciones:

1. Los cationes intercambiables pueden desplazarse con una solución de sal saturante y la CIC se toma como un equivalente a la suma de los cationes intercambiables presentes en el “lixiviado” obtenido (método de la suma).
2. La CIC es saturada con un catión seleccionado, el catión adsorbido y la pequeña cantidad de solución retenida por el suelo después de centrifugar pueden ser desplazados directamente mediante otra solución salina sin un mayor tratamiento del suelo. El catión y el anión saturantes son luego determinados en el extracto resultante. Y su diferencia se toma como igual a la CIC del suelo (método del desplazamiento directo).
3. Los sitios de intercambio se saturan con un catión indicador, el suelo puede lavarse para liberarlo del exceso de la sal saturante, y la cantidad del catión indicador adsorbido por el suelo puede desplazarse y determinarse (método del desplazamiento después del lavado).
4. Se procede a la saturación de la CIC del suelo con un catión indicador, la solución saturante puede diluirse y marcarse con un isótopo radiactivo del catión saturante. La concentración del catión indicador en la solución es determinada luego, y la distribución del isótopo (y por lo tanto del catión total) entre las dos fases se da mediante la cuantificación la radiación en la solución y en la solución más el suelo (Cruañas 1983).

Un aspecto importante que debe tenerse en cuenta en la determinación de la CIC, es el tipo de partículas que predominan en un suelo ligadas a la clase textural. Se conoce que la arena y el limo no contribuyen significativamente en el aporte de cargas, mientras que las arcillas si lo hacen, en ese sentido, es necesario saber el tipo de arcilla que contribuye con mayor capacidad de carga negativa (que ha de ser neutralizada por los cationes) lo cual se conoce como Capacidad de Intercambio Catiónico. Esta precisión se puede observar en el Cuadro N° 1.

**Cuadro N° 1: CIC en suelos superficiales de diferentes procedencias, según su clase textural**

<b>Clase textural</b>	<b>Capacidad de Intercambio (cmol(+)/kg)</b>	<b>Clase textural</b>	<b>Capacidad de Intercambio (cmol(+)/kg)</b>
Arenosos		Franco limosos	
	2,0		9,4
	3,5		12,6
Franco arenosos			14,0
	2,3		18,4
	2,7		19,8
	3,0		23,2
	5,5		26,3
	9,9	Arcillosos y Franco arcillosos	
	17,1		4,0
Francos			4,8
	7,5		20,2
	11,4		31,5
	14,0		34,2
	15,9		57,5

FUENTE: Adaptado de Brady (1984).

Asimismo, los factores ambientales también influyen en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Por ejemplo en una región húmeda-templada, se dan las condiciones para que las bases cambiables se lixivien en un lapso prolongado, al tiempo que ocasionan la solubilización e hidrólisis del aluminio, lo cual contribuye a la disminución del pH. Por otro lado, en una región semiárida-templada, las bases se mantienen casi invariables y con tendencia a un pH neutro o ligeramente alcalino. La comparación entre ambos casos se puede observar en el Cuadro N° 2.

**Cuadro N° 2: Datos típicos para suelos minerales superficiales representativos de regiones húmedas-templadas y semiáridas-templadas**

<b>Características</b>	<b>Región húmeda templada</b>	<b>Región Semiárida templada</b>
Calcio intercambiable (cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	6 - 9	13 - 16
Otras bases intercambiables (cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	2 - 3	6 - 8
Hidrógeno y/o aluminio intercambiable (cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	4 - 6	1 - 2
Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol(+)Kg <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	12 - 16	20 - 26
Saturación de bases (%)	66.6	95 y 92
pH probable	5.6 - 5.8	~ 7

FUENTE: Tomado de Brady (1984).

Ya se ha mencionado sobre las arcillas, y los tipos de arcilla, pero también debe tenerse en cuenta al otro componente sólido, ya no mineral sino orgánico: la materia orgánica (humus). Este material constituye el coloide orgánico del suelo, y consta de muchas cadenas carbonadas de alto peso molecular, que presentan cargas negativas en sus radicales carboxílicos y fenólicos principalmente, las cuales, están influenciadas por el pH del medio o del suelo que los contiene.

Por otro lado, se debe mencionar que todos los suelos, en mayor o menor grado, incluyen dentro de su fracción sólida y de forma combinada, a la parte mineral (arena, limo y arcilla) y a la parte orgánica (el humus). De esta manera, si se conoce la distribución de las fracciones relacionadas a la CIC, es decir a las arcillas y la materia orgánica, se podría hacer un estimado cualitativo de la misma. Los valores referenciales para estas características se muestran en el Cuadro N° 3.

**Cuadro N° 3: Valores de referencia de la Capacidad de Intercambio Catiónico**

<b>Material</b>	<b>CIC (cmol(+)Kg<sup>-1</sup>)</b>
<b>Arcillas</b>	
Caolinita	3 – 15
Illita	15 – 40
Montmorillonita	80 – 100
<b>Materia orgánica</b>	200 – 400
<b>Suelos según textura</b>	
Arenoso	1 – 5
Arenoso franco a franco arenoso	5 – 10
Franco	5 – 15
Franco arcilloso	15 – 30
Arcilloso	> 30

FUENTE: Tomado de Hang (2012)

## **2.2. EL MÉTODO DE KJELDAHL**

Johan Kjeldahl (1849-1900), fue un químico danés que desarrolló en 1883 el método para la determinación del nitrógeno orgánico, que hoy lleva su nombre. Citando a Bazán (1996), Arzola y Fundora (2010), Haluschak (2006), ISRIC (2002) inicialmente este método, fue diseñado para evaluar el contenido de proteínas de la malta en la industria cervecera. Así que, a menor contenido de proteína, mayor era el rendimiento de cerveza por cantidad de granos de cebada. La reacción química a la cual se somete a la proteína, mediante la adición de ácido sulfúrico más calor en presencia de un catalizador, logra transformar el nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral (sulfato de amonio), el cual puede ser destilado en medio alcalino, ocasionando que el amonio contenido en el digestado se transforme en amoniaco (NH<sub>3</sub>) el mismo que es recibido en una solución ácida valorada que regenera la cantidad de amonio presente en el digestado, el mismo que al ser titulado, determinará por equivalencia de moles la cantidad de amonio que había en la muestra original, lo cual se traduce en la cantidad de nitrógeno presente en dicha muestra.

Como se ha mencionado, originalmente se diseñó el método para muestras que contenían proteínas, pero posteriormente se ha hecho extensivo para otros tipos de materiales orgánicos y compuestos que posean también formas libres de nitrógeno (sin formar cadenas largas), como las amidas de la urea, obteniéndose también buenos resultados.

Por ello, y a pesar de haber transcurrido más de cien años desde su primera prueba, se constituye a la fecha como un método rápido y eficaz, que incluso sirve para calibrar otros sistemas para la cuantificación del nitrógeno.

### **2.3. EL EQUIPO DE KJELDAHL**

Citando a McKean (1993), y Richter (1980), para la determinación del nitrógeno orgánico por el método de Kjeldahl, se requiere de ciertos equipos y materiales. Con respecto a los equipos de macro o micro-Kjeldahl, estos pueden constar de dos cocinillas (o dos baterías), una destinada para la digestión de muestras que incluye un captador de vapores, y la otra para someter la muestra digestada a destilación. El sistema de destilación incluye un refrigerante (con entrada y salida de agua), así como una fuente para el suministro del álcali fuerte que ocasione el desprendimiento del amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) como amoniacó ( $\text{NH}_3$ ), el cual debe ser recibido en un matraz con solución ácida valorada en el extremo de salida del refrigerante que es luego titulado para regenerar el amonio presente en la muestra. Las partes mencionadas, de digestión y destilación, pueden venir de fábrica como un monobloque o pueden estar separadas. Es importante mencionar que la parte destinada a la destilación, cuando está por separado, puede ser utilizada para dicho propósito, en muestras que no requieran de digestión, por presentarse directamente en forma amoniacal.

La diferencia entre equipo Kjeldahl y micro-Kjeldahl, se refiere sobre todo a la capacidad de los balones de destilación, es decir, balones de 800 mL para el equipo de Kjeldahl y balones de 100 mL para el de micro-Kjeldahl.

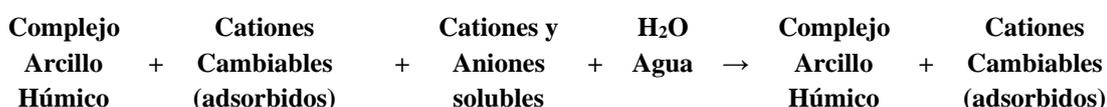
## 2.4. MÉTODO DEL ACETATO DE AMONIO PARA DETERMINAR LA CIC TOTAL

Una de las formas tradicionales para determinar la CIC Total es la indicada por el Soil Survey Staff (2014), y también mencionada por otros autores, Chapman y Pratt (1973), Bazán (1996), y Fernández *et al.* (2006), la cual indica el empleo del método del Acetato de amonio N *bufferado* a pH 7.0 para propósitos de estudio y clasificación taxonómica o edafológica, siendo a su vez uno de los métodos de referencia más utilizados para conocer los niveles de fertilidad de los suelos agrícolas en muchos laboratorios de investigación y de atención a los usuarios.

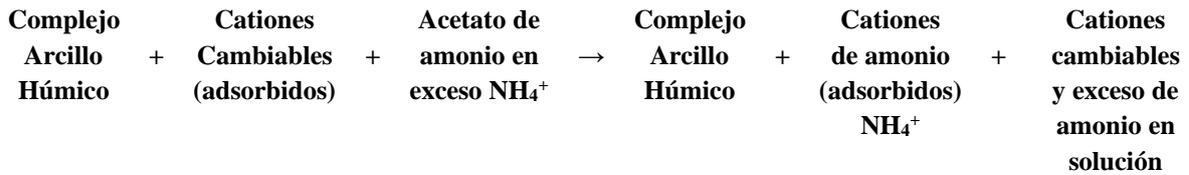
El principio del método es sencillo. Una masa dada de suelo que contiene una variedad de sales solubles y cationes intercambiables es primero lavada con agua y posteriormente con una solución salina que contenga amonio  $\text{NH}_4^+$  (acetato de amonio). Luego de ello, los cationes de  $\text{NH}_4^+$  reemplazan a los otros cationes adsorbidos al complejo de cambio (arcillas y humus), los cuales pueden ser recolectados en el filtrado para determinar los cationes cambiables. Después de esto, el exceso de  $\text{NH}_4^+$  se remueve mediante el uso de un solvente orgánico (etanol), seguida a su vez de la remoción del  $\text{NH}_4^+$  adsorbido empleando una solución salina que contenga  $\text{K}^+$  en exceso (KCl N) la cual reemplaza y lixivia el  $\text{NH}_4^+$  adsorbido. La cantidad del  $\text{NH}_4^+$  lavado y lixiviado puede cuantificarse en términos de miliequivalentes químicos empleando la técnica de la destilación en medio alcalino en un equipo micro-Kjeldahl utilizado para la determinación del Nitrógeno total, y así poder expresar la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

La forma de trabajar este método se puede observar en la siguiente secuencia:

1. El suelo (complejo arcillo-húmico) es lavado con agua destilada para lavar las sales solubles (cationes y aniones)



2. El complejo arcillo-húmico es saturado con una solución de acetato de amonio N bufferado a pH 7.0



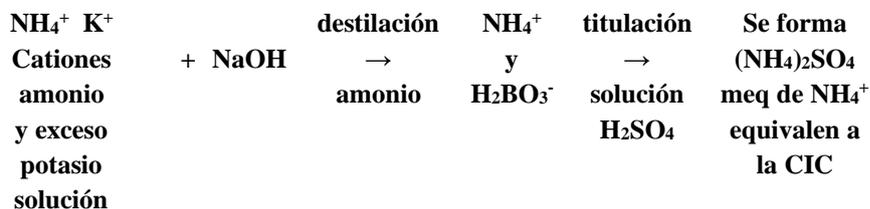
3. El exceso de amonio es lavado con alcohol etílico, quedando solamente el complejo arcillo-húmico saturado con cationes de amonio



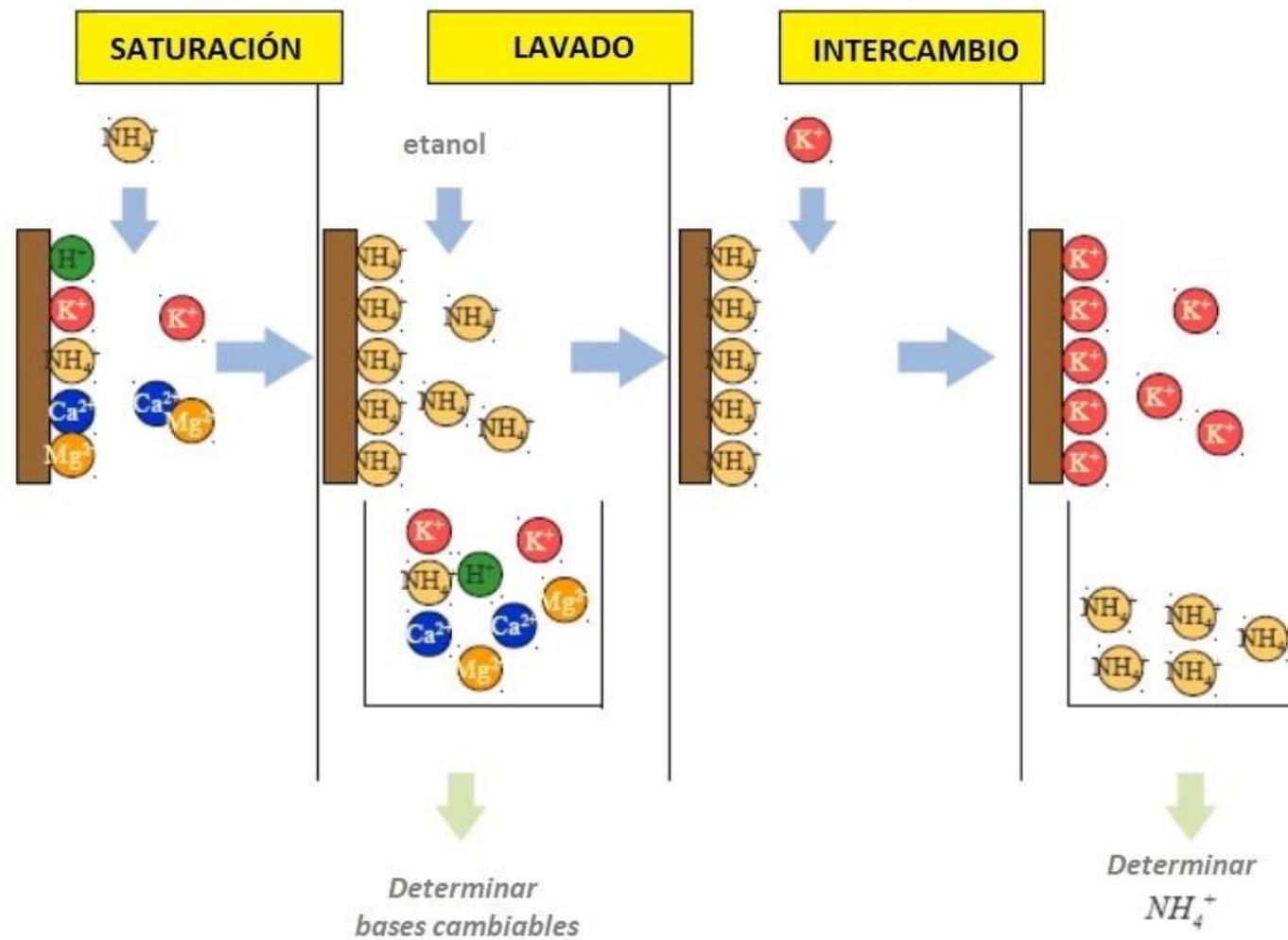
4. El complejo arcillo-húmico saturado de cationes de amonio es saturado nuevamente con una solución de cloruro de potasio N, pasando el catión amonio a solución



5. El amonio en solución es destilado en presencia de una base fuerte y es recibida en una solución con ácido bórico para regenerar el amonio. Esta cantidad de cationes amonio, expresada en miliequivalentes, equivale a la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo (Brady, 1984)



La secuencia mencionada anteriormente, se puede observar en la Figura N° 1, en donde en forma gráfica se observan los reemplazos de los cationes cambiables por el amonio, luego por el potasio, y la recuperación del extracto amónico para proceder a la destilación mediante el procedimiento micro-Kjeldahl o mediante la titulación con formaldehído.



**Figura N° 1: Método que emplea acetato de amonio para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico en los suelos.**

FUENTE: Tomado de Tack (1995)

## 2.5. DESTILACIÓN DEL AMONIO EN UN EQUIPO MICRO-KJELDAHL

El procedimiento descrito para el método de determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico con acetato de amonio N a pH 7.0, emplea dos etapas del proceso descrito por Kjeldahl para la determinación del nitrógeno orgánico:

- Destilación, se alcaliniza, para lo cual se usa magnesia calcinada o una base como NaOH (reacción 1) en exceso a la muestra con el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en solución y este se desprende en forma de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). El amoníaco destilado se recoge en una solución de ácido bórico en exceso (reacción 2):



Amonio	Hidróxido de sodio	Amoníaco	Sulfato de sodio	Agua
--------	-----------------------	----------	---------------------	------



Amoníaco	Ácido bórico	Amonio	Ion borato
----------	-----------------	--------	---------------

- Valoración o titulación, se cuantifica el nitrógeno amoniacal por medio de una volumetría ácido-base, empleando una solución de ácido sulfúrico y como indicador una solución de mezcla de indicadores (rojo de metilo y azul de metileno disueltos en alcohol) hasta regenerar el ácido bórico con los protones del ácido titulante. Los equivalentes de ácido consumidos corresponden a los equivalentes de amoníaco destilados (reacción 3):



Ión borato	protón	Ácido bórico
---------------	--------	-----------------

## **2.6. DEL FORMALDEHÍDO**

La Consejería de sanidad (2007), cita que el formaldehído es un Aldehído de fórmula química  $\text{CH}_2\text{O}$  ( $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$ ), compuesto químico que, a temperatura ambiente, es un gas casi incoloro con un olor fuerte y penetrante característico. Como sinónimos se puede encontrar bajo la denominación de Formalina, Aldehído Fórmico, Formol, Metanal, Metil Aldehído, Metileno Óxido, y Oximetileno. Su vapor es inflamable y explosivo. Debido a que el gas puro tiende a polimerizarse, usualmente es usado en una solución acuosa de Formaldehído al 30 – 50 % conteniendo hasta un 15 % de metanol como estabilizante. Para los ensayos, se debe utilizar la solución de Formaldehído al 37 % y de fabricación reciente, debido a que, su almacenamiento prolongado y en malas condiciones de temperatura y humedad, descompone al Formaldehído en Ácido Fórmico y polímeros de Formaldehído ocasionando que pierda la propiedad de generar protones en presencia del Amonio. El Formaldehído se disuelve fácilmente en el agua pero no es persistente en él. Los productos de la descomposición del Formaldehído son el Ácido fórmico y el monóxido de carbono. El Formaldehído no se acumula ni en plantas ni en animales.

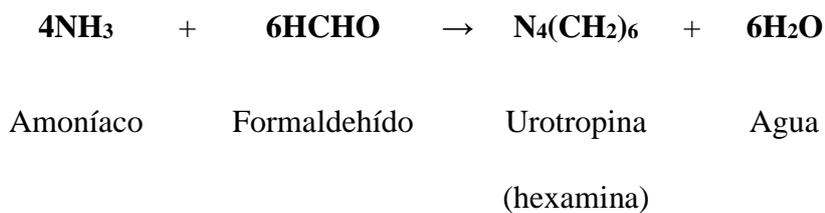
Es importante advertir que, si se va a utilizar el Formaldehído en alguna determinación química, el ambiente de trabajo debe poseer buena ventilación o sistema de absorción de vapores, además el o los analistas deben utilizar la mascarilla con filtro para vapores y emplear guantes de nitrilo en las manos.

El Formaldehído es usado ampliamente en la fabricación de plásticos, resinas y el aislamiento de la espuma urea-formaldehído.

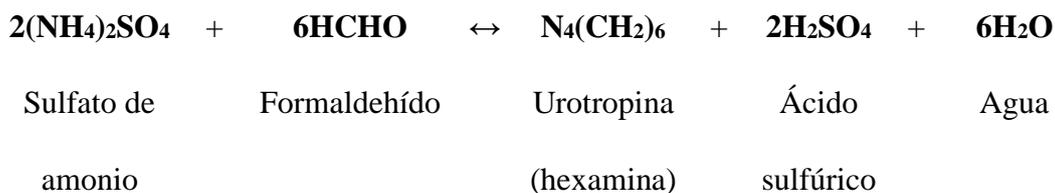
## **2.7. EMPLEO DE LA VARIANTE TITULANDO CON FORMALDEHÍDO**

Parker (1928) menciona a Sorensen en el empleo de la titulación con formaldehído para determinar nitrógeno amídico aprovechando que la reacción deja grupos carboxílicos libres los cuales se pueden titular con una solución básica. Yúfera y Carrasco (1981), INDECOPI (2011) y Romero (1997) mencionan que se aprovecha la reacción que ocurre al unir

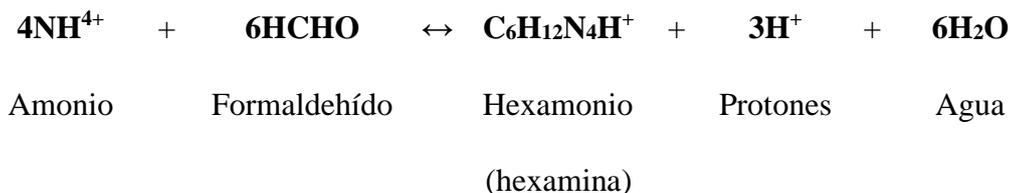
amoníaco y formaldehído para formar como productos la urotropina, hexamina ó hexametilentetramina y agua, tal como se aprecia en la reacción:



Esta misma reacción se aprovecha para cuantificar el amonio presente en algunos compuestos químicos, como en el caso del sulfato de amonio:

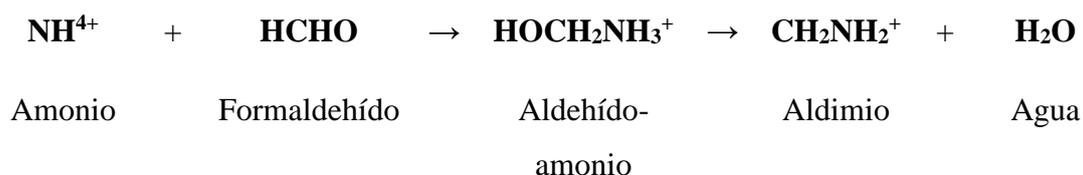


y en la forma general indicada por Tucker (1974), de la siguiente manera:



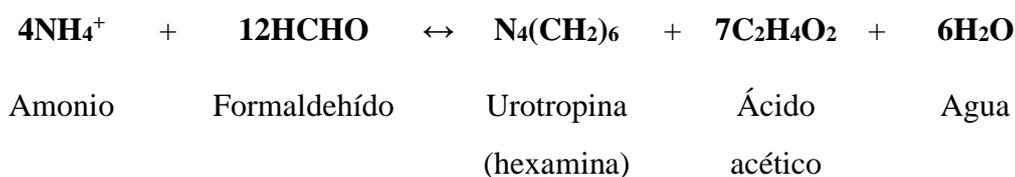
La variante planteada radicará en que, las sales de Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), del extracto lavado con exceso de  $\text{K}^+$  en solución, reaccionan con el formaldehído mediante la liberación cuantitativa de protones los que pueden titularse con una solución de NaOH hasta el punto final empleando la fenolftaleína como indicador. La adición de un exceso del neutral formaldehido ocasiona la liberación de protones los cuales son titulados con la solución de NaOH (Milla, 2013).

Nuevamente, esta reacción se puede observar en la siguiente ecuación general también indicada por Tucker (1974):



Así, el acetato de amonio (se refiere básicamente al Amonio  $\text{NH}_4^+$  como catión) reacciona con el formaldehído originando urotropina (hexamina) y ácido acético, siendo este último valorado o neutralizado con una solución alcalina valorada (por ejemplo una solución de NaOH ó KOH).

La reacción es la siguiente:



Se debe mencionar que esta reacción no es estable en el tiempo, razón por la cual este factor ha de tomarse en cuenta para la titulación o valoración. Se recomienda comenzar la titulación entre los cinco, pero menos de diez minutos después, de añadir la solución de formaldehído a la solución con amonio. Si se titula con el indicador fenolftaleína, se busca el viraje a rosado intenso o grosella. Pero si emplea la titulación potenciométrica, se detendrá ésta en el momento que se alcance el pH de 8.6.

El resultado de esta neutralización, mediante la titulación, se puede expresar en las unidades de la Capacidad de Intercambio Catiónico, es decir meq/100g,  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$  de suelo, ó  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$  de suelo.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN

El ensayo del experimento de la comparación de los métodos de evaluación de la Capacidad de Intercambio Catiónico mediante el empleo de la titulación con formaldehído y la destilación con el equipo de micro-Kjeldahl, se desarrolló en los ambientes del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas Aguas y Fertilizantes (LASPAF), ampliación “Las Malvinas”, perteneciente al Departamento académico de Suelos de la Facultad de Agronomía, localizados dentro del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicado en el distrito de La Molina, provincia de Lima, región Lima, en la república del Perú, cuyas coordenadas geográficas (en unidades de UTM) se indican en el Cuadro N<sup>a</sup> 4.

**Cuadro N<sup>o</sup> 4: Coordenadas geográficas del Anexo “Las Malvinas” del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)**

Cuadrante	Coordenadas UTM (WGS84)		Altitud (msnm)
	Este	Norte	
18 L	287923	8663411	239

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 3.2. REACTIVOS, MATERIALES Y EQUIPOS

##### a. Reactivos

- Formaldehído al 37%. Solución de formaldehído: A un litro (L) de formaldehído se añaden unas gotas de NaOH 1N en presencia de fenolftaleína hasta que presente un color rosado persistente. Guardar protegido de la luz.
- Ácido bórico al 2%.

- Hidróxido de sodio p.a. Solución de NaOH 0.02 N. Ajustar la Normalidad para propósitos de titulación.
- Ácido sulfúrico p.a. Solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.02 N. Ajustar la Normalidad para propósitos de titulación.
- Solución mixta de indicadores: Mezcla de azul de metileno al 0.1% + Rojo de metilo al 0.1% disueltos en alcohol etílico.
- Solución de fenolftaleína al 0.1 %:
- Acetato de amonio p.a. Solución de acetato de amonio 1N. *Bufferar* a pH 7.0.
- Cloruro de potasio p.a. Solución de KCl 1N.
- Alcohol etílico o etanol al 95 ó 99%.
- Carbonato de sodio p.a.
- Reactivo de Nessler.

**b. Materiales y equipos**

- Agitador magnético con su correspondiente magneto.
- Equipo de destilación de micro-Kjeldahl.
- Cronómetro.
- Balanza analítica con aproximación de tres decimales.
- pH-metro.
- Materiales de vidrio

**c. Equipos de protección personal (EPPs)**

- Mascarilla con filtro para vapores.
- Gafas o lentes de seguridad.
- Guantes de nitrilo.
- Mandil o bata personal.

### 3.3. MUESTRAS DE SUELOS

Para el presente estudio se utilizaron muestras de suelos, procedentes de calicatas en las cuales se han determinado sus horizontes de diagnóstico, y se identificaron los siguientes órdenes: Aridisols, Entisols, Mollisols, Inceptisols, Andisols y varios suelos superficiales

orgánicos (con contenidos de materia orgánica iguales o superiores al 50%). La cantidad de muestras, contabilizando todos los horizontes en total, suman ciento sesenta (160) muestras de suelos de condiciones, origen y procedencias diversas. Al analizar y organizar estas muestras se ha tomado en cuenta las recomendaciones dadas en Keys to Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014). Estas muestras pueden variar en algunas de sus características fisicoquímicas (determinadas en Laboratorio) según su procedencia u origen. Los análisis solicitados al laboratorio fueron los denominados como caracterización y que constan de los siguientes parámetros:

- Textura.
- pH o reacción del suelo.
- Conductividad Eléctrica.
- $\text{CaCO}_3$  ó contenido de Calcáreo.
- Materia Orgánica (M.O. %).
- Fósforo Disponible (P ppm).
- Potasio Disponible (K ppm).
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).
- Cationes Cambiables. Se consideran a los siguientes elementos en sus formas catiónicas: Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ), Sodio ( $\text{Na}^+$ ), Hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) y Aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ).

### **3.4. METODOLOGÍA PARA LA TITULACIÓN CON FORMALDEHÍDO**

1. Se pesan 5.0 g de TFSA (Tierra Fina Seca al Aire) y depositarlos sobre el embudo que contiene un cono de papel de filtro tipo Whatman N°42 ó su equivalente.
2. Se adicionan 100 mL de agua destilada a la muestra de suelo con el propósito de lavar las sales solubles del suelo (es importante tener la información de la Conductividad Eléctrica del suelo). Dejar drenar por completo y desechar el filtrado.
3. Se adicionan 100 mL de Acetato de amonio 1N y *bufferado* a pH 7.0 a la muestra de suelo con el propósito de desplazar a los cationes adsorbidos al complejo de cambio. Dejar filtrar por completo, pero recuperar el filtrado para determinar los Cationes Cambiables.
4. Se lava con más o menos 100 mL de Alcohol etílico para eliminar el exceso de amonio no retenido por el complejo en la solución suelo. Se puede comprobar esto

mediante la adición de unas gotas del Reactivo de Nessler. Si el filtrado aún contiene Amonio se produce un precipitado marrón. Si fuera el caso, lavar con una porción igual de Alcohol. Dejar drenar por completo y desechar el filtrado.

5. Se adicionan 100 mL de Cloruro de potasio 1N a la muestra de suelo con el propósito de desplazar el amonio adsorbido al complejo de cambio y pasarlo a solución. Dejar filtrar por completo, pero recuperar el filtrado para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).
6. Se toma exactamente una alícuota de 25 mL del filtrado anterior y depositarlos en un matraz de 125 mL. Agregarle aproximadamente 30 mL de agua destilada para hacer volumen.
7. Se agregan 2 mL de la solución de formaldehído al matraz con la alícuota del paso 6 anterior y además añadirle 5 gotas de la solución de fenolftaleína (se recomienda utilizar un ayudante de pipeta o propipeta para manipular la solución de Formaldehído). Agitar ligeramente para homogeneizar y dejar en reposo por exactamente 5 minutos (el método indica que no debe sobrepasarse de los 10 minutos). En este paso la alícuota debe permanecer incolora.
8. Se titula la solución contenida en el matraz con la solución de NaOH 0.02 N hasta obtener un viraje a color grosella (rosado fuerte) permanente, el cual se toma como punto final de la titulación. Anotar el gasto de la solución de hidróxido de sodio. En muchos casos, después de la titulación el color se desvanece, pero ya no se toma en cuenta.

### **Cálculos**

$$\text{CIC (cmol}_{(+)} \text{Kg}^{-1}) = 0.02 \times 100 \times g / 1.25$$

### **Donde:**

**CIC:** Capacidad de Intercambio Catiónico en  $\text{cmol}_{(+)}\text{Kg}^{-1}$ .

**0.02:** Normalidad de la NaOH empleados en la titulación.

**100:** Expresión referida a los 100 g de suelo.

**g:** Gasto de la solución de NaOH en mL obtenidos al momento de la titulación.

**1.25:** Peso equivalente de suelo contenido en la alícuota de 25 mL de la solución de KCl.

### 3.5. METODOLOGÍA PARA LA DESTILACIÓN CON EQUIPO MICRO-KJELDAHL

1. Se pesan 5.0 g de TFSA (Tierra Fina Seca al Aire) y depositarlos sobre el embudo que contiene un cono de papel de filtro tipo Whatman N°42 ó su equivalente.
2. Se adicionan 100 mL de agua destilada a la muestra de suelo con el propósito de lavar las sales solubles del suelo (es importante tener la información de la Conductividad Eléctrica del suelo). Dejar drenar por completo y desechar el filtrado.
3. Se adicionan 100 mL de acetato de amonio 1N y *bufferado* a pH 7.0 a la muestra de suelo con el propósito de desplazar a los cationes adsorbidos al complejo de cambio. Dejar filtrar por completo, pero recuperar el filtrado para determinar los Cationes Cambiables.
4. Se lava con más o menos 100 mL de Alcohol Etilico para eliminar el exceso de Amonio no retenido por el complejo en la solución suelo. Se puede comprobar esto mediante la adición de unas gotas del Reactivo de Nessler. Si el filtrado aún contiene amonio se produce un precipitado marrón. Si fuera el caso, lavar con una porción igual de alcohol. Dejar drenar por completo y desechar el filtrado.
5. Se adicionan 100 mL de cloruro de potasio 1N a la muestra de suelo con el propósito de desplazar el Amonio adsorbido al complejo de cambio y pasarlo a solución. Dejar filtrar por completo, pero recuperar el filtrado para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).
6. Se toma exactamente una alícuota de 25 mL del filtrado y se deposita en un balón de 100 mL de capacidad, que se coloca en el equipo de destilación micro-Kjeldahl, suministrándole un exceso de solución de NaOH más una fuente de calor, y recibiendo el destilado en un matraz con solución de ácido bórico al 2% con el indicador azul de metileno + rojo de metilo. La coloración de esta solución sin amonio es violeta.
7. Se somete a destilación de la alícuota hasta que comience a cambiar de color, de violeta a verde. A partir de este cambio de color se comienzan a contar 3 minutos para finalizar la destilación. Se estima que en 3 minutos todo el amonio ya se ha recibido en la solución de ácido bórico.

8. El destilado anterior se titula con una solución valorada de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.02N. El punto final de color de la titulación regenera el color violeta original de la solución de ácido bórico más indicador. Se anota el gasto de la titulación (en mL).

### **Cálculos**

$$\text{CIC (cmol(+)Kg}^{-1}\text{)} = 0.02 \times 100 \times g / 1.25$$

### **Donde:**

**CIC:** Capacidad de Intercambio Catiónico en cmol(+)Kg<sup>-1</sup>.

**0.02:** Normalidad del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> empleado en la titulación.

**100:** Expresión referida a los 100 g de suelo.

**g:** Gasto de la solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en mL obtenidos al momento de la titulación.

**1.25:** Peso equivalente de suelo contenido en la alícuota de 25 mL de la solución de KCl.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente estudio se ha considerado comparar los resultados obtenidos para la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) determinados con acetato de amonio mediante el método estándar de destilación con equipo de micro-Kjeldahl y la titulación con formaldehído para los siguientes ordenes de suelos y suelos adicionales:

- Orden Aridisols, se han considerado tomar en cuenta 7 calicatas adecuadamente descritas, las cuales incluyen en total 22 muestras de suelos, correspondientes a cada uno de los horizontes encontrados y guardados en el almacén de muestras del LASPAF.
- Orden Entisols, se han considerado tomar en cuenta 22 calicatas adecuadamente descritas, las cuales incluyen en total 78 muestras de suelos, correspondientes a cada uno de los horizontes encontrados y guardados en el almacén de muestras del LASPAF.
- Orden Inceptisols, se han considerado tomar en cuenta 10 calicatas adecuadamente descritas, las cuales incluyen en total 32 muestras de suelos, correspondientes a cada uno de los horizontes encontrados y guardados en el almacén de muestras del LASPAF.
- Orden Andisols, se han considerado tomar en cuenta 2 calicatas adecuadamente descritas, las cuales incluyen en total 3 muestras de suelos, correspondientes a cada uno de los horizontes encontrados y guardados en el almacén de muestras del LASPAF.
- Orden Mollisols, se han considerado tomar en cuenta 5 calicatas adecuadamente descritas, las cuales incluyen en total 16 muestras de suelos, correspondientes a cada uno de los horizontes encontrados y guardados en el almacén de muestras del LASPAF.

- Suelos con material orgánico, se han considerado tomar en cuenta 9 capas de suelo con material orgánico (contenido de M.O. mayor a 34.48 %) guardados en el almacén de muestras del LASPAF. Estos suelos no proceden de calicatas (S/C, sin calicata), sino de la capa superficial, pero se tomaron en cuenta ante la dificultad de obtener suelos del Orden Histosols.

Para cada uno de estos órdenes y suelos de material orgánico, se brinda una breve descripción de las condiciones climáticas y procedencia en sus acápite correspondientes.

Con respecto a las calicatas, estas se han realizado hasta una profundidad de 1.50 m en la mayoría de los casos, excepto para los suelos con material orgánico, en cuyo caso se extrajeron las muestras hasta los 0.40 m de profundidad.

#### **4.1. LOS SUELOS ARIDISOLS**

De acuerdo al sistema de clasificación de Keys to soil taxonomy (Soil Survey Staff, 2014) los suelos del orden Aridisols se caracterizan por poseer un régimen de humedad arídico (suelos con condiciones de aridez), conteniendo un epipedón ócrico (con color claro debido a la baja cantidad de materia orgánica) o antrópico (formado por intervención del ser humano). Es en base a estas últimas descripciones que, los horizontes consignados en los perfiles sujetos a este estudio se han clasificado como Aridisols, principalmente en las zonas chala y yunga de las regiones de Tacna, Moquegua y Arequipa en el sur del Perú. La información adicional que sustenta los criterios de clasificación, es decir, los análisis fisicoquímicos de los horizontes por calicata, se encuentran en los anexos del presente estudio.

Ahora bien, dentro de los suelos Aridisols existen características propias de los suelos y su medio ambiente que permiten realizar una separación entre varios de ellos, y para eso se recurre a las claves taxonómicas que van a dar lugar a los Subórdenes. Así tenemos que para este estudio se ha consignado al Suborden Salids, debido justamente a la presencia del horizonte sálico como principal característica para la clasificación taxonómica, recurrente en todas las calicatas escogidas.

#### 4.1.1. Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de los suelos Aridisols

De acuerdo a los estudios realizados, se sabe que la CIC puede estar influida por el pH o reacción del suelo, el contenido del coloide orgánico (mencionada como la materia orgánica en los análisis del suelo, pero propiamente el humus), el coloide inorgánico (las arcillas o propiamente los tipos de arcillas) y para su estimación en el laboratorio, el tipo de solución saturante que se haya empleado para desplazar los cationes cambiables. En el caso del presente estudio se ha empleado la solución de acetato de amonio N *bufferada* o tamponada a pH 7.0. La condición de *bufferado* o tamponamiento en la solución va a ocasionar que en el caso de suelos con pH ácidos (pH menor a 5.5) se determine una sobreestimación de la CIC debido al fenómeno de ionización (incremento de cargas negativas) las cuales no están compensadas por cargas positivas o cationes. Pero para el caso de la CIC, esta es indispensable para los casos de clasificación taxonómica, génesis de suelos y edafología según *Keys to soil taxonomy* (2014) que se usa como referencia en el Perú. Por otro lado, por las características edáficas y climáticas (en los suelos sujetos de estudio) la suma de las bases cambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ) va a ser superior al 80 % , y en muchos casos igual al 100 % , en razón de que no existen condiciones para que se manifiesten los cationes acidificantes  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ .

También se debe tener en cuenta que los suelos trabajados en este estudio se localizan en una de las zonas con influencia volcánica al sur del Perú. Como se ha mencionado anteriormente, Tacna, Moquegua, Arequipa y algunas de Ayacucho, por lo que poseen alofana, un mineral aluminosilicatado como las arcillas pero que no tiene una estructura cristalina como estas, sino que poseen una estructura a manera de microtúbulos amorfos, los cuales tienen capacidad de carga al igual que las arcillas y también una fuerte capacidad de fijación con respecto a la materia orgánica y el fósforo. Es importante considerar que al determinar la textura, dicha estructura suele confundirse con la arena, ocasionando cierta confusión en cuanto a los resultados si no se conoce la historia o mineralogía de los lugares mencionados.

Se muestran a continuación en el Cuadro N° 5 los valores de los parámetros más importantes que determinan la CIC para estos suelos Aridisols (Salids) consignadas en las siete calicatas del estudio.

**Cuadro N° 5: Parámetros fisicoquímicos que pueden influir en la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de los suelos Aridisols del presente estudio**

N° orden	Claves del suelo		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	M.O. %	Análisis Mecánico			Clase Textural	Clasificación de suelos USDA	
	Calicata	Horizonte				Arena	Limo	Arcilla		Orden	Suborden
						%	%	%			
1	C-1	C-1-1	7.86	6.28	0.04	66	22	12	Franco Arenoso	Aridisols	Salids
2		C-1-2	7.52	20.10	0.04	80	14	6	Arena Franca		
3		C-1-3	7.55	15.23	0.04	74	20	6	Franco Arenoso		
4	C-3	C-3-1	7.61	28.70	0.03	78	16	6	Arena Franca	Aridisols	Salids
5		C-3-2	7.38	35.40	0.03	88	6	6	Arena Franca		
6		C-3-3	7.54	28.20	0.04	82	12	6	Arena Franca		
7	C-17	C-17-1	7.00	51.20	0.04	76	14	10	Franco Arenoso	Aridisols	Salids
8		C-17-2	7.06	20.80	0.03	84	10	6	Arena Franca		
9		C-17-3	6.75	33.40	0.04	78	14	8	Franco Arenoso		
10		C-17-4	6.84	37.10	0.04	82	10	8	Arena Franca		
11	C-18	C-18-1	6.54	28.40	0.39	38	44	18	Franco	Aridisols	Salids
12		C-18-2	6.81	44.60	0.11	82	10	8	Arena Franca		
13	C-32	C-32-1	7.88	3.30	0.04	62	30	8	Franco Arenoso	Aridisols	Salids
14		C-32-2	7.80	12.46	0.04	74	20	6	Franco Arenoso		
15		C-32-3	7.72	37.50	0.03	82	10	8	Arena Franca		
16		C-32-4	7.71	12.50	0.03	88	12	0	Arena		
17	C-33	C-33-1	7.97	4.03	0.04	66	24	10	Franco Arenoso	Aridisols	Salids
18		C-33-2	7.96	9.37	0.04	86	8	6	Arena Franca		
19		C-33-3	7.85	29.40	0.04	76	18	6	Franco Arenoso		
20	B5	B5-1	7.86	6.15	0.08	76	14	10	Franco Arenoso	Aridisols	Salids
21		B5-2	7.15	15.12	0.09	68	18	14	Franco Arenoso		
22		B5-4	7.65	10.44	0.05	90	10	0	Arena		

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.1.2. Valores de la CIC encontrados en los suelos Aridisols empleando ambos métodos

La determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico se ha de realizar empleando un equipo de micro-Kjeldahl para destilar el suelo con el amonio adsorbido al complejo de cambio o micela. Para el caso de estas pruebas se realizaron diez repeticiones por cada horizonte y es a partir de dichos filtrados que se realizaron las pruebas del estudio, es decir, una alícuota de 25 mL para la titulación con formaldehído y otra alícuota de 25 mL para la destilación con el equipo de micro-Kjeldahl. Así planteado el ensayo, se recolectó la información de todos los resultados obtenidos, los cuales incluyeron para las pruebas

estadísticas, los promedios aritméticos (Prom) de la CIC, la desviación estándar (D.S.) y el coeficiente de variabilidad (C.V.) para ambas estimaciones.

De acuerdo a estos criterios, los valores de la CIC obtenidos para los Aridisoles se presentaron como de texturas ligeras o sueltas (arenas, arenas francas, y franco arenosas) presentando:

Para un suelo Arenoso franco: Un rango comprendido desde los valores más bajos para la CIC (promedio de  $4.94 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de  $0.12 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$  y coeficiente de variabilidad de 2.39 % para la titulación con formaldehído y promedio de  $4.74 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de  $0.20 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 4.27 % para la destilación con micro-Kjeldahl),

Para un suelo Franco arenoso: Los valores más elevados para la CIC (promedio de  $25.22 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de  $0.59 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 2.34 % para la titulación con formaldehído y promedio de  $26.80 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de  $0.41 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 1.55 % para la destilación con micro-Kjeldahl).

En el caso del suelo arenosos francos, los valores encontrados corresponden con aquellos suelos de tal textura, pobres en el contenido de materia orgánica y con baja concentración de arcilla. Para el suelo franco arenoso, aunque también es pobre el contenido de materia orgánica y bajo concentración de arcillas, existe posiblemente la consideración antes mencionada: el tipo de material alofánico presente, lo cual puede explicar la elevada CIC encontrada para tales características del suelo. Así mismo, se puede mencionar que las cargas negativas se encuentran neutralizadas en su totalidad por los cationes básicos en su totalidad (es decir al cien %) razón por la cual no se puede indicar que existe una sobrestimación de la CIC (se pueden observar los valores de los cationes cambiables en cada uno de los suelos en los cuadros de los anexos).

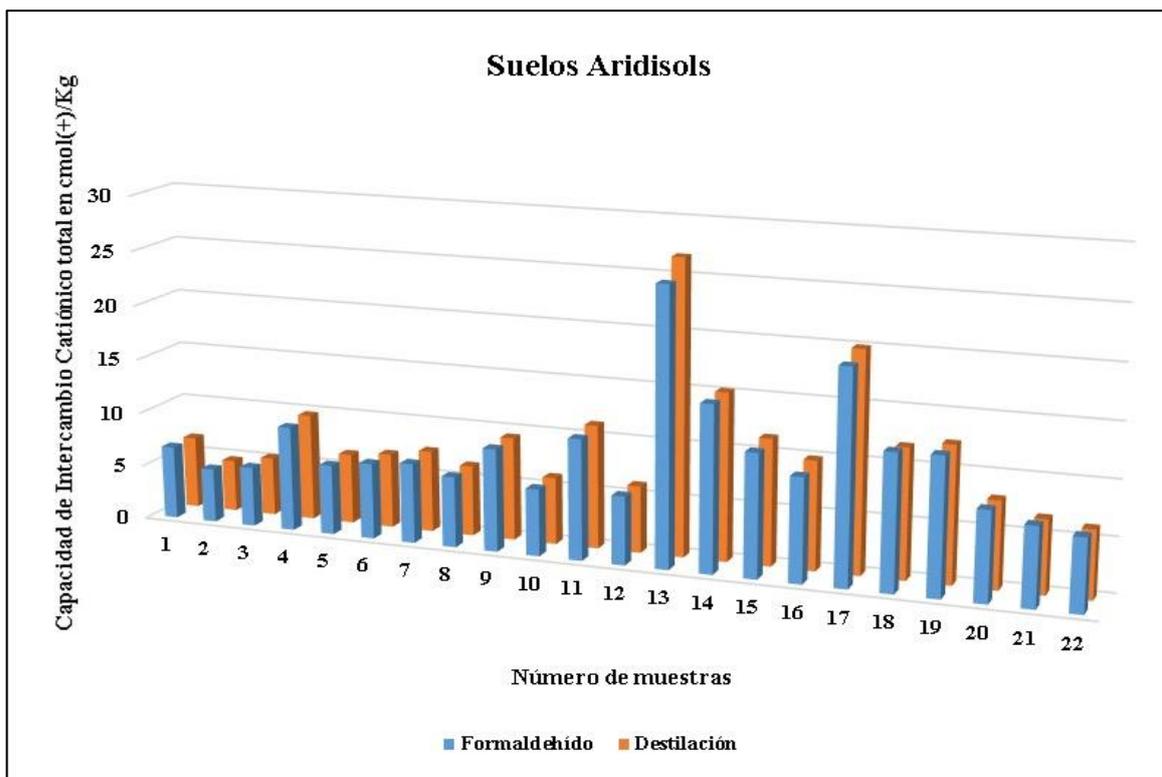
En el Cuadro N° 6 se presenta los valores promedio (Prom.) obtenidos al estimar la CIC con cada uno de los métodos propuestos, acompañados de sus correspondientes desviaciones

estándar (D.S.) y coeficientes de variabilidad (C.V.).

**Cuadro N° 6: Valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) encontrados en los suelos Aridisols empleando la titulación con formaldehído y la destilación con equipo micro-Kjeldahl**

N°	Claves del suelo		Titulación formaldehído		Destilación microKjeldahl		Clasificación Suelos USDA	
	Calicata	Horizonte	Prom. ± D.S. en cmol(+)Kg <sup>-1</sup>	C.V. (%)	Prom. ± D.S. en cmol(+)Kg <sup>-1</sup>	C.V. (%)	Orden	Suborden
1	C-1	C-1-1	6.67 ± 0.13	1.97	6.58 ± 0.14	2.13	Aridisols	Salids
2		C-1-2	4.94 ± 0.12	2.39	4.74 ± 0.20	4.27		
3		C-1-3	5.47 ± 0.21	3.85	5.34 ± 0.24	4.51		
4	C-3	C-3-1	9.58 ± 0.16	1.66	9.76 ± 0.25	2.56	Aridisols	Salids
5		C-3-2	6.40 ± 0.08	1.18	6.43 ± 0.18	2.82		
6		C-3-3	6.94 ± 0.20	2.91	6.80 ± 0.20	2.99		
7	C-17	C-17-1	7.31 ± 0.20	2.74	7.44 ± 0.17	2.32	Aridisols	Salids
8		C-17-2	6.46 ± 0.15	2.39	6.43 ± 0.10	1.57		
9		C-17-3	9.39 ± 0.25	2.67	9.41 ± 0.21	2.24		
10		C-17-4	6.11 ± 0.34	5.49	6.10 ± 0.38	6.24		
11	C-18	C-18-1	11.02 ± 0.21	1.87	11.26 ± 0.39	3.43	Aridisols	Salids
12		C-18-2	6.24 ± 0.21	3.42	6.10 ± 0.24	4.00		
13	C-32	C-32-1	25.22 ± 0.59	2.34	26.80 ± 0.41	1.55	Aridisols	Salids
14		C-32-2	15.17 ± 0.48	3.14	15.25 ± 0.23	1.49		
15		C-32-3	11.26 ± 0.20	1.80	11.50 ± 0.38	3.31		
16		C-32-4	9.50 ± 0.15	1.63	9.92 ± 0.23	2.28		
17	C-33	C-33-1	19.38 ± 0.72	3.72	20.02 ± 0.37	1.86	Aridisols	Salids
18		C-33-2	12.40 ± 0.39	3.12	11.82 ± 0.29	2.42		
19		C-33-3	12.48 ± 0.31	2.49	12.42 ± 0.34	2.73		
20	B5	B5-1	8.19 ± 0.25	3.03	7.95 ± 0.23	2.85	Aridisols	Salids
21		B5-2	7.23 ± 0.18	2.51	6.69 ± 0.10	1.51		
22		B5-4	6.67 ± 0.24	3.58	6.21 ± 0.17	2.66		

FUENTE: Elaboración propia (2018).



**Figura N° 2: Comparación gráfica entre los métodos de titulación con formaldehído y el método de destilación micro-Kjeldahl para los suelos Aridisols.**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

En la Figura N° 2 se comparan los resultados de ambos métodos empleados para estimar la CIC, en ambos el comportamiento es similar, pero se debe resaltar que existe una ligera discrepancia entre los valores de los señalados con los números 13 (C-32-1, horizonte superficial) y 17 (C-33-1, horizonte superficial) aunque no se consideran significativas. Dichas pequeñas discrepancias pueden deberse sobre todo al punto de viraje de la titulación con formaldehído, el cual debe alcanzar un color grosella intenso y no simplemente el color rosado tenue que se refiere en la literatura. Esta prueba también se realizó previamente antes del presente ensayo y se ha adoptado para todas las lecturas que emplean la titulación con formaldehído. En ese sentido, es importante y necesario un buen entrenamiento visual para evitar mayores diferencias de lectura que puedan alejar el valor estimado de la CIC del verdadero promedio. Hasta este punto, la variante que emplea el método de estimación de la CIC mediante la titulación con formaldehído demuestra su utilidad. La prueba estadística numérica mediante la prueba de t-Student, con un nivel de  $\alpha$  igual a 0.05, para la comparación de promedios, se muestran junto con la diferencia de promedios en el Cuadro N° 7.

#### **4.1.3. Evaluación estadística de los resultados en los suelos Aridisols**

Como se ha mencionado anteriormente, la prueba estadística más adecuada para el presente ensayo es la prueba de t-Student, debido a que se trata de una comparación de promedios. Una condición que se debe asumir para realizar esta prueba es que la distribución de los valores o conjunto de ellos sigue una distribución normal, lo cual es un supuesto de la estadística paramétrica. Por ello, se organizaron los datos de manera tal que se pudieran observar los valores de los promedios indicados en el Cuadro N° 7, enumerados de 1 al 22 conteniendo todos los horizontes, y todos ellos correspondiendo a cada uno de los 7 perfiles o calicatas considerados en la descripción. De manera adicional de han consignado las diferencias de promedios entre la estimación de la CIC mediante la titulación con formaldehído menos la estimación de la CIC mediante la destilación con micro-Kjeldahl. A partir de estos datos se puede dar cuenta de lo siguiente, que las diferencias de estos promedios son positivos cuando la CIC mediante la titulación con formaldehído es mayor, y es negativa cuando la CIC mediante la destilación con micro-Kjeldahl es mayor para esta comparación, es decir que el orden es importante. Así mismo, notamos que la mayoría de los valores de la diferencia de promedios no supera la unidad, excepto para el caso del número 13 (C-32-1, horizonte superficial). Esto ya puede considerarse un indicador de que los valores encontrados están próximos al verdadero promedio de la CIC para cada uno de los horizontes. Otro aspecto a tener en cuenta es el coeficiente de variabilidad (C.V.) extraído de la prueba estadística de t-Student corrida en el programa Software Estadístico SAS ver. 9.1, es decir a aquel que es compartido entre los dos promedios y ya no el referido de manera individual. Así podemos indicar que, de acuerdo a los valores encontrados, estos no superan el 5 % excepto para el consignado con el número 10 (C-17-4, último horizonte). Estos valores concuerdan con lo mencionado por Calzada (1982), quien señala que en ciertos ensayos agronómicos y de laboratorio se pueden considerar aceptables las desviaciones con respecto al promedio de un 5 % (por exceso o por defecto). Después de lo antes mencionado, se puede concluir con el nivel de significancia de la prueba de t-Student, con una probabilidad de ocurrencia del 95 %, es decir con un nivel de  $\alpha$  de 5 % que, la mayoría de las comparaciones entre los promedios de los dos métodos indican valores no significativos, en lugar de indicar significancia. Para el nivel de significancia, aparecen letras. Las letras iguales indican no significancia (aa), en tanto letras diferentes indican significancia (ab) a un nivel de probabilidad de 5 % ( $p \leq 0.05$ ). Por lo tanto, de acuerdo a la hipótesis planteada,

los valores encontrados para estimar la CIC mediante ambos métodos son semejantes. Entonces tenemos que, se han obtenido 14 valores no significativos (que indican semejanza entre los métodos empleados), mientras que otros 8 valores han alcanzado un valor significativo (lo cual significa estadísticamente alguna diferencia entre los valores encontrados para ambos métodos). Como comentario adicional se puede mencionar que, en el gráfico de barras se notaban con una mayor diferencia los valores consignados para los horizontes números 13 y 17, mientras que para la prueba de t-Student solamente repite la diferencia el horizonte con el número 13, en tanto aparecen otros consignados con los números 2, 16,17, 18, 20, 21 y 22 para la misma consideración de significancia. Lo antes mencionado se puede observar en el Cuadro N° 7.

**Cuadro N° 7: Diferencia de promedios, coeficiente de variabilidad y niveles de significación para la prueba t-Student para los suelos Aridisols del ensayo**

N°	Claves del suelo		Diferencia de Promedios (en $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	C.V. (%)	Nivel de Significancia	Clasificación Suelos USDA	
	Calicata	Horizonte				Orden	Suborden
1	C-1	C-1-1	0.09	2.0527	aa	Aridisols	Salids
2		C-1-2	0.20	3.4230	ab		
3		C-1-3	0.13	4.1840	aa		
4	C-3	C-3-1	-0.18	2.1674	aa	Aridisols	Salids
5		C-3-2	-0.03	2.1676	aa		
6		C-3-3	0.14	2.9501	aa		
7	C-17	C-17-1	-0.13	2.5358	aa	Aridisols	Salids
8		C-17-2	0.03	2.0260	aa		
9		C-17-3	-0.02	2.4633	aa		
10		C-17-4	0.01	5.8775	aa		
11	C-18	C-18-1	-0.24	2.7761	aa	Aridisols	Salids
12		C-18-2	0.14	3.7140	aa		
13	C-32	C-32-1	-1.58	1.9610	ab	Aridisols	Salids
14		C-32-2	-0.08	2.4510	aa		
15		C-32-3	-0.24	2.6769	aa		
16		C-32-4	-0.42	1.9951	ab		
17	C-33	C-33-1	-0.64	2.9151	ab	Aridisols	Salids
18		C-33-2	0.58	2.8091	ab		
19		C-33-3	0.06	2.6131	aa		
20	B5	B5-1	0.24	2.9437	ab	Aridisols	Salids
21		B5-2	0.54	2.1124	ab		
22		B5-4	0.46	3.1913	ab		

FUENTE: Elaboración propia (2018).

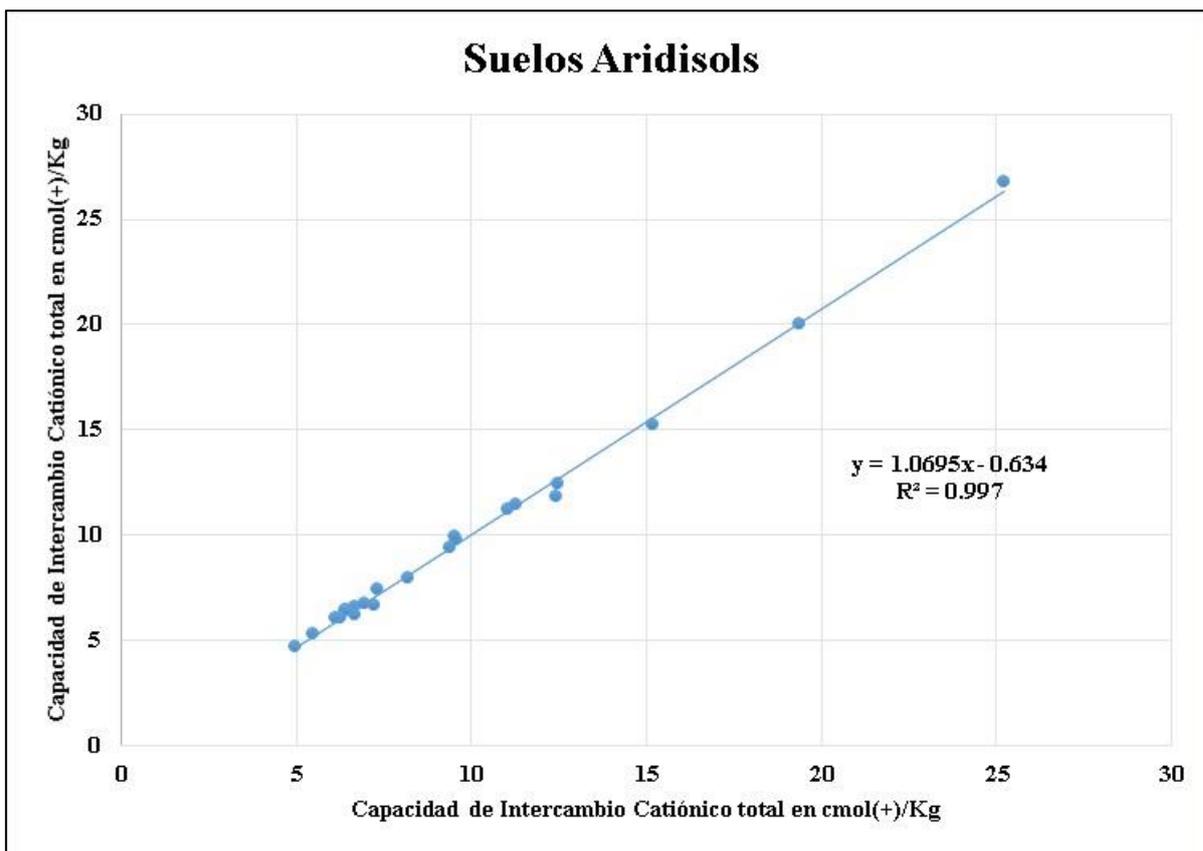
Para el nivel de significancia, la letra seguida de una letra igual es no significativa, mientras que una seguida de una letra diferente es significativa a un nivel de  $\alpha$  igual a 0.05 ( $p \leq 0.05$ ).

#### **4.1.4. Análisis de regresión y correlación lineal entre los dos métodos para los suelos Aridisols**

Una herramienta que nos puede permitir observar el comportamiento de los dos promedios para los dos métodos que nos permita tomar la decisión de optar por uno u otro sin incurrir en error grosero, es el análisis de regresión y la correlación lineal simple. Para ello, se han de tomar en cuenta los valores promedios de los dos métodos para la estimación de la CIC, mediante la titulación con el formaldehído y la destilación con equipo micro-Kjeldahl, Dado que son valores que expresan o estiman lo mismo y tienen las mismas unidades ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ ), y de acuerdo con Ciesielski *et al.* (1997), se puede establecer una correlación lineal simple entre estas variables de tipo continuo. Para ello se colocaron los valores del método de titulación con formaldehído en el eje de las abscisas (eje X) mientras que los valores del método de destilación con micro-Kjeldahl se colocó en el eje de las ordenadas (eje Y). Así, mediante el cálculo de la regresión se pudo establecer, que ambas variables correlacionan bastante bien, lo cual queda demostrado con la ecuación de la recta del tipo

$$y = 1.0695x - 0.634$$

cuyo coeficiente de regresión lineal es  $R^2 = 0.997$ , mientras que su coeficiente de correlación de Pearson es  $r = 0.99849$ , lo cual indica que el cálculo de la regresión planteada podría explicar el 99.849 % de los valores comparados (Rodríguez-Martínez, 2005), y que en este ensayo existe una correlación positiva ( $0 < r < 1$ ), un % considerado muy bueno o excelente desde el punto de vista estadístico. Nótese en la Figura N° 3, la distribución de los puntos de las coordenadas X e Y sobre la recta, con los puntos sobre ésta tal como se interpreta a partir del coeficiente de Pearson.



**Figura N° 3: Relación de los dos métodos para estimar la CIC en los suelos Aridisols.**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

Es así que, después de los argumentos presentados, tanto gráficos como estadísticos, se puede decir que se puede confiar en emplear el método de la titulación con formaldehído como un método alternativo al que emplea la destilación con micro-Kjeldahl para los suelos Aridisols con un alto grado de confianza estadística.

#### 4.2. LOS SUELOS ENTISOLS

Los suelos del orden Entisols se caracterizan no por poseer características compartidas con los otros ordenes de suelos, es decir no tienen en común las claves que describen a los otros 11 órdenes de suelos descritos hasta la fecha, constituyendo por sus características propias a los denominados suelos jóvenes. Los que si son válidos son los regímenes de temperatura y humedad, los cuales son comunes para todos los órdenes de suelos. Con respecto a los suelos Entisols, es adecuado mencionar que, pueden encontrarse en todas las áreas geográficas de nuestro país. Así, se han reportado estos suelos en las tres regiones naturales del Perú, y por

extensión, en casi todas las regiones descritas por Pulgar Vidal (Las ocho regiones naturales del Perú, 1970), debido sobre todo a su condición de material residual o de acumulación reciente. Para efecto del presente estudio, se han considerado calicatas provenientes de las regiones chala y yunga (Tacna, Moquegua, y Arequipa) y quechua (Apurímac) cuya descripción califica como Entisols. La información adicional que sustenta los criterios de clasificación, es decir, los análisis fisicoquímicos de los horizontes por calicata, se encuentran en los anexos del presente estudio.

Ahora bien, dentro de los suelos Entisols existen características propias de los suelos y su medio ambiente que permite realizar una separación entre varios de ellos, y para eso se recurre a las claves taxonómicas que van a dar lugar a los Subordenes. Así tenemos que para este estudio se ha consignado a los siguientes Subordenes: Torrifluvents, Ustifluvents, Aquents, Fluvents, Orthents, y Torripsamments, lo cual se puede observar en el Cuadro N° 8.

#### **4.2.1. Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de los suelos Entisols**

De los suelos en estudio, son las calicatas y muestras más numerosas, y de forma análoga para lo mencionado en el caso de los suelos Aridisols, se sabe que la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) puede estar influida por el pH o reacción del suelo, el contenido del coloide orgánico (mencionada como la materia orgánica en los análisis del suelo, pero propiamente el humus).

Por otro lado, también se debe tener en cuenta que los suelos trabajados en este estudio se localizan en una de las zonas con influencia volcánica al sur del Perú. Como se ha mencionado anteriormente, Tacna, Moquegua, Arequipa y algunas de Apurímac poseen alofana, un mineral aluminosilicatado como las arcillas pero que no tiene una estructura cristalina como las arcillas sino que poseen una estructura a manera de microtúbulos amorfos, los cuales tienen capacidad de carga como las arcillas pero también poseen una fuerte capacidad de fijación con respecto a la materia orgánica y el fósforo. Además al determinar la textura, dicha estructura suele confundirse con la arena, ocasionando cierta confusión en cuanto a los resultados si no se conoce la historia o mineralogía de los lugares

mencionados. Se muestran a continuación en el Cuadro N° 8 los valores de los parámetros más importantes que determinan la CIC para estos suelos Entisols (Torrifluents, Ustifluents, Aquentes, Fluents, Orthents, y Torripsamments) consignados en las veinte y siete calicatas del estudio (acumulando entre todas ellas, 78 horizontes de suelo).

**Cuadro N° 8: Parámetros fisicoquímicos que pueden influir en la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de los suelos Entisols del presente estudio**

N° orden	Claves del suelo		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	M.O. %	Análisis Mecánico			Clase Textural	Clasificación de suelos USDA	
	Calicata	Horizonte				Arena	Limo	Arcilla		Orden	Suborden
						%	%	%			
1	C-2	C-2-1	7.47	3.40	0.07	82	12	6	Arena Franca	Entisols	Torrifluents
2		C-2-2	7.61	19.70	0.07	66	24	10	Franco Arenoso		
3		C-2-4	7.56	15.49	0.03	80	20	0	Arena Franca		
4	C-4	C-4-1	7.49	3.99	0.03	92	8	0	Arena	Entisols	Torrifluents
5		C-4-2	7.63	7.57	0.04	92	8	0	Arena		
6		C-4-4	7.46	12.60	0.04	94	6	0	Arena		
7		C-4-5	7.51	18.68	0.04	68	26	6	Franco Arenoso		
8	C-5	C-5-1	8.02	15.40	0.03	70	22	8	Franco Arenoso	Entisols	Torrifluents
9		C-5-2	7.83	22.10	0.03	70	22	8	Franco Arenoso		
10		C-5-3	7.76	14.85	0.03	82	18	0	Arena Franca		
11		C-5-4	7.87	12.23	0.04	72	22	6	Franco Arenoso		
12		C-5-5	8.02	15.81	0.04	74	26	0	Arena Franca		
13	C-7	C-7-1	8.03	11.81	0.04	70	20	10	Franco Arenoso	Entisols	Torrifluents
14		C-7-2	7.90	18.70	0.04	58	36	6	Franco Arenoso		
15		C-7-3	7.78	20.50	0.04	60	34	6	Franco Arenoso		
16	C-8	C-8-1	7.82	4.89	2.43	38	40	22	Franco	Entisols	Ustifluents
17		C-8-2	8.01	3.77	1.45	36	44	20	Franco		
18		C-8-3	7.77	4.47	0.73	36	42	22	Franco		
19		C-8-4	7.71	3.27	0.17	38	40	22	Franco		
20	C-9	C-9-1	7.78	5.93	1.84	54	28	18	Franco Arenoso	Entisols	Ustifluents
21		C-9-2	7.97	2.75	0.17	58	26	16	Franco Arenoso		
22		C-9-3	8.11	2.38	0.06	60	28	12	Franco Arenoso		
23	C-12	C-12-1	5.93	1.39	0.09	74	18	8	Franco Arenoso	Entisols	Torrifluents
24		C-12-2	7.63	8.45	0.04	80	14	6	Arena Franca		
25		C-12-3	7.63	13.58	0.04	72	18	10	Franco Arenoso		
26		C-12-4	7.67	19.47	0.09	82	10	8	Arena Franca		
27	C-13	C-13-1	8.30	1.25	0.08	94	6	0	Arena	Entisols	Orthents
28		C-13-2	8.43	0.82	0.07	94	6	0	Arena		
29	C-14	C-14-1	7.14	1.29	0.07	92	8	0	Arena	Entisols	Orthents
30		C-14-2	8.28	5.59	0.03	68	24	8	Franco Arenoso		
31		C-14-3	7.77	9.28	0.04	94	6	0	Arena		

«continuación»

27	C-13	C-13-1	8.30	1.25	0.08	94	6	0	Arena	Entisols	Orthents
28		C-13-2	8.43	0.82	0.07	94	6	0	Arena		
29	C-14	C-14-1	7.14	1.29	0.07	92	8	0	Arena	Entisols	Orthents
30		C-14-2	8.28	5.59	0.03	68	24	8	Franco Arenoso		
31		C-14-3	7.77	9.28	0.04	94	6	0	Arena		
32	C-20	C-20-1	7.53	6.42	0.05	54	40	6	Franco Arenoso	Entisols	Torrifluents
33		C-20-2	7.76	8.87	0.03	90	10	0	Arena		
34		C-20-3	7.59	10.50	0.04	92	8	0	Arena		
35	C-21	C-21-1	7.81	10.40	0.04	84	16	0	Arena Franca	Entisols	Orthents
36		C-21-2	7.88	9.77	0.05	84	16	0	Arena Franca		
37		C-21-3	8.10	13.20	0.03	80	14	6	Arena Franca		
38	C-22	C-22-1	8.09	3.68	0.04	78	16	6	Arena Franca	Entisols	Orthents
39		C-22-2	7.74	9.80	0.03	84	10	6	Arena Franca		
40		C-22-3	7.89	11.86	0.04	80	14	6	Arena Franca		
41		C-22-4	8.23	9.38	0.04	90	4	6	Arena		
42	C-24	C-24-1	7.86	3.40	1.74	46	30	24	Franco	Entisols	Ustifluents
43		C-24-2	8.14	0.89	0.69	54	28	18	Franco Arenoso		
44		C-24-3	8.06	1.14	1.26	44	34	22	Franco		
45	C-26	C-26-1	7.46	4.61	1.52	58	34	8	Franco Arenoso	Entisols	Ustifluents
46		C-26-2	6.98	6.33	7.30	38	50	12	Franco Limoso		
47		C-26-3	7.15	1.89	1.38	56	32	12	Franco Arenoso		
48		C-26-4	7.23	3.20	1.30	56	32	12	Franco Arenoso		
49	C-29	C-29-1	7.75	7.74	1.38	58	26	16	Franco Arenoso	Entisols	Ustifluents
50		C-29-2	7.95	2.34	0.89	56	28	16	Franco Arenoso		
51		C-29-3	7.89	2.95	0.86	46	36	18	Franco		
52		C-29-4	7.79	3.52	0.55	52	32	16	Franco		
53	C11A	C11A-1	6.78	0.18	0.10	86	14	0	Arena	Entisols	Torripsamments
54		C11A-2	7.87	2.29	0.05	94	6	0	Arena		
55		C11A-3	8.42	1.52	0.04	100	0	0	Arena		
56		C11A-4	8.00	1.57	0.08	94	6	0	Arena		
57	C12A	C12A-1	6.89	0.15	0.10	82	18	0	Arena Franca	Entisols	Torripsamments
58		C12A-2	8.14	2.68	0.10	90	10	0	Arena		
59		C12A-3	8.12	3.21	0.04	94	6	0	Arena		
60	SU-LB-04	SU-LB-04-1	4.60	0.08	7.29	52	26	22	Franco Arcillo Arenoso	Entisols	Aquents
61		SU-LB-04-2	4.54	0.03	1.62	52	20	28	Franco Arcillo Arenoso		
62		SU-LB-04-3	4.29	0.05	6.71	48	32	20	Franco		
63		SU-LB-04-4	4.55	0.02	1.30	52	20	28	Franco Arcillo Arenoso		
64	B2	B2-1	8.37	2.75	0.12	80	14	6	Arena Franca	Entisols	Fluents
65		B2-2	8.45	9.01	0.08	92	8	0	Arena		
66		B2-3	8.38	9.70	0.05	90	10	0	Arena		
67		B2-4	8.09	10.18	0.05	90	10	0	Arena		

«continuación»

68	B3	B3-1	8.14	1.49	0.56	48	42	10	Franco	Entisols	Fluvents
69		B3-2	8.52	0.65	0.15	52	42	6	Franco Arenoso		
70		B3-3	8.76	0.33	0.07	92	8	0	Arena		
71		B3-4	8.10	2.82	0.05	90	4	6	Arena		
72	B7	B7-1	7.56	18.89	0.06	72	16	12	Franco Arenoso	Entisols	Orthents
73		B7-2	7.57	22.10	0.11	74	14	12	Franco Arenoso		
74		B7-3	7.98	13.65	0.08	90	10	0	Arena		
75		B7-4	8.18	7.80	0.11	100	0	0	Arena		
76	B8	B8-1	7.97	2.26	0.08	88	12	0	Arena	Entisols	Orthents
77		B8-2	8.15	4.80	0.04	92	8	0	Arena		
78		B8-3	8.28	5.16	0.07	92	8	0	Arena		

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.2.2. Valores de la CIC encontrados en los suelos Entisols empleando ambos métodos

La determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se realiza siguiendo los pasos y cuidados nombrados para los suelos Aridisols. De acuerdo a estos criterios se obtuvieron los valores de la CIC para los suelos descritos anteriormente como de texturas ligeras o sueltas (arenas, arenas francas, y franco arenosas), pero también aparecen suelos con texturas medias (francos y franco arcillo arenosos).

Así tenemos un rango comprendido desde los valores más bajos para la CIC (promedio de 4.00  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de 0.21  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 5.33 % para la titulación con formaldehído y promedio de 3.87  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de 0.18  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 4.69 % para la destilación con micro-Kjeldahl) para un suelo arenoso con pH ó reacción alcalina correspondiente al horizonte número 65, segundo horizonte de la calicata, consignado con el código B2-2 para un suelo Fluvent, mientras que los valores más elevados para la CIC (promedio de 36.91  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de 0.49  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 1.34 % para la titulación con formaldehído y promedio de 37.95  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de 0.48  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 1.27 % para la destilación con micro-Kjeldahl) para un suelo franco con pH ó reacción alcalina correspondiente al horizonte número 42, primer horizonte de la calicata, consignado con el código C-24-1 para un suelo Ustifluent. Se puede observar que para el caso del suelo arenoso, los valores

encontrados corresponden con aquellos suelos de tal textura, pobres en el contenido de materia orgánica y con baja concentración de arcilla. Para el segundo caso, el suelo franco, aunque también pobre en su contenido de materia orgánica y bajo en su concentración de arcillas, existe posiblemente la consideración antes mencionada, sobre el tipo de material alofánico presente, lo cual puede explicar la elevada CIC encontrada para tales características del suelo. Así mismo, se puede mencionar que las cargas negativas de la mayoría de los horizontes descritos se encuentran neutralizadas en su totalidad por los cationes básicos en su totalidad (es decir al cien % ) razón por la cual no se puede indicar que existe una sobre estimación de la CIC (se pueden observar los valores de los cationes cambiables en cada uno de los suelos en los cuadros de los anexos), mientras que para otros, como es el caso de los horizontes: número de orden 110 (horizonte C-12-1), número de orden 72, (horizonte C11A-1), número de orden 128 (horizonte SU-LB-04-1); número de orden 129, (horizonte SU-LB-04-2), número de orden 130 (horizonte SU-LB-04-3), y número de orden 129 (horizonte SU-LB-04-2), por la condición del pH ácido, materia orgánica y minerales de arcilla, se observa la sobre estimación de la CIC. No obstante se debe dejar constancia que, la estimación o la sobre estimación de la CIC es independiente del método de cuantificación de la CIC que haya empleado.

Para este efecto, se muestran a continuación en el Cuadro N° 9, los valores promedio (Prom.) obtenidos para estimar la CIC con cada uno de los métodos, acompañados de sus correspondientes desviaciones estándar (D.S.) y coeficientes de variabilidad (C.V.).

**Cuadro N° 9: Valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) encontrados en los suelos Entisols empleando la titulación con formaldehído y la destilación con equipo micro-Kjeldahl**

N°	Claves del suelo		Titulación formaldehído		Destilación microKjeldahl		Clasificación Suelos USDA	
	Calicata	Horizonte	Prom. ± D.S. en cmol(+)Kg <sup>-1</sup>	C.V. (%)	Prom. ± D.S. en cmol(+)Kg <sup>-1</sup>	C.V. (%)	Orden	Suborden
1	C-2	C-2-1	5.47 ± 0.29	5.30	5.50 ± 0.27	4.98	Entisols	Torrifluvents
2		C-2-2	10.75 ± 0.24	2.20	10.72 ± 0.24	2.22		
3		C-2-4	10.58 ± 0.24	2.31	10.42 ± 0.24	2.34		
4	C-4	C-4-1	5.33 ± 0.24	4.49	5.26 ± 0.28	5.25	Entisols	Torrifluvents
5		C-4-2	8.75 ± 0.28	3.23	8.64 ± 0.26	3.02		
6		C-4-4	9.55 ± 0.15	1.59	9.38 ± 0.34	3.62		
7		C-4-5	15.25 ± 0.28	1.85	15.38 ± 0.31	1.99		
8	C-5	C-5-1	11.71 ± 0.20	1.68	11.70 ± 0.30	2.53	Entisols	Torrifluvents
9		C-5-2	11.97 ± 0.22	1.87	11.82 ± 0.21	1.74		
10		C-5-3	8.45 ± 0.20	2.33	8.48 ± 0.15	1.78		
11		C-5-4	10.11 ± 0.18	1.80	10.05 ± 0.27	2.69		
12		C-5-5	10.24 ± 0.24	2.33	10.05 ± 0.26	2.58		
13	C-7	C-7-1	16.54 ± 0.44	2.67	16.19 ± 0.57	3.54	Entisols	Torrifluvents
14		C-7-2	19.30 ± 0.55	2.85	19.50 ± 0.35	1.79		
15		C-7-3	16.99 ± 0.17	0.97	18.24 ± 0.54	2.95		
16	C-8	C-8-1	20.38 ± 0.26	1.29	20.93 ± 0.24	1.13	Entisols	Ustifluvents
17		C-8-2	19.34 ± 0.23	1.20	19.94 ± 0.27	1.37		
18		C-8-3	23.81 ± 0.32	1.34	23.82 ± 0.39	1.63		
19		C-8-4	24.21 ± 0.47	1.92	24.16 ± 0.36	1.50		
20	C-9	C-9-1	23.17 ± 0.26	1.12	23.62 ± 0.28	1.20	Entisols	Ustifluvents
21		C-9-2	22.30 ± 0.34	1.52	22.56 ± 0.18	0.82		
22		C-9-3	23.78 ± 0.38	1.59	24.78 ± 0.57	2.29		
23	C-12	C-12-1	10.11 ± 0.35	3.48	9.89 ± 0.37	3.72	Entisols	Torrifluvents
24		C-12-2	11.20 ± 0.26	2.33	11.15 ± 0.34	3.03		
25		C-12-3	7.95 ± 0.26	3.29	7.97 ± 0.29	3.64		
26		C-12-4	21.87 ± 0.38	1.76	22.50 ± 0.23	1.02		
27	C-13	C-13-1	6.56 ± 0.17	2.57	6.62 ± 0.20	3.06	Entisols	Orthents
28		C-13-2	7.84 ± 0.15	1.92	7.81 ± 0.26	3.32		
29	C-14	C-14-1	6.45 ± 0.11	1.67	6.42 ± 0.05	0.79	Entisols	Orthents
30		C-14-2	6.05 ± 0.10	1.67	6.11 ± 0.18	2.97		
31		C-14-3	10.91 ± 0.17	1.51	10.99 ± 0.19	1.69		
32	C-20	C-20-1	15.76 ± 0.26	1.68	15.50 ± 0.21	1.33	Entisols	Torrifluvents
33		C-20-2	10.88 ± 0.42	3.86	10.66 ± 0.26	2.47		
34		C-20-3	9.65 ± 0.27	2.82	9.30 ± 0.27	2.86		
35	C-21	C-21-1	22.40 ± 0.74	3.28	22.59 ± 0.57	2.54	Entisols	Orthents
36		C-21-2	20.34 ± 0.44	2.18	20.29 ± 0.36	1.78		
37		C-21-3	19.31 ± 0.43	2.25	19.58 ± 0.34	1.73		

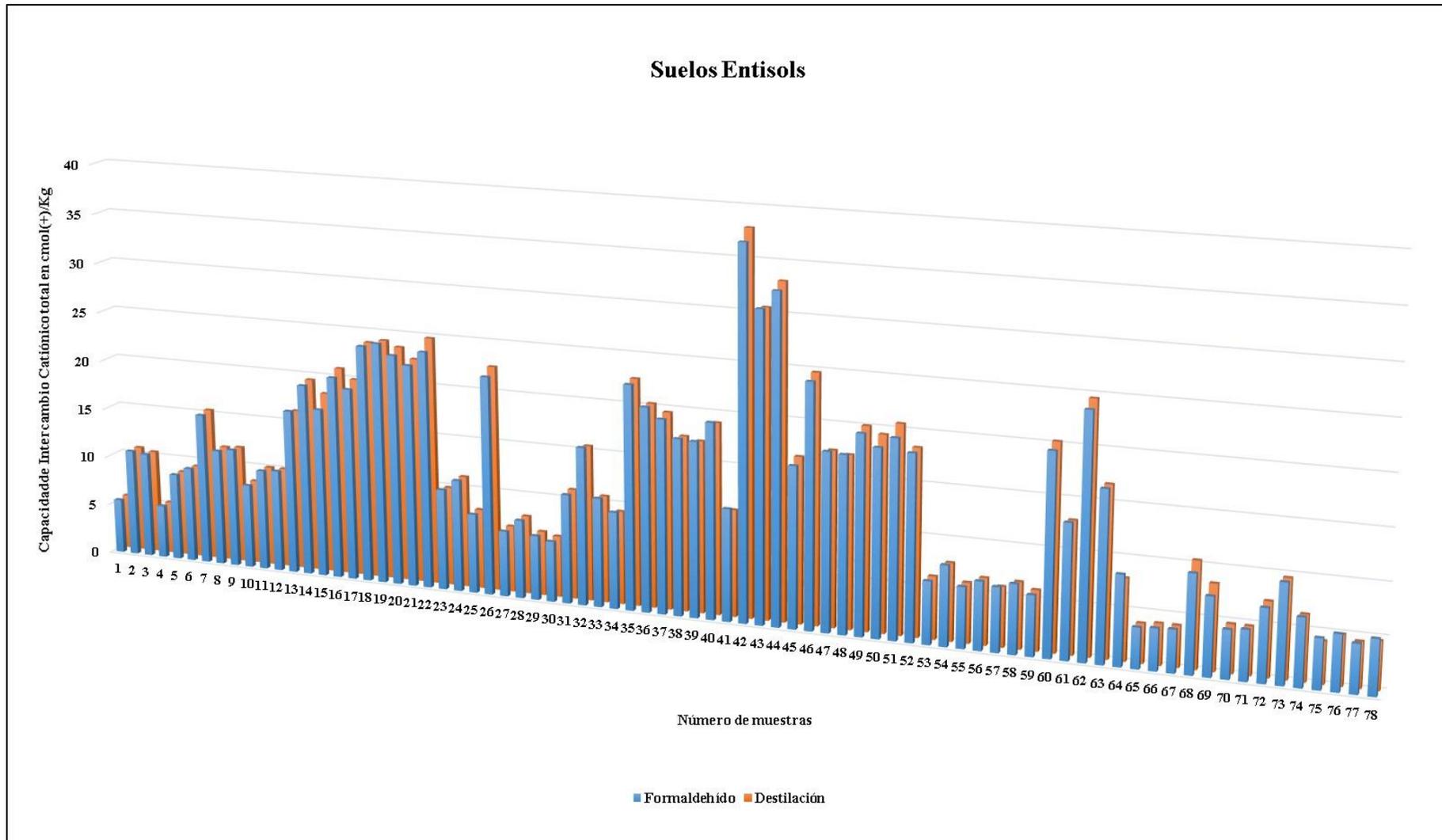
«continuación»

38	C-22	C-22-1	17.55 ± 0.45	2.54	17.39 ± 0.31	1.79	Entisols	Orthents
39		C-22-2	17.44 ± 0.44	2.52	17.07 ± 0.51	2.97		
40		C-22-3	19.44 ± 0.36	1.83	19.01 ± 0.27	1.42		
41		C-22-4	11.18 ± 0.30	2.65	10.62 ± 0.20	1.90		
42	C-24	C-24-1	36.91 ± 0.49	1.34	37.95 ± 0.48	1.27	Entisols	Ustifluvents
43		C-24-2	30.74 ± 0.65	2.10	30.54 ± 0.55	1.81		
44		C-24-3	32.58 ± 0.86	2.63	33.15 ± 0.97	2.93		
45	C-26	C-26-1	16.03 ± 0.80	5.00	16.48 ± 0.62	3.75	Entisols	Ustifluvents
46		C-26-2	24.26 ± 0.55	2.27	24.74 ± 0.45	1.83		
47		C-26-3	17.71 ± 0.35	2.00	17.42 ± 0.34	1.96		
48		C-26-4	17.57 ± 0.48	2.71	17.14 ± 0.33	1.94		
49	C-29	C-29-1	19.76 ± 0.47	2.36	20.06 ± 0.40	2.00	Entisols	Ustifluvents
50		C-29-2	18.56 ± 0.40	2.15	19.39 ± 0.62	3.18		
51		C-29-3	19.63 ± 0.57	2.93	20.58 ± 0.53	2.57		
52		C-29-4	18.35 ± 0.32	1.75	18.45 ± 0.27	1.48		
53	C11A	C11A-1	6.22 ± 0.24	3.92	6.19 ± 0.23	3.66	Entisols	Torripsamments
54		C11A-2	7.94 ± 0.29	3.71	7.68 ± 0.28	3.67		
55		C11A-3	6.03 ± 0.43	7.19	5.94 ± 0.19	3.23		
56		C11A-4	6.75 ± 0.33	4.84	6.58 ± 0.45	6.83		
57	C12A	C12A-1	6.38 ± 0.31	4.79	5.92 ± 0.26	4.41	Entisols	Torripsamments
58		C12A-2	6.86 ± 0.16	2.32	6.56 ± 0.15	2.30		
59		C12A-3	5.97 ± 0.35	5.93	5.95 ± 0.29	4.88		
60	SU-LB-04	SU-LB-04-1	19.82 ± 0.47	2.39	20.26 ± 0.51	2.53	Entisols	Aquents
61		SU-LB-04-2	13.22 ± 0.28	2.15	12.98 ± 0.37	2.81		
62		SU-LB-04-3	23.94 ± 0.51	2.14	24.58 ± 0.78	3.16		
63		SU-LB-04-4	16.74 ± 0.27	1.64	16.72 ± 0.23	1.37		
64	B2	B2-1	8.86 ± 0.19	2.12	8.02 ± 0.31	3.82	Entisols	Fluents
65		B2-2	4.00 ± 0.21	5.33	3.87 ± 0.18	4.69		
66		B2-3	4.11 ± 0.26	6.37	4.05 ± 0.19	4.58		
67		B2-4	4.19 ± 0.21	5.03	4.05 ± 0.19	4.58		
68	B3	B3-1	9.68 ± 0.25	2.61	10.40 ± 0.21	2.05	Entisols	Fluents
69		B3-2	7.70 ± 0.19	2.49	8.40 ± 0.19	2.24		
70		B3-3	4.75 ± 0.15	3.19	4.75 ± 0.24	5.03		
71		B3-4	4.94 ± 0.26	5.16	4.74 ± 0.17	3.63		
72	B7	B7-1	7.17 ± 0.25	3.46	7.28 ± 0.43	5.88	Entisols	Orthents
73		B7-2	9.74 ± 0.26	2.62	9.65 ± 0.28	2.93		
74		B7-3	6.67 ± 0.25	3.76	6.42 ± 0.16	2.48		
75		B7-4	4.91 ± 0.20	4.08	4.11 ± 0.17	4.12		
76	B8	B8-1	5.49 ± 0.21	3.90	4.93 ± 0.15	2.98	Entisols	Orthents
77		B8-2	4.78 ± 0.12	2.47	4.45 ± 0.20	4.42		
78		B8-3	5.42 ± 0.14	2.58	4.70 ± 0.19	3.99		

FUENTE: Elaboración propia (2018).

A partir de los resultados anteriores, se puede construir un gráfico de barras que represente las comparaciones entre los dos métodos empleados para cuantificar la CIC. Así se pueden apreciar gráficamente en la Figura N° 4 los valores de ambos métodos de estimación. Nuevamente los valores ordenados en los ejes son: el número de horizontes (del 1 al 78) en el eje de las abscisas (X) y los valores de la CIC (en  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ ) en el eje de las ordenadas (Y). Dado que es una comparación gráfica, se van a tomar en cuenta para el efecto, las comparaciones que estén por debajo y por encima del método estándar de destilación del amonio mediante el equipo de micro-Kjeldahl. Así, se pueden señalar a aquellas que se sitúan por debajo del método estándar, a las muestras u horizontes de calicatas enumeradas con los números y los códigos de horizonte correspondientes: 14 (C-7-2), 15 (C-7-3), 16 (C-8-1, horizonte superficial, alto contenido de arcillas), 17 (C-8-2, alto contenido de arcillas), 20 (C-9-1, horizonte superficial, alto contenido de arcillas), 21 (C-9-2, alto contenido de arcillas), 22 (C-9-3, alto contenido de arcillas), 26 (C-12-4), 37 (C-21-3), 42 (C-24-1, horizonte superficial, alto contenido de arcillas), 44 (C-24-3, alto contenido de arcillas), 45 (C-26-1, horizonte superficial, alto contenido de arcillas), 49 (C-29-1, horizonte superficial, alto contenido de arcillas), 50 (C-29-2, alto contenido de arcillas), 51 (C-29-3, alto contenido de arcillas), 60 (SU-LB-04-1, horizonte superficial, alto contenido de materia orgánica), 62 (SU-LB-04-3, alto contenido de materia orgánica), 68 (B3-1, horizonte superficial), y 69 (B3-2), graficados en las barras como las que muestran las diferencias más marcadas. Por otro lado, también están aquellas observaciones que se sitúan por encima de los valores obtenidos con el método estándar. Entre estos podemos citar a las muestras u horizontes de calicatas enumeradas con los números y los códigos de horizonte correspondientes: 12 (C-5-5), 32 (C-20-1, horizonte superficial), 33 (C-20-2), 34 (C-20-3), 40 (C-22-3), 41 (C-22-4), 43 (C-24-2, alto contenido de arcillas), 48 (C-26-4), 54 (C11A-2), 58 (C12A-2), 64 (B2-1, horizonte superficial), 75 (B7-4), 76 (B8-1, horizonte superficial), 77 (B8-2), y 78 (B8-3), graficados en las barras como las que muestran las diferencias más marcadas aunque no significativas en el gráfico. Se puede notar en la mayoría de ellos un comportamiento parecido, pero se debe anotar que existe una ligera discrepancia entre los valores ya mencionados. Un ejemplo saltante es el de los horizontes designados con los números 42 (C-24-1), 43 (C-24-2) y 44(C-24-3) que corresponden a la misma calicata. Parece que los valores elevados en estas muestras se deben al elevado contenido de minerales de arcilla. Nuevamente, como lo mencionado en el caso de los suelos Aridisols, dichas discrepancias pueden deberse sobre todo al punto de viraje de la titulación con formaldehído, el cual debe alcanzar un color grosella intenso y no simplemente el color rosado tenue que se refiere en

la literatura. Esta prueba también se realizó previamente antes del presente ensayo y se ha adoptado para todas las lecturas que emplean la titulación con formaldehído. Sin embargo, para las consideraciones de prueba estadística, se realizó la prueba de t-Student, con un nivel de  $\alpha$  igual a 0.05 para la prueba de comparación de promedios que se muestran en el Cuadro N° 10 con la diferencia de promedios.



**Figura N° 4: Comparación gráfica entre los métodos de titulación para los suelos Entisols.**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

### 4.2.3. Evaluación estadística de los resultados en los suelos Entisols

Como se ha mencionado anteriormente, la prueba estadística más adecuada para el presente ensayo es la prueba de t-Student, debido a que se trata de una comparación de promedios. Por ello, se organizaron los datos de manera tal que se pudieran observar los valores de los promedios indicados en el Cuadro N° 10, enumerados de 1 al 78 conteniendo a todos los horizontes, y todos ellos correspondiendo a cada uno de los 22 perfiles o calicatas considerados en la descripción. De manera adicional se han consignado las diferencias de promedios entre la estimación de la CIC mediante la titulación con formaldehído menos la estimación de la CIC mediante la destilación con micro-Kjeldahl. A partir de estos datos se puede dar cuenta de lo siguiente, que las diferencias de estos promedios son positivas cuando la CIC mediante la titulación con formaldehído es mayor, y es negativa cuando la CIC mediante la destilación con micro-Kjeldahl es mayor para esta comparación, es decir que el orden es importante. Así mismo, notamos que la mayoría de los valores de la diferencia de promedios no supera la unidad (por exceso o por defecto, valores positivos o negativos), excepto para el caso de los números 15 (C-7-3), 22 (C-9-3), y 42 (C-24-1, horizonte superficial). Esto ya puede considerarse un indicador de que los valores encontrados están próximos al verdadero promedio de la CIC. Otro aspecto a tener en cuenta es el coeficiente de variabilidad (C.V.) extraído de la prueba estadística de t-Student corrida en el programa Software Estadístico SAS ver. 9.1, es decir a aquel que es compartido entre los dos promedios y ya no el referido de manera individual para cada método. Así podemos indicar que, de acuerdo a los valores encontrados, estos no superan el 5 % excepto para los consignados con los números 1 (C-2-1), 55 (C11A-3), 56 (C11A-4), 59 (C12A-3), 65 (B2-2), y 66 (B2-3). Estos valores concuerdan nuevamente con lo mencionado por Calzada (1982), quien señala que en ciertos ensayos agronómicos y de laboratorio se pueden considerar aceptables las desviaciones con respecto al promedio de un 5 % (por exceso o por defecto). Para el nivel de significancia, aparecen letras. Las letras iguales indican no significancia (aa), en tanto letras diferentes indican significancia (ab) a un nivel de probabilidad de 5 % ( $p \leq 0.05$ ). Esto quiere decir, de acuerdo a la hipótesis planteada, que los valores encontrados para estimar la CIC mediante ambos métodos sean semejantes. Así tenemos que, se han obtenido 51 valores no significativos (que indican semejanza entre los métodos empleados), mientras que otros 27 valores han alcanzado un valor significativo (lo cual significa estadísticamente alguna diferencia entre los valores encontrados para ambos

métodos). Como comentario adicional se puede mencionar que, en el gráfico de barras se notaban con una mayor diferencia los valores consignados para los horizontes enumerados como: 15 (C-7-3), 16 (C-8-1), 17 (C-8-2), 22 (C-9-3), 26 (C-12-4), 42 (C-24-1), 44 (C-24-3), 46 (C-26-2), 51 (C-29-3), 60 (SU-LB-04-1), 62 (SU-LB-04-3), 64 (B2-1), 68 (B3-1), 69 (B3-2), 74 (B7-3), 75 (B7-4), 76 (B8-1), 77 (B8-2), y 78 (B8-3), mientras que para la prueba de t-Student solamente repiten la diferencias significativas los horizontes enumerados como: 15(C-7-3), 16 (C-8-1), 17 (C-8-2), 22 (C-9-3), 26 (C-12-4), 42 (C-24-1), 46 (C-26-2), 51 (C-29-3), 62 (SU-LB-04-3), 64 (B2-1), 68 (B3-1), 69 (B3-2), 74 (B7-3), 75 (B7-4), 76 (B8-1), 77 (B8-2), y 78 (B8-3). Para mayor observación, ver el Cuadro N° 10 adjunto.

**Cuadro N° 10: Diferencia de promedios, coeficiente de variabilidad y niveles de significación en la prueba t-Student para los suelos Entisols del ensayo**

N°	Claves del suelo		Diferencia de Promedios (en cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	C.V. (%)	Nivel de Significancia	Clasificación Suelos USDA	
	Calicata	Horizonte				Orden	Suborden
1	C-2	C-2-1	-0.03	5.1423	aa	Entisols	Torrifluvents
2		C-2-2	0.03	2.2104	aa		
3		C-2-4	0.16	2.3229	aa		
4	C-4	C-4-1	0.07	4.8818	aa	Entisols	Torrifluvents
5		C-4-2	0.11	3.1302	aa		
6		C-4-4	0.17	2.7751	aa		
7		C-4-5	-0.13	1.9236	aa		
8	C-5	C-5-1	0.01	2.1494	aa	Entisols	Torrifluvents
9		C-5-2	0.15	1.8072	aa		
10		C-5-3	-0.03	2.0707	aa		
11		C-5-4	0.06	2.2818	aa		
12		C-5-5	0.19	2.4548	aa		
13	C-7	C-7-1	0.35	3.1253	aa	Entisols	Torrifluvents
14		C-7-2	-0.20	2.3752	aa		
15		C-7-3	-1.25	2.2615	ab		
16	C-8	C-8-1	-0.55	1.2110	ab	Entisols	Ustifluvents
17		C-8-2	-0.60	1.2923	ab		
18		C-8-3	-0.01	1.4896	aa		
19		C-8-4	0.05	1.7231	aa		
20	C-9	C-9-1	-0.45	1.1625	ab	Entisols	Ustifluvents
21		C-9-2	-0.26	1.2169	aa		
22		C-9-3	-1.00	1.9848	ab		
23	C-12	C-12-1	0.22	3.6014	aa	Entisols	Torrifluvents
24		C-12-2	0.05	2.7016	aa		
25		C-12-3	-0.02	3.4718	aa		
26		C-12-4	-0.63	1.4273	ab		

«continuación»

27	C-13	C-13-1	-0.06	2.8259	aa	Entisols	Orthents
28		C-13-2	0.03	2.7095	aa		
29	C-14	C-14-1	0.03	1.3110	aa	Entisols	Orthents
30		C-14-2	-0.06	2.4182	aa		
31		C-14-3	-0.08	1.6040	aa		
32	C-20	C-20-1	0.26	1.5143	ab	Entisols	Torrifluents
33		C-20-2	0.22	3.2554	aa		
34		C-20-3	0.35	2.8433	ab		
35	C-21	C-21-1	-0.19	2.9305	aa	Entisols	Orthents
36		C-21-2	0.05	1.9867	aa		
37		C-21-3	-0.27	2.0011	aa		
38	C-22	C-22-1	0.16	2.2033	aa	Entisols	Orthents
39		C-22-2	0.37	2.7479	aa		
40		C-22-3	0.43	1.6424	ab		
41		C-22-4	0.56	2.3278	ab		
42	C-24	C-24-1	-1.04	1.3046	ab	Entisols	Ustifluents
43		C-24-2	0.20	1.9608	aa		
44		C-24-3	-0.57	2.7873	aa		
45	C-26	C-26-1	-0.45	4.3992	aa	Entisols	Ustifluents
46		C-26-2	-0.48	2.0586	ab		
47		C-26-3	0.29	1.9791	aa		
48		C-26-4	0.43	2.3658	ab		
49	C-29	C-29-1	-0.30	2.1833	aa	Entisols	Ustifluents
50		C-29-2	-0.83	2.7365	ab		
51		C-29-3	-0.95	2.7473	ab		
52		C-29-4	-0.10	1.6164	aa		
53	C11A	C11A-1	0.03	3.7937	aa	Entisols	Torripsamments
54		C11A-2	0.26	3.6910	aa		
55		C11A-3	0.09	5.6015	aa		
56		C11A-4	0.17	5.8947	aa		
57	C12A	C12A-1	0.46	4.6240	ab	Entisols	Torripsamments
58		C12A-2	0.30	2.3098	ab		
59		C12A-3	0.02	5.4321	aa		
60	SU-LB-04	SU-LB-04-1	-0.44	2.4630	aa	Entisols	Aquents
61		SU-LB-04-2	0.24	2.4988	aa		
62		SU-LB-04-3	-0.64	2.7143	ab		
63		SU-LB-04-4	0.02	1.5106	aa		
64	B2	B2-1	0.84	3.0073	ab	Entisols	Fluents
65		B2-2	0.13	5.0336	aa		
66		B2-3	0.06	5.5613	aa		
67		B2-4	0.14	4.8175	aa		
68	B3	B3-1	-0.72	2.3306	ab	Entisols	Fluents
69		B3-2	-0.70	2.3616	ab		

«continuación»

70		B3-3	0.00	4.2143	aa		
71		B3-4	0.20	4.4963	ab		
72	B7	B7-1	-0.11	4.8440	aa	Entisols	Orthents
73		B7-2	0.09	2.7776	aa		
74		B7-3	0.25	3.2086	ab		
75		B7-4	0.80	4.1117	ab		
76	B8	B8-1	0.56	3.5252	ab	Entisols	Orthents
77		B8-2	0.33	3.5140	ab		
78		B8-3	0.72	3.2716	ab		

Para el nivel de significancia, la letra seguida de una letra igual es no significativa, mientras que una seguida de una letra diferente es significativa a un nivel de  $\alpha$  igual a 0.05 ( $p \leq 0.05$ ).

FUENTE: Elaboración propia (2018).

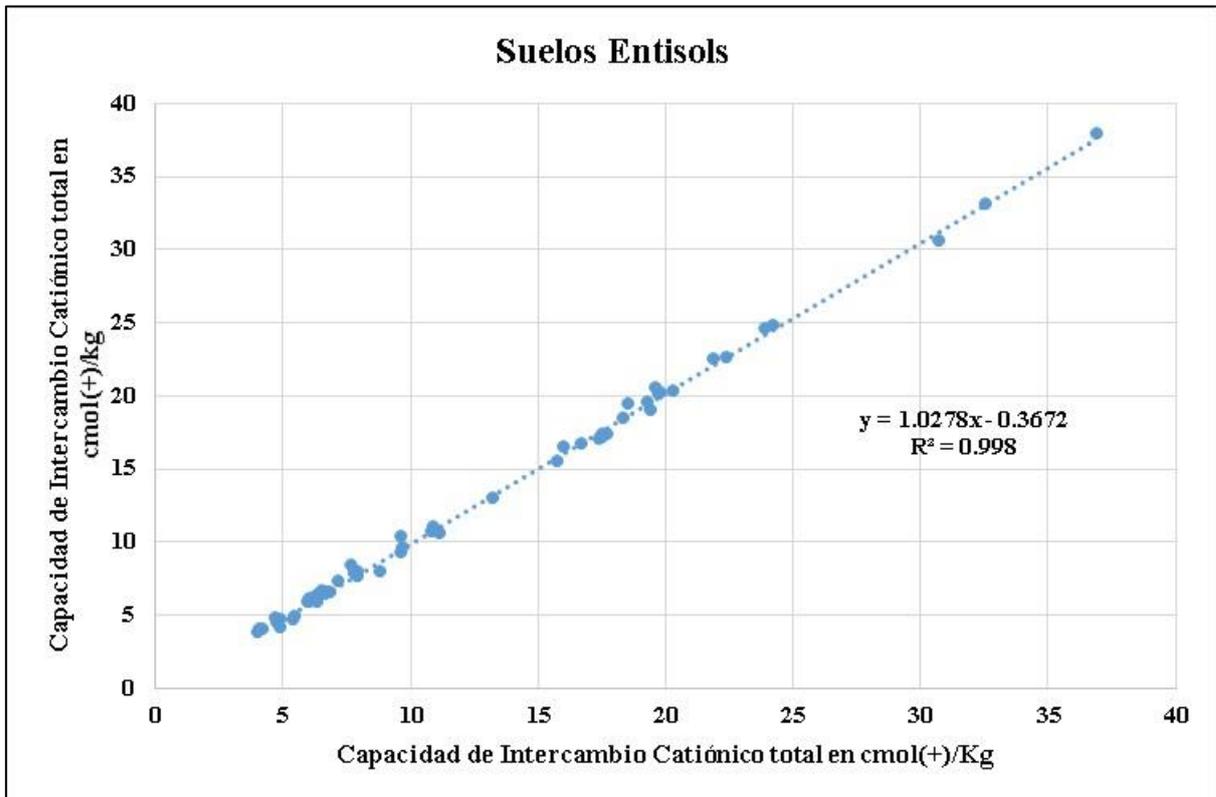
#### 4.2.4. Análisis de regresión y correlación lineal entre los dos métodos para los suelos Entisols

La otra herramienta que nos permite observar el comportamiento de los dos promedios para los dos métodos y que nos ayuda a optar por uno u otro sin incurrir en error grosero, es el análisis de regresión y la correlación lineal simple. Para ello, se han de tomar en cuenta los valores promedios de los dos métodos para la estimación de la CIC, mediante la titulación con el formaldehído y la destilación con equipo micro-Kjeldahl. Debido a que son valores que expresan o estiman lo mismo y tienen las mismas unidades ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ ), y de acuerdo con Ciesielski *et al.* (1997), se puede establecer una correlación lineal simple entre estas variables de tipo continuo. Para ello se colocaron los valores del método de titulación con formaldehído en el eje de las abscisas (eje X) mientras que los valores del método de destilación con micro-Kjeldahl se colocó en el eje de las ordenadas (eje Y). Así, mediante el cálculo de la regresión se pudo establecer, que ambas variables correlacionan bastante bien, lo cual queda demostrado con la ecuación de la recta del tipo

$$y = 1.0278x - 0.3672$$

cuyo coeficiente de regresión lineal es  $R^2 = 0.998$ , mientras que su coeficiente de correlación de Pearson es  $r = 0.99899$ , lo cual indica que el cálculo de la regresión planteada podría explicar el 99.899 % de los valores comparados, y que en este ensayo existe una correlación

positiva ( $0 < r < 1$ ), un % considerado muy bueno desde el punto de vista estadístico. Nótese en la figura N° 5, la distribución de los puntos de las coordenadas X e Y sobre la recta, en la cual se puede apreciar que, la mayoría de los puntos están sobre esta tal como se interpreta a partir del coeficiente de Pearson.



**Figura N° 5: Relación de los dos métodos para estimar la CIC en los suelos Entisols.**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

### 4.3. LOS SUELOS INCEPTISOLS

Son suelos en proceso de evolución, un poco más desarrollados que los Entisols, que pueden poseer un horizonte cámbico dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral, o también un horizonte cálcico, petrocálcico, gypsic, plácico o un duripan, aunque también puede poseer un horizonte óxico o espódico. Puede poseer un epipedón folístico, hístico, o mólico, o un horizonte sálico, pudiendo desarrollarse también en condiciones cryicas, es decir en climas fríos, aunque sin llegar a la congelación. Es en base a estas últimas descripciones que, los horizontes consignados en los perfiles sujetos a este estudio se han clasificado como Inceptisols, principalmente en las zonas quechua y puna de la región

Apurimac (provincia de Cotabambas). La información adicional que sustenta los criterios de clasificación, es decir, los análisis fisicoquímicos de los horizontes por calicata, se encuentran en los anexos del presente estudio.

Ahora bien, dentro de los suelos Inceptisols existen características propias de los suelos y su medio ambiente que permite realizar una separación entre varios de ellos, y para eso se recurre a las claves taxonómicas que van a dar lugar a los Subordenes. Así tenemos que para este estudio se ha consignado a los Subordenes Cryepts y Ustepts, determinados principalmente por el régimen de temperatura del suelo y al régimen de humedad del suelo, en ese orden. Para mayores referencias, ver el Cuadro N° 11.

#### **4.3.1. Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de los suelos Inceptisols**

Las consideraciones seguidas para caracterizar estos suelos son las mismas que se han tenido en cuenta para los suelos Entisols. Por otro lado en los suelos sujetos de estudio, por las características edáficas y climáticas, la suma de las bases cambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ) va a ser inferior al 80 % debido a que existen condiciones para que se manifiesten los cationes acidificantes  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ , para mayor referencia, por el pH fuertemente ácido en la mayoría de los suelos.

Debido a lo antes mencionado, se muestran a continuación los valores de los parámetros más importantes que determinan la CIC para estos suelos Inceptisols (Cryepts y Ustepts) consignados en las diez calicatas del estudio de estos suelos. De acuerdo a lo mencionado, estos se pueden observar en el Cuadro N° 11.

**Cuadro N° 11: Parámetros fisicoquímicos que pueden influir en la CIC de los suelos**

**Inceptisols**

N° orden	Claves del suelo		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	M.O. %	Análisis Mecánico			Clase Textural	Clasificación de suelos USDA	
	Calicata	Horizonte				Arena	Limo	Arcilla		Orden	Suborden
						%	%	%			
1	SU-LB-02	SU-LB-02-1	4.55	0.10	14.74	66	34	0	Franco Arenoso	Inceptisols	Cryepts
2		SU-LB-02-2	5.19	0.06	0.11	70	30	0	Franco Arenoso		
3	SU-LB-20	SU-LB-20-1	5.05	0.10	2.43	80	20	0	Arena Franca	Inceptisols	Cryepts
4		SU-LB-20-2	5.04	0.05	2.42	74	26	0	Arena Franca		
5		SU-LB-20-3	4.92	0.06	2.88	78	22	0	Arena Franca		
6		SU-LB-20-4	5.10	0.04	0.92	80	14	6	Arena Franca		
7	SU-LB-22	SU-LB-22-1	4.88	0.18	20.69	58	34	8	Franco Arenoso	Inceptisols	Cryepts
8		SU-LB-22-2	5.44	0.07	8.71	58	32	10	Franco Arenoso		
9	SU-LB-06	SU-LB-06-1	4.34	0.08	10.53	50	40	10	Franco	Inceptisols	Ustepts
10		SU-LB-06-2	4.55	0.03	7.84	52	28	20	Franco		
11		SU-LB-06-3	4.86	0.02	0.99	58	26	16	Franco Arenoso		
12		SU-LB-06-4	5.03	0.02	0.32	40	34	26	Franco		
13	SU-LB-03	SU-LB-03-1	4.19	0.11	10.06	60	30	10	Franco Arenoso	Inceptisols	Cryepts
14		SU-LB-03-2	4.60	0.03	5.75	58	30	12	Franco Arenoso		
15		SU-LB-03-3	4.85	0.02	1.23	50	32	18	Franco		
16		SU-LB-03-4	4.75	0.02	4.31	50	30	20	Franco		
17	SU-LB-18	SU-LB-18-1	4.34	0.11	9.38	40	50	10	Franco Limoso	Inceptisols	Cryepts
18		SU-LB-18-2	4.77	0.04	0.69	56	34	10	Franco Arenoso		
19		SU-LB-18-3	4.99	0.03	0.31	42	44	14	Franco		
20	SU-LB-19	SU-LB-19-1	4.78	0.13	5.17	54	40	6	Franco Arenoso	Inceptisols	Cryepts
21		SU-LB-19-2	4.80	0.06	4.05	46	44	10	Franco		
22		SU-LB-19-3	5.39	0.03	1.14	78	16	6	Arena Franca		
23	SU-LB-24	SU-LB-24-1	4.42	0.11	15.17	58	34	8	Franco Arenoso	Inceptisols	Cryepts
24		SU-LB-24-2	4.78	0.04	10.41	66	26	8	Franco Arenoso		
25		SU-LB-24-3	5.00	0.03	0.84	46	36	18	Franco		
26	SU-LB-26	SU-LB-26-1	4.61	0.14	21.24	58	34	8	Franco Arenoso	Inceptisols	Cryepts
27		SU-LB-26-2	5.04	0.03	11.61	50	42	8	Franco		
28		SU-LB-26-3	5.72	0.03	0.29	30	64	6	Franco Limoso		
29	SU-LB-07	SU-LB-07-1	4.60	0.10	2.50	48	34	18	Franco	Inceptisols	Ustepts
30		SU-LB-07-2	4.53	0.03	0.92	36	32	32	Franco Arcilloso		
31		SU-LB-07-3	4.71	0.02	0.58	28	26	46	Arcilloso		
32		SU-LB-07-4	4.96	0.02	0.38	46	18	36	Arcilla Arenosa		

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.3.2. Valores de la CIC encontrados en los suelos Inceptisols empleando ambos métodos

Tenemos un rango comprendido desde los valores más bajos para la CIC (promedio de 6.59  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de 0.42  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 6.35 % para la titulación con formaldehído y promedio de 5.81  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de 0.40  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 6.88 % para la destilación con micro-Kjeldahl) para un suelo arenoso franco, mientras que los valores más elevados para la CIC (promedio de 47.60  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de 0.89  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 1.87 % para la titulación con formaldehído y promedio de 47.76  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de 1.20  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 2.51 % para la destilación con micro-Kjeldahl) para un suelo franco arenoso.

Se puede observar que en el caso del suelo arenosos francos, los valores encontrados corresponden con aquellos suelos de tal textura, pobres en el contenido de materia orgánica y con baja o nula concentración de arcilla. Para el segundo caso, el suelo franco arenoso, aunque elevado en materia orgánica (21.24 % ) y bajo en su concentración de arcillas (8 %), la condición de acidez del suelo (pH igual a 4.61) es el que le confiere esa capacidad de cargas generadas, aunque no compensadas con los cationes cambiabiles, como ya sea planteado, por el fenómeno de ionización al emplear la solución de acetato de amonio N *bufferado* a pH 7.0 (se pueden observar los valores de los cationes cambiabiles en cada uno de los suelos en los cuadros de los anexos).

Para este efecto, se muestran a continuación en el Cuadro N° 12 los valores promedio (Prom.) obtenidos para estimar la CIC con cada uno de los métodos, acompañados de sus correspondientes desviaciones estándar (D.S.) y coeficientes de variabilidad (C.V.).

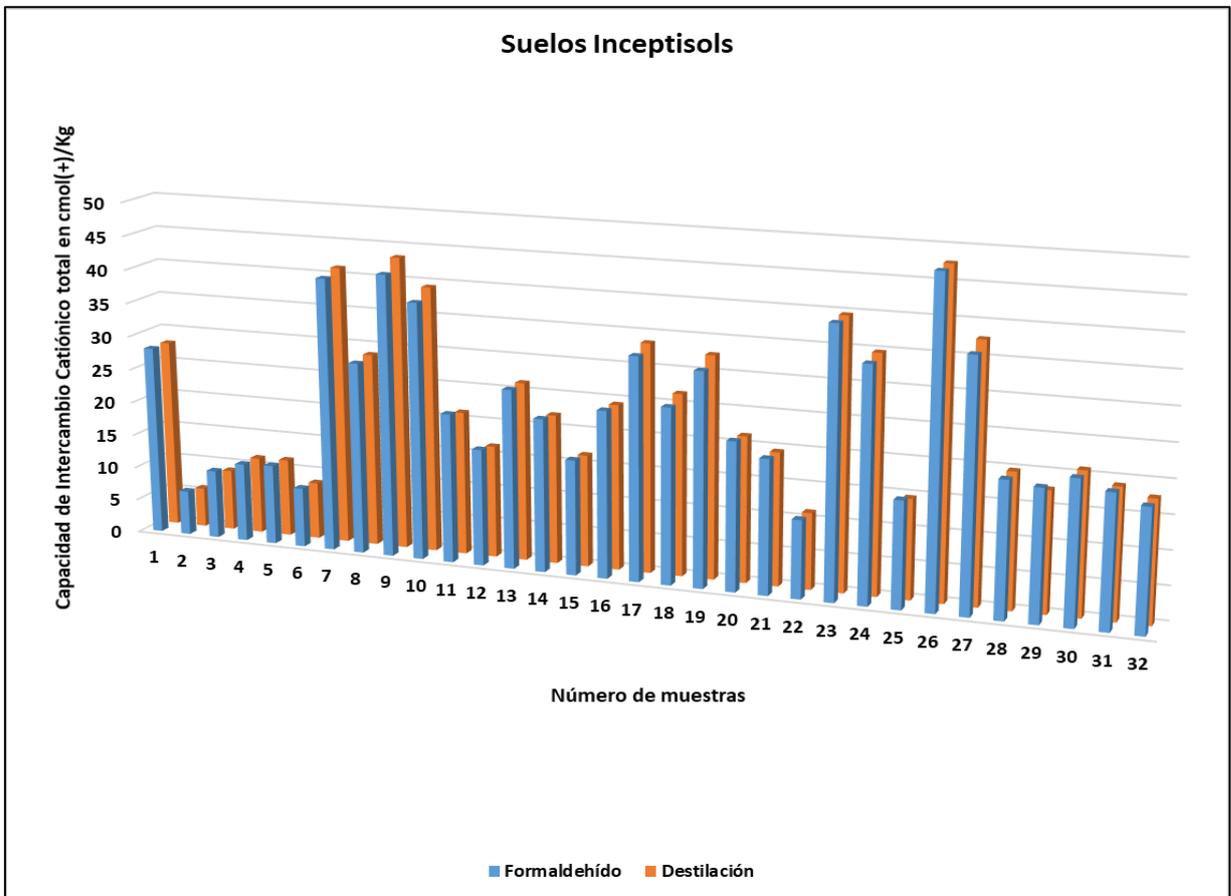
**Cuadro N° 12: Valores de la CIC encontrados en los suelos Inceptisols empleando ambos métodos**

N°	Claves del suelo		Titulación formaldehído		Destilación microKjeldahl		Clasificación Suelos USDA	
	Calicata	Horizonte	Prom. ± D.S. en cmol(+)Kg <sup>-1</sup>	C.V. (%)	Prom. ± D.S. en cmol(+)Kg <sup>-1</sup>	C.V. (%)	Orden	Suborden
1	SU-LB-02	SU-LB-02-1	28.10 ± 1.17	4.18	27.97 ± 1.49	5.34	Inceptisols	Cryepts
2		SU-LB-02-2	6.59 ± 0.42	6.35	5.81 ± 0.40	6.88		
3	SU-LB-20	SU-LB-20-1	10.16 ± 0.20	2.00	9.02 ± 0.39	4.28	Inceptisols	Cryepts
4		SU-LB-20-2	11.63 ± 0.15	1.30	11.39 ± 0.28	2.46		
5		SU-LB-20-3	11.84 ± 0.11	0.90	11.52 ± 0.30	2.62		
6		SU-LB-20-4	8.82 ± 0.09	1.03	8.43 ± 0.13	1.56		
7	SU-LB-22	SU-LB-22-1	40.56 ± 0.85	2.09	41.23 ± 1.30	3.15	Inceptisols	Cryepts
8		SU-LB-22-2	28.42 ± 0.47	1.64	28.70 ± 0.68	2.35		
9	SU-LB-06	SU-LB-06-1	41.76 ± 0.75	1.79	43.38 ± 0.62	1.44	Inceptisols	Ustepts
10		SU-LB-06-2	38.02 ± 0.72	1.91	39.36 ± 0.77	1.96		
11		SU-LB-06-3	22.08 ± 0.52	2.34	21.22 ± 0.50	2.34		
12		SU-LB-06-4	17.25 ± 1.13	6.57	16.56 ± 1.13	6.84		
13	SU-LB-03	SU-LB-03-1	26.45 ± 0.51	1.94	26.37 ± 0.79	2.98	Inceptisols	Cryepts
14		SU-LB-03-2	22.58 ± 0.49	2.18	22.02 ± 0.52	2.35		
15		SU-LB-03-3	16.99 ± 0.34	2.02	16.53 ± 0.20	1.21		
16		SU-LB-03-4	24.61 ± 0.40	1.62	24.35 ± 0.34	1.41		
17	SU-LB-18	SU-LB-18-1	32.80 ± 0.73	2.23	33.65 ± 1.39	4.13	Inceptisols	Cryepts
18		SU-LB-18-2	25.89 ± 0.29	1.12	26.72 ± 0.53	1.98		
19		SU-LB-18-3	31.44 ± 0.59	1.86	32.67 ± 1.27	3.88		
20	SU-LB-19	SU-LB-19-1	21.86 ± 0.30	1.39	21.44 ± 0.35	1.61	Inceptisols	Cryepts
21		SU-LB-19-2	19.78 ± 0.57	2.88	19.55 ± 0.46	2.34		
22		SU-LB-19-3	11.49 ± 0.44	3.82	11.22 ± 0.35	3.11		
23	SU-LB-24	SU-LB-24-1	39.55 ± 0.87	2.19	39.68 ± 1.11	2.79	Inceptisols	Cryepts
24		SU-LB-24-2	34.30 ± 0.66	1.92	34.82 ± 0.61	1.75		
25		SU-LB-24-3	15.68 ± 0.63	4.02	14.66 ± 0.34	2.31		
26	SU-LB-26	SU-LB-26-1	47.60 ± 0.89	1.87	47.76 ± 1.20	2.51	Inceptisols	Cryepts
27		SU-LB-26-2	36.66 ± 1.41	3.85	37.74 ± 1.25	3.31		
28		SU-LB-26-3	19.92 ± 0.50	2.52	19.84 ± 0.64	3.20		
29	SU-LB-07	SU-LB-07-1	19.26 ± 0.57	2.96	17.70 ± 0.52	2.93	Inceptisols	Ustepts
30		SU-LB-07-2	21.01 ± 0.38	1.80	20.88 ± 0.30	1.46		
31		SU-LB-07-3	19.52 ± 0.62	3.16	19.10 ± 0.66	3.45		
32		SU-LB-07-4	18.00 ± 0.83	4.59	17.87 ± 1.20	6.74		

FUENTE: Elaboración propia (2018).

A partir de los resultados anteriores, se puede construir un gráfico de barras que representa las comparaciones entre los dos métodos empleados para estimar la CIC. Así se pueden apreciar gráficamente en la Figura N° 6 los valores de ambos métodos de estimación. Se

puede notar en la mayoría de ellos un comportamiento parecido, pero se debe anotar que existen ligeras discrepancias por debajo del método estándar a las muestras enumeradas como 7 (SU-LB-22-1, horizonte superficial), 9 (SU-LB-06-1, horizonte superficial), 10 (SU-LB-06-2), 17 (SU-LB-18-1, horizonte superficial), 18 (SU-LB-22-2), 19 (SU-LB-22-3) , y 27 (SU-LB-26-2), y por encima del método estándar a las muestras enumeradas como 2 (SU-LB-02-2), 3 (SU-LB-20-1, horizonte superficial), 5 (SU-LB-20-3), 6 (SU-LB-20-4), 11 (SU-LB-06-3), 12 (SU-LB-06-4), 14 (SU-LB-03-2), 15 (SU-LB-03-3), 20 (SU-LB-19-1, horizonte superficial), 25 (SU-LB-24-3), y 29 (SU-LB-07-1, horizonte superficial). En general, para la apreciación gráfica, estas pequeñas discrepancias se pueden considerar como no significativas. Sin embargo, para las consideraciones de prueba estadística, se realizó la prueba de t-Student, con un nivel de  $\alpha$  igual a 0.05 para la prueba de comparación de promedios. Estos valores y niveles de significancia se pueden observar en el cuadro de diferencia de promedios.



**Figura N° 6: Comparación gráfica entre los métodos de titulación para los suelos Inceptisols.**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

### 4.3.3. Evaluación estadística de los resultados en los suelos Inceptisols

La prueba estadística adecuada para el presente ensayo es la prueba de t-Student, debido a que se trata de una comparación de promedios. Una condición que se debe asumir para realizar esta prueba es que la distribución de los valores o conjunto de ellos sigue una distribución normal, lo cual es un supuesto de la estadística paramétrica. Por ello, se organizaron los datos de manera tal que se pudieran observar los valores de los promedios indicados en el Cuadro N° 13, enumerados de 1 al 32 conteniendo a todos los horizontes, y todos ellos correspondiendo a cada uno de los 10 perfiles o calicatas considerados en la descripción. De manera adicional de han consignado las diferencias de promedios entre la estimación de la CIC mediante la titulación con formaldehído menos la estimación de la CIC mediante la destilación con micro-Kjeldahl. A partir de estos datos se puede dar cuenta de lo siguiente, que las diferencias de estos promedios son positivas cuando la CIC mediante la titulación con formaldehído es mayor, y es negativa cuando la CIC mediante la destilación con micro-Kjeldahl es mayor para esta comparación, es decir que el orden es importante. Así mismo, notamos que solamente 3 diferencias lo son por exceso (positivas), mientras que las otras 4 lo son por defecto (negativos) Esto ya puede considerarse un indicador de que los valores encontrados están próximos al verdadero promedio de la CIC. Otro aspecto a tener en cuenta es el coeficiente de variabilidad (C.V.) extraído de la prueba estadística de t-Student corrida en el programa Software Estadístico SAS ver. 9.1, es decir a aquel que es compartido entre los dos promedios y ya no el referido de manera individual. Así podemos indicar que, de acuerdo a los valores encontrados, estos no superan el 5 % , excepto para los consignados con los números 2, 12, y 32. Para el nivel de significancia, aparecen letras. Las letras iguales indican no significancia (aa), en tanto letras diferentes indican significancia (ab) a un nivel de probabilidad de 5 % ( $p < 0.05$ ). Esto quiere decir, de acuerdo a la hipótesis planteada, que los valores encontrados para estimar la CIC mediante ambos métodos sean semejantes. Así tenemos que, se han obtenido 17 valores no significativos (que indican semejanza entre los métodos empleados), mientras que otros 15 valores han alcanzado un valor significativo (lo cual significa estadísticamente alguna diferencia entre los valores encontrados para ambos métodos). Como comentario adicional se puede mencionar que, en el gráfico de barras se notaban con una mayor diferencia los valores consignados para los horizontes números y horizontes: 2 (SU-LB-02-1), 3 (SU-LB-20-1), 5 (SU-LB-20-3), 6 (SU-LB-20-4), 7 (SU-LB-22-1), 9 (SU-LB-06-1), 10 (SU-LB-06-2), 11 (SU-LB-06-3), 12 (SU-

LB-06-4), 14 (SU-LB-03-2), 15 (SU-LB-03-3), 17 (SU-LB-18-1), 18 (SU-LB-18-2), 19 (SU-LB-18-3), 20 (SU-LB-19-1), 25 (SU-LB-24-3), 27 (SU-LB-26-2), y 29 (SU-LB-07-1), mientras que para la prueba de t-Student repiten las diferencias significativas los números y horizontes: 2 (SU-LB-02-1), 3 (SU-LB-20-1), 5 (SU-LB-20-3), 6 (SU-LB-20-4), 7 (SU-LB-22-1), 9 (SU-LB-06-1), 10 (SU-LB-06-2), 11 (SU-LB-06-3), 14 (SU-LB-03-2), 15 (SU-LB-03-3), 18 (SU-LB-18-2), 19 (SU-LB-18-3), 20 (SU-LB-19-1), 25 (SU-LB-24-3), y 29 (SU-LB-07-1), para la misma consideración de significancia. Para mayor observación, ver el Cuadro N° 13.

**Cuadro N° 13: Diferencia de promedios, coeficiente de variabilidad y niveles de significación en la prueba t-Student para los suelos Inceptisols**

N°	Claves del suelo		Diferencia de Promedios (en $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ )	C.V. (%)	Nivel de Significancia	Clasificación Suelos USDA	
	Calicata	Horizonte				Orden	Suborden
1	SU-LB-02	SU-LB-02-1	0.13	4.7905	aa	Inceptisols	Cryepts
2		SU-LB-02-2	0.78	6.5990	ab		
3	SU-LB-20	SU-LB-20-1	1.14	3.2157	ab	Inceptisols	Cryepts
4		SU-LB-20-2	0.24	1.9573	ab		
5		SU-LB-20-3	0.32	1.9372	ab		
6		SU-LB-20-4	0.39	1.3118	ab		
7	SU-LB-22	SU-LB-22-1	-0.67	2.6831	aa	Inceptisols	Cryepts
8		SU-LB-22-2	-0.28	2.0319	aa		
9	SU-LB-06	SU-LB-06-1	-1.62	1.6164	ab	Inceptisols	Ustepts
10		SU-LB-06-2	-1.34	1.9358	ab		
11		SU-LB-06-3	0.86	2.3398	ab		
12		SU-LB-06-4	0.69	6.7007	aa		
13	SU-LB-03	SU-LB-03-1	0.08	2.5131	aa	Inceptisols	Cryepts
14		SU-LB-03-2	0.56	2.2648	ab		
15		SU-LB-03-3	0.46	1.6793	ab		
16		SU-LB-03-4	0.26	1.5188	aa		
17	SU-LB-18	SU-LB-18-1	-0.85	3.3443	aa	Inceptisols	Cryepts
18		SU-LB-18-2	-0.83	1.6195	ab		
19		SU-LB-18-3	-1.23	3.0815	ab		
20	SU-LB-19	SU-LB-19-1	0.42	1.5026	ab	Inceptisols	Cryepts
21		SU-LB-19-2	0.23	2.6296	aa		
22		SU-LB-19-3	0.27	3.4921	aa		
23	SU-LB-24	SU-LB-24-1	-0.13	2.5070	aa	Inceptisols	Cryepts
24		SU-LB-24-2	-0.52	1.8350	aa		
25		SU-LB-24-3	1.02	3.3394	ab		

«continuación»

26	SU-LB-26	SU-LB-26-1	-0.16	1.0566	aa	Inceptisols	Cryepts
27		SU-LB-26-2	-1.08	3.5839	aa		
28		SU-LB-26-3	0.08	2.8800	aa		
29	SU-LB-07	SU-LB-07-1	1.56	2.9488	ab	Inceptisols	Ustepts
30		SU-LB-07-2	0.13	1.6364	aa		
31		SU-LB-07-3	0.42	3.3047	aa		
32		SU-LB-07-4	0.13	5.7605	aa		

Para el nivel de significancia, la letra seguida de una letra igual es no significativa, mientras que una seguida de una letra diferente es significativa a un nivel de  $\alpha$  igual a 0.05 ( $p \leq 0.05$ ).

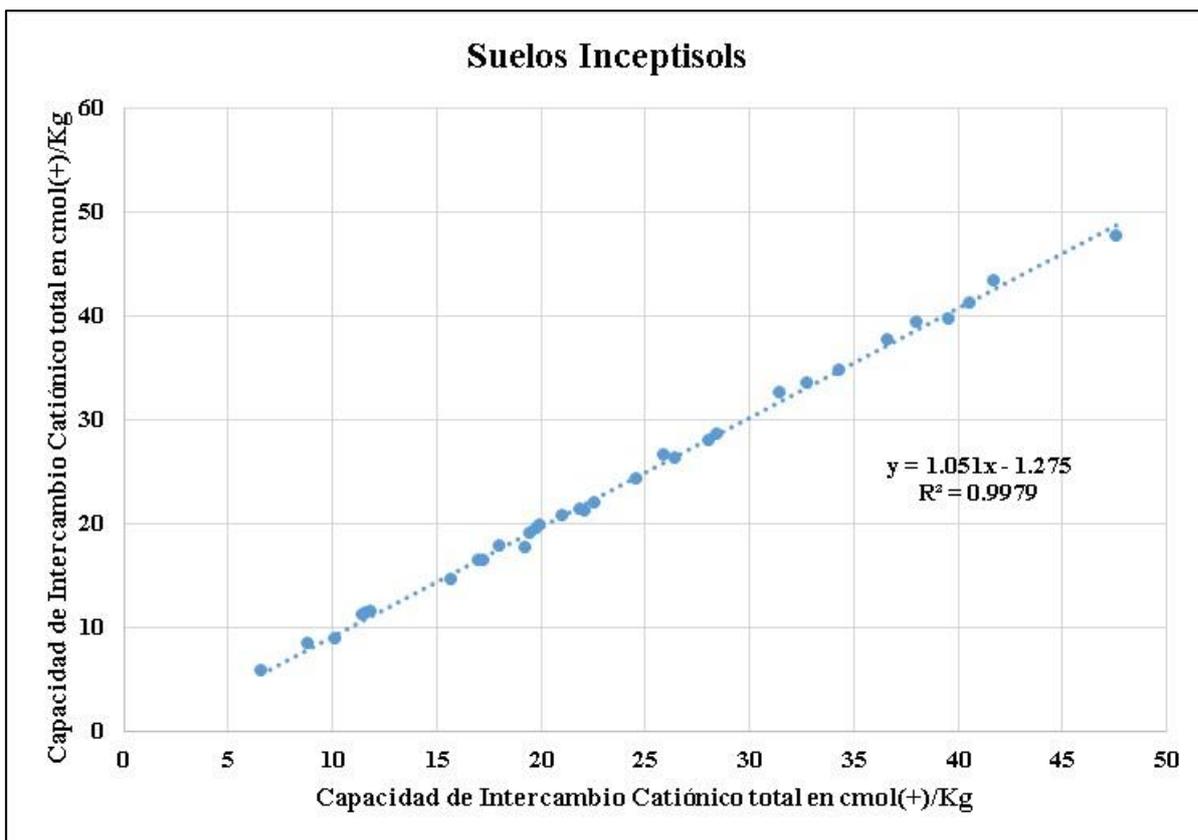
FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.3.4. Análisis de regresión y correlación lineal entre los dos métodos para los suelos Inceptisols

Debido a que son valores que expresan o estiman lo mismo y tienen las mismas unidades ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ ), y de acuerdo con Ciesielski *et al.* (1997), se puede establecer una correlación lineal simple entre estas variables de tipo continuo. Para ello se colocaron los valores del método de titulación con formaldehído en el eje de las abscisas (eje X mientras que los valores del método de destilación con micro-Kjeldahl se colocó en el eje de las ordenadas (eje Y). Así, mediante el cálculo de la regresión se pudo establecer, que ambas variables correlacionan bastante bien, lo cual queda demostrado con la ecuación de la recta del tipo

$$y = 1.051x - 1.275$$

cuyo coeficiente de regresión lineal es  $R^2 = 0.9979$ , mientras que su coeficiente de correlación de Pearson es  $r = 0.998949$ , lo cual indica que el cálculo de la regresión planteada podría explicar el 99.8949 % de los valores comparados, y que en este ensayo existe una correlación positiva ( $0 < r < 1$ ), un % considerado muy bueno desde el punto de vista estadístico. Nótese en la Figura N° 7 la distribución de los puntos de las coordenadas X e Y sobre la recta, en la cual se puede apreciar que, la mayoría de los puntos están sobre esta tal como se interpreta a partir del coeficiente de Pearson.



**Figura N° 7: Relación de los dos métodos para estimar la CIC en los suelos Inceptisols.**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.4. LOS SUELOS ANDISOLS

Los suelos del orden Andisols se caracterizan por proceder de materiales volcánicos (ceniza volcánica que contiene alofana, imogolito y óxidos de hierro en algunos casos), es decir materiales que poseen propiedades ándicas las cuales se depositan sobre contactos denses, líticos o paralíticos (roca o material parecido a este). Suelen poseer colores claros a menos que, como se ha mencionado, se encuentren acompañados de óxidos. Poseen una textura suave y rasposa al contacto con los dedos pero diferente a las arenas, y si no están cubiertos con vegetación, suelen ser susceptibles de sufrir erosión, ya sea por lluvias o vientos fuertes. Para el caso del presente estudio, los perfiles que nos competen, se han localizado sobre contactos denses o líticos, el primero de ellos (Ustand) en la Región Apurímac (provincia de Cotabambas, un depósito antiguo de cenizas), entre las regiones quechua, suni y puna (Pulgar Vidal, 1970), y el otro (Haplotorrands) en la Región Arequipa (provincia de Castilla), entre las regiones yunga y quechua según Pulgar Vidal (1970). Se conoce por geología y geomorfología, que en las áreas correspondientes a las regiones de Tacna,

Moquegua, Arequipa y Ayacucho (en el sur del Perú), se pueden hallar suelos Andisols. La información adicional que sustenta los criterios de clasificación, es decir, los análisis fisicoquímicos de los horizontes por calicata, se encuentran en los anexos del presente estudio.

Una breve mención al respecto. El suborden Ustand, corresponde a un Andisol de climas semiáridos y subhúmedos, mientras que un Haplotorrant (incluye subgrupo) corresponde a un Andisol de clima muy seco. Esta descripción se puede observar en el Cuadro N° 14.

#### 4.4.1. Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de los suelos Andisols

Se debe tener en cuenta que los suelos trabajados en este estudio se localizan en una de las zonas con influencia volcánica al sur del Perú. Como se ha mencionado anteriormente, Arequipa, algunas de Ayacucho, y eventualmente, algunas de Apurímac, poseen alofana.

Cabe recordar que, si bien se han detectado la presencia de estos suelos en áreas con influencia volcánica en el Perú, no son muy abundantes como Andisols propiamente, sino en combinación con los otros componentes minerales (arenas, limos, y arcillas) y materia orgánica, para situarse dentro de los otros ordenes de suelos.

Se muestran a continuación los valores de los parámetros más importantes que determinan la CIC para estos suelos Andisols consignados en las dos calicatas del presente estudio. Algunas de estas características se pueden observar en el Cuadro N° 14.

**Cuadro N° 14: Parámetros fisicoquímicos que pueden influir en la CIC de los suelos Andisols**

N° orden	Claves del suelo		pH ( 1:1 )	C.E. (1:1) dS/m	M.O. %	Análisis Mecánico			Clase Textural	Clasificación de suelos USDA	
	Calicata	Horizonte				Arena	Limo	Arcilla		Orden	Suborden
						%	%	%			
1	SU-LB-08	SU-LB-08-1	5.07	0.07	4.14	38	36	26	Franco	Andisols	Ustands
2	C-5	C5-1	8.19	1.78	0.11	74	17	9	Franco Arenoso	Andisols	Haplotorrands
3		C5-2	8.00	2.45	0.04	88	9	3	Arena		

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.4.2. Valores de la CIC encontrados en los suelos Andisols empleando ambos métodos

De acuerdo a los criterios de trabajo empleados en la evaluación de ambos métodos, se obtuvieron los valores de la CIC para los suelos descritos anteriormente como de texturas medias a sueltas (francas y arenosas). Así tenemos un rango comprendido desde los valores más bajos para la CIC (promedio de  $5.26 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de  $0.18 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de  $3.34 \%$  para la titulación con formaldehído y promedio de  $4.51 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de  $0.25 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de  $5.49 \%$  para la destilación con micro-Kjeldahl) para un suelo arenoso, de horizonte inferior, mientras que los valores más elevados para la CIC (promedio de  $18.62 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de  $0.36 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de  $1.91 \%$  para la titulación con formaldehído y promedio de  $18.75 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de  $0.66 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de  $3.52 \%$  para la destilación con micro-Kjeldahl) para un suelo franco.

Se puede observar que, para el caso del suelo arenoso, los valores encontrados corresponden con aquellos suelos de tal textura, pobres en el contenido de materia orgánica y con baja o pobre concentración de arcilla. Para el segundo caso, el suelo franco, aunque también pobre en su contenido de materia orgánica y bajo en su concentración de arcillas, existe posiblemente la consideración antes mencionada, sobre el tipo de material alofánico presente, lo cual puede explicar la elevada CIC encontrada para tales características del suelo (se pueden observar los valores de los cationes cambiabiles en cada uno de los suelos en los cuadros de los anexos).

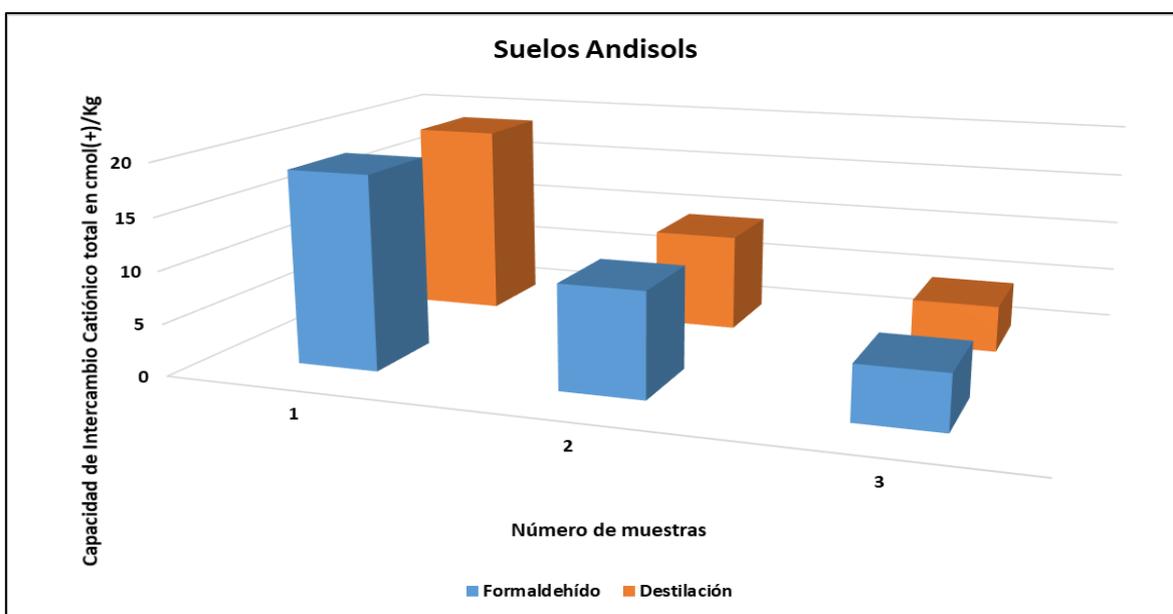
Para este efecto, se muestran a continuación en el Cuadro N° 15 los valores promedio (Prom.) obtenidos para estimar la CIC con cada uno de los métodos, acompañados de sus correspondientes desviaciones estándar (D.S.) y coeficientes de variabilidad (C.V.).

**Cuadro N° 15: Valores de la CIC encontrados en los suelos Andisols empleando ambos métodos**

N°	Claves del suelo		Titulación formaldehído		Destilación microKjeldahl		Clasificación Suelos USDA	
	Calicata	Horizonte	Prom. ± D.S. en cmol(+)Kg <sup>-1</sup>	C.V. (%)	Prom. ± D.S. en cmol(+)Kg <sup>-1</sup>	C.V. (%)	Orden	Suborden
1	SU-LB-08	SU-LB-08-1	18.62 ± 0.36	1.91	18.75 ± 0.66	3.52	Andisols	Ustands
2	C-5	C5-1	10.00 ± 0.31	3.13	9.44 ± 0.25	2.65	Andisols	Haplotorrands
3		C5-2	5.26 ± 0.18	3.34	4.51 ± 0.25	5.49		

FUENTE: Elaboración propia (2018).

A partir de los resultados anteriores, se puede construir un gráfico de barras que represente las comparaciones entre los dos métodos empleados para estimar la CIC. Así se puede apreciar gráficamente en la Figura N° 8 los valores de ambos métodos de estimación. Se puede notar en la mayoría de ellos un comportamiento parecido, pero se debe anotar que existe una ligera discrepancia entre los valores de los señalados con los números 2 (C5-1, horizonte superficial) y 3 (C5-2, segundo horizonte). En general, se pueden considerar a estas pequeñas diferencias gráficas como no significativas. Sin embargo, para las consideraciones de prueba estadística, se realizó la prueba de t-Student, con un nivel de  $\alpha$  igual a 0.05 para la prueba de comparación de promedios.



**Figura N° 8: Comparación gráfica entre los métodos de titulación con formaldehído y el método de destilación micro-Kjeldahl para los suelos Andisols.**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### **4.4.3. Evaluación estadística de los resultados en los suelos Andisols**

Se organizaron los datos de manera tal que se pudieran observar los valores de los promedios indicados en el Cuadro N° 16, enumerados de 1 al 3 conteniendo a todos los horizontes, y todos ellos correspondiendo a cada uno de los 2 perfiles o calicatas considerados en la descripción. Así mismo, se nota que la mayoría de los valores de la diferencia de promedios no supera la unidad. Esto ya puede considerarse un indicador de que los valores encontrados están próximos al verdadero promedio de la CIC. Otro aspecto a tener en cuenta es el coeficiente de variabilidad (C.V.) extraído de la prueba estadística de t-Student corrida en el programa Software Estadístico SAS ver. 9.1, es decir a aquel que es compartido entre los dos promedios y ya no el referido de manera individual. Así podemos indicar que, de acuerdo a los valores encontrados, estos no superan el 5 % excepto para el consignado con el número 10 (C-17-4, último horizonte). Estos valores concuerdan con lo mencionado por Calzada (1982), quien señala que en ciertos ensayos agronómicos y de laboratorio se pueden considerar aceptables las desviaciones con respecto al promedio de un 5 % (por exceso o por defecto). Para el nivel de significancia, aparecen letras. Las letras iguales indican no significancia (aa), en tanto letras diferentes indican significancia (ab) a un nivel de probabilidad de 5 % ( $p \leq 0.05$ ). Esto quiere decir, de acuerdo a la hipótesis planteada, que los valores encontrados para estimar la CIC mediante ambos métodos sean semejantes. Así tenemos que, se ha obtenido 1 valor no significativo (que indican semejanza entre los métodos empleados), mientras que otros 2 valores han alcanzado un valor significativo (lo cual significa estadísticamente alguna diferencia entre los valores encontrados para ambos métodos). Como comentario adicional se puede mencionar que, en el gráfico de barras no se notaban mayores diferencias entre los valores consignados para los horizontes números 1, 2, y 3, mientras que para la prueba de t-Student las diferencias significativas se dan en los horizontes con los números 2, y 3. Para mayor observación, ver el Cuadro N° 16.

**Cuadro N° 16: Diferencia de promedios, coeficiente de variabilidad y niveles de significación en la prueba t-Student para los suelos Andisols**

N°	Claves del suelo		Diferencia de Promedios (en cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	C.V. (%)	Nivel de Significancia	Clasificación Suelos USDA	
	Calicata	Horizonte				Orden	Suborden
1	SU-LB-08	SU-LB-08-1	-0.13	2.8395	aa	Andisols	Ustands
2	C-5	C5-1	0.56	2.9163	ab	Andisols	Haplotorrands
3		C5-2	0.75	4.3983	ab		

Para el nivel de significancia, la letra seguida de una letra igual es no significativa, mientras que una seguida de una letra diferente es significativa a un nivel de  $\alpha$  igual a 0.05 ( $p \leq 0.05$ ).

FUENTE: Elaboración propia (2018).

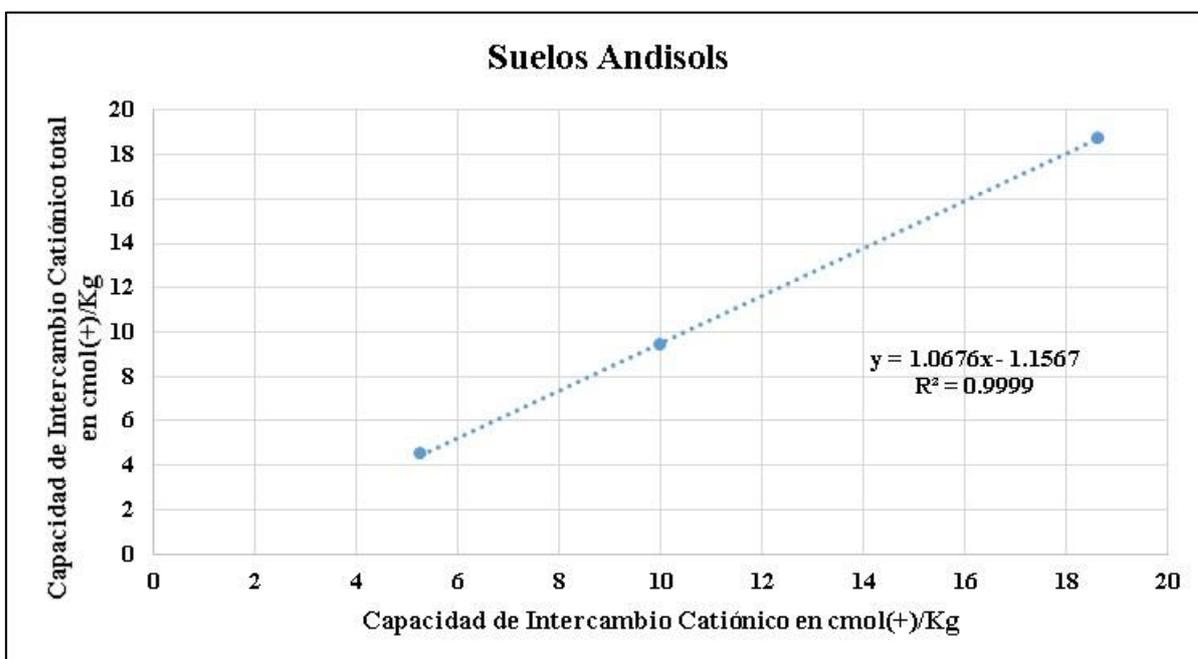
#### 4.4.4. Análisis de regresión y correlación lineal entre los dos métodos para los suelos Andisols

Para observar el comportamiento de los dos promedios en los dos métodos aplicados y permita tomar la decisión de optar por uno u otro sin incurrir en error grosero, se aplicó el análisis de regresión y la correlación lineal simple. Para ello, se tomaron los valores promedios de los dos métodos para la estimación de la CIC, mediante la titulación con el formaldehído y la destilación con equipo micro-Kjeldahl, dado que son valores que expresan o estiman lo mismo y tienen las mismas unidades (cmol(+)Kg<sup>-1</sup>), y de acuerdo con Ciesielski *et al.* (1997) se puede establecer una correlación lineal simple entre estas variables de tipo continuo. Para ello se colocaron los valores del método de titulación con formaldehído en el eje de las abscisas (eje X) mientras que los valores del método de destilación con micro-Kjeldahl se colocó en el eje de las ordenadas (eje Y). Así, mediante el cálculo de la regresión se pudo establecer, que ambas variables correlacionan bastante bien, lo cual queda demostrado con la ecuación de la recta del tipo

$$y = 1.0676x - 1.1567$$

cuyo coeficiente de regresión lineal es  $R^2 = 0.9999$ , mientras que su coeficiente de correlación de Pearson es  $r = 0.999949$ , lo cual indica que el cálculo de la regresión planteada podría explicar el 99.9949 % de los valores comparados, y que en este ensayo existe una correlación positiva ( $0 < r < 1$ ), un % considerado muy bueno desde el punto de vista

estadístico. Nótese en la figura N° 9 la distribución de los puntos de las coordenadas X e Y sobre la recta, en la cual se puede apreciar que, la mayoría de los puntos están sobre esta tal como se interpreta a partir del coeficiente de Pearson. Puede que la poca cantidad de perfiles y horizontes, condicionen una buena respuesta en la correlación de los promedios, pero se verifica su tendencia lineal. Lo antes mencionado se puede observar en la Figura N° 9.



**Figura N° 9: Relación de los dos métodos para estimar la CIC en los suelos Andisols.**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.5. LOS SUELOS MOLLISOLS

Los suelos del orden Mollisols se caracterizan por poseer un horizonte de diagnóstico o epipedón mólico característico, el cual es clave para su clasificación. La condición es que dicho horizonte mólico debe estar bien desarrollado y aún más, los horizontes subyacentes también deben poseer una saturación de bases de por lo menos 50 % , y deben ser profundos (hasta 125 ó 180 cm de profundidad), para cumplir con el Orden. La característica que resalta a simple vista, es el color oscuro de estos suelos (desde negro hasta pardo oscuro), pero que generalmente se refiere al material ya bastante disgregado y bastante humificado, y no fibroso como en el caso de los Histosols. Ahora bien, los suelos Mollisols consignados en el presente estudio proceden de las regiones comprendidas entre quechua, suni, y puna (Pulgar

Vidal, 1970) de la Región Apurimac (provincia de Cotabambas), comprendiendo desde suelos moderadamente ácidos hasta fuertemente alcalinos con elevado contenido de material calcáreo ( $\text{CaCO}_3$ ), cuya principal característica es poseer el horizonte superficial con elevado contenido de materia orgánica como se menciona en la literatura. La información adicional que sustenta los criterios de clasificación, es decir, los análisis fisicoquímicos de los horizontes por calicata, se encuentran en los anexos del presente estudio.

En los suelos Mollisols existen características propias de los suelos y su medio ambiente que permite realizar una separación entre varios de ellos, y para eso se recurre a las claves taxonómicas que van a dar lugar a los Subordenes. Así tenemos que para este estudio se han consignado a los Subordenes Cryolls (por el régimen de temperatura cryico, sin llegar a la congelación) y Ustolls (por el régimen de humedad ústico, entre semiárido y subhúmedo) (ver Cuadro N° 17).

#### **4.5.1. Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de los suelos Mollisols**

De acuerdo a los estudios realizados, se sabe que la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) puede estar influida por el pH o reacción del suelo, el contenido del coloide orgánico (mencionada como la materia orgánica en los análisis del suelo, pero propiamente el humus), y el coloide inorgánico (las arcillas o propiamente los tipos de arcillas).

Pero se debe tener en cuenta que los suelos trabajados en este estudio se localizan entre las regiones quechua, suni y puna según Pulgar Vidal (1970), principalmente en áreas cubiertas con pastizales de gramíneas, lo cual le confiere esa naturaleza orgánica de los epipedones mólicos (alto contenido de materia orgánica, colores oscuros) que se comprueban al cuantificarse valores altos de CIC sobre todo en los horizontes superficiales, y una saturación de bases (PSB) iguales o mayores al 50 % para los horizontes subyacentes. Estas condiciones se pueden observar en el Cuadro N° 17, en donde deben resaltarse para este orden de suelos, los valores del pH, la materia orgánica (M.O.), y dentro de las fracciones mecánicas, a las arcillas. Se muestran a continuación los valores de los parámetros más importantes que determinan la CIC para estos suelos Mollisols (Cryolls y Ustolls) consignadas en las siete calicatas del estudio.

**Cuadro N° 17: Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de suelos Mollisols**

N° orden	Claves del suelo		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	M.O. %	Análisis Mecánico			Clase Textural	Clasificación de suelos USDA	
	Calicata	Horizonte				Arena	Limo	Arcilla		Orden	Suborden
						%	%	%			
1	SU-LB-16	SU-LB-16-1	6.15	0.35	11.74	62	26	12	Franco Arenoso	Mollisols	Cryolls
2		SU-LB-16-2	7.40	0.43	8.64	64	20	16	Franco Arenoso		
3		SU-LB-16-3	8.15	0.20	0.69	40	32	28	Franco Arcilloso		
4	SU-LB-17	SU-LB-17-1	6.51	0.20	15.17	34	56	10	Franco Limoso	Mollisols	Cryolls
5		SU-LB-17-2	8.11	0.23	0.85	48	34	18	Franco		
6	SU-LB-13	SU-LB-13-1	5.71	0.13	10.78	32	40	28	Franco Arcilloso	Mollisols	Ustolls
7		SU-LB-13-2	6.39	0.07	6.09	24	36	40	Arcilloso		
8		SU-LB-13-3	6.62	0.05	1.97	24	32	44	Arcilloso		
9		SU-LB-13-4	6.73	0.05	0.65	28	32	40	Arcilloso		
10	SU-LB-14	SU-LB-14-1	5.90	0.09	5.29	32	38	30	Franco Arcilloso	Mollisols	Ustolls
11		SU-LB-14-2	6.55	0.07	3.55	36	34	30	Franco Arcilloso		
12		SU-LB-14-3	7.15	0.08	1.87	24	32	44	Arcilloso		
13		SU-LB-14-4	7.62	0.19	0.62	22	26	52	Arcilloso		
14	SU-LB-15	SU-LB-15-1	5.32	0.05	2.16	40	40	20	Franco	Mollisols	Ustolls
15		SU-LB-15-2	5.88	0.04	1.16	50	32	18	Franco		
16		SU-LB-15-3	7.28	0.07	1.05	46	34	20	Franco		

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.5.2. Valores de la CIC encontrados en los suelos Mollisols empleando ambos métodos

Se recolectaron todos los resultados obtenidos, los cuales incluyeron para las pruebas estadísticas, los promedios aritméticos de la CIC (Prom.), la desviación estándar (D.S.), y el coeficiente de variabilidad (C.V.) para ambas estimaciones. Así tenemos un rango comprendido desde los valores más bajos para la CIC (promedio de 10.11 cmol(+)Kg<sup>-1</sup>, desviación estándar de 0.26 cmol(+)Kg<sup>-1</sup>, y coeficiente de variabilidad de 2.56 % para la titulación con formaldehído y promedio de 9.07 cmol(+)Kg<sup>-1</sup>, desviación estándar de 0.35 cmol(+)Kg<sup>-1</sup>, y coeficiente de variabilidad de 3.90 % para la destilación con micro-Kjeldahl) para un suelo franco con 0.85 % de materia orgánica (M.O.), mientras que los valores más elevados para la CIC (promedio de 47.76 cmol(+)Kg<sup>-1</sup>, desviación estándar de 1.43 cmol(+)Kg<sup>-1</sup>, y coeficiente de variabilidad de 2.99 % para la titulación con formaldehído y promedio de 49.98 cmol(+)Kg<sup>-1</sup>, desviación estándar de 1.01 cmol(+)Kg<sup>-1</sup>, y coeficiente de variabilidad de 2.02 % para la destilación con micro-Kjeldahl) para un suelo franco arenoso con 8.64 % de materia orgánica (M.O.). Se puede observar que para el caso del suelo franco,

los valores encontrados corresponden con aquellos suelos de tal textura, pobres en el contenido de materia orgánica y con alta concentración de arcilla. Para el segundo caso, el suelo franco arenoso, aunque alto en su contenido de materia orgánica y también alto en su concentración de arcillas, existe posiblemente la consideración antes mencionada, sobre todo por el tipo de materia orgánica presente, pues estaríamos ante la presencia del humus, que es el estado de materia orgánica más, lo cual puede explicar la elevada CIC encontrada para tales características del suelo. Así mismo, como se ha mencionado en las características de estos suelos, el % de saturación de cationes cambiabiles (PSB), supera el 50 % en todos los horizontes de todos los perfiles (se pueden observar los valores de los cationes cambiabiles en cada uno de los suelos en los cuadros de los anexos).

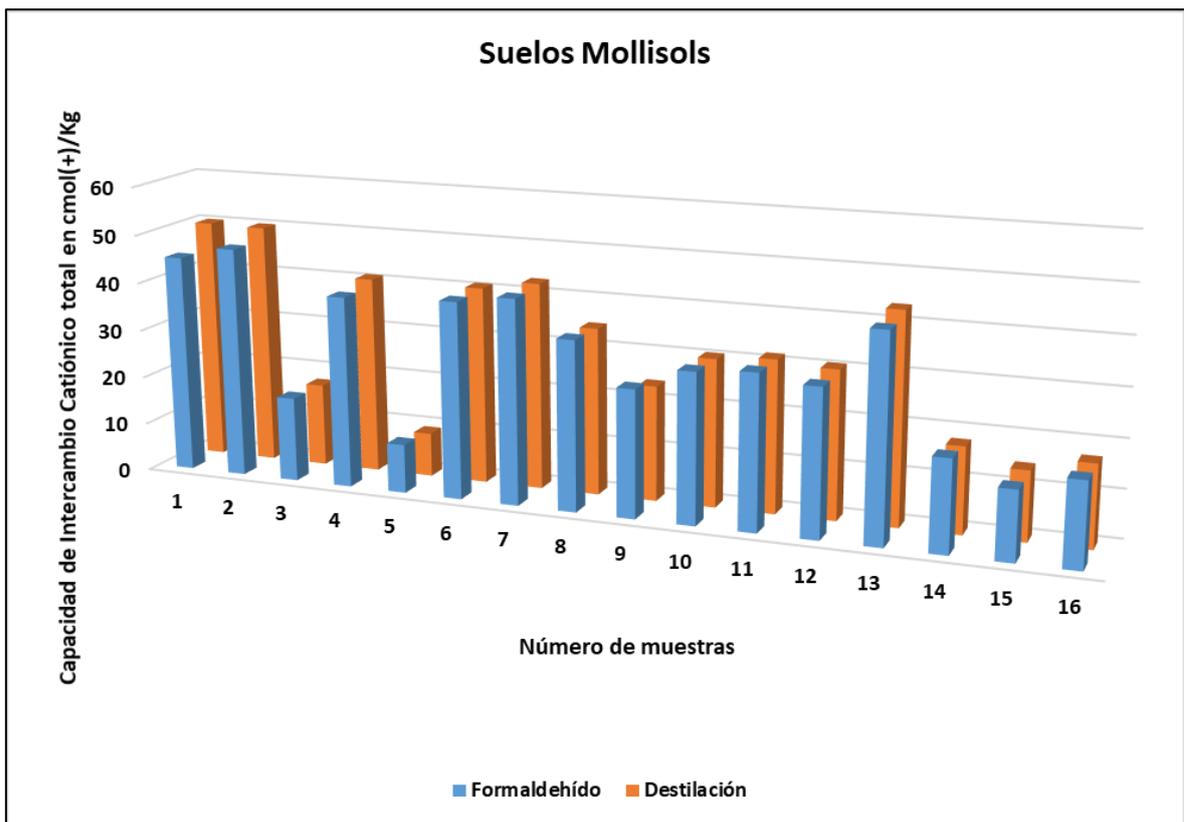
Para este efecto, se muestran a continuación los valores promedio (Prom.) obtenidos para estimar la CIC con cada uno de los métodos, acompañados de sus correspondientes desviaciones estándar (D.S.) y coeficientes de variabilidad (C.V.) en el Cuadro N° 18.

**Cuadro N° 18: Valores de la CIC encontrados en los suelos Mollisols empleando ambos métodos**

N°	Claves del suelo		Titulación formaldehído		Destilación microKjeldahl		Clasificación Suelos USDA	
	Calicata	Horizonte	Prom. ± D.S. en cmol(+)Kg <sup>-1</sup>	C.V. (%)	Prom. ± D.S. en cmol(+)Kg <sup>-1</sup>	C.V. (%)	Orden	Suborden
1	SU-LB-16	SU-LB-16-1	45.14 ± 1.23	2.73	50.16 ± 0.82	1.63	Mollisols	Cryolls
2		SU-LB-16-2	47.76 ± 1.43	2.99	49.98 ± 1.01	2.02		
3		SU-LB-16-3	17.47 ± 0.71	4.09	17.15 ± 0.48	2.81		
4	SU-LB-17	SU-LB-17-1	39.68 ± 0.81	2.04	40.85 ± 1.03	2.53	Mollisols	Cryolls
5		SU-LB-17-2	10.11 ± 0.26	2.56	9.07 ± 0.35	3.90		
6	SU-LB-13	SU-LB-13-1	40.72 ± 0.91	2.22	40.86 ± 1.40	3.41	Mollisols	Ustolls
7		SU-LB-13-2	42.32 ± 0.65	1.53	42.74 ± 0.94	2.21		
8		SU-LB-13-3	35.10 ± 0.65	1.85	34.54 ± 0.91	2.64		
9		SU-LB-13-4	26.38 ± 0.33	1.26	23.78 ± 0.68	2.86		
10	SU-LB-14	SU-LB-14-1	30.98 ± 0.79	2.54	30.50 ± 0.76	2.48	Mollisols	Ustolls
11		SU-LB-14-2	31.92 ± 0.44	1.38	31.49 ± 0.63	2.00		
12		SU-LB-14-3	30.32 ± 0.63	2.07	30.62 ± 0.89	2.92		
13		SU-LB-14-4	42.26 ± 1.03	2.43	43.33 ± 0.67	1.56		
14	SU-LB-15	SU-LB-15-1	18.98 ± 0.86	4.52	17.79 ± 0.65	3.67	Mollisols	Ustolls
15		SU-LB-15-2	14.30 ± 0.42	2.95	14.35 ± 0.47	3.28		
16		SU-LB-15-3	17.44 ± 0.34	1.93	17.01 ± 0.55	3.23		

FUENTE: Elaboración propia (2018).

A partir de los resultados anteriores, se puede construir un gráfico de barras que represente las comparaciones entre los dos métodos empleados para estimar la CIC. Así se pueden apreciar gráficamente en la Figura N° 10 los valores de ambos métodos de estimación. Se puede notar en la mayoría de ellos un comportamiento parecido, pero se debe anotar que existe una ligera discrepancia por defecto entre los valores de los horizontes enumerados como 1, 2, 4, 7, y 13, mientras que las discrepancias por exceso corresponden a los horizontes enumerados como 3, 5, 8, 9, 10, 11, 14, y 16, teniendo en consideración que en ambos casos (por exceso y por defecto) se hacen comparados con el método estándar que es la destilación. Sin embargo, para las consideraciones de prueba estadística, se realizó la prueba de t-Student, con un nivel de  $\alpha$  igual a 0.05 para la prueba de comparación de promedios.



**Figura N° 10: Comparación gráfica entre ambos métodos para los suelos Mollisols.**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.5.3. Evaluación estadística de los resultados en los suelos Mollisols

La prueba estadística adecuada para el presente ensayo es la prueba de t-Student, debido a que se trata de una comparación de promedios. Una condición que se debe asumir para

realizar esta prueba es que la distribución de los valores o conjunto de ellos sigue una distribución normal, lo cual es un supuesto de la estadística paramétrica. Por ello, se organizaron los datos de manera tal que se pudieran observar los valores de los promedios indicados en el Cuadro N° 19, enumerados de 1 al 16 conteniendo a todos los horizontes, y todos ellos correspondiendo a cada uno de los 5 perfiles o calicatas considerados en la descripción. De manera adicional se han consignado las diferencias de promedios entre la estimación de la CIC mediante la titulación con formaldehído menos la estimación de la CIC mediante la destilación con micro-Kjeldahl. A partir de estos datos se puede dar cuenta de lo siguiente, que las diferencias de estos promedios son positivas cuando la CIC mediante la titulación con formaldehído es mayor, y es negativa cuando la CIC mediante la destilación con micro-Kjeldahl es mayor para esta comparación, es decir que el orden es importante. Así mismo, se observa que la mayoría de los valores de la diferencia de promedios no supera la unidad (por exceso o por defecto), con la excepción de las muestras enumeradas como 1, 2, 4, 5, 9, 13, y 14 (entre exceso y defecto). Esto podría considerarse un indicador de que los valores encontrados están próximos al verdadero promedio de la CIC. Otro aspecto a tener en cuenta es el coeficiente de variabilidad (C.V.) extraído de la prueba estadística de t-Student corrida en el programa Software Estadístico SAS ver. 9.1, es decir a aquel que es compartido entre los dos promedios y ya no el referido de manera individual. Así podemos indicar que, de acuerdo a los valores encontrados, estos no superan el 5 % para todos los casos.

Así tenemos que, se han obtenido 8 valores no significativos (que indican semejanza entre los métodos empleados), mientras que otros 8 valores han alcanzado un valor significativo (lo cual significa estadísticamente alguna diferencia entre los valores encontrados para ambos métodos). Como comentario adicional se puede mencionar que, se puede observar que comparten nivel de significancia o diferencias visibles, los horizontes enumerados como 1, 2, 4, 5, 9, 14, y 16 entre el gráfico de barras y la prueba de t-Student. Para mayores observaciones, ver el Cuadro N° 19.

**Cuadro N° 19: Diferencia de promedios, coeficiente de variabilidad y niveles de significación en la prueba t-Student para los suelos Mollisols**

N°	Claves del suelo		Diferencia de Promedios (en cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	C.V. (%)	Nivel de Significancia	Clasificación Suelos USDA	
	Calicata	Horizonte				Orden	Suborden
1	SU-LB-16	SU-LB-16-1	-5.02	2.1925	ab	Mollisols	Cryolls
2		SU-LB-16-2	-2.22	2.5322	ab		
3		SU-LB-16-3	0.32	3.5206	aa		
4	SU-LB-17	SU-LB-17-1	-1.17	2.3058	ab	Mollisols	Cryolls
5		SU-LB-17-2	1.04	3.2349	ab		
6	SU-LB-13	SU-LB-13-1	-0.14	2.8836	aa	Mollisols	Ustolls
7		SU-LB-13-2	-0.42	1.9006	aa		
8		SU-LB-13-3	0.56	2.2749	aa		
9		SU-LB-13-4	2.60	2.1334	ab		
10	SU-LB-14	SU-LB-14-1	0.48	2.5109	aa	Mollisols	Ustolls
11		SU-LB-14-2	0.43	1.7159	aa		
12		SU-LB-14-3	-0.30	2.5330	aa		
13		SU-LB-14-4	-1.07	2.0298	ab		
14	SU-LB-15	SU-LB-15-1	1.19	4.1435	ab	Mollisols	Ustolls
15		SU-LB-15-2	-0.05	3.1198	aa		
16		SU-LB-15-3	0.43	2.6465	ab		

Para el nivel de significancia, la letra seguida de una letra igual es no significativa, mientras que una seguida de una letra diferente es significativa a un nivel de  $\alpha$  igual a 0.05 ( $p \leq 0.05$ ).

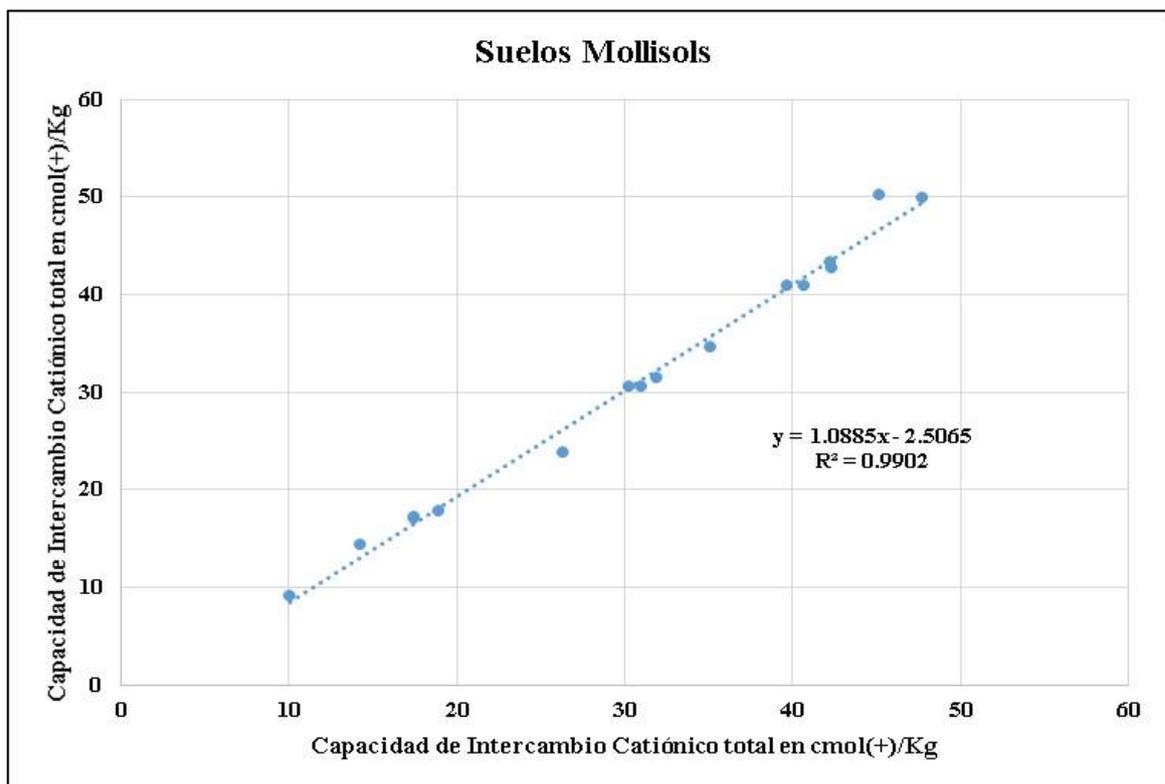
FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.5.4. Análisis de regresión y correlación lineal entre los dos métodos para los suelos Mollisols

Para observar el comportamiento de los promedios en los dos métodos aplicados, que nos permita tomar la decisión de optar por uno u otro sin incurrir en error grosero, se aplicó el análisis de regresión y la correlación lineal simple. Siguiendo el concepto de Ciesielski *et al.* (1997) se puede establecer una correlación lineal simple entre estas variables de tipo continuo. Para ello se colocaron los valores del método de titulación con formaldehído en el eje de las abscisas (eje X) mientras que los valores del método de destilación con micro-Kjeldahl se colocaron en el eje de las ordenadas (eje Y). Así, mediante el cálculo de la regresión se pudo establecer, que ambas variables correlacionan bastante bien, lo cual queda demostrado con la ecuación de la recta del tipo:

$$y = 1.0885x - 2.5065$$

cuyo coeficiente de regresión lineal es  $R^2 = 0.9902$ , mientras que su coeficiente de correlación de Pearson es  $r = 0.995087$ , lo cual indica que el cálculo de la regresión planteada podría explicar el 99.5087 % de los valores comparados, y que en este ensayo existe una correlación positiva ( $0 < r < 1$ ), un % considerado muy bueno desde el punto de vista estadístico. Nótese en la Figura N° 11 la distribución de los puntos de las coordenadas X e Y sobre la recta, en la cual se puede apreciar que, la mayoría de los puntos están sobre esta tal como se interpreta a partir del coeficiente de Pearson.



**Figura N° 11: Relación de los dos métodos para estimar la CIC en los suelos Mollisols**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.6. LOS SUELOS DE MATERIAL ORGÁNICO

Inicialmente y de acuerdo al sistema de clasificación de *Keys to soil taxonomy (Soil Survey Staff 2014)*, se había considerado trabajar este estudio con los suelos Histosols, pero debido a la dificultad de obtener suficiente cantidad de estos suelos en el banco de muestras del

LASPAF, se optó por trabajar con horizontes superficiales de suelos orgánicos, los cuales contenían 50 % ó más de concentración de materia orgánica según el análisis físico-químico de las muestras remitidas al laboratorio. Como se ha mencionado, se buscaron suelos que tuvieran las condiciones semejantes a las descritas para los suelos Histosols según *keys to soil taxonomy* (Soil Survey Staff, 2014), por lo menos para la capa superficial, es decir, suelos que no posean materiales ándicos (material vítreo de origen volcánico), poco contenido de materiales minerales (arenas, limos, arcillas, óxidos), que se encuentra suprayacente sobre material rocoso o dénsico, que tuviera una acumulación en profundidad desde la superficie de más de 30 cm, que poseyera tres cuartos o más de su volumen en base a fibras de musgos ó que al realizar la prueba de densidad aparente en húmedo, ésta fuera de  $0.1 \text{ gcm}^{-3}$  ó más, es decir ocupar un gran volumen con poca masa, una de las características de los materiales orgánicos (y del mismo humus), que suelen retener la humedad o el agua entre 7 a 12 veces su volumen. Las muestras en mención, cumplían con esta descripción para el horizonte superficial, pero no se podría afirmar que fueran suelos Histosols, pues faltaría la descripción de los horizontes subyacentes. Esta es la principal consideración por la cual no se han considerado a estos suelos como Histosols, sino como suelos de material orgánico. Estas muestras provienen de la región puna según Pulgar Vidal (Las ocho regiones del Perú, 1970), ubicada en Yauyos, en las nacientes de los ríos Cañete y Pachacayo, sobre los 3 500 msnm, en la Región Lima (Reserva paisajística Nor Yauyos-Cochas). Cabe mencionar que se han descrito para esta zona, suelos Histosols correctamente identificados. La información adicional que sustenta los criterios de clasificación, es decir, los análisis fisicoquímicos de los horizontes por calicata, se encuentran en los anexos del presente estudio. En consecuencia, al no tratarse de una clasificación taxonómica o edáfica propiamente dicha, estas calicatas o perfiles carecen de órdenes y subórdenes. Sin embargo, como ya se ha citado anteriormente, la característica de acumulación de la materia orgánica es un factor común que se ha empleado para agrupar a estos suelos (ver Cuadro N° 20).

#### **4.6.1. Parámetros fisicoquímicos que influyen en la CIC de los suelos de material orgánico**

El elevado contenido de materia orgánica (carbono orgánico) confiere a estos suelos algunas características a ser tomadas en cuenta cuando se evalúa la CIC e incluso la textura. Se ha mencionado que los coloides del suelo son las arcillas y la materia orgánica. Pues bien, para

el presente caso, estamos en el segundo caso. Siguiendo las pautas de keys to soil taxonomy (Soil Survey Staff, 2014), se menciona que para que un suelo sea considerado como de material orgánico y no consignar la textura (clase textural), este suelo, capa u horizonte debe poseer por lo menos 20 % de carbono orgánico (34.48 % de materia orgánica), los cuales cumplen los 9 horizontes consignados en este estudio. Otra característica ya señalada es la sobreestimación de la CIC por efecto de usar el método del acetato de amonio *bufferado* a pH 7.0, pero también está el hecho que, la materia orgánica acumulada en tales condiciones ambientales, genera cierto grado de acidez leve o fuerte según su naturaleza, lo cual hace que generalmente la saturación de bases (la sumatoria de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ) no alcance el 100 % . Se ha mencionado la generación de la acidez de este material, y esta se debe principalmente a los ácidos carboxílicos y radicales aromáticos (radicales carboxílicos,  $-\text{COO}^-$ ) que liberan al hidrógeno como protón ( $\text{H}^+$ ) de este complejo orgánico, mientras que la acidez debida a la presencia del aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) es muy baja. Las condiciones ambientales donde se concentran estos suelos, son por lo general, muy húmedas y de saturación la mayor parte del año, lo cual acentúa la acidez de estos suelos por condiciones de reducción.

Debido a lo anteriormente descrito, las cuantificaciones del amonio tanto por el método del formaldehído como de la destilación por micro-Kjeldahl, dieron valores que fluctuaron entre 70 y 98  $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ . Esta condición se mencionará y discutirá posteriormente.

Se muestran a continuación los valores de los parámetros más importantes que determinan la CIC para estos suelos de material orgánico obtenidos en los 9 muestreos superficiales. Esta información se muestra en el Cuadro N° 20.

**Cuadro N° 20: Parámetros fisicoquímicos que pueden influir en la CIC de los suelos de material orgánico**

N° orden	Claves del suelo		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	M.O. %	Clase Textural (M.O. mayor de 34.48 %)	Clasificación de suelos USDA	
	Calicata	Horizonte					Orden	Suborden
1	S/C	PaPh	6.83	0.84	73.60	Material orgánico	Material orgánico	Material orgánico
2	S/C	PmW	6.66	0.76	77.87	Material orgánico		
3	S/C	PmTd	6.11	0.54	79.00	Material orgánico		
4	S/C	PmPhD	6.93	0.68	76.69	Material orgánico		
5	S/C	Pb1	6.55	0.78	73.35	Material orgánico		
6	S/C	Pb2	6.57	0.60	81.35	Material orgánico		
7	S/C	PPh	5.65	0.53	80.45	Material orgánico		
8	S/C	PW	6.28	0.61	50.00	Material orgánico		
9	S/C	MPhD	6.40	0.83	74.36	Material orgánico		

FUENTE: Elaboración propia (2018).

**4.6.2. Valores de la CIC encontrados en los suelos de material orgánico empleando ambos métodos**

Para este caso, tenemos un rango comprendido desde los valores más bajos para la CIC (promedio de  $70.96 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de  $2.36 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 3.32 % para la titulación con formaldehído y promedio de  $74.00 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de  $1.08 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 1.46 % para la destilación con micro-Kjeldahl) para un suelo con 50.00 por ciento de materia orgánica, mientras que los valores más elevados para la CIC (promedio de  $92.16 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de  $1.84 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 2.00 % para la titulación con formaldehído y promedio de  $98.08 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , desviación estándar de  $2.30 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ , y coeficiente de variabilidad de 2.35 % para la destilación con micro-Kjeldahl) para un suelo con 77.87 de material orgánico. Se puede observar que, no todos estos suelos tienen el mismo grado de descomposición o humificación si la hubiera, y en segundo lugar, el efecto del pH del suelo, aunque para el caso de estos suelos oscilan entre 5.65 (moderadamente ácido) hasta 6.93 (neutro), lo cual si bien no generan una fuerte acidez por los protones  $\text{H}^+$ , si manifiestan suficiente cantidad de cargas no compensadas como indican los valores encontrados en la literatura para estas condiciones de pH (se pueden observar los valores de los cationes cambiables en cada uno de los suelos en los cuadros de los anexos).

Para este efecto, se muestran a continuación los valores promedio obtenidos para estimar la CIC con cada uno de los métodos, acompañados de sus correspondientes desviaciones estándar y coeficientes de variabilidad. Estos valores se pueden observar en el Cuadro N° 21.

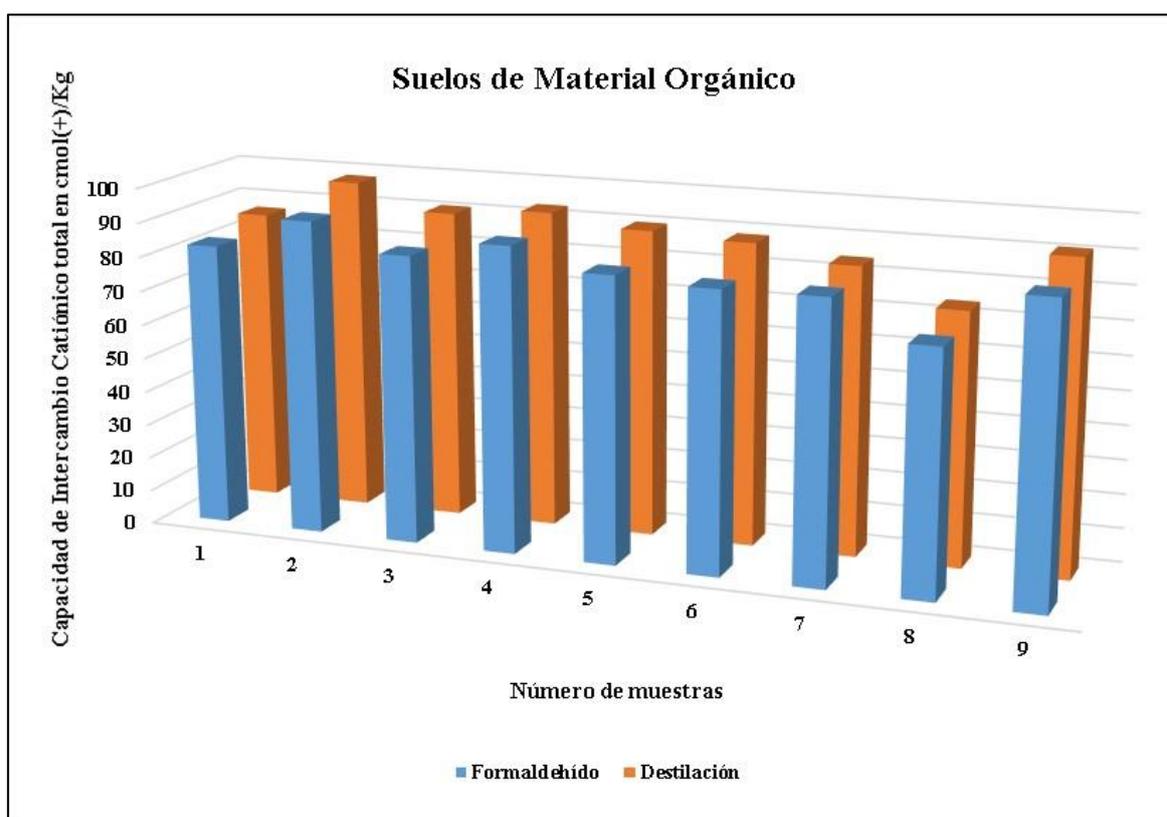
**Cuadro N° 21: Valores de la CIC encontrados en los suelos de material orgánico empleando ambos métodos**

N°	Claves del suelo		Titulación formaldehído		Destilación microKjeldahl			Clasificación Suelos USDA	
	Calicata	Horizonte	Prom. ± D.S. en cmol(+)Kg <sup>-1</sup>	C.V. (%)	Prom. ± D.S. en cmol(+)Kg <sup>-1</sup>	C.V. (%)	Orden	Suborden	
1	S/C	PaPh	82.80 ± 1.65	2.00	86.48 ± 2.43	2.81	Material orgánico	Material orgánico	
2	S/C	PmW	92.16 ± 1.84	2.00	98.08 ± 2.30	2.35			
3	S/C	PmTd	84.32 ± 1.69	2.01	90.88 ± 3.81	4.20			
4	S/C	PmPhD	89.36 ± 1.81	2.03	93.12 ± 2.83	3.04			
5	S/C	Pb1	83.36 ± 1.95	2.34	89.92 ± 3.78	4.20			
6	S/C	Pb2	81.76 ± 1.45	1.77	88.56 ± 1.36	1.54			
7	S/C	PPh	81.92 ± 2.11	2.57	84.24 ± 3.25	3.85			
8	S/C	PW	70.96 ± 2.36	3.32	74.00 ± 1.08	1.46			
9	S/C	MPhD	86.56 ± 2.35	2.71	91.12 ± 2.31	2.53			

FUENTE: Elaboración propia (2018).

De manera similar a lo que ocurre con los suelos de los otros órdenes de suelos, a partir de los resultados mostrados, se puede construir un gráfico de barras que representa las comparaciones entre los dos métodos empleados para estimar la CIC. Así se pueden apreciar gráficamente en la Figura N° 12 los valores de ambos métodos de estimación. Se puede notar en la mayoría de ellos un comportamiento parecido, aunque se debe anotar que existen ligeras discrepancias entre todos los valores de los señalados con los números 1 (PaPh), 2 (PmW), 3 (PmTd), 4 (PmPhD), 5 (Pb1), 6 (Pb2), 7 (PPh), 8 (PW), y 9 (MPhD), siendo todos horizontes superficiales. Dichas discrepancias pueden deberse sobre todo al punto de viraje de la titulación con formaldehído, el cual debe alcanzar un color grosella intenso y no simplemente el color rosado tenue que se refiere en la literatura. Se debe hacer mención que, luego de las lecturas obtenidas mediante titulación con formaldehído, a los 15 días de terminada la prueba, se realizó una verificación de la titulación con formaldehído, pero en esta ocasión se aumentó el volumen de solución de formaldehído de 2 mL a 5mL, y se consiguió con ello una mejor aproximación a las lecturas obtenidas mediante destilación por micro-Kjeldahl. Pero estas verificaciones se realizaron de manera aleatoria y *a posteriori*,

sin llegar a realizarla a todas las repeticiones. Por ello ha de tenerse en cuenta que es necesario un buen entrenamiento visual para evitar mayores diferencias de lectura que puedan alejar el valor estimado de la CIC del verdadero promedio, y queda como sugerencia el empleo de mayor cantidad de formaldehído cuando se trabaje con muestras demasiado orgánicas o con elevado contenido de arcillas. Sin embargo, para las consideraciones de prueba estadística, se realizó la prueba de t-Student, con un nivel de  $\alpha$  igual a 0.05 para la prueba de comparación de promedios.



**Figura N° 12: Comparación gráfica entre ambos métodos para los suelos de material orgánico.**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.6.3. Evaluación estadística de los resultados en los suelos de material orgánico

La prueba estadística adecuada para el presente ensayo es la prueba de t-Student, debido a que se trata de una comparación de promedios. Una condición que se debe asumir para realizar esta prueba es que la distribución de los valores o conjunto de ellos sigue una distribución normal, lo cual es un supuesto de la estadística paramétrica. Por ello, se

organizaron los datos de manera tal que se pudieran observar los valores de los promedios indicados en el Cuadro N° 22, enumerados de 1 al 9 conteniendo a todos los horizontes superficiales. De manera adicional de han consignado las diferencias de promedios entre la estimación de la CIC mediante la titulación con formaldehído menos la estimación de la CIC mediante la destilación con micro-Kjeldahl. A partir de estos datos se puede dar cuenta de lo siguiente, que las diferencias de estos promedios son positivos cuando la CIC mediante la titulación con formaldehído es mayor, y es negativa cuando la CIC mediante la destilación con micro-Kjeldahl es mayor para esta comparación, es decir que el orden es importante. Así mismo, notamos que todas las diferencias de promedios son negativas (con valores entre -2.32 a -6.80), los cuales podrían considerarse como grandes diferencias, pero que al tratarse de valores elevados de la CIC, tales diferencias, que serían significativas si la CIC tuviera los valores de un suelo arenoso, por ejemplo, no lo son en este tipo de suelos debido a la magnitud de la CIC. Esto ya puede considerarse un indicador de que los valores encontrados están próximos al verdadero promedio de la CIC. Otro aspecto a tener en cuenta es el coeficiente de variabilidad (C.V.) extraído de la prueba estadística de t-Student corrida en el programa Software Estadístico SAS ver. 9.1, es decir a aquel que es compartido entre los dos promedios y ya no el referido de manera individual. Así podemos indicar que, de acuerdo a los valores encontrados, estos no superan el 5 % . Estos valores concuerdan con lo mencionado por Calzada (1982), quien señala que en ciertos ensayos agronómicos y de laboratorio se pueden considerar aceptables las desviaciones con respecto al promedio de un 5 % (por exceso o por defecto). Después de lo antes mencionado, ahora sí se puede concluir con el nivel de significancia de la prueba de t-Student, con una probabilidad de ocurrencia del 95 % , es decir con un nivel de  $\alpha$  de 5 % que. La casi totalidad de las comparaciones de promedios son significativas, excepto para la muestra número 7 (PPh), la cual es no significativa. Lo que se busca en esta prueba es que la mayoría de las comparaciones entre los promedios de los dos métodos indiquen valores no significativos, en lugar de indicar significancia. Para el nivel de significancia, aparecen letras. Las letras iguales indican no significancia (aa), en tanto letras diferentes indican significancia (ab) a un nivel de probabilidad de 5 % ( $p \leq 0.05$ ). Esto quiere decir, de acuerdo a la hipótesis planteada, que los valores encontrados para estimar la CIC mediante ambos métodos sean semejantes. Así tenemos que, se ha obtenido 1 valor no significativo (que indica semejanza entre los métodos empleados), mientras que otros 8 valores han alcanzado un valor significativo (lo cual significa estadísticamente alguna diferencia entre los valores encontrados para ambos métodos). Como comentario adicional se puede mencionar que, en el gráfico de barras se

notaban con una mayor diferencia los valores consignados para todos los horizontes, mientras que para la prueba de t-Student solamente la muestra con el número 7 indica no significancia, es decir semejanza de promedios. Para mayor observación, ver el Cuadro N° 22.

**Cuadro N° 22: Diferencia de promedios, coeficiente de variabilidad y niveles de significación en la prueba t-Student para los suelos de material orgánico**

N°	Claves del suelo		Diferencia de Promedios (en cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	C.V. (%)	Nivel de Significancia	Clasificación Suelos USDA	
	Calicata	Horizonte				Orden	Suborden
1	S/C	PaPh	-3.68	2.4546	ab	Material orgánico	Material orgánico
2	S/C	PmW	-5.92	2.1995	ab		
3	S/C	PmTd	-6.56	3.3678	ab		
4	S/C	PmPhD	-3.76	2.6018	ab		
5	S/C	Pb1	-6.56	3.4685	ab		
6	S/C	Pb2	-6.80	1.6525	ab		
7	S/C	PPh	-2.32	3.2929	aa		
8	S/C	PW	-3.04	2.5303	ab		
9	S/C	MPhD	-4.56	2.6210	ab		

Para el nivel de significancia, la letra seguida de una letra igual es no significativa, mientras que una seguida de una letra diferente es significativa a un nivel de  $\alpha$  igual a 0.05 ( $p \leq 0.05$ ).

FUENTE: Elaboración propia (2018).

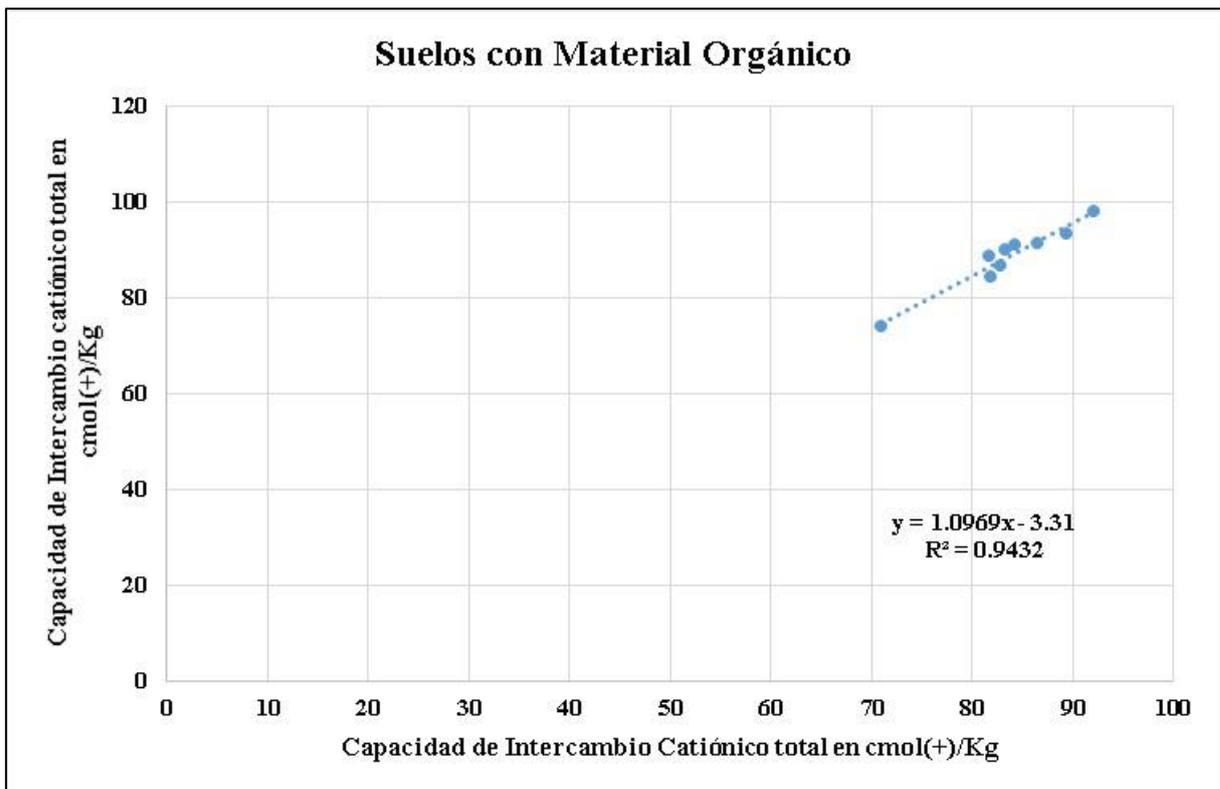
#### 4.6.4. Análisis de regresión y correlación lineal entre los dos métodos para los suelos de material orgánico

Para observar el comportamiento de los promedios en los dos métodos aplicados, que nos permita tomar la decisión de optar por uno u otro sin incurrir en error, se utilizó el análisis de regresión y la correlación lineal simple. Para ello, se tomaron los valores promedios de los dos métodos para la estimación de la CIC, mediante la titulación con el formaldehído y la destilación con equipo micro-Kjeldahl, Dado que son valores que expresan o estiman lo mismo y tienen las mismas unidades (cmol(+)Kg<sup>-1</sup>), y de acuerdo con Ciesielski *et al.* (1997), se puede establecer una correlación lineal simple entre estas variables de tipo continuo. Para ello se colocaron los valores del método de titulación con formaldehído en el eje de las abscisas (eje X) mientras que los valores del método de destilación con micro-Kjeldahl se colocó en el eje de las ordenadas (eje Y). Así, mediante el cálculo de la regresión se pudo

establecer, que ambas variables correlacionan bastante bien, lo cual queda demostrado con la ecuación de la recta del tipo

$$y = 1.0969x - 3.31$$

cuyo coeficiente de regresión lineal es  $R^2 = 0.9432$ , mientras que su coeficiente de correlación de Pearson es  $r = 0.971184$ , lo cual indica que el cálculo de la regresión planteada podría explicar el 97.1184 % de los valores comparados (Rodríguez-Martínez, 2005), y que en este ensayo existe una correlación positiva ( $0 < r < 1$ ), un % considerado muy bueno desde el punto de vista estadístico. Sin embargo se debe anotar que, Rodríguez-Martínez también afirma que, para expresar una mejor confianza del valor de la regresión lineal, el intercepto con el eje de las ordenadas (Y) debe ser tendiente al origen (cero) y no a valores enteros de dicho eje. Esta última observación es de utilidad debido a la sugerencia para emplear mayor cantidad de solución de formaldehído en muestras con elevado contenido de material orgánico (% de materia orgánica mayor o igual a 50 %). Nótese en la Figura N° 13 la distribución de los puntos de las coordenadas X e Y sobre la recta, en la cual se puede apreciar que, la mayoría de los puntos están próximos tal como se interpreta a partir del coeficiente de Pearson.



**Figura N° 13: Relación de los dos métodos para estimar la CIC en los suelos de material orgánico.**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### **4.7. Análisis general de regresión y correlación lineal entre todos los suelos de este estudio**

Después de haber revisado tanto en forma gráfica como estadística los resultados de todos los agrupamientos de suelos u ordenes (Aridisols, Entisols, Inceptisols, Andisols, Mollisols y suelos de material orgánico) y también tras haber cotejado las bondades de cada uno de ellos para una mejor aproximación, al elegir uno u otro método para cuantificar la CIC, se aplicó la regresión y correlación lineal simple, tal como se hizo para cada uno de los órdenes de suelos, observándose una buena aproximación entre los valores obtenidos mediante uno u otro método.

Para ello, se tomaron todos los valores promedios de ambos métodos dado que son valores que expresan o cuantifican lo mismo y tienen las mismas unidades ( $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ ) y, siguiendo el criterio de Ciesielski *et al.* (1997) se puede establecer una correlación lineal

simple entre estas variables de tipo continuo. Se colocaron los valores del método de titulación con formaldehído en el eje de las abscisas (eje X) mientras que los valores del método de destilación con micro-Kjeldahl se colocaron en el eje de las ordenadas (eje Y). Así, mediante el cálculo de la regresión lineal se pudo establecer, que ambas variables correlacionan bastante bien, lo cual queda demostrado con la ecuación de la recta del tipo

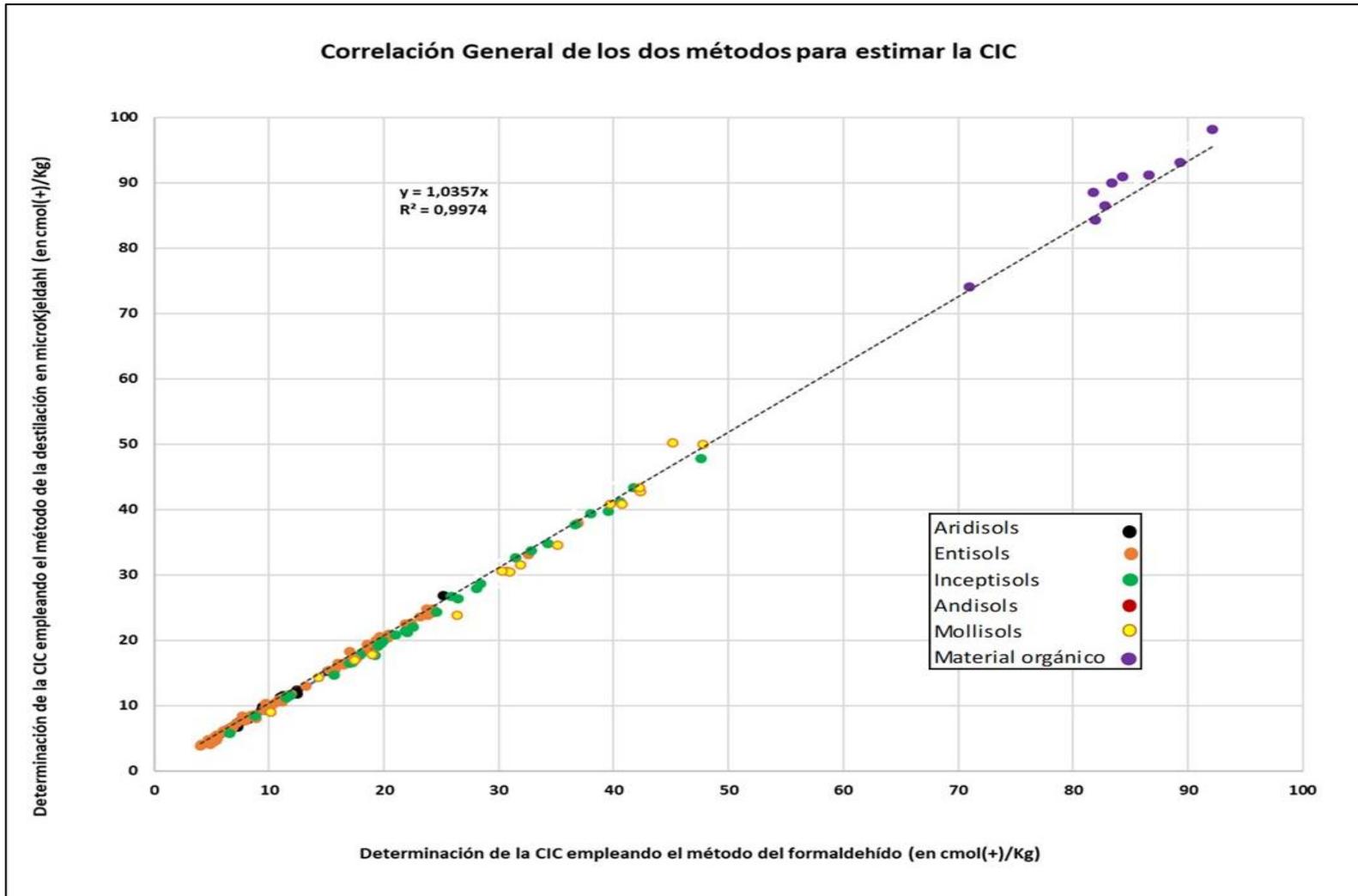
$$y = 1.0357x$$

cuyo coeficiente de regresión lineal es  $R^2 = 0.9974$ , mientras que su coeficiente de correlación de Pearson es  $r = 0.998699$ , lo cual indica que el cálculo de la regresión planteada explicaría el 99.8699 % de los valores comparados, y que en este ensayo existe una correlación positiva ( $0 < r < 1$ ), un % considerado excelente desde el punto de vista estadístico. Nótese en la figura N° 14 la distribución de los puntos de las coordenadas X e Y sobre la recta, en la cual se puede apreciar que, la mayoría de los puntos están sobre esta tal como se interpreta a partir del coeficiente de Pearson. La ecuación de la recta para este caso es de la forma:

$$y = mx \pm b$$

la cual para que tenga un mejor intervalo de confianza y estimación de valores, debe disminuir al mínimo (tendiente a cero) el intercepto b con el eje de ordenadas (Y) (Rodríguez-Martínez 2005), lo cual se cumple en esta ecuación general para todos los suelos en estudio.

Los resultados de este análisis permiten aseverar que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que se puede utilizar uno u otro método en la cuantificación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en todos los suelos presentados en este estudio y aún hacerlo extensivo a los otros ordenes de suelos que no se llegaron a considerar en el presente trabajo.



**Figura N° 14: Correlación entre los dos métodos para estimar la CIC entre todos los órdenes de suelos.**

FUENTE: Elaboración propia (2018).

#### 4.8. OBSERVACIONES FINALES

En base a lo ya descrito para cada orden de suelo se recalcan las siguientes consideraciones:

- La luz que se emplea para observar el punto final de viraje (*endpoint*) al momento de la titulación, sobre todo al titular con la solución de formaldehído, ha de ser la luz del día o luz blanca intensa y no la tenue, para observar en forma clara el cambio de color o viraje, de incoloro a grosella intenso.
- Para lograr lo antes mencionado, es importante el entrenamiento visual en los operarios o analistas que desarrollen la titulación empleando formaldehído, para que puedan determinar el punto de viraje apropiado.
- Se ha observado que sería necesario agregar más solución de formaldehído para las muestras muy orgánicas. Así, para el caso del presente estudio, para los pesos y volúmenes empleados, donde se emplean 2 mL de la solución de formaldehído, se podrían emplear 5 mL y así mejorar la aproximación de cuantificación del amonio y con ello el valor de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).
- Para que la correlación estadística sea considerada excelente o muy buena, el intercepto con el eje de las ordenadas, el valor b, debe ser muy pequeño o cero, para que la ecuación de la recta pase por el origen, como se ha observado en el caso de la correlación general entre los dos métodos de ensayo para cuantificarla CIC.
- De acuerdo con el trabajo desarrollado en el presente estudio, se ha comprobado que en una unidad de tiempo de 1 hora se han logrado destilar un promedio de 20 muestras en el equipo micro-Kjeldahl, mientras que mediante la titulación con formaldehído se lograron trabajar un promedio de 60 y 70 muestras para la misma unidad de tiempo, lo cual representa 66 – 70 % de ahorro en tiempo y rendimiento para la obtención de resultados.
- Así mismo, se debe mencionar el factor costo en lo referido a los reactivos, equipos y materiales utilizados entre uno y otro método, por lo cual se podría realizar la determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico por el método del formaldehído con ahorro económico (ver información al respecto en los anexos).

## V. CONCLUSIONES

1. En este ensayo se han probado muestras de suelos clasificados en cinco órdenes taxonómicos: Aridisols (22 muestras), Entisols (78 muestras), Inceptisols (32 muestras), Andisols (3 muestras), Mollisols (16 muestras), y adicional a ellos los suelos de material orgánico (9 muestras). En todos ellos, los valores de cuantificación del amonio mediante la titulación con formaldehído comparados con la destilación con equipo micro-Kjeldahl, han demostrado valores semejantes en sus promedios.
2. La prueba estadística de comparación de promedios de la CIC, prueba t-Student, dio valores de Significancia (S. para un nivel de  $\alpha = 0.05$ ) para 68 promedios de muestras u horizontes, y fue No Significativa (N.S.) para los otros 92 promedios de muestras. Esta condición quizás se deba a que, el suelo es un material que no es homogéneo y pueden existir diferencias entre los elementos que lo componen y, el error experimental debido al operario o la persona que efectuó, las pesadas, las secuencias de los filtrados, y las titulaciones. Los coeficientes de variabilidad (C.V.) no excedieron el 5 % en la mayoría de los casos.
3. Para este estudio, las pruebas de regresión y correlación lineal simple para los promedios de la CIC de las órdenes de suelos, agrupados en forma individual fueron: los suelos Aridisols, presentaron una ecuación de la forma  $y = 1.0695x - 0.634$ , con intersección en el eje de las ordenadas (b), valor del coeficiente de correlación lineal  $R^2 = 0.997$  y el coeficiente de correlación de Pearson  $r = 0.99849$ , considerado como muy bueno para utilizar uno u otro método; los suelos Entisols, presentaron una ecuación de la forma  $y = 1.0278x - 0.3672$ , con intersección en el eje de las ordenadas (b), valor del coeficiente de correlación lineal  $R^2 = 0.998$  y el coeficiente de correlación de Pearson  $r = 0.99899$ , considerado como muy bueno para utilizar uno u otro método; los suelos Inceptisols, presentaron una ecuación de la forma  $y = 1.051x - 1.275$ , con intersección en el eje de las ordenadas (b), valor del coeficiente

de correlación lineal  $R^2 = 0.9979$  y el coeficiente de correlación de Pearson  $r = 0.998949$ , considerado como muy bueno para utilizar uno u otro método; los suelos Andisols, presentaron una ecuación de la forma  $y = 1.0676x - 1.1567$ , con intersección en el eje de las ordenadas (b), valor del coeficiente de correlación lineal  $R^2 = 0.9899$  y el coeficiente de correlación de Pearson  $r = 0.999949$ , considerado como muy bueno para utilizar uno u otro método; los suelos Mollisols, presentaron una ecuación de la forma  $y = 1.088x - 2.5065$ , con intersección en el eje de las ordenadas (b), valor del coeficiente de correlación lineal  $R^2 = 0.9902$  y el coeficiente de correlación de Pearson  $r = 0.995087$ , considerado como muy bueno para utilizar uno u otro método; y los suelos de material orgánico, presentaron una ecuación de la forma  $y = 1.0969x - 3.31$ , con intersección en el eje de las ordenadas (b), valor del coeficiente de correlación lineal  $R^2 = 0.9432$  y el coeficiente de correlación de Pearson  $r = 0.971184$ , considerado como bueno para utilizar uno u otro método.

4. Las pruebas de regresión y correlación lineal simple para todos los promedios de la CIC de todas las órdenes de suelos agrupados en general, presentaron una ecuación de la forma  $y = 1.0357x$ , sin valor en el intercepto con el eje de las ordenadas (b), lo cual evidencia una excelente relación entre ambos métodos, reforzados por los valores del coeficiente de regresión lineal  $R^2 = 0.9974$  y el coeficiente de correlación de Pearson  $r = 0.998699$ , que explicaría un 99.8699 % de confianza al utilizar uno u otro método para cuantificar el amonio y así estimar la CIC mediante el empleo de acetato de amonio.
5. El método que emplea el formaldehído para cuantificar el amonio del acetato de amonio empleado para cuantificar la CIC, ha demostrado que puede ahorrar energía (electricidad o gas) para provocar la fuente de calor, y agua como medio de refrigeración en el caso de usar un equipo Kjeldahl o micro-Kjeldahl, obviando además el proceso de la destilación. Otras consideraciones son el menor tiempo por prueba (emplea de 66 a 70 % menos tiempo para cuantificar el amonio), y menor inversión en materiales y reactivos.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Entrenamiento para determinar el punto final de viraje (*endpoint*) al titular con formaldehído hasta la obtención del color rojo grosella, expuesto a la luz del día o luz blanca intensa.
2. Realizar otras comparaciones con los órdenes de suelos no incluidos en este ensayo. Se pueden citar a los Alfisols, Ultisols, Gelisols, Spodosols, Histosols, Vertisols, y Oxisols, para reforzar la utilidad del método sugerido.
3. Realizar una comparación de resultados obtenidos para la cuantificación del amonio con otras instituciones de investigación, universidades, o laboratorios (lo que se conoce como inter-laboratorios), pues los valores para la estimación de la CIC deben ser semejantes y replicables.
4. Tener los cuidados recomendados para la manipulación del formaldehído y de los ambientes, equipos y materiales de laboratorio necesarios para evitar los riesgos de salud inherentes al desarrollo de este método de ensayo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, CI; Spaulding, GH. 1955. Determination of organic nitrogen by Kjeldahl method without distillation. *Analytical Chemistry* 27(6): 1003-1004 DOI: 10.1021/ac60102a040. Available from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac60102a040>

Arzola, N; Fundora, O. 2010. Manejo de suelos, fertilizantes y enmiendas en armonía con la conservación del entorno. Cuba. ISBN 978 – 959 – 257 – 140 – 2.

Bazán, R. 1996. Manual de análisis químico de suelos, aguas y plantas. Universidad Nacional Agraria La Molina – Fundación Perú – Fundación para el Desarrollo Agrario. Lima, Perú.

Bazán, R; García, S; Nazario, J; Romero, C; Valencia, M; Vega, R. 2010. Manual de Prácticas de Edafología. Facultad de Agronomía. Departamento de Suelos. UNALM. Lima, Perú.

Bernardi, C; Tabilo, G. 1975. Estudio comparativo de métodos para la determinación de capacidad de intercambio catiónico en suelos de la provincia de Santiago. En *Agricultura técnica (Chile)* 35: 134-138 (Julio-Septiembre, 1975). Chile. Disponible en <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR14492.pdf>

Bradstreet, RB. 1940. A review of the Kjeldahl determination of organic nitrogen. *Chemical reviews* 27 (2): 331-350 DOI: 10.1021/cr60087a002. Available from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/cr60087a002>

Brady, N. 1984. The nature and properties of soils. Ninth edition. Cornell University and United States Agency for International Development. Macmillan Publishing Company. New York. USA. 780 p.

- Burt, R; Soil Survey Staff. 2014. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report 42, Version 5.0. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. Available from [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcseprd1026807.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd1026807.pdf)
- Calzada, J. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Milagros S.A. Lima, Perú. 644 p.
- Cervantes, A; Marques dos Santos, MJ. 2007. Diseño de experimentos. Curso básico. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores. Zaragoza. México. 162 p. IBN: 970-32-2913-1. Disponible en [https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/ecocuan/ecocuan\\_dis\\_manual.pdf](https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/ecocuan/ecocuan_dis_manual.pdf)
- Chapman, H; Pratt, P. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. México. Trillas. 195 p.
- Ciesielski, H; Sterckerman, T; Santerne, M; Willery, JP. 1997. A comparison between three methods for the determination of cation exchange capacity and exchangeable cations in soils. Agronomie, EDP Sciences 17(1): 9-16. France. Available from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00885821/document>
- Clarke, HT; Gillepsie, HB; Weisshaus, SZ. 1933. The action of formaldehyde on amines and amino acids 1. Journal of the American Society 55(11): 4571-4587. DOI: 10.1021/ja01338a41 Available from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja01338a041>
- Consejería de sanidad. 2007. Formaldehído. Riesgo químico: accidentes graves. Dirección general de salud pública. Servicio de sanidad ambiental. Región de Murcia. España. Disponible en <https://www.murciasalud.es/recursos/ficheros/104464-Formaldehido.pdf>
- Cruañas, R. 1983. Nuevo método potenciométrico para la determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico y estudio de su dinámica en suelos y arcillas. Memoria para

optar el Grado de Doctor en Ciencias Químicas. Universitat de Barcelona. España.  
Disponible en <https://www.tesisenred.net/handle/10803/22639>

Departamento del Meta. 2015. Guía para la validación de métodos de ensayo. NIT. 892.000.148-8. Colombia. 26 p. Disponible en <https://www.meta.gov.co/web/sites/default/files/adjuntos/P-SA-85%20GUIA%20PARA%20LA%20VALIDACION%20DE%20METODOS%20DE%20ENSAYO%20V1.pdf>

Espinoza-Llórens, MC; León-Hernández, Y; Rodríguez-Petit, X. 2013. Problemática de la determinación de especies nitrogenadas (nitrógeno total y amoniacal) en aguas residuales. Revista CENIC. Ciencias Químicas, vol. 44, 2013, 1-12. Centro Nacional de Investigaciones Científicas, La Habana, Cuba. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181629303001>

Eurolab España; Morillas, P; y colaboradores. 2016. Guía Eurachem: La adecuación al uso de los métodos analíticos – Una Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados. 1 ed. Disponible en [www.eurachem.org](http://www.eurachem.org)

Fernández, LC; Rojas, NG; Roldán, TG; Ramírez, ME; Zegarra, HG; Hernández, RU; Reyes, RJ; Flores, D; Arce, JM. 2006. Manual de técnicas de análisis aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Instituto Mexicano del Petróleo – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Instituto Nacional de Ecología. México. Disponible en <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG008215.pdf>

García, JA; Castillo, A; Ramírez, ME; Rendón, G; Larqué, MU. 2001. Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, Hsu y Bechnofer para la selección de medias. Agrociencia 35(1): 79-86. Colegio de Postgraduados Texcoco, México. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/302/30235107.pdf>

Gregorio, J; Lanza, P; Churión, C. 2016. Comparación entre el método Kjeldahl tradicional y el método Dumas automatizado (N cube) para la determinación de proteínas en

distintas clases de alimentos. Instituto Nacional de Nutrición, Venezuela. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427749623006>

Grissom, JT. 1920. The formaldehyde method for determining ammonium nitrate. Journal of industrial & engineering chemistry 12(2): 1972-1973 DOI: 10.1021/ie500122a026. Available from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie50122a026>

Haluschak, P (ed.) 2006. Laboratory methods of soil analysis. Canada – Manitoba soil survey. Canada. Available from [https://www.gov.mb.ca/agriculture/soil/soil-survey/pubs/laboratory\\_methods\\_of\\_soil\\_analysis.pdf](https://www.gov.mb.ca/agriculture/soil/soil-survey/pubs/laboratory_methods_of_soil_analysis.pdf)

Hang, S. 2012. El Complejo de Intercambio (CI) del suelo. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) Parte I. Temas de Edafología: Capítulos 4 y 5. Disponible en [blog.ucc.edu.ar/edafologia/files/2013/08/CIC-2012.pdf](http://blog.ucc.edu.ar/edafologia/files/2013/08/CIC-2012.pdf)

Henríquez, M; Pérez, J; Gascó, JM; Rodríguez, O. 2005. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico en arena y caolín usando Acetato de Amonio, Acetato de Sodio y Cloruro de Amonio. Bioagro 17(1): 59-62. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/857/85717108.pdf>

Holstege, D; Price, P; Miller, RO; Meyer, D. 2010. University of California, Davis, California. California Analytical Methods Manual for Dairy General Order Compliance – Nutrient Management Plan Constituents. University of California, Davis Analytical Laboratory. Available from <http://anlab.ucdavis.edu/docs/uc.analytical.methods.pdf>

INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, Perú). 2011. NTP 311.531.2011. FERTILIZANTES. Método cuantitativo para la determinación de nitrógeno amoniacal por titulación previo tratamiento por Formaldehído. Lima, Perú.

ISRIC (International Soil Reference and Information Centre, The Netherlands). 2002. Procedures for soil analysis. Technical paper 9. Sixth edition. Compiled and edited by

L.P. van Reeuwijk. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The Netherlands. Disponible en

[https://www.isric.org/sites/default/files/ISRIC\\_TechPap09.pdf](https://www.isric.org/sites/default/files/ISRIC_TechPap09.pdf)

Jaremko, D; Kalembasa, D. 2014. A comparison of methods for the determination of cation exchange capacity of soils. ECOL CHEM ENG S. 2014; 21 (3):487-498. DOI: 10.2478/eces-2014-0036.

Marcali, K; Rieman, W. 1946. Kjeldahl determination of nitrogen. Elimination of distillation. Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition 18(11): 709-710. DOI: 10.1021/i560159a016

Marcali, K; Rieman, W. 1948. Kjeldahl determination of nitrogen without distillation Analytical Chemistry 20(4): 381-382 DOI: 10.1021/ac60016a037. Available from [https://www.academia.edu/7994388/Kjeldahl\\_Determination\\_of\\_Nitrogen\\_without\\_Distillation](https://www.academia.edu/7994388/Kjeldahl_Determination_of_Nitrogen_without_Distillation)

Martínez-Rodríguez, E. 2005. Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. Anuario jurídico y económico Escorialence 38: 315-332/ ISSN: 1133-3677. Real Centro Universitario San Lorenzo del Escorial. Disponible en [https://www.rcumariacristina.com/wp-content/uploads/2010/12/11-Elena-Martinez\\_1.pdf](https://www.rcumariacristina.com/wp-content/uploads/2010/12/11-Elena-Martinez_1.pdf)

McKean, S. 1993. Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Una guía teórica y práctica de metodologías. Documento de trabajo N° 129. Laboratorio de servicios analíticos. Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Costa Rica. Disponible en [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/Digital/S593.M2\\_Manual\\_de\\_analisis\\_de\\_suelos\\_y\\_tejido\\_vegetal\\_Una\\_gu%C3%ADa\\_de\\_metodolog%C3%ADa\\_de\\_metodologia.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_analisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_de_metodolog%C3%ADa_de_metodologia.pdf)

Michalowski, T; Asuero, AG; Wybraniec, S. 2013. The titration in the Kjeldahl method of nitrogen determination: Base or acid as titrant? Journal of Chemical Education 90(2):

191-197. DOI: 10.1021/ed200863p. Available from [https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/ed200863p/suppl\\_file/ed200863p\\_si\\_001.pdf](https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/ed200863p/suppl_file/ed200863p_si_001.pdf)

Milla, M. 2013. A formaldehyde-based assay for ammonium N in fertilizers. Interactive exercise. <http://hdl.handle.net/10498/15373>

Mulvaney, RL; Yaremych, SA; Khan, SA; Swwiader, JM; Horgan, BP. 2004. Use of diffusion to determine Cation-Exchange Capacity by Ammonium Saturation, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35: 1-2, 51-67. Available from <http://dx.doi.org/10.1081/CSS-120027634>

Pacheco, J. 1999. Factibilidad técnico – económica para la instalación de una planta productora de hexametilentetramina dentro de la empresa Q.B. Químicos de México S.A. de C.V. Tesis. Ingeniero Químico Industrial. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. México D.F. 197 p. Disponible en <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/17091/1/25-1-14761.pdf>

Parker, RB. 1928. A critical study of the hydrolysis of proteins with enzymes and inorganic reagents. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Massachusetts Institute of Technology. Available from <https://core.ac.uk/download/pdf/4434104.pdf>

Pulgar, J. 1970. Geografía del Perú: Las ocho regiones naturales del Perú. Universo S.A. Lima, Perú.

Pyne, GT. 1932. The determination of milk-proteins by formaldehyde titration. *Biochemical Journal* 26(4): 1006-1014. PMID: 16744902.

Rhoades, J.D. 1982. Cation Exchange capacity. In *Methods of soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties – Agronomy Monograph N° 9 (2nd Edition)* USA.

- Richmond, HH; Myers, GS; Wright, GF. 1948. The reaction between formaldehyde and ammonia. *Journal of the American Chemical Society* 70(11): 3659-3664. DOI: 10.1021/ja01191a034
- Richter, M. 1980. Mejoras en la determinación de amonio por destilación. En *Rev. Facultad de Agronomía* 1(2): 1-9, 1980. Argentina. Disponible en <http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/facultadagronomia/1980richterm.pdf>
- Ross, D; Ketterings, Q. 2011. Recommended Methods for determining Soil Cation Exchange Capacity. In *Cooperative Bulletin N° 493. Chapter 9. Recommended Soil Testing Procedures for the Northeastern United States Last Revised 5/2011.* p. 75-86. Available from <https://s3.amazonaws.com/udextension/lawngarden/files/2012/10/CHAP9.pdf>
- Salinas, JG; García, R. 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Programa de Pastos Tropicales, Cali, Colombia. 83 p.
- Soil Survey Staff, USA. 2014. *Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil survey investigations report N° 51 Version 2.0.* R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, National Resources Conservation Service (NRCS). Available from [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1244466.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1244466.pdf)
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy. 12th Edition.* U.S. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. (Trad.) Disponible en [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051546.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf)
- Tack, FM (ed.) 1995. *Soil Chemistry. Laboratory of Analytical & Applied Ecochemistry. Department of Applied & Analytical Chemistry. Faculty of Bioscience Engineering. Ghent University. Belgium.*

Tucker, BM. 1974. Laboratory Procedures for Cation Exchange Measurements on Soils. Division of Soils Technical Paper N° 23, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia 1974, Melbourne, CSIRO Aust. Div. Soils Tech. pap. 23: 1-46. ISBN 0 643 00114 X. Available from <https://publications.csiro.au/rpr/download?pid=procite:9b8358f7-aefe-45a5-a61b-adda22949188&dsid=DS1>

Vano, K; Jiménez, Y; de Núñez, MG. 2011. Estimación de la incertidumbre de la medición para la determinación de proteínas en alimentos por el método de Kjeldahl. Revista Ingeniería UC, 18(1): 28-37 (enero-abril 2011). Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. Disponible en [file:///C:/Users/Juan%20G/Downloads/art%C3%ADculo\\_redalyc\\_70723245005%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Juan%20G/Downloads/art%C3%ADculo_redalyc_70723245005%20(1).pdf)

Yúfera, E.P.; Carrasco, J.M. 1981. Química Agrícola I. Suelos y Fertilizantes. Alhambra. Madrid. España. 472 p.

## **VIII. ANEXOS**

**Anexo N° 1: Análisis físico - químico de suelos : caracterización de los suelos en estudio**

N° orden	Claves del suelo		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	Procedencia		Clasificación de suelos USDA									
	Calicata	Horizonte							Arena	Limo	Arcilla		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>				Región	Provincia	Orden	Suborden								
																									%	%	%	meq/100g				
1	C-1	C-1-1	7.86	6.28	0.30	0.04	1.7	424	66	22	12	Fr.A.	4.36	0.22	0.60	0.43	0.00	5.60	5.60	100	TACNA	TACNA	Aridisols	Salids								
2		C-1-2	7.52	20.10	0.00	0.04	1.7	326	80	14	6	A.Fr.	3.65	0.15	0.43	0.57	0.00	4.80	4.80	100	TACNA	TACNA										
3		C-1-3	7.55	15.23	0.00	0.04	4.0	544	74	20	6	Fr.A.	4.17	0.17	0.64	0.63	0.00	5.60	5.60	100	TACNA	TACNA										
4	C-3	C-3-1	7.61	28.70	0.00	0.03	2.8	568	78	16	6	A.Fr.	7.37	0.55	0.85	0.51	0.00	9.28	9.28	100	TACNA	TACNA	Aridisols	Salids								
5		C-3-2	7.38	35.40	0.00	0.03	2.4	445	88	6	6	A.Fr.	5.37	0.28	0.37	0.37	0.00	6.40	6.40	100	TACNA	TACNA										
6		C-3-3	7.54	28.20	0.00	0.04	2.9	535	82	12	6	A.Fr.	5.43	0.33	0.52	0.43	0.00	6.72	6.72	100	TACNA	TACNA										
7	C-17	C-17-1	7.00	51.20	0.00	0.04	32.3	1089	76	14	10	Fr.A.	4.03	2.70	0.79	0.79	0.00	8.32	8.32	100	TACNA	JORGE BASADRE	Aridisols	Salids								
8		C-17-2	7.06	20.80	0.00	0.03	7.8	508	84	10	6	A.Fr.	4.53	1.23	0.70	0.58	0.00	7.04	7.04	100	TACNA	JORGE BASADRE										
9		C-17-3	6.75	33.40	0.00	0.04	7.8	1252	78	14	8	Fr.A.	4.20	3.10	1.25	0.73	0.00	9.28	9.28	100	TACNA	JORGE BASADRE										
10		C-17-4	6.84	37.10	0.00	0.04	12.6	730	82	10	8	A.Fr.	3.18	1.52	0.72	0.50	0.00	5.92	5.92	100	TACNA	JORGE BASADRE										
11	C-18	C-18-1	6.54	28.40	0.00	0.39	9.6	904	38	44	18	Fr.	7.03	1.48	1.19	1.17	0.00	10.88	10.88	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA	Aridisols	Salids								
12		C-18-2	6.81	44.60	0.00	0.11	11.9	395	82	10	8	A.Fr.	4.19	1.17	0.35	0.69	0.00	6.40	6.40	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA										
13	C-32	C-32-1	7.88	3.30	7.90	0.04	1.6	1016	62	30	8	Fr.A.	17.43	1.85	2.16	0.48	0.00	21.92	21.92	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA	Aridisols	Salids								
14		C-32-2	7.80	12.46	3.40	0.04	1.7	554	74	20	6	Fr.A.	10.85	0.25	1.31	0.71	0.00	13.12	13.12	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA										
15		C-32-3	7.72	37.50	0.60	0.03	3.3	92	82	10	8	A.Fr.	9.68	0.13	0.22	0.37	0.00	10.40	10.40	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA										
16		C-32-4	7.71	12.50	0.20	0.03	1.5	78	88	12	0	A.	9.93	0.20	0.22	0.37	0.00	10.72	10.72	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA										
17	C-33	C-33-1	7.97	4.03	1.70	0.04	1.1	638	66	24	10	Fr.A.	14.56	1.00	1.27	0.30	0.00	17.12	17.12	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA	Aridisols	Salids								
18		C-33-2	7.96	9.37	0.40	0.04	1.2	446	86	8	6	A.Fr.	9.71	0.22	0.63	0.32	0.00	10.88	10.88	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA										
19		C-33-3	7.85	29.40	4.40	0.04	6.5	298	76	18	6	Fr.A.	8.35	0.65	0.59	0.33	0.00	9.92	9.92	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA										
20	B5	B5-1	7.86	6.15	0.00	0.08	1.4	533	76	14	10	Fr.A.	6.21	0.15	0.47	0.05	0.00	6.88	6.88	100	AREQUIPA	CAYLLOMA	Aridisols	Salids								
21		B5-2	7.15	15.12	0.00	0.09	0.5	710	68	18	14	Fr.A.	6.29	0.10	0.59	0.22	0.00	7.20	7.20	100	AREQUIPA	CAYLLOMA										
22		B5-4	7.65	10.44	0.00	0.05	2.3	462	90	10	0	A.	4.18	0.22	0.56	0.16	0.00	5.12	5.12	100	AREQUIPA	CAYLLOMA										

«continuación»

Nº orden	Claves del suelo		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	Procedencia		Clasificación de suelos USDA						
	Calicata	Horizonte							Arena %	Limo %	Arcilla %		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>				Región	Provincia	Orden	Suborden					
																									meq/100g				
1	C-2	C-2-1	7.47	3.40	0.00	0.07	3.6	409	82	12	6	A.Fr.	5.12	0.08	0.36	0.20	0.00	5.76	5.76	100	TACNA	TACNA	Entisols	Torrifluents					
2		C-2-2	7.61	19.70	0.00	0.07	3.6	1836	66	24	10	Fr.A.	7.42	0.23	1.93	1.30	0.00	10.88	10.88	100	TACNA	TACNA							
3		C-2-4	7.56	15.49	0.00	0.03	2.6	1908	80	20	0	A.Fr.	6.65	0.45	1.81	0.70	0.00	9.60	9.60	100	TACNA	TACNA							
4	C-4	C-4-1	7.49	3.99	0.00	0.03	2.1	279	92	8	0	A.	3.52	0.10	0.38	0.50	0.00	4.50	4.50	100	TACNA	TACNA	Entisols	Torrifluents					
5		C-4-2	7.63	7.57	0.00	0.04	1.7	1264	92	8	0	A.	7.33	0.13	1.11	0.38	0.00	8.96	8.96	100	TACNA	TACNA							
6		C-4-4	7.46	12.60	0.00	0.04	1.0	1338	94	6	0	A.	5.43	1.03	1.50	0.54	0.00	8.50	8.50	100	TACNA	TACNA							
7		C-4-5	7.51	18.68	0.00	0.04	1.5	2595	68	26	6	Fr.A.	5.34	3.78	4.00	1.28	0.00	14.40	14.40	100	TACNA	TACNA							
8	C-5	C-5-1	8.02	15.40	1.90	0.03	3.0	818	70	22	8	Fr.A.	6.81	0.97	1.39	1.39	0.00	10.56	10.56	100	TACNA	TACNA	Entisols	Torrifluents					
9		C-5-2	7.83	22.10	2.20	0.03	2.5	579	70	22	8	Fr.A.	9.68	0.55	0.60	0.37	0.00	11.20	11.20	100	TACNA	TACNA							
10		C-5-3	7.76	14.85	1.50	0.03	3.1	378	82	18	0	A.Fr.	6.13	0.93	0.56	0.37	0.00	8.00	8.00	100	TACNA	TACNA							
11		C-5-4	7.87	12.23	1.30	0.04	1.8	772	72	22	6	Fr.A.	6.68	0.75	1.38	0.46	0.00	9.28	9.28	100	TACNA	TACNA							
12		C-5-5	8.02	15.81	1.80	0.04	1.8	898	74	26	0	A.Fr.	7.23	0.37	0.78	0.43	0.00	8.80	8.80	100	TACNA	TACNA							
13	C-7	C-7-1	8.03	11.81	0.70	0.04	1.7	630	70	20	10	Fr.A.	10.75	0.37	1.49	1.31	0.00	13.92	13.92	100	TACNA	TACNA	Entisols	Torrifluents					
14		C-7-2	7.90	18.70	1.80	0.04	2.1	586	58	36	6	Fr.A.	12.31	0.57	1.26	1.54	0.00	15.68	15.68	100	TACNA	TACNA							
15		C-7-3	7.78	20.50	3.50	0.04	1.5	742	60	34	6	Fr.A.	10.35	1.97	1.26	0.83	0.00	14.40	14.40	100	TACNA	TACNA							
16	C-8	C-8-1	7.82	4.89	1.00	2.43	21.1	1164	38	40	22	Fr.	12.34	3.13	1.63	0.50	0.00	17.60	17.60	100	TACNA	TACNA	Entisols	Ustifluents					
17		C-8-2	8.01	3.77	1.00	1.45	2.8	622	36	44	20	Fr.	13.79	3.00	1.19	0.58	0.00	18.56	18.56	100	TACNA	TACNA							
18		C-8-3	7.77	4.47	0.60	0.73	2.9	948	36	42	22	Fr.	13.70	3.02	1.65	0.83	0.00	19.20	19.20	100	TACNA	TACNA							
19		C-8-4	7.71	3.27	0.50	0.17	2.9	918	38	40	22	Fr.	14.61	3.12	1.90	0.86	0.00	20.48	20.48	100	TACNA	TACNA							
20	C-9	C-9-1	7.78	5.93	4.20	1.84	8.3	1458	54	28	18	Fr.A.	14.34	3.23	2.57	1.45	0.00	21.60	21.60	100	TACNA	TACNA	Entisols	Ustifluents					
21		C-9-2	7.97	2.75	4.80	0.17	2.3	1264	58	26	16	Fr.A.	14.43	3.62	2.11	1.28	0.00	21.44	21.44	100	TACNA	TACNA							
22		C-9-3	8.11	2.38	6.50	0.06	2.1	1204	60	28	12	Fr.A.	15.57	4.13	2.49	1.49	0.00	23.68	23.68	100	TACNA	TACNA							
23	C-12	C-12-1	5.93	1.39	0.00	0.09	5.5	1752	74	18	8	Fr.A.	1.79	0.57	3.93	0.88	0.20	7.37	7.17	75	TACNA	TACNA	Entisols	Torrifluents					
24		C-12-2	7.63	8.45	0.00	0.04	3.6	1851	80	14	6	A.Fr.	4.06	1.77	3.82	1.24	0.00	10.88	10.88	100	TACNA	TACNA							
25		C-12-3	7.63	13.58	0.00	0.04	3.9	1210	72	18	10	Fr.A.	6.11	0.22	1.19	0.48	0.00	8.00	8.00	100	TACNA	TACNA							
26		C-12-4	7.67	19.47	0.00	0.09	6.1	3310	82	10	8	A.Fr.	11.53	1.12	4.96	1.91	0.00	19.52	19.52	100	TACNA	TACNA							
27	C-13	C-13-1	8.30	1.25	0.60	0.08	1.9	236	94	6	0	A.	5.73	1.07	0.59	0.30	0.00	7.68	7.68	100	TACNA	JORGE BASADRE	Entisols	Orthents					
28		C-13-2	8.43	0.82	0.10	0.07	1.6	266	94	6	0	A.	3.76	1.53	0.72	0.31	0.00	6.32	6.32	100	TACNA	JORGE BASADRE							

«continuación»

29	C-14	C-14-1	7.14	1.29	0.00	0.07	2.0	452	92	8	0	A.	3.66	0.72	0.83	0.26	0.00	5.46	5.46	100	TACNA	JORGE BASADRE	Entisols	Orthents
30		C-14-2	8.28	5.59	0.00	0.03	1.5	286	68	24	8	Fr.A.	5.37	0.35	0.33	0.36	0.00	6.40	6.40	100	TACNA	JORGE BASADRE		
31		C-14-3	7.77	9.28	0.00	0.04	2.0	736	94	6	0	A.	7.14	0.67	1.09	1.18	0.00	10.08	10.08	100	TACNA	JORGE BASADRE		
32	C-20	C-20-1	7.53	6.42	0.00	0.05	2.6	1234	54	40	6	Fr.A.	11.40	1.33	2.27	0.68	0.00	15.68	15.68	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA	Entisols	Torrifluents
33		C-20-2	7.76	8.87	0.00	0.03	1.1	642	90	10	0	A.	5.51	0.77	0.99	0.70	0.00	7.96	7.96	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
34		C-20-3	7.59	10.50	0.00	0.04	1.4	282	92	8	0	A.	5.73	0.60	0.53	0.30	0.00	7.16	7.16	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
35	C-21	C-21-1	7.81	10.40	0.40	0.04	1.6	1617	84	16	0	A.Fr.	19.09	0.62	2.05	0.33	0.00	22.08	22.08	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA	Entisols	Orthents
36		C-21-2	7.88	9.77	0.00	0.05	1.6	2208	84	16	0	A.Fr.	15.68	0.40	3.03	0.73	0.00	19.84	19.84	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
37		C-21-3	8.10	13.20	0.00	0.03	1.6	1557	80	14	6	A.Fr.	13.89	0.33	2.65	1.37	0.00	18.24	18.24	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
38	C-22	C-22-1	8.09	3.68	2.00	0.04	1.7	3035	78	16	6	A.Fr.	8.64	1.57	4.15	1.64	0.00	16.00	16.00	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA	Entisols	Orthents
39		C-22-2	7.74	9.80	0.70	0.03	2.3	1479	84	10	6	A.Fr.	12.65	0.32	2.21	0.50	0.00	15.68	15.68	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
40		C-22-3	7.89	11.86	0.50	0.04	2.6	1683	80	14	6	A.Fr.	14.68	0.28	2.25	0.70	0.00	17.92	17.92	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
41		C-22-4	8.23	9.38	0.00	0.04	1.0	1084	90	4	6	A.	8.37	0.15	1.71	0.97	0.00	11.20	11.20	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
42	C-24	C-24-1	7.86	3.40	3.10	1.74	5.7	592	46	30	24	Fr.	27.54	4.13	1.19	0.73	0.00	33.60	33.60	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA	Entisols	Ustifluents
43		C-24-2	8.14	0.89	1.30	0.69	2.3	379	54	28	18	Fr.A.	21.17	3.37	0.78	0.60	0.00	25.92	25.92	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
44		C-24-3	8.06	1.14	2.10	1.26	2.8	487	44	34	22	Fr.	22.78	3.92	1.06	0.57	0.00	28.32	28.32	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
45	C-26	C-26-1	7.46	4.61	0.80	1.52	20.6	327	58	34	8	Fr.A.	14.49	1.65	0.68	0.46	0.00	17.28	17.28	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA	Entisols	Ustifluents
46		C-26-2	6.98	6.33	0.80	7.30	18.9	282	38	50	12	Fr.L.	16.36	2.80	0.61	0.39	0.00	20.16	20.16	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
47		C-26-3	7.15	1.89	0.20	1.38	5.3	184	56	32	12	Fr.A.	14.07	1.92	0.47	0.35	0.00	16.80	16.80	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
48		C-26-4	7.23	3.20	0.20	1.30	7.7	188	56	32	12	Fr.A.	14.08	2.05	0.49	0.34	0.00	16.96	16.96	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
49	C-29	C-29-1	7.75	7.74	3.20	1.38	10.2	852	58	26	16	Fr.A.	15.89	2.18	1.56	0.69	0.00	20.32	20.32	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA	Entisols	Ustifluents
50		C-29-2	7.95	2.34	3.20	0.89	4.6	524	56	28	16	Fr.A.	14.00	2.22	1.09	0.61	0.00	17.92	17.92	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
51		C-29-3	7.89	2.95	7.90	0.86	2.1	565	46	36	18	Fr.	14.45	2.63	1.17	0.63	0.00	18.88	18.88	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
52		C-29-4	7.79	3.52	11.00	0.55	1.8	436	52	32	16	Fr.	13.08	2.67	0.90	0.48	0.00	17.12	17.12	100	MOQUEGUA	MOQUEGUA		
53	C11A	C11A-1	6.78	0.18	0.00	0.10	9.3	575	86	14	0	A.	0.74	0.95	1.22	0.30	0.00	3.21	3.21	43	TACNA	TACNA	Entisols	Torripsamments
54		C11A-2	7.87	2.29	0.40	0.05	3.7	762	94	6	0	A.	2.93	1.57	1.37	0.53	0.00	6.40	6.40	100	TACNA	TACNA		
55		C11A-3	8.42	1.52	0.00	0.04	13.5	478	100	0	0	A.	1.40	1.03	0.95	0.45	0.00	3.83	3.83	75	TACNA	TACNA		
56		C11A-4	8.00	1.57	0.00	0.08	3.1	624	94	6	0	A.	2.02	1.18	1.06	0.43	0.00	4.69	4.69	84	TACNA	TACNA		
57	C12A	C12A-1	6.89	0.15	0.00	0.10	6.3	638	82	18	0	A.Fr.	0.73	0.47	1.57	0.27	0.00	3.04	3.04	63	TACNA	TACNA	Entisols	Torripsamments
58		C12A-2	8.14	2.68	0.50	0.10	2.2	568	90	10	0	A.	2.31	1.68	1.49	0.43	0.00	5.92	5.92	100	TACNA	TACNA		
59		C12A-3	8.12	3.21	0.00	0.04	2.7	396	94	6	0	A.	3.09	1.15	0.88	0.19	0.00	5.31	5.31	90	TACNA	TACNA		

«continuación»

60	SU-LB-04	SU-LB-04-1	4.60	0.08	0.00	7.29	5.0	279	52	26	22	Fr.Ar.A.	1.76	0.72	0.48	0.03	1.20	4.18	2.98	16	APURIMAC	COTABAMBAS	Entisols	Aquepts
61		SU-LB-04-2	4.54	0.03	0.00	1.62	2.5	280	52	20	28	Fr.Ar.A.	1.09	0.48	0.29	0.06	2.80	4.73	1.93	14	APURIMAC	COTABAMBAS		
62		SU-LB-04-3	4.29	0.05	0.00	6.71	4.2	116	48	32	20	Fr.	0.85	0.32	0.25	0.04	1.70	3.16	1.46	6	APURIMAC	COTABAMBAS		
63		SU-LB-04-4	4.55	0.02	0.00	1.30	2.9	50	52	20	28	Fr.Ar.A.	0.85	0.28	0.16	0.08	2.10	3.48	1.38	9	APURIMAC	COTABAMBAS		
64	B2	B2-1	8.37	2.75	3.90	0.12	1.5	445	80	14	6	A.Fr.	6.08	0.35	0.68	0.09	0.00	7.20	7.20	100	AREQUIPA	CAYLLOMA	Entisols	Fluvents
65		B2-2	8.45	9.01	1.00	0.08	1.0	426	92	8	0	A.	4.05	0.27	0.38	0.10	0.00	4.80	4.80	100	AREQUIPA	CAYLLOMA		
66		B2-3	8.38	9.70	1.10	0.05	0.8	468	90	10	0	A.	4.20	0.22	0.30	0.09	0.00	4.80	4.80	100	AREQUIPA	CAYLLOMA		
67		B2-4	8.09	10.18	1.10	0.05	6.5	422	90	10	0	A.	3.34	0.32	0.28	0.07	0.00	4.00	4.00	100	AREQUIPA	CAYLLOMA		
68	B3	B3-1	8.14	1.49	5.30	0.56	10.8	179	48	42	10	Fr.	8.19	1.73	0.42	0.05	0.00	10.40	10.40	100	AREQUIPA	CAYLLOMA	Entisols	Fluvents
69		B3-2	8.52	0.65	6.30	0.15	5.8	160	52	42	6	Fr.A.	7.66	1.52	0.37	0.05	0.00	9.60	9.60	100	AREQUIPA	CAYLLOMA		
70		B3-3	8.76	0.33	1.90	0.07	3.9	105	92	8	0	A.	4.76	0.55	0.25	0.04	0.00	5.60	5.60	100	AREQUIPA	CAYLLOMA		
71		B3-4	8.10	2.82	1.20	0.05	1.0	237	90	4	6	A.	3.88	0.15	0.39	0.05	0.00	4.48	4.48	100	AREQUIPA	CAYLLOMA		
72	B7	B7-1	7.56	18.89	0.00	0.06	2.9	784	72	16	12	Fr.A.	6.45	0.30	0.78	0.15	0.00	7.68	7.68	100	AREQUIPA	CAYLLOMA	Entisols	Orthents
73		B7-2	7.57	22.10	0.80	0.11	2.1	1020	74	14	12	Fr.A.	8.55	0.38	0.94	0.20	0.00	10.08	10.08	100	AREQUIPA	CAYLLOMA		
74		B7-3	7.98	13.65	1.90	0.08	1.6	572	90	10	0	A.	5.23	0.17	0.60	0.09	0.00	6.08	6.08	100	AREQUIPA	CAYLLOMA		
75		B7-4	8.18	7.80	0.60	0.11	0.7	358	100	0	0	A.	3.87	0.17	0.36	0.09	0.00	4.48	4.48	100	AREQUIPA	CAYLLOMA		
76	B8	B8-1	7.97	2.26	0.40	0.08	2.0	231	88	12	0	A.	3.74	0.33	0.32	0.09	0.00	4.48	4.48	100	AREQUIPA	CAYLLOMA	Entisols	Orthents
77		B8-2	8.15	4.80	0.50	0.04	1.0	451	92	8	0	A.	3.57	0.32	0.53	0.06	0.00	4.48	4.48	100	AREQUIPA	CAYLLOMA		
78		B8-3	8.28	5.16	1.00	0.07	0.8	369	92	8	0	A.	3.78	0.27	0.55	0.20	0.00	4.80	4.80	100	AREQUIPA	CAYLLOMA		

«continuación»

N° orden	Claves del suelo		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	Procedencia		Clasificación de suelos USDA				
	Calicata	Horizonte							Arena %	Limo %	Arcilla %		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>				Región		Provincia	Orden	Suborden		
																					meq/100g					Región	Provincia
																					Región	Provincia	Orden	Suborden			
1	SU-LB-02	SU-LB-02-1	4.55	0.10	0.00	14.74	12.6	73	66	34	0	Fr.A.	0.63	0.20	0.17	0.11	0.60	1.71	1.11	5	APURIMAC	COTABAMBAS	Inceptisols	Cryepts			
2		SU-LB-02-2	5.19	0.06	0.00	0.11	6.7	21	70	30	0	Fr.A.	0.54	0.15	0.05	0.07	0.20	1.01	0.81	11	APURIMAC	COTABAMBAS					
3	SU-LB-20	SU-LB-20-1	5.05	0.10	0.00	2.43	10.4	57	80	20	0	A.Fr.	1.19	0.17	0.13	0.08	0.50	2.07	1.57	25	APURIMAC	COTABAMBAS	Inceptisols	Cryepts			
4		SU-LB-20-2	5.04	0.05	0.00	2.42	4.4	5	74	26	0	A.Fr.	0.70	0.15	0.08	0.09	0.60	1.62	1.02	14	APURIMAC	COTABAMBAS					
5		SU-LB-20-3	4.92	0.06	0.00	2.88	3.7	24	78	22	0	A.Fr.	0.62	0.15	0.06	0.08	0.30	1.20	0.90	13	APURIMAC	COTABAMBAS					
6		SU-LB-20-4	5.10	0.04	0.00	0.92	7.6	22	80	14	6	A.Fr.	1.41	0.17	0.04	0.09	0.30	2.00	1.70	35	APURIMAC	COTABAMBAS					
7	SU-LB-22	SU-LB-22-1	4.88	0.18	0.00	20.69	12.6	216	58	34	8	Fr.A.	3.84	0.48	0.44	0.08	1.40	6.24	4.84	15	APURIMAC	COTABAMBAS	Inceptisols	Cryepts			
8		SU-LB-22-2	5.44	0.07	0.00	8.71	26.3	63	58	32	10	Fr.A.	4.35	0.38	0.15	0.06	0.40	5.34	4.94	48	APURIMAC	COTABAMBAS					
9	SU-LB-06	SU-LB-06-1	4.34	0.08	0.00	10.53	92.7	58	50	40	10	Fr.	0.83	0.20	0.10	0.13	1.00	2.26	1.26	4	APURIMAC	COTABAMBAS	Inceptisols	Ustepts			
10		SU-LB-06-2	4.55	0.03	0.00	7.84	75.5	68	52	28	20	Fr.	0.89	0.18	0.12	0.13	3.00	4.33	1.33	4	APURIMAC	COTABAMBAS					
11		SU-LB-06-3	4.86	0.02	0.00	0.99	40.5	59	58	26	16	Fr.A.	0.70	0.18	0.15	0.08	0.80	1.91	1.11	6	APURIMAC	COTABAMBAS					
12		SU-LB-06-4	5.03	0.02	0.00	0.32	85.1	71	40	34	26	Fr.	0.88	0.20	0.18	0.08	0.90	2.24	1.34	9	APURIMAC	COTABAMBAS					
13	SU-LB-03	SU-LB-03-1	4.19	0.11	0.00	10.06	5.9	176	60	30	10	Fr.A.	0.61	0.17	0.16	0.03	2.50	3.47	0.97	4	APURIMAC	COTABAMBAS	Inceptisols	Cryepts			
14		SU-LB-03-2	4.60	0.03	0.00	5.75	17.1	60	58	30	12	Fr.A.	0.54	0.15	0.09	0.04	1.50	2.32	0.82	5	APURIMAC	COTABAMBAS					
15		SU-LB-03-3	4.85	0.02	0.00	1.23	22.8	44	50	32	18	Fr.	0.69	0.22	0.10	0.03	0.80	1.84	1.04	6	APURIMAC	COTABAMBAS					
16		SU-LB-03-4	4.75	0.02	0.00	4.31	4.5	45	50	30	20	Fr.	0.97	0.28	0.12	0.08	1.90	3.35	1.45	7	APURIMAC	COTABAMBAS					
17	SU-LB-18	SU-LB-18-1	4.34	0.11	0.00	9.38	2.4	244	40	50	10	Fr.L.	1.14	0.55	0.49	0.05	3.10	5.33	2.23	7	APURIMAC	COTABAMBAS	Inceptisols	Cryepts			
18		SU-LB-18-2	4.77	0.04	0.00	0.69	12.7	111	56	34	10	Fr.A.	2.73	1.90	0.24	0.07	5.30	10.24	4.94	18	APURIMAC	COTABAMBAS					
19		SU-LB-18-3	4.99	0.03	0.00	0.31	10.5	157	42	44	14	Fr.	12.60	5.32	0.34	0.07	2.60	20.93	18.33	59	APURIMAC	COTABAMBAS					

«continuación»

20	SU-LB-19	SU-LB-19-1	4.78	0.13	0.00	5.17	2.0	57	54	40	6	Fr.A.	6.32	1.22	0.12	0.08	0.20	7.94	7.74	39	APURIMAC	COTABAMBAS	Inceptisols	Cryepts
21		SU-LB-19-2	4.80	0.06	0.00	4.05	3.4	34	46	44	10	Fr.	2.20	0.33	0.08	0.05	0.90	3.57	2.67	16	APURIMAC	COTABAMBAS		
22		SU-LB-19-3	5.39	0.03	0.00	1.14	3.5	31	78	16	6	A.Fr.	3.45	0.47	0.07	0.05	0.10	4.14	4.04	43	APURIMAC	COTABAMBAS		
23	SU-LB-24	SU-LB-24-1	4.42	0.11	0.00	15.17	0.8	84	58	34	8	Fr.A.	1.11	0.22	0.15	0.04	2.60	4.12	1.52	5	APURIMAC	COTABAMBAS	Inceptisols	Cryepts
24		SU-LB-24-2	4.78	0.04	0.00	10.41	1.2	46	66	26	8	Fr.A.	0.87	0.18	0.09	0.06	2.10	3.31	1.21	4	APURIMAC	COTABAMBAS		
25		SU-LB-24-3	5.00	0.03	0.00	0.84	6.2	42	46	36	18	Fr.	0.59	0.13	0.09	0.03	0.50	1.34	0.84	5	APURIMAC	COTABAMBAS		
26	SU-LB-26	SU-LB-26-1	4.61	0.14	0.00	21.24	1.6	156	58	34	8	Fr.A.	1.66	0.30	0.27	0.08	4.50	6.81	2.31	6	APURIMAC	GRAU	Inceptisols	Cryepts
27		SU-LB-26-2	5.04	0.03	0.00	11.61	3.0	22	50	42	8	Fr.	0.61	0.13	0.06	0.04	1.00	1.85	0.85	3	APURIMAC	GRAU		
28		SU-LB-26-3	5.72	0.03	0.00	0.29	8.5	46	30	64	6	Fr.L.	18.80	1.27	0.10	0.05	0.10	20.32	20.22	100	APURIMAC	GRAU		
29	SU-LB-07	SU-LB-07-1	4.60	0.10	0.00	2.50	7.2	385	48	34	18	Fr.	1.31	0.55	0.87	0.03	0.80	3.56	2.76	16	APURIMAC	COTABAMBAS	Inceptisols	Ustepts
30		SU-LB-07-2	4.53	0.03	0.00	0.92	8.1	124	36	32	32	Fr.Ar.	1.04	0.37	0.29	0.05	2.70	4.45	1.75	9	APURIMAC	COTABAMBAS		
31		SU-LB-07-3	4.71	0.02	0.00	0.58	10.5	103	28	26	46	Ar.	1.54	0.58	0.24	0.03	1.70	4.09	2.39	14	APURIMAC	COTABAMBAS		
32		SU-LB-07-4	4.96	0.02	0.00	0.38	10.0	93	46	18	36	Ar.A.	2.28	1.17	0.22	0.05	0.70	4.42	3.72	23	APURIMAC	COTABAMBAS		

«continuación»

N° orden	Claves del suelo		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	Procedencia		Clasificación de suelos USDA	
	Calicata	Horizonte							Arena %	Limo %	Arcilla %		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>				Región	Provincia	Orden	Suborden
1	SU-LB-08	SU-LB-08-1	5.07	0.07	0.00	4.14	3.5	249	38	36	26	Fr.	2.06	0.53	0.56	0.36	1.70	5.21	3.51	21	APURIMAC	COTABAMBAS	Andisols	Ustands
2	C-5	C5-1	8.19	1.78	1.60	0.11	2.1	244	74	17	9	Fr.A.	6.02	0.58	0.55	0.04	0.00	7.20	7.20	100	AREQUIPA	CASTILLA	Andisols	Haplotorrands
3		C5-2	8.00	2.45	0.00	0.04	1.7	166	88	9	3	A.	3.16	0.13	0.19	0.03	0.00	3.52	3.52	100	AREQUIPA	CASTILLA		
N° orden	Claves del suelo		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	Procedencia		Clasificación de suelos USDA	
	Calicata	Horizonte							Arena %	Limo %	Arcilla %		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>				Región	Provincia	Orden	Suborden
1	SU-LB-16	SU-LB-16-1	6.15	0.35	0.00	11.74	50.9	73	62	26	12	Fr.A.	24.30	1.08	0.15	0.07	0.00	25.61	25.61	68	APURIMAC	COTABAMBAS	Mollisols	Cryolls
2		SU-LB-16-2	7.40	0.43	5.20	8.64	15.3	49	64	20	16	Fr.A.	37.20	0.50	0.23	0.04	0.00	37.97	37.97	92	APURIMAC	COTABAMBAS		
3		SU-LB-16-3	8.15	0.20	68.20	0.69	11.5	86	40	32	28	Fr.Ar.	17.53	0.32	0.18	0.05	0.00	18.08	18.08	100	APURIMAC	COTABAMBAS		
4	SU-LB-17	SU-LB-17-1	6.51	0.20	0.00	15.17	11.1	63	34	56	10	Fr.L.	22.50	0.95	0.13	0.10	0.00	23.68	23.68	72	APURIMAC	COTABAMBAS	Mollisols	Cryolls
5		SU-LB-17-2	8.11	0.23	52.90	0.85	12.9	28	48	34	18	Fr.	8.99	0.48	0.07	0.06	0.00	9.60	9.60	100	APURIMAC	COTABAMBAS		
6	SU-LB-13	SU-LB-13-1	5.71	0.13	0.00	10.78	6.1	308	32	40	28	Fr.Ar.	22.40	1.52	0.28	0.03	0.10	24.33	24.23	77	APURIMAC	COTABAMBAS	Mollisols	Ustolls
7		SU-LB-13-2	6.39	0.07	0.00	6.09	18.1	323	24	36	40	Ar.	25.60	1.23	0.35	0.07	0.00	27.26	27.26	76	APURIMAC	COTABAMBAS		
8		SU-LB-13-3	6.62	0.05	0.00	1.97	21.6	128	24	32	44	Ar.	25.50	0.77	0.28	0.05	0.00	26.60	26.60	70	APURIMAC	COTABAMBAS		
9		SU-LB-13-4	6.73	0.05	0.00	0.65	26.0	142	28	32	40	Ar.	18.10	0.62	0.31	0.08	0.00	19.10	19.10	75	APURIMAC	COTABAMBAS		
10	SU-LB-14	SU-LB-14-1	5.90	0.09	0.00	5.29	23.1	209	32	38	30	Fr.Ar.	18.40	1.12	0.42	0.03	0.10	20.07	19.97	69	APURIMAC	COTABAMBAS	Mollisols	Ustolls
11		SU-LB-14-2	6.55	0.07	0.00	3.55	24.6	152	36	34	30	Fr.Ar.	22.40	0.72	0.34	0.04	0.00	23.50	23.50	82	APURIMAC	COTABAMBAS		
12		SU-LB-14-3	7.15	0.08	0.00	1.87	42.0	122	24	32	44	Ar.	24.50	0.40	0.26	0.05	0.00	25.21	25.21	87	APURIMAC	COTABAMBAS		
13		SU-LB-14-4	7.62	0.19	2.90	0.62	36.0	241	22	26	52	Ar.	31.70	0.60	0.44	0.11	0.00	32.85	32.85	80	APURIMAC	COTABAMBAS		
14	SU-LB-15	SU-LB-15-1	5.32	0.05	0.00	2.16	2.4	50	40	40	20	Fr.	6.87	2.67	0.12	0.09	0.10	9.85	9.75	53	APURIMAC	COTABAMBAS	Mollisols	Ustolls
15		SU-LB-15-2	5.88	0.04	0.00	1.16	5.5	39	50	32	18	Fr.	7.88	3.38	0.10	0.11	0.10	11.57	11.47	73	APURIMAC	COTABAMBAS		
16		SU-LB-15-3	7.28	0.07	0.00	1.05	21.7	66	46	34	20	Fr.	9.67	4.58	0.12	0.16	0.00	14.53	14.53	89	APURIMAC	COTABAMBAS		

«continuación»

N° orden	Claves del suelo		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	Procedencia		Clasificación de suelos USDA						
	Calicata	Horizonte							Arena %	Limo %	Arcilla %		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>				Región	Provincia	Orden	Suborden					
																									meq/100g				
1	S/C	PaPh	6.83	0.84	0.00	73.60	53.7	1548	Material orgánico			73.00	6.25	2.33	1.17	0.00	82.76	82.76	86	LIMA	YAUYOS	Material orgánico	Material orgánico						
2	S/C	PmW	6.66	0.76	0.00	77.87	177.5	2356	Material orgánico			70.50	7.92	4.18	1.83	0.00	84.42	84.42	86	LIMA	YAUYOS								
3	S/C	PmTd	6.11	0.54	0.00	79.00	183.3	1392	Material orgánico			59.00	8.83	2.74	1.04	0.00	71.62	71.62	76	LIMA	YAUYOS								
4	S/C	PmPhD	6.93	0.68	0.00	76.69	125.2	2072	Material orgánico			61.50	8.92	4.05	2.48	0.00	76.95	76.95	86	LIMA	YAUYOS								
5	S/C	Pb1	6.55	0.78	0.00	73.35	156.7	1412	Material orgánico			71.00	6.50	4.08	1.61	0.00	83.19	83.19	88	LIMA	YAUYOS								
6	S/C	Pb2	6.57	0.60	0.00	81.35	105.4	1276	Material orgánico			66.50	5.58	2.77	1.52	0.00	76.37	76.37	87	LIMA	YAUYOS								
7	S/C	PPh	5.65	0.53	0.00	80.45	22.7	1112	Material orgánico			53.50	7.83	2.03	1.30	0.88	65.54	64.66	69	LIMA	YAUYOS								
8	S/C	PW	6.28	0.61	0.00	50.00	22.0	776	Material orgánico			58.50	6.75	1.44	0.74	0.00	67.43	67.43	84	LIMA	YAUYOS								
9	S/C	MPhD	6.40	0.83	0.00	74.36	18.9	1364	Material orgánico			61.50	15.17	2.13	0.70	0.00	79.49	79.49	78	LIMA	YAUYOS								

**Anexo N° 2: Recuento fotográfico de algunas secuencias seguidas en el presente estudio**



**Fotografía N° 1: Almacén con muestras de suelos, del cual se extrajeron las muestras para el presente estudio.**



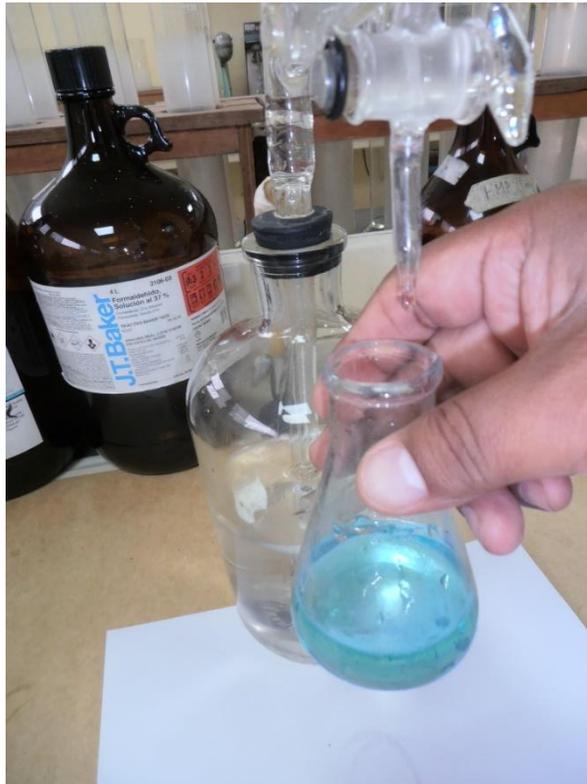
**Fotografía N° 2: Disposición de trabajo en serie para obtener los extractos con acetato de amonio.**



**Fotografía N° 3: Equipo de destilación micro-Kjeldahl utilizado en el presente estudio con dos muestras en destilación.**



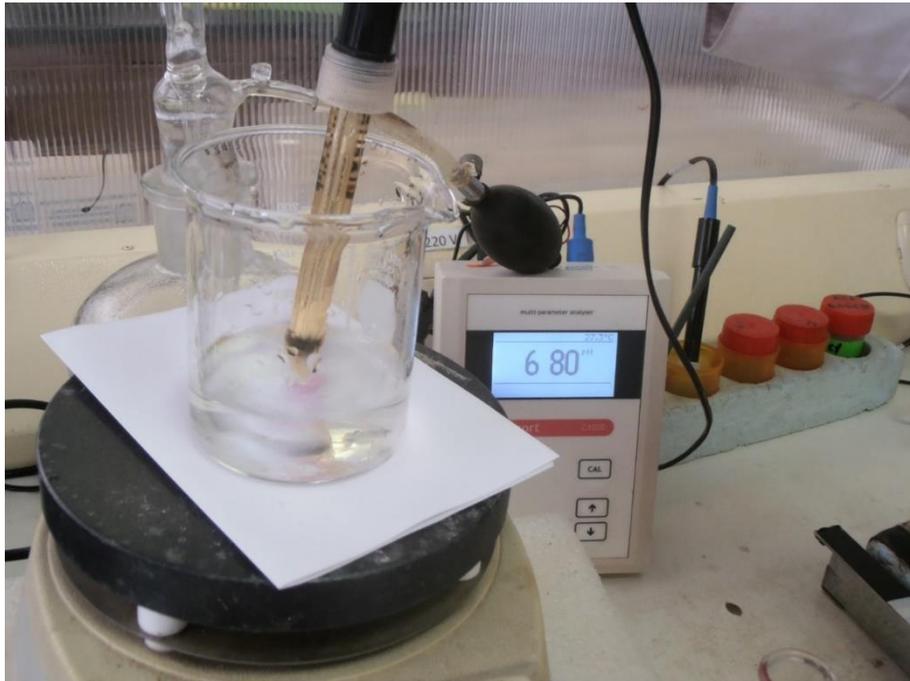
**Fotografía N° 4: Detalle donde se observa la obtención del destilado del amonio en el matraz del lado inferior derecho.**



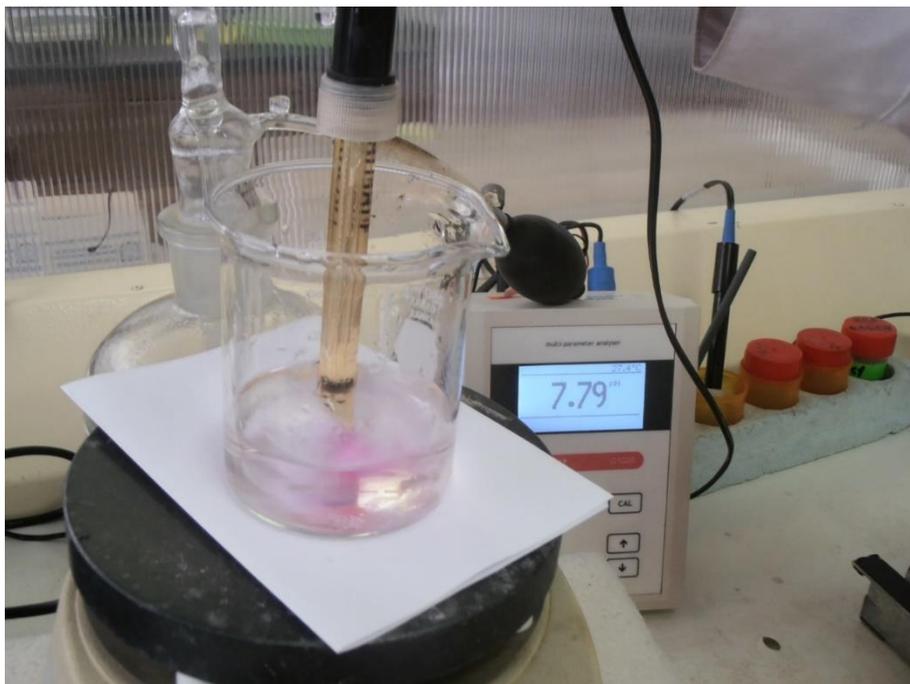
**Fotografía N° 5: Titulación del destilado del amonio.**



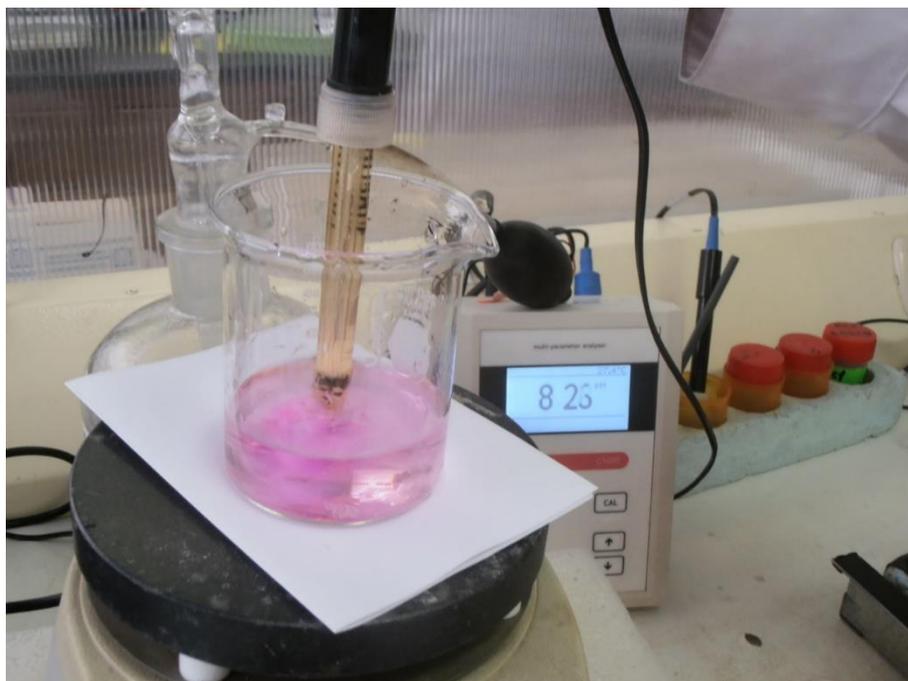
**Fotografía N° 6: Bureta empleada para la titulación del destilado obtenido con el equipo micro-Kjeldahl.**



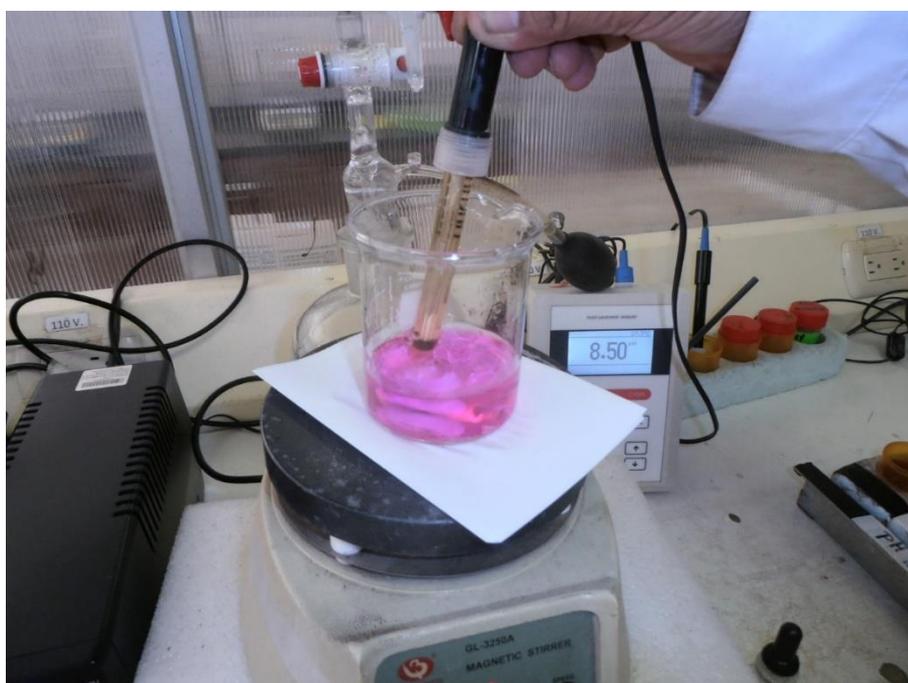
**Fotografía N° 7: Inicio de la titulación de amonio con formaldehído comparando la titulación colorimétrica con la potenciométrica.**



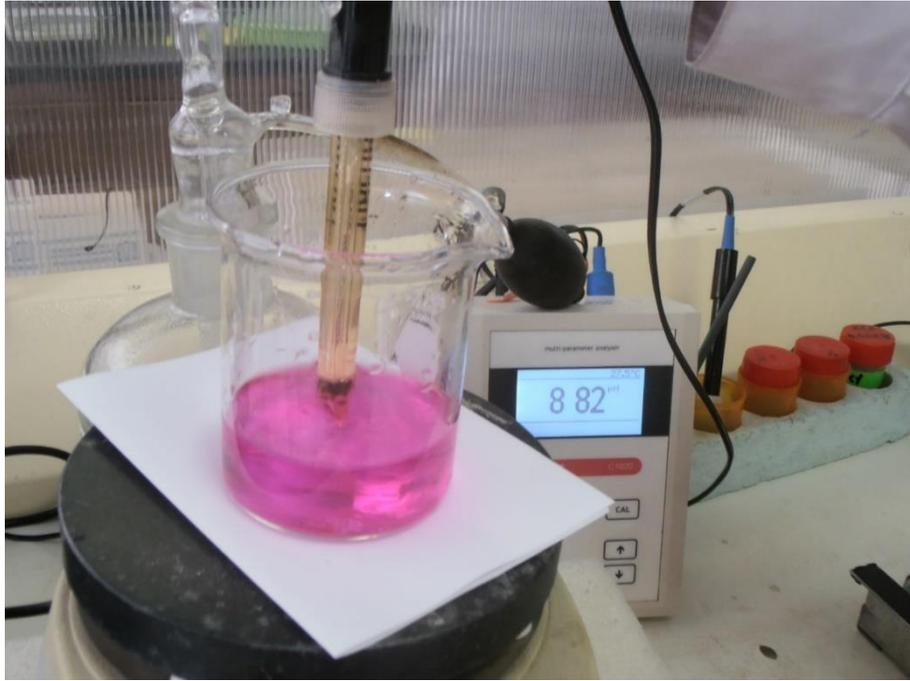
**Fotografía N° 8: Inicio del viraje comparando ambas titulaciones.**



**Fotografía N° 9: Se acentúa el viraje.**



**Fotografía N° 10: Se acerca el punto final de viraje (endpoint).**



**Fotografía N° 11: El tono grosella indica el punto final del viraje. Nótese también el cambio potenciométrico.**



**Fotografía N° 12: Pruebas preliminares para adiestrar el ojo humano al color del punto final de viraje (el primer matraz válido empezando desde la izquierda).**

**Anexo N° 3: Resumen de las pruebas de ANVA para los valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico de los suelos en estudio realizados por los dos métodos**

Conservan el orden presentado en el trabajo: Aridisols, Entisols, Inceptisols, Andisols, Mollisols y suelos orgánicos.

N°		1		2		3		4	
Clave del horizonte		C-1-1		C-1-2		C-1-3		C-3-1	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.04608000	n.s.	0.21632000	*	0.08192000	n.s.	0.15488000	n.s.
Error	18	0.01848889		0.02744889		0.05120000		0.04394667	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		0.135974		3.423080		4.184064		2.167438	

N°		5		6		7		8	
Clave del horizonte		C-3-2		C-3-3		C-17-1		C-17-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.00512000	n.s.	0.10368000	n.s.	0.08192000	n.s.	0.00512000	n.s.
Error	18	0.01934222		0.04110222		0.03498667		0.01706667	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.167648		2.950187		2.535890		2.026046	

N°		9		10		11		12	
Clave del horizonte		C-17-3		C-17-4		C-18-1		C-18-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.00128000	n.s.	0.00128000	n.s.	0.28800000	n.s.	0.10368000	n.s.
Error	18	0.05361778		0.12871111		0.09571556		0.05248000	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.463352		5.877512		2.776196		3.714091	

«continuación»

N°		13		14		15		16	
Clave del horizonte		C-32-1		C-32-2		C-32-3		C-32-4	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	12.54528000	*	0.03200000	n.s.	0.28800000	n.s.	0.86528000	*
Error	18	0.26012444		0.13895111		0.09871110		0.03754667	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		1.961027		2.451088		2.676982		1.995157	

N°		17		18		19		20	
Clave del horizonte		C-33-1		C-33-2		C-33-3		B5-1	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	2.04800000	*	1.65888000	*	0.20480000	n.s.	0.28800000	*
Error	18	0.32967111		0.11576889		0.10581333		0.05646222	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.915160		2.809183		2.613188		2.943729	

N°		21		22		23		24	
Clave del horizonte		B5-2		B5-4		C-2-1		C-2-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	1.47968000	*	1.07648000	*	0.00512000	n.s.	0.00512000	n.s.
Error	18	0.02161778		0.04224000		0.07964444		0.05632000	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.112498		3.191362		5.142374		2.210491	

«continuación»

N°		25		26		27		28	
Clave del horizonte		C-2-4		C-4-1		C-4-2		C-4-4	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.12800000	n.s.	0.02048000	n.s.	0.06272000	n.s.	0.15488000	n.s.
Error	18	0.05944889		0.06684444		0.07409778		0.06897778	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.322994		4.881853		3.130279		2.775108	

N°		29		30		31		32	
Clave del horizonte		C-4-5		C-5-1		C-5-2		C-5-3	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.08192000	n.s.	0.00128000	n.s.	0.10368000	n.s.	0.00512000	n.s.
Error	18	0.08675556		0.06328889		0.04622222		0.03072000	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		1.923609		2.149460		1.807276		2.070785	

N°		33		34		35		36	
Clave del horizonte		C-5-4		C-5-5		C-7-1		C-7-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.02048000	n.s.	0.18432000	n.s.	0.61952000	n.s.	0.21632000	n.s.
Error	18	0.05290667		0.06200889		0.26168889		0.21233778	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.281890		2.454809		3.125338		2.375264	

«continuación»

N°		37		38		39		40	
Clave del horizonte		C-7-3		C-8-1		C-8-2		C-8-3	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	7.78752000	*	1.47968000	*	1.75232000	*	0.00128000	n.s.
Error	18	0.15872000		0.06257778		0.06442267		0.12586667	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.261562		1.211055		1.292383		1.489658	

N°		41		42		43		44	
Clave del horizonte		C-8-4		C-9-1		C-9-2		C-9-3	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.01152000	n.s.	1.00352000	*	0.32768000	n.s.	5.08032000	*
Error	18	0.17365333		0.07395556		0.07452444		0.23224889	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		1.723112		1.162567		1.216974		1.984852	

N°		45		46		47		48	
Clave del horizonte		C-12-1		C-12-2		C-12-3		C-12-4	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.25088000	n.s.	0.01152000	n.s.	0.00128000	n.s.	1.94688000	*
Error	18	0.12970667		0.09116444		0.07637333		0.10026667	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		3.601481		2.701633		3.471825		1.427376	

«continuación»

N°		49		50		51		52	
Clave del horizonte		C-13-1		C-13-2		C-14-1		C-14-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.02480000	n.s.	0.00512000	n.s.	0.00512000	n.s.	0.02048000	n.s.
Error	18	0.03470222		0.04494222		0.00711111		0.02161778	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.825930		2.709558		1.311060		2.418254	

N°		53		54		55		56	
Clave del horizonte		C-14-3		C-20-1		C-20-2		C-20-3	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.03200000	n.s.	0.32768000	*	0.25088000	n.s.	0.61952000	*
Error	18	0.03086222		0.05603556		0.12288000		0.07253333	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		1.604058		1.514319		3.255409		2.843329	

N°		57		58		59		60	
Clave del horizonte		C-21-1		C-21-2		C-21-3		C-22-1	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.18432000	n.s.	0.01152000	n.s.	0.36992000	n.s.	0.12800000	n.s.
Error	18	0.43463111		0.16284444		0.15146667		0.14819556	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.930590		1.986707		2.001168		2.203307	

«continuación»

N°		61		62		63		64	
Clave del horizonte		C-22-2		C-22-3		C-22-4		C-24-1	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.67712000	n.s.	0.93312000	*	1.56800000	*	5.40800000	*
Error	18	0.22485333		0.09969778		0.06442667		0.23850667	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.747954		1.642476		2.327807		1.304690	

N°		65		66		67		68	
Clave del horizonte		C-24-2		C-24-3		C-26-1		C-26-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.18432000	n.s.	1.65888000	n.s.	1.00352000	n.s.	1.15200000	*
Error	18	0.36096000		0.83911111		0.51143111		0.25429333	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		1.960834		2.787336		4.399263		2.058602	

N°		69		70		71		72	
Clave del horizonte		C-26-3		C-26-4		C-29-1		C-29-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.41472000	n.s.	0.93312000	*	0.46208000	n.s.	3.46112000	*
Error	18	0.12088889		0.16853333		0.18901333		0.26965333	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		1.979114		2.365884		2.183390		2.736517	

«continuación»

N°		73		74		75		76	
Clave del horizonte		C-29-3		C-29-4		C11A-1		C11A-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	4.45568000	*	0.04608000	n.s.	0.00512000	n.s.	0.32768000	n.s.
Error	18	0.30506667		0.08846222		0.05546667		0.08305778	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.747356		1.616446		3.793712		3.691054	

N°		77		78		79		80	
Clave del horizonte		C11A-3		C11A-4		C12A-1		C12A-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.04608000	n.s.	0.15488000	n.s.	1.07648000	*	0.46208000	*
Error	18	0.11235556		0.15431111		0.08092444		0.02403556	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		5.601517		5.894726		4.624061		2.309804	

N°		81		82		83		84	
Clave del horizonte		C12A-3		SU-LB-04-1		SU-LB-04-2		SU-LB-04-3	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.00128000	n.s.	0.93312000	n.s.	0.28800000	n.s.	2.04800000	*
Error	18	0.10481778		0.24362667		0.10709333		0.43349333	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		5.432143		2.463002		2.498864		2.714389	

«continuación»

N°		85		86		87		88	
Clave del horizonte		SU-LB-04-4		B2-1		B2-2		B2-3	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.00128000	n.s.	3.59552000	*	0.08192000	n.s.	0.02048000	n.s.
Error	18	0.06385778		0.06442667		0.03925333		0.05148444	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		1.510647		3.007394		5.033652		5.561320	

N°		89		90		91		92	
Clave del horizonte		B2-4		B3-1		B3-2		B3-3	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.10368000	n.s.	2.59200000	*	2.47808000	*	0.00000000	n.s.
Error	18	0.03939556		0.05475556		0.03612444		0.04010667	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		4.817552		2.330668		2.361634		4.214362	

N°		93		94		95		96	
Clave del horizonte		B3-4		B7-1		B7-2		B7-3	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.21632000	*	0.06272000	n.s.	0.04608000	n.s.	0.32768000	*
Error	18	0.04736000		0.12245333		0.07253333		0.04408889	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		4.496354		4.844038		2.777642		3.208642	

«continuación»

N°		97		98		99		100	
Clave del horizonte		B7-4		B8-1		B8-2		B8-3	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	3.20000000	*	1.56800000	*	0.56448000	*	2.59200000	*
Error	18	0.03441778		0.03370667		0.02631111		0.02744889	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		4.111709		3.525226		3.514016		3.271664	

N°		101		102		103		104	
Clave del horizonte		SU-LB-02-1		SU-LB-02-2		SU-LB-20-1		SU-LB-20-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.08192000	n.s.	3.07328000	*	6.45248000	*	0.28800000	*
Error	18	1.80337778		0.16739556		0.09514667		0.05077333	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		4.790593		6.599033		3.215790		1.957344	

N°		105		106		107		108	
Clave del horizonte		SU-LB-20-3		SU-LB-20-4		SU-LB-22-1		SU-LB-22-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.51200000	*	0.73728000	*	2.25792000	n.s.	0.41472000	n.s.
Error	18	0.05120000		0.01280000		1.20405333		0.33678222	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		1.937279		1.311886		2.683132		2.031966	

«continuación»

N°		109		110		111		112	
Clave del horizonte		SU-LB-06-1		SU-LB-06-2		SU-LB-06-3		SU-LB-06-4	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	13.05728000	*	9.03168000	*	3.73248000	*	2.36672000	n.s.
Error	18	0.47345778		0.56092444		0.25656889		1.28298667	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		1.616432		1.935869		2.339830		6.700722	

N°		113		114		115		116	
Clave del horizonte		SU-LB-03-1		SU-LB-03-2		SU-LB-03-3		SU-LB-03-4	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.03200000	n.s.	1.56800000	*	1.07648000	*	0.32768000	n.s.
Error	18	0.44046222		0.25500444		0.07921778		0.13824000	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.513152		2.264889		1.679335		1.518817	

N°		117		118		119		120	
Clave del horizonte		SU-LB-18-1		SU-LB-18-2		SU-LB-18-3		SU-LB-19-1	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	3.59552000	n.s.	3.46112000	*	7.58912000	*	0.86528000	*
Error	18	1.23463111		0.18147556		0.97578667		0.10581333	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		3.344388		1.619524		3.081542		1.502631	

«continuación»

N°		121		122		123		124	
Clave del horizonte		SU-LB-19-2		SU-LB-19-3		SU-LB-24-1		SU-LB-24-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.25088000	n.s.	0.36992000	n.s.	0.08192000	n.s.	1.31072000	n.s.
Error	18	0.26737778		0.15715556		0.98645333		0.40220444	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.629607		3.492147		2.507077		1.835058	

N°		125		126		127		128	
Clave del horizonte		SU-LB-24-3		SU-LB-26-1		SU-LB-26-2		SU-LB-26-3	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	5.24288000	*	0.12800000	n.s.	5.91872000	n.s.	0.03200000	n.s.
Error	18	0.25656889		1.11644444		1.77749333		0.32782222	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		3.339440		2.216064		3.583943		2.880068	

N°		129		130		131		132	
Clave del horizonte		SU-LB-07-1		SU-LB-07-2		SU-LB-07-3		SU-LB-07-4	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	12.29312000	*	0.08192000	n.s.	0.86528000	n.s.	0.08192000	n.s.
Error	18	0.29696000		0.11747556		0.40732444		1.06752000	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.948811		1.636493		3.304783		5.760530	

«continuación»

N°		133		134		135		136	
Clave del horizonte		SU-LB-08-1		C5-1		C5-2		SU-LB-16-1	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.08192000	n.s.	1.56800000	*	2.82752000	*	126.20288000	*
Error	18	0.28160000		0.08035556		0.04622222		1.09141330	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.839576		2.916364		4.398395		2.192552	

N°		137		138		139		140	
Clave del horizonte		SU-LB-16-2		SU-LB-16-3		SU-LB-17-1		SU-LB-17-2	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	24.73088000	*	0.51200000	n.s.	6.82112000	*	5.40800000	*
Error	18	1.53159111		0.37148444		0.86200889		0.09628444	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.532278		3.520652		2.305892		3.234960	

N°		141		142		143		144	
Clave del horizonte		SU-LB-13-1		SU-LB-13-2		SU-LB-13-3		SU-LB-13-4	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	0.10368000	n.s.	0.86528000	n.s.	1.56800000	n.s.	34.00832000	*
Error	18	1.38368000		0.65336889		0.62762667		0.28629333	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.883652		1.900659		2.274951		2.133428	

«continuación»

N°		145		146		147		148	
Clave del horizonte		SU-LB-14-1		SU-LB-14-2		SU-LB-14-3		SU-LB-14-4	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	1.15200000	n.s.	0.93312000	n.s.	0.46208000	n.s.	5.74592000	*
Error	18	0.59562667		0.29596444		0.59576889		0.75448889	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.510960		1.715954		2.533016		2.029850	

N°		149		150		151		152	
Clave del horizonte		SU-LB-15-1		SU-LB-15-2		SU-LB-15-3		PaPh	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	7.00928000	*	0.01152000	n.s.	0.93312000	*	67.71200000	*
Error	18	0.58026667		0.19982222		0.20778667		4.31644440	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		4.143562		3.119869		2.646518		2.454638	

N°		153		154		155		156	
Clave del horizonte		PmW		PmTd		PmPhD		Pb1	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	175.23200000	*	215.16800000	*	70.68800000	*	215.16800000	*
Error	18	4.33777780		8.70400000		5.63555560		9.03111110	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		2.189585		3.367870		2.601855		3.468583	

«continuación»

N°		157		158		159		160	
Clave del horizonte		Pb2		PPh		PW		MPhD	
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia						
Tratamiento	1	231.20000000	*	26.91200000	n.s.	46.20800000	*	103.96800000	*
Error	18	1.98044440		7.48444440		3.36355560		5.42222220	
Total	19								
Coeficiente de variabilidad		1.652516		3.292936		2.530353		2.621079	

(n.s.) indica diferencias no significativas, con  $p > 0.05$ , mientras que (\*) indica diferencias significativas, con  $p \leq 0.05$ .

**Anexo N° 4: Requerimientos de materiales y reactivos de ambos métodos para determinar la CIC**

N°	Materiales	Titulación con formaldehído	Destilación con micro-Kjeldahl
1	Equipo de destilación Kjeldahl	no	si
2	Buretas simples o automáticas	si	si
3	Matraces	si	si
4	Balones para destilación	no	si
5	Goteros de vidrio	si	si
6	Vasos de precipitado	si	si
7	Embudos	si	si
8	Bastidores de madera	si	si
9	Frascos para guardar soluciones	si	si
N°	Reactivos	Titulación con formaldehído	Destilación con micro-Kjeldahl
1	Acetato de amonio	si	si
2	Cloruro de potasio	si	si
3	Alcohol etílico	si	si
4	Hidróxido de sodio	si	si
5	Ácido bórico	no	si
6	Ácido sulfúrico	no	si
7	Formaldehído	si	no
8	Fenolftaleína	si	no
9	Rojo de metilo	no	si
10	Azul de metileno	no	si
N°	Otros	Titulación con formaldehído	Destilación con micro-Kjeldahl
1	Fuente de agua refrigerante	no	si
2	Energía eléctrica o combustible	no	si

**Anexo N° 5: Costos unitarios por muestra de ambos métodos para determinar la CIC**

<b>N°</b>	<b>Componentes</b>	<b>Presentación comercial</b>	<b>Costo unitario reactivo (soles)</b>	<b>Titulación con formaldehído (soles)</b>	<b>Destilación con micro-Kjeldahl (soles)</b>
1	Acetato de amonio	1 Kg	88.50	0.3213	0.3213
2	Cloruro de potasio	1 Kg	112.10	0.3803	0.3803
3	Alcohol etílico	1 L	11.80	0.3950	0.3950
4	Hidróxido de sodio	1 Kg	92.04	0.0568	0.3200
5	Ácido bórico	1 Kg	100.30	0.0000	0.0501
6	Ácido sulfúrico	2.5 L	188.80	0.0000	0.0829
7	Formaldehído	1 L	47.20	0.0944	0.0000
8	Fenolftaleína	25 g	141.60	0.0283	0.0000
9	Rojo de metilo	10 g	141.60	0.0000	0.0666
10	Azul de metileno	10 g	153.40	0.0000	0.0714
11	Agua destilada o desionizada			0.0350	0.0350
12	Fuente de agua refrigerante			0.0000	0.1000
13	Energía eléctrica o combustible			0.0000	0.1500
14	Mano de obra			2.0000	3.0000
<b>TOTAL</b>				<b>3.3111</b>	<b>4.9726</b>