



# Dispersantes químicos y cuantificación de fracciones texturales por los métodos Bouyoucos y pipeta

## Chemical dispersants and quantification textural fractions by Bouyoucos and pipette methods

Katerine Borja Martínez, Jaime Mercado Lázaro, y Enrique Miguel Combatt Caballero\*

Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. \*Autor para correspondencia: [ecombatt@fca.edu.co](mailto:ecombatt@fca.edu.co)

Rec.: 29.09.2014 Acep.: 05.11.2014

### Resumen

Para cuantificar la composición porcentual real de las fracciones texturales en los suelos es necesaria la individualización de las partículas. El objetivo de esta investigación fue comparar los porcentajes de fracciones granulométricas obtenidas con dos métodos de dispersión química en nueve muestras de suelos recolectadas en los departamentos de Córdoba y Sucre en la región Caribe Colombiana, utilizando los métodos de Bouyoucos y pipeta. Como dispersantes se usaron soluciones de  $(\text{NaPO}_3)_6/\text{Na}_2\text{CO}_3$  (calgón) y una mezcla propuesta constituida por pirofosfato de sodio 0.1M a pH 10 y calgón en una relación 2:1. Los resultados se analizaron utilizando el test de Leite y Oliveira (2002) además de pruebas de correlación. Se encontró relación significativa entre ambos métodos utilizando la mezcla propuesta para las fracciones de arena y arcilla, con valores de 0.97 y 0.89, respectivamente. Los menores contenidos de arena (26%) se obtuvieron utilizando el método de pipeta, seguido del dispersante propuesto con un valor de 28%. Los contenidos de arcilla promedios fueron 44 y 42% por el uso del dispersante propuesto y el método de pipeta.

**Palabras clave:** Análisis granulométrico, dispersantes, pruebas de correlación.

### Abstract

An adequate individualization of particles is required for a correct granulometric analysis in order to quantify the real percent composition of particles in the soil. The objective of this study was to compare the percent of granulometric fractions determined by two different chemical dispersion methods. For that, nine different chemically soil samples were collected from Department of Córdoba and Sucre on Colombian Caribbean region and were analyzed by Bouyoucos and pipette methods.  $(\text{NaPO}_3)_6/\text{Na}_2\text{CO}_3$  solution (Calgon) and a mixture of 0.1 M sodium pyrophosphate solution at pH 10 and Calgon in relation 2:1 were used as chemical dispersants. Results were analyzed using Leite and Oliviera (2002) test and correlation analysis. A significant statistic difference between pipette method and Bouyoucos method using the proposed chemical dispersant was found for sand and clay fractions with values of 0.97 and 0.89, respectively. The lower sand contents were obtained using the pipette method with an average value of 26%, followed by proposed dispersant with a value of 28%. Average contents of clay were 44 and 42% by proposed dispersant and the pipette method, respectively.

**Keywords:** Granulometric analysis, dispersants, correlation tests, Bouyoucos.

## Introducción

La distribución de las fracciones granulométricas en el suelo influye directamente sobre la dinámica del agua, la aireación y las prácticas de manejo, y permite, además, conocer la resistencia y cohesión de las partículas. Chakraborty *et al.* (2006) consideran que el análisis granulométrico es una práctica necesaria en las determinaciones físicas del suelo y son frecuentemente utilizada en la clasificación textural; además los contenidos de arena, limo y arcilla sirven de base para estimar las propiedades hidráulicas y son fundamentales para la identificación y clasificación del suelo (Tomassella *et al.*, 2000; Silva dos Santos *et al.*, 2008).

Los métodos frecuentes para análisis granulométricos de suelos son el método de Bouyoucos o hidrómetro y el de pipeta. Según Gee y Or (2002), además de estos métodos existen otros como el sensor de presión, rayos X y difracción de rayos láser; en todos los casos los resultados dependen del método de determinación.

Según Gee y Bauder (1986) el análisis de las partículas del suelo por el método del hidrómetro se basa en la relación que existe entre la velocidad de deposición y el diámetro de la partícula de suelo, es fácil de implementar y permite obtener mediciones rápidas y confiables. Según Zobeck (2004) la distribución de tamaño de partícula se refiere a las diferentes clases de partículas que componen el suelo.

Aunque el método de pipeta garantiza una mayor precisión, las complejidades en el montaje de la técnica y el tiempo de medición han limitado su uso. Beuselinck *et al.* (1998) indican que este método requiere mucho tiempo y mano de obra y los resultados dependen de la técnica utilizada en laboratorio y la precisión del trabajo del analista. León (2001) encontró que el método que más se acerca en precisión al de pipeta es el método de Bouyoucos.

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (IGAC, 2006) estableció entre sus metodologías, además de la obtención de fracciones texturales con la utilización de los métodos de pipeta y de Bouyoucos, el uso un dispersante químico ((NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) denominado calgón y agitación lenta y rápida indistintamente del dispersante calgón, lo que da como resultado variaciones en las cantidades de las fracciones arena, arcilla y limo en una misma muestra de suelo. Jorge *et al.* (1985) señalan que la uniformización de métodos de análisis posibilita la comparación y la interpretación de datos obtenidos por diferentes instituciones del país.

La eficiente separación de los agregados del suelo depende de los dispersantes químicos, la eficiencia, y la relación entre los iones presentes

en las soluciones dispersantes y cargas permanentes y dependientes del pH en la fracción arcilla. Mauri *et al.* (2011) indica que para obtener una suspensión de suelo efectivamente dispersa es necesario sustituir cationes floculantes como Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, que frecuentemente saturan las arcillas, por cationes monovalentes de mayor radio iónico hidratado, que siguen la secuencia en orden decreciente de eficiencia: Li<sup>+</sup> > Na<sup>+</sup> > K<sup>+</sup> > Rb<sup>+</sup> > Cs<sup>+</sup>. Buscando proponer una metodología aceptable para los laboratorios de suelos, el objetivo en este estudio fue comparar el método de Bouyoucos y el método de pipeta en el análisis del contenido de partículas de arena, limo y arcilla utilizando dos soluciones químicas dispersantes.

## Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba, Colombia, en nueve muestras de suelos recolectadas en los departamentos de Córdoba y Sucre. Para las caracterizaciones química y mineralógica de los suelos se siguieron los protocolos establecidos por IGAC (IGAC, 2006). Para obtener las fracciones granulométricas se utilizaron 60 g de suelo de cada suelo previamente seco, molido y tamizado por malla de 2 mm que fueron depositados en recipientes plásticos donde a cada uno de ellos se les adicionaron separadamente 10 ml de los dispersante químico más 400 ml de agua. Los dispersantes químicos utilizados fueron calgón ((NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y una mezcla propuesta de pirofosfato de sodio (Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) 0.1M a pH 10 y ((NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) (calgón) en proporción 2:1.

Las muestras de suelo fueron colocadas en frascos plásticos de 600 ml donde se agregaron lentamente los dispersantes y el agua. Estos frascos conteniendo los tratamientos fueron colocados en reposo por 24 h antes de ser sometidos a agitación mecánica en un agitador tipo shakter a 60 r.p.m. durante 6 h y la determinación de las fracciones granulométricas por el método Bouyoucos (IGAC, 2006). Para el análisis textural de los suelos por el método de la pipeta, las submuestras de los suelos fueron enviadas al IGAC.

Para comparar los dispersantes químicos se utilizó el procedimiento propuesto por Leite y Oliveira (2002). La prueba, conocida como L.O., consiste en una regla de decisión construida con base en la estadística de 'F' propuesta por Graybill (1976) para la evaluación del error medio y en el análisis de los coeficientes de correlación lineal. Según estos investigadores  $Y_j$  y  $Y_i$  son vectores cuantitativos, en el que  $Y_j$  indica un método, procedimiento o tratamiento alternativo y  $Y_i$  es el tratamiento patrón; dos métodos son considerados estadísticamente iguales si simultáneamente

después del ajuste de regresión lineal se cumple que:  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 Y_i$ ,  $\beta_0 = 0$  y  $\beta_1 = 1$ , estando el valor  $R_{ujji}$  muy próximo a 1. Teniendo en cuenta que esta situación es más ideal que real, los autores optaron por una modificación que aplica un análisis estadístico más completo.

La modificación propuesta consistió en realizar simultáneamente pruebas 'F' y 't'. Entonces, si 'F' ( $H_0$ ) < 'F' tabulado con n-2 grados de libertad a un nivel  $\alpha$  de significación, la hipótesis  $H_0$  no es rechazada y el intercepto se considera igual a 0 y la pendiente igual a 1. Además de la prueba 'F', es importante evaluar la alternativa de precisión en relación con el método estándar para cuantificar el error promedio.

Para determinar la significancia del error se hizo uso de la estadística 't'. En este caso, si 't' calculada (el error promedio 't') < 't' tabulada para n-1 grados de libertad, se acepta la hipótesis  $H_0$ , indicando que el error medio es igual a 0. Además, debe existir un alto coeficiente de correlación (cercano a 1) y 'F' ( $H_0$ ) no debe ser significativo como en el error medio. Sin embargo, en el proceso se produce un sesgo debido a que no obstante encontrar un alto valor en el coeficiente de correlación, éste es relativo ya que existe la posibilidad de una alta dispersión  $Y_j$  con respecto a  $Y_i$ , por lo que se requiere hacer una comparación con la expresión:  $1 - |e|$  que se observa en la tabla 1.

A partir de estos supuestos, los resultados obtenidos se contrastan en la regla de decisión (Tabla 1). Donde se indica que pueden ocurrir ocho situaciones, de las que sólo una es considerada para determinar igualdad entre el método estudiado o propuesto y el método patrón. Además de esta prueba, los datos de arcilla, arena y limo obtenidos fueron analizados mediante correlaciones y posteriormente se clasificaron las clases texturales obtenidas.

**Tabla 1.** Reglas de decisión propuestas por el test de Leite y Oliveira para significancia entre métodos de dispersión de partículas.

| Situación | F( $H_0$ ) | t( $\alpha$ ) | $R_{ujji}$                | Decisión       |
|-----------|------------|---------------|---------------------------|----------------|
| 1         | ns         | ns            | $R_{ujji} \geq (1 -  e )$ | $Y_j = Y_i$    |
| 2         | ns         | ns            | $R_{ujji} < (1 -  e )$    | $Y_j \neq Y_i$ |
| 3         |            | *             | $R_{ujji} \geq (1 -  e )$ | $Y_j \neq Y_i$ |
| 4         | ns         | *             | $R_{ujji} < (1 -  e )$    | $Y_j \neq Y_i$ |
| 5         | *          | ns            | $R_{ujji} \geq (1 -  e )$ | $Y_j \neq Y_i$ |
| 6         | *          | ns            | $R_{ujji} < (1 -  e )$    | $Y_j \neq Y_i$ |
| 7         | *          | *             | $R_{ujji} \geq (1 -  e )$ | $Y_j \neq Y_i$ |
| 8         | *          | *             | $R_{ujji} < (1 -  e )$    | $Y_j \neq Y_i$ |

\*: Significativo al 5% para las pruebas t y F. ns: no significativo para las pruebas t y F. |e|: error medio.  $R_{ujji}$ : Coeficiente de correlación entre los métodos analizados.  $Y_j$ : método estándar.  $Y_i$ : método alternativo o propuesto.

## Resultados y discusión

Los análisis de caracterización (Tabla 2) muestran que el pH de los suelos fue variable entre 4.7 y 8.0, la materia orgánica (M.O.) entre 0.5 y 2.9%; el calcio entre 0.4 y 87.4, el magnesio entre 0.1 y 10.0 y la acidez intercambiable entre 0.40 y 6.20  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ .

El análisis mineralógico de las arcillas mostró predominio de los minerales caolinita y cuarzo, lo que demuestra la extrema pobreza química y estado de desarrollo edafológico de los materiales parentales, debido a la intemperización que se presenta en los sitios donde se recolectaron los suelos. El tipo de arcilla caolinita y la alta cantidad de cuarzo presente en estos suelos les confiere propiedades de baja o ninguna expansibilidad y baja capacidad de intercambio catiónico. Los suelos en estudio mostraron además la presencia de gibsita, lo que contribuye a la presencia de cargas dependientes de pH, elevados puntos de carga cero y un alto grado de floculación de arcillas, que pueden reducir el efecto de los iones desfloculantes. Acevedo-Sandoval *et al.* (2004) y Peacock y Rimmer (2000) indican que el punto de carga cero (CPZ) es una propiedad importante de los óxidos de hierro y la interacción de estos con las arcillas depende del pH; a pH bajo los óxidos se precipitan sobre la superficie de los minerales arcillosos y una vez formados, estos revestimientos son estables a pH elevados.

### Determinación de contenidos de fracciones granulométricas

Al determinar los contenidos de arena, arcilla y limo se encontró que con el método propuesto solución compuesta ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) 0.1M a pH 10 y  $(\text{NaPO}_3)_6 + \text{Na}_2\text{CO}_3$  se determinó un menor contenido de arena que utilizando el dispersante calgón ( $(\text{NaPO}_3)_6 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ ); esto sucedió cuando se utilizó el método de Bouyoucos, lo que indica que existe un aumento en la dispersión de la fracciones que componen los agregados del suelo. Rodrigues *et al.* (2011) encontraron que mayores concentraciones de  $\text{PO}_4^{=}$  en la solución mejoran la capacidad de dispersión de las arcilla en suelos de los órdenes Oxisoles, Mollisoles y Alfisoles.

Al comparar los contenidos de arena con ambos agentes de dispersión por los métodos de Bouyoucos y pipeta (Tabla 3) se observa que el menor contenido fue obtenido con este último, lo que indica que esta metodología fue más eficiente en la cuantificación de esta fracción, resultado que fue verificado por el 26% de arena encontrado mediante este método, comparado con 28 y 32% obtenidos por la mezcla propuesta por los autores y calgón al utilizar el método de Bouyoucos. Estos resultados son explicables si se tienen en cuenta las propiedades químicas del

**Tabla 2.** Caracterización química y mineralógica de las muestras de suelos recolectadas en Córdoba y Sucre, Colombia.

| Suelos   | pH  | MO   | Ca  | Mg   | K    | Na   | Al+H | CICE | Mineralogía de arcillas |           |        |
|----------|-----|------|---|------|------|------|------|------|-------------------------|-----------|--------|
|          | 1:1 | %    | ----- cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> ----- |      |      |      |      |      | Mica                    | Caolinita | Cuarzo |
| 1        | 7.8 | 0.51 | 87.4  | 1.7  | 0.83 | 0.30 |      | 90.2 | ++                      | tr        | ++     |
| 2        | 4.8 | 0.66 | 0.4   | 0.1  | 0.09 | 0.11 | 6.20 | 6.9  | +                       | +++       | +      |
| 3        | 6.6 | 2.93 | 13.0  | 6.7  | 0.45 | 0.35 |      | 20.4 | ++                      | +++       | ++     |
| 4        | 4.7 | 0.98 | 1.5   | 0.8  | 0.21 | 0.11 | 0.40 | 3.0  | tr                      | ++        | ++++   |
| 5        | 5.1 | 1.15 | 0.5   | 0.8  | 0.13 | 0.09 | 0.62 | 2.1  |                         | ++        | ++++   |
| 6        | 6.5 | 0.99 | 11.0  | 5.8  | 1.54 | 0.20 |      | 18.5 | +++                     | ++        | +      |
| 7        | 5.0 | 2.77 | 10.5  | 10.0 | 0.51 | 0.33 | 0.70 | 22.0 | ++                      | ++        | +      |
| 8        | 7.5 | 1.20 | 45.0  | 10.0 | 0.28 | 0.43 |      | 55.7 | +                       | tr        | +      |
| 9        | 8.0 | 1.20 | 42.5  | 0.8  | 0.32 | 0.11 |      | 43.7 | tr                      | +         | +      |
| Mínimo   | 4.7 | 0.51 | 0.40  | 0.1  | 0.13 | 0.11 | 0.40 | 2.10 | —                       | —         | —      |
| Máximo   | 8.0 | 2.93 | 87.4  | 10.0 | 1.54 | 0.4  | 6.20 | 90.2 | —                       | —         | —      |
| Promedio | 6.2 | 1.40 | 23.5  | 4.10 | 0.50 | 0.2  | 2.00 | 29.2 | —                       | —         | —      |
| D.E.     | 1.3 | 0.90 | 29.3  | 4.1  | 0.50 | 0.1  | 2.80 | 29.1 | —                       | —         | —      |

Mineralogía de arcillas: ++++ Dominante (>50%); +++ Abundante (30-50%); ++ Común (15-30%); + Presente (5-15%); tr =Trazas (<5%).

D.E.: Desviación estandar.

Na<sup>+</sup> y su poder disgregante de los agregados del suelo, como lo demostraron Corá *et al.* (2009) al encontrar que este elemento disminuye la presión osmótica de la suspensión y contribuye con la dispersión de los agregados presentes en el suelo. Además, la concentración del elemento fue mayor en la mezcla dispersante propuesta, lo que produjo un incremento del pH hasta 9.1 en la suspensión suelo:agua:dispersante, dando lugar a una mayor separación de los agregados (Seta y Karathanasis, 1996).

Los contenidos de arcilla determinados con los dispersantes por el método de Bouyoucos vs. el método de la pipeta, fueron de 44% con [Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>

+ (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>], 42% con pipeta y 39% con (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Según Donagemma *et al.* (2003) el aumento del porcentaje de la fracción arcilla es un indicador de una mayor efectividad del tratamiento de dispersión utilizado por la disminución en la proporción de pseudocomponentes, especialmente limo. Estos resultados también pueden ser explicados por la alta concentración de Na<sup>+</sup> del [(NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>] que le permite sustituir los cationes Al y Ca que generalmente saturan los sitio de intercambio y favorecen la floculación. Según Ruiz (2005) la dispersión química se basa en el incremento de la repulsión entre partículas, debido al aumento de la doble capa difusa mediante la saturación del complejo de intercambio catiónico con Na<sup>+</sup>, provocando la precipitación de iones de Al y Ca. De Sousa Neto *et al.* (2009) encontraron que el HCl + NaOH a concentración de 1.0 mol/lit fue más eficiente en dispersar las arcillas presentes en suelos con altos contenidos de carbonato de calcio. Según Spera *et al.* (2008) cationes como Na<sup>+</sup> con alto grado de hidratación forman complejos y aumentan la distancia entre partículas, por lo que las fuerzas de atracción de corto alcance no se manifiestan y el sistema se dispersa.

Un factor que puede haber contribuido para aumentar la capacidad dispersante de las fracciones texturales del suelo cuantificadas por el método de Bouyoucos y el dispersante propuesto + calgón fue la aplicación de agitación lenta a 60 r.p.m. durante un periodo de 6 h. Con esta variación en tiempo de agitación, las partículas presentes en la suspensión mantienen un mayor tiempo de fricción entre ellas, generando rompimiento de los agregados y por tanto separación de las partículas granulométricas que se encuentran floculadas. Kettler *et al.* (2001) señalan que la

**Tabla 3.** Comparación entre los contenidos de arena y arcilla determinados con los métodos de Bouyoucos vs. el método de la pipeta, utilizando calgón o mezcla.

| No. de muestra | Arena (%) |        |        | Arcilla (%) |        |        |
|----------------|-----------|--------|--------|-------------|--------|--------|
|                | Calgón    | Mezcla | Pipeta | Calgón      | Mezcla | Pipeta |
| 1              | 29        | 25     | 18     | 37          | 43     | 57     |
| 2              | 25        | 18     | 16     | 51          | 66     | 63     |
| 3              | 15        | 13     | 7      | 33          | 38     | 40     |
| 4              | 67        | 64     | 68     | 16          | 18     | 14     |
| 5              | 55        | 51     | 55     | 22          | 25     | 19     |
| 6              | 17        | 15     | 10     | 35          | 38     | 32     |
| 7              | 24        | 21     | 17     | 50          | 56     | 54     |
| 8              | 30        | 22     | 29     | 53          | 53     | 39     |
| 9              | 27        | 23     | 15     | 48          | 55     | 61     |
| Promedio       | 32        | 28     | 26     | 39          | 44     | 42     |
| D.E.           | 17.6      | 17.6   | 21.2   | 13.3        | 15.6   | 18.1   |
| Mínimo         | 15        | 13     | 7      | 16          | 18     | 14     |
| Máximo         | 67        | 64     | 68     | 53          | 66     | 63     |

Calgón: (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Mezcla: Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> + ((NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) en relación 2:1

D.E.: Desviación estandar.

agitación mecánica se utiliza en combinación con los tratamientos químicos para mejorar la dispersión de las partículas del suelo. Silva dos Santos *et al.* (2010) encontraron que la agitación lenta proporciona menores valores de los coeficientes de variación, además mayor precisión de los datos, cuando es comparada con el método de agitación rápida.

Para las fracciones arena y arcilla se observó que la mezcla  $[\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + (\text{NaPO}_3)_6 + \text{Na}_2\text{CO}_3]$ , utilizando agitación lenta, resulta ser una metodología de dispersión física y química importante para determinar la clase textural de los suelos, además más sencilla y rápida que la utilizada para determinar las fracciones por el método de pipeta.

Los coeficientes de correlación entre los porcentajes de arena (Figuras 1a y 1b) muestran que existe correspondencia significativa ( $r = 0.97$ ,  $P < 0.05$ ) entre los valores obtenidos con los métodos en estudio, lo cual indica una alta confiabilidad entre el método de pipeta que utiliza calgón y el método de dispersión alternativo vs el método de Bouyoucos. Resultados similares se observan al comparar el método de pipeta vs el método de Bouyoucos ( $r = 0.98$ ).

Para la fracción arcilla (Figura 1c y 1d) se encontró que el coeficiente de correlación entre el método de dispersión propuesto vs el de pipeta fue  $r = 0.89$  ( $P < 0.05$ ) lo que indica que, independientemente del método usado, se obtienen resultados similares. Por el contrario, al comparar el método de pipeta vs. Bouyoucos + calgón no se encontró significancia estadística ( $r = 0.81$ ,  $P > 0.05$ ). Para los contenidos de arena y arcilla se observa que con el dispersante calgón a 60

r.p.m. la eficiencia fue menor que con el método propuesto, sin embargo el método Bouyoucos utilizando calgón como dispersante es considerado como patrón en la mayoría de los laboratorios del país (IGAC, 2006).

La capacidad dispersante de la solución en el método propuesto, incluyendo el tratamiento a 60 r.p.m., es favorecida por el aumento del pH de la suspensión hasta 9.2, lo que desencadena un incremento del potencial zeta, donde las cargas positivas y negativas tienden a igualarse, por lo tanto las fuerzas de repulsión electrostáticas son muy débiles y permiten una mayor repulsión entre las partículas y por ende un ensanchamiento en la doble capa difusa y una mejor dispersión de las fracciones granulométricas. Según Spera *et al.* (2008) el espesor de la doble capa difusa es un factor importante y fundamental que influye en la dispersión y la floculación de partículas; Mitchell y Grohmann (1996) consideran que la estabilidad en las suspensiones para la dispersión de arcillas requiere pH elevados para obtener un aumento de cargas negativas en la suspensión.

Cuando se aplicó el test de Leite y Oliveira para analizar los resultados de los porcentajes de arena y arcilla obtenidos por las tres metodologías para cada suelo, se encontró que existe identidad entre métodos cuando se comparan los resultados de los contenidos de arena obtenidos por el método de pipeta con el dispersante calgón y el método de Bouyoucos al utilizar la mezcla propuesta como dispersante (Tabla 4). Estos resultados se explican porque las pruebas de 'F' y 't' no presentaron diferencias estadísticas, con coeficientes de correlación 0.95 y 0.98, respectivamente. Una situación similar ocurrió para el contenido de arcilla, con coeficientes de correlación de 0.67 y 0.93. Según Akiyoshi y Dalvan (2009) el mayor problema de dispersión está relacionado con la fracción de arcilla, porque la no dispersión de estas partículas puede resultar en agregados que subestiman su contenido de arcilla y sobrestiman el contenido de limo.

Los resultados del presente estudio indican que los valores de las pruebas estadísticas no presentaron diferencias significativas entre las dos metodologías (Bouyoucos con calgón y el dispersante propuesto) utilizadas a 60 r.p.m. vs la metodología de pipeta. Por lo anterior, se puede decir que lo único que impide que exista identidad entre los métodos es el bajo coeficiente de regresión.

Finalmente, al analizar los porcentajes de arena, arcilla y limo cuantificados con los dos dispersantes químicos a 60 rpm usando el método Bouyoucos y los determinados por el método de pipeta y calgón, se observa que la clasificación textural es equivalente en la mayoría de los

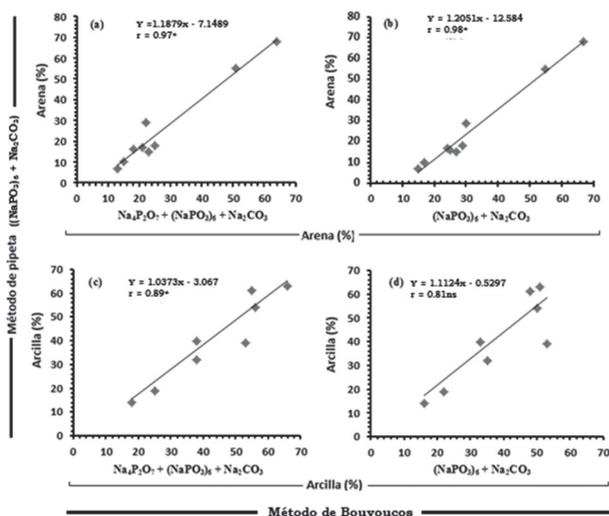


Figura 1. Correlación entre los porcentajes de arena y arcilla obtenidos con el método de la pipeta vs. los métodos de dispersión química.

a y b: correlaciones % arena; c y d: correlaciones % de arcilla.

\*  $P < 0.05$ , ns no significativo.

**Tabla 4.** Identidad entre los métodos de dispersión química en la cuantificación de arena y arcilla, según la reglas de decisión del Test de Leite y Oliveira.

| $Y_j$   | $Y_i$   | $R^2$ | $F(H_0)$           | $t_{(e)}$          | $R_{\text{yji}} \geq 1 -  e $ | Decisión       |
|---|---|-------|--------------------|--------------------|-------------------------------|----------------|
| <b>Arena</b>  |   |       |                    |                    |                               |                |
| ( $\text{NaPO}_3$ ) <sub>6</sub> $\text{Na}_2\text{CO}_3$ | ( $\text{NaPO}_3$ ) <sub>6</sub> + $\text{Na}_2\text{CO}_3$ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ | 0.98  | 14.18*             | 5.36*              | Sí                            | $Y_j \neq Y_i$ |
| Pipeta  | ( $\text{NaPO}_3$ ) <sub>6</sub> + $\text{Na}_2\text{CO}_3$ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ | 0.95  | 2.49 <sup>ns</sup> | 1.68 <sup>ns</sup> | Sí                            | $Y_j = Y_i$    |
| Pipeta  | ( $\text{NaPO}_3$ ) <sub>6</sub> + $\text{Na}_2\text{CO}_3$                                   | 0.97  | 17.26*             | 3.99*              | Sí                            | $Y_j \neq Y_i$ |
| <b>Arcilla</b>  |   |       |                    |                    |                               |                |
| ( $\text{NaPO}_3$ ) <sub>6</sub> $\text{Na}_2\text{CO}_3$ | ( $\text{NaPO}_3$ ) <sub>6</sub> + $\text{Na}_2\text{CO}_3$ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ | 0.93  | 7.45*              | 5.07*              | Sí                            | $Y_j \neq Y_i$ |
| Pipeta  | ( $\text{NaPO}_3$ ) <sub>6</sub> + $\text{Na}_2\text{CO}_3$ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ | 0.79  | 0.15 <sup>ns</sup> | 0.85 <sup>ns</sup> | No                            | $Y_j \neq Y_i$ |
| Pipeta  | ( $\text{NaPO}_3$ ) <sub>6</sub> + $\text{Na}_2\text{CO}_3$                                   | 0.67  | 0.52 <sup>ns</sup> | 0.85 <sup>ns</sup> | No                            | $Y_j \neq Y_i$ |

\*: Significativo al 5% para las pruebas 't' y 'F'. ns: no significativo para las pruebas 't' y 'F'.

suelos (Tabla 5). Chaudhari *et al.* (2008) concluyeron que con el método Bouyoucos usando calgón como dispersante se obtienen contenidos superiores de arcilla frente a los obtenidos con

**Tabla 5.** Porcentajes de arena, arcilla y limo por Bouyoucos y clasificaciones texturales obtenidas con diferentes metodología, en nueve suelos de Córdoba y Sucre, Colombia.

| Suelos | Métodología <sup>a</sup> | Arena | Arcilla | Limo | Textura <sup>b</sup> |
|--------|--------------------------|-------|---------|------|----------------------|
| 1      | Calgón <sup>a</sup>      | 28    | 38      | 34   | f-ar                 |
|        | Mezcla <sup>b</sup>      | 25    | 43      | 32   | ar                   |
|        | Pipeta                   | 18    | 57      | 25   | Ar                   |
| 2      | Calgón                   | 25    | 52      | 24   | ar                   |
|        | Mezcla                   | 17    | 66      | 16   | ar                   |
|        | Pipeta                   | 16    | 63      | 21   | Ar                   |
| 3      | Calgón                   | 14    | 34      | 52   | f-ar-li              |
|        | Mezcla                   | 12    | 39      | 49   | f-ar-li              |
|        | Pipeta                   | 7     | 40      | 53   | f-ar-li              |
| 4      | Calgón                   | 67    | 16      | 17   | f-a                  |
|        | Mezcla                   | 64    | 18      | 18   | f-a                  |
|        | Pipeta                   | 68    | 14      | 18   | f-a                  |
| 5      | Calgón                   | 55    | 22      | 22   | f-a                  |
|        | Mezcla                   | 51    | 25      | 24   | f-a                  |
|        | Pipeta                   | 55    | 19      | 26   | f-a                  |
| 6      | Calgón                   | 16    | 35      | 49   | f-ar-li              |
|        | Mezcla                   | 15    | 38      | 47   | f-ar-li              |
|        | Pipeta                   | 10    | 32      | 58   | f-ar-li              |
| 7      | Calgón                   | 24    | 50      | 26   | ar                   |
|        | Mezcla                   | 21    | 56      | 23   | ar                   |
|        | Pipeta                   | 17    | 54      | 29   | Ar                   |
| 8      | Calgón                   | 30    | 53      | 17   | ar                   |
|        | Mezcla                   | 22    | 53      | 25   | f-ar                 |
|        | Pipeta                   | 29    | 39      | 32   | f-ar                 |
| 9      | Calgón                   | 27    | 48      | 25   | ar                   |
|        | Mezcla                   | 22    | 55      | 22   | ar                   |
|        | Pipeta                   | 15    | 61      | 24   | ar                   |

a. Método de Bouyoucos con dispersante químico ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> +  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (calgón) y  $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> +  $\text{Na}_2\text{CO}_3$   $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  (mezcla propuesta).

b. Texturas: f-ar: franco arcilloso; ar: arcilloso; f-ar-li: franco arcillo limoso; f-a: franco arenoso.

el método de pipeta, de esta forma se desencadenan diferencias significativas que impiden la coincidencia en el análisis textural. Vitorino *et al.* (2007) consideran que el análisis granulométrico requiere energía suficiente para vencer las fuerzas de unión de los agregados y sustancias húmicas, las cuales deben ser fragmentadas a través del choque mecánico. De acuerdo con Tavares y Magalhães (2008) la dispersión total del suelo coincide con la destrucción de los agregados. Al comparar las clases texturales determinadas por la mezcla propuesta ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> +  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  +  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  se observa que no se encontraron clasificaciones texturales diferentes a las obtenidas con pipeta, lo que no ocurre con el método de Bouyoucos con el dispersante calgón, en el cual se presentaron texturas diferentes en los suelos 1 y 8 estudiados.

## Conclusiones

La mezcla propuesta como dispersante químico genera una disminución en los porcentajes de arena e incremento en los porcentajes de arcilla.

Entre la mezcla propuesta y el método de pipeta se encontró que existe identidad de métodos, cuando se evaluaron las fracciones arena.

Se encontró una relación significativa entre las fracción de arcilla obtenida con el dispersante (( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> +  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  +  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) y el método de la pipeta, no obstante con el test de identidad no se presentaron resultados equivalentes.

Utilizando la mezcla propuesta se obtienen las mismas clasificaciones texturales que utilizando el método de pipeta.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Investigaciones de la Universidad de Córdoba (CIUC) por el apoyo financiero para la ejecución del proyecto Cuantificación de Fracciones Granulométricas y Elementos Nutricionales Utilizando Diferentes

Extractantes en Suelos del Departamento de Córdoba. A los analistas químicos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agrícolas.

## Referencias

- Acevedo-Sandoval, O.; Ortiz-Hernández, E.; Cruz-Sánchez, M.; y Cruz-Chávez, E. 2004. El papel de óxidos de hierro en suelos. *Terra Latinoam.* 22(4):485 - 497.
- Akiyoshi, L. e Dalvan, J. 2009. *Teor de argila de solos sob diferentes tempos de agitação horizontal.* Tempo de contato do dispersante químico e dispersão mecânica. Santa Maria. Brasil. p. 605 - 616.
- Beuselink, L.; Govers, G.; Poesen, J.; Degraer, G.; y Froyen, L. 1998. Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method. *Catena* 32:193 - 208.
- Chakraborty, D.; Chakraborty, A.; Santra, P.; Tomar, R. K.; Garg, R. N.; Sahoo, R. N.; Choudhury, S. G.; Bhavanarayana, M.; y Kalra, N. 2006. Prediction of hydraulic conductivity of soils from particle-size distribution. *Current Sci.* 90(11):1526 - 1531.
- Chaudhari, S. K.; Singh, R.; y Kundu, D. K. 2008. Rapid textural analysis for saline and alkaline soils with different physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:(2)431 - 441.
- Corá, J. E.; Fernandes, C.; Beraldo, J. M. G.; e Marcelo, A. V. 2009. Adição de areia para dispersão de solos na análise granulométrica. *Ver. Bras. Ciên. Solo.* 33:255 - 262.
- De Sousa Neto, E. L.; Luiz Henrique, A. F.; e Amauri Néilson, B. 2009. Dispersão da fração argila de um latossolo sob diferentes sistemas de uso e dispersantes. *Rev. Bras. Cien. Solo* 33:723 - 728.
- Donagemma, G. K.; Ruiz, H. A.; Fontes, M. P.; Ker, J.C.; e Schaefer, C. G. 2003. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de prétratamentos na análise textural. *Rev. Bras. Cien. Solo* 27:765 - 772.
- Gee, G. W. y Or, D. 2002. *Particle-size analysis.* En: J. H. Dane y G. C. Topp (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods.* SSSA. Madison. Wisconsin. p. 255 - 293.
- Gee, G. W. y Bauder, J. W. 1986. *Particle-size analysis.* En: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods.* 2. ed. Madison. American Society of Agronomy. Part 1. 383 - 411.
- Graybill, F. A. 1976. Theory and application of the linear model. Duxbury Press. Belmont. CA. p. 98-103 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. VI Edición. Bogotá. IGAC Subdirección de Agrología. 499 p.
- Jorge, J. A.; Paula, J. L.; e Menk, R. F. 1985. Comparação de dois métodos de análise granulométrica de solos utilizados pelo SNLCS/Embrapa e IAC. *Pesq. Agropec. Bras.* 20:865 - 871.
- Kettler, T. A.; Doran, J. W.; y Gilbert, T. L. 2001. Simplified method for soil particle-size determination to accompany soil-quality analyses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:849 - 852.
- Leite, H. G. y Oliveira, F. H. 2002. Statistical procedure to test identity between analytical methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37:(7-8)1105 - 1118.
- León, A. R. 2001. Comparación de métodos de análisis mecánico de suelos. *Terra* 19:219 - 225.
- Mauri, J.; Ruiz, H. A.; Alves Fernandes, R. B.; Ker, J. C. e Martins Rezende, L. R. 2011. Dispersantes químicos na análise granulométrica de latossolos. *Rev. Bras. Cien. Solo.* 35:1277 - 1284.
- Mitchell, R. e Grohmann, F. 1996 Contribuição ao estudo da análise granulométrica do solo. En: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 6. Salvador. Resumos. Rio de Janeiro. RJ. SBSCS. p. 29 - 38.
- Peacock, S. y Rimmer, D. 2000. The suitability of an iron oxide-rich gypsum by-product as a soil amendment. *J. Environ. Qual.* 29(6):1969 - 1975.
- Rodrigues, C.; de Oliveira, V. A.; Marques da Silveira, P.; y Guimarães Santos, G. 2011. Chemical dispersants and pre-treatments to determine clay in soils with different mineralogy. *Rev. Bras. Cien. Solo.* 35:1589 - 1596.
- Ruiz, H. 2005. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Rev. Bras. Cien. Solo.* 29:297 - 300.
- Seta, A. K. y Karathanasis, A. D. 1996. Water dispersible collids and influencing their dispersibility from soil aggregates. *Geoderma* 74:255 - 266.
- Silva, A. P.; Tormena, C. A.; Fidalski, J.; e Imhoff, S. 2008. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. *Rev. Bras. Cien. Solo* 32:1 - 10.
- Silva dos Santos, L. N.; Ribeiro Passos, R.; Monteiro da Silva, L.V.; Pedro Peluzio de Oliveira, P.; De Oliveira Garcia, G.; e Cecílio, R.A. 2010. Avaliação de alguns atributos físicos de um latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. *Biosci. J. Uberl.* 26:(6)940 - 947.
- Spera, S. T.; Denardin, J. E.; e Varella, P. A.; Pereira dos Santos, H.; e Figueroa, E. A. 2008. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. *Rev. Bras. Cien. Solo* 32:2613 - 2620.
- Tavares, F. J. e Magalhães, F. S. 2008. Dispersão de amostras de Latossolo Vermelho eutroférrico influenciadas por prétratamentos para oxidação de matéria orgânica e pelo tipo de agitação mecânica. *Rev. Bras. Cien. Solo* 32:1429 - 1435.
- Tomasella, J.; Hodnett, M.G.; y Rossato, L. 2000. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:327 - 338.
- Vitorino, A.; Ferreira, M. M.; Curi, N.; Lima, J. M. D.; e Montezano, Z. F. 2007. Uso de energia ultra-sônica e turbidimetria na análise textural de pequenas amostras de solo. *Ciên. Técn. Agrop.* 16:43 - 48.
- Zobeck, T. M. 2004. Rapid soil particle size analyses using laser diffraction. *Appl. Eng. Agric.* 20: 633 - 639.