

**COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE LA PIPETA Y BOUYOCOS Y SU RELACIÓN CON LA RETENCIÓN DE AGUA EN OCHO SUELOS DE LA ZONA ALTIPLÁNICA DE LA PROVINCIA DE PARINACOTA, CHILE<sup>1</sup>**

**Comparison between the pipette and Bouyoucos methods and their relation with water retention in eight soils of the andean plateau, Parinacota Province, Chile**

**Pablo Norambuena V.<sup>2</sup>, Walter Luzio L.<sup>3</sup> y Wilfredo Vera E.<sup>3</sup>**

**A B S T R A C T**

The purpose of this research was to compare two methods, the pipette and Bouyoucos, to quantify the distribution and particle size in soils of cold arid regions. Eight soils (29 samples) from de Andean Plateau, Parinacota Province, Chile, were sampled. With the results, a regression analysis was carried out and the corresponding scatter graph obtained. The results indicated that the organic carbon percentage and the salinity content had little influence, mainly due to the low content of both variables. Instead,  $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$ , that constitute one of the parameters that represent the degree of evolution of volcanic glasses towards short range ordering minerals, had an effect on the  $R^2$  due to the incomplete dispersion of the Bouyoucos method.

**Keys words:** soil physics, arid soils, Andean Plateau, Parinacota.

**R E S U M E N**

El objetivo de esta investigación fue comparar dos métodos, de la pipeta y Bouyoucos, para cuantificar la distribución y tamaño de partículas en suelos de regiones áridas frías. Para ello se muestrearon ocho suelos (29 muestras) del altiplano, en la Provincia de Parinacota. Con los resultados se efectuó un análisis de regresión lineal, se obtuvo la ecuación de la recta y el gráfico de dispersión correspondiente. Los resultados señalan que el contenido de carbono orgánico y el contenido salino tienen escasa influencia, principalmente a causa de los bajos contenidos de ambas variables. En cambio,  $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$  que constituye uno de los parámetros que representa el grado de evolución de los vidrios volcánicos hacia minerales de ordenamiento de corto rango, sí produjo una diferencia en los  $R^2$ , a causa de la dispersión incompleta que se produce por el método de Bouyoucos.

**Palabras clave:** física de suelos, suelos zonas áridas, altiplano, Parinacota.

<sup>1</sup>Recepción de originales: 18 de abril de 2000.

Investigación patrocinada por el Centro Internacional de Estudios Andinos (INCAS) (Universidad de Chile) y financiada parcialmente por un Grant de Mellon Foundation (USA).

<sup>2</sup>Sector privado; norambuenap@yahoo.com

<sup>3</sup>Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Casilla 1004, Santiago, Chile. E-mail: wluzio@uchile.cl

## INTRODUCCIÓN

Para el análisis de distribución de tamaño de partículas en suelos, comúnmente se emplean los métodos de Bouyoucos y de la pipeta. El método de Bouyoucos, tiene la ventaja de dar resultados similares a los del método de la pipeta dentro de un tiempo razonable, sin necesidad de pretratar las muestras ni de largos períodos de reposo, evitando el pesaje exacto de pequeñas cantidades de sustancia coloidal. Sin embargo, en estudios de génesis, caracterización y clasificación de suelos, en que se requiere una estimación precisa del contenido de arcilla de los horizontes genéticos de un suelo, se recomienda el método de la pipeta (Buol *et al.*, 1973).

Day (1965) y Gee y Bauder (1986), señalaron que si el suelo tiene un bajo contenido de materia orgánica y se encuentra libre de sales solubles y de yeso, el método de Bouyoucos tiene un bajo error con respecto al método de la pipeta.

El objetivo del presente trabajo fue comparar ambos métodos y establecer cuál se relaciona en mejor forma con la capacidad de retención de agua en ocho suelos minerales de la Provincia de Parinacota, a través de un análisis de regresión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las determinaciones de distribución de tamaño de partículas se llevaron a cabo en los laboratorios de Química de Suelos y Aguas, de Riego y de Génesis de Suelos, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, de acuerdo con los procedimientos señalados por Day (1965), Dewis y Freitas (1970) y Gee y Bauder (1986).

Ambos métodos se basan en la ley de Stokes. El método de la pipeta es un procedimiento de muestreo directo, en que se toma una submuestra con una pipeta, a una profundidad y tiempo determinado, que supone la eliminación por sedimentación de todas las partículas mayores a

un diámetro  $x$ . En el método de Bouyoucos, la determinación de la densidad de la solución de sedimentación por un hidrómetro calibrado, entrega directamente el contenido en porcentaje de la fracción de un diámetro  $x$ .

Mientras que en el método de Bouyoucos las muestras de suelo no se someten a un pretratamiento para eliminar la materia orgánica y las sales solubles, el método de la pipeta requiere la eliminación total de estos componentes. Todas las determinaciones de laboratorio se realizaron con dos repeticiones.

Para comparar ambos métodos, se determinó la distribución de tamaño de partículas en ocho suelos minerales de la Provincia de Parinacota ( $68^{\circ}55' - 69^{\circ}47'$  long. Oeste y  $17^{\circ}30' - 19^{\circ}05'$  lat. Sur), con un total de 29 muestras (grupo I), una por cada horizonte (Cuadro 1). Estos suelos tienen un contenido de carbono orgánico que varía entre 0 y 1,3%, una conductividad eléctrica (CE) que varía entre 0,18 y 2,7  $\text{dS m}^{-1}$ , y derivan de materiales volcánicos ricos en vidrios que no se meteorizan a minerales de ordenamiento de rango corto, o lo hacen en una muy baja proporción, no desarrollando propiedades ándicas (Cuadro 1).

El análisis estadístico consistió en un análisis de regresión lineal, que estableció el coeficiente de determinación, la ecuación de la recta y la gráfica de dispersión correspondiente, según los siguientes pares de variables:

Variable en X	Variable en Y
Arcilla pipeta	Arcilla Bouyoucos
Limo pipeta	Limo Bouyoucos
Arena pipeta	Arena Bouyoucos
Arcilla pipeta	Ret. de $h^{\circ}$ a 33 kPa
Arcilla pipeta	Ret. de $h^{\circ}$ a 1500 kPa
Arcilla Bouyoucos	Ret. de $h^{\circ}$ a 33 kPa
Arcilla Bouyoucos	Ret. de $h^{\circ}$ a 1500 kPa

<sup>4</sup>Ret. de  $h^{\circ}$ : retención de agua.

**Cuadro 1. Distribución de tamaño de partículas, contenido de carbono orgánico (CO), conductividad eléctrica (CE), retención de agua (Ret. h°) y aluminio y hierro extraíbles con oxalato ácido (Al(ox), Fe(ox))**

**Table 1. Particle size distribution, organic carbon content (CO), electrical conductivity (CE), water retention (Ret. h°) and aluminum and iron extractable with oxalate acid(Al(ox), Fe(ox))**

Perfil	Clasificación taxonómica (SSS, 1998)	Horizonte	Profundidad	Método de la pipeta, %			Método de Bouyoucos, %			Clase textural <sup>1</sup>	Arena	Limo	Arcilla	Ret. h° 1.500 kPa	Ret. h° 33 kPa	CO	CE	Al(ox) <sup>+</sup> 1/2 Fe(ox)
				0-8	8-22	22-80	0	10	90									
<b>Laran 1</b>	Vitrandic	A1	0-8	0	10	90	a	0	11	89				3	7	0,4	0,18	0,31
	Cryorthends	A2	8-22	8	13	79	af	5	12	83				7	12	0,4	0,35	0,10
		C	22-80	13	13	74	fa	13	14	73				9	19	0,1	0,53	0,05
<b>Humalqui</b>	Vitrandic	A	2-28	12	23	65	fa	12	17	71				7	16	0,1	0,22	0,21
	Haplocryids	Bw	28-41	18	12	70	fa	17	8	75				10	16	0,3	0,64	0,08
<b>Alcérreca</b>	Lithic	A1	0-6	4	25	71	fa	2	16	82				4	13	0,6	0,27	0,13
	Haplocryids	A2	6-18	20	33	48	f	18	20	62				7	15	0,5	0,71	0,10
		2 Bw	18-25	47	29	23	A	45	19	36				20	31	1,0	2,66	0,16
<b>Oxaya</b>	Vitrandic	2 Cr	25-35	9	30	61	fa	5	20	75				8	16	0,1	1,41	0,14
	Haplocryids	A1	0-8	7	31	62	fa	8	25	67				5	14	0,5	0,51	0,64
		A2	8-18	11	28	60	fa	13	19	68				7	13	0,2	0,41	0,43
<b>Chirigualla</b>	Haplocryids	2 Bw 1	18-27	36	28	36	fA	29	24	47				19	26	0,2	0,41	0,31
		2 Bw 2	27-53	4	20	75	fa	2	9	89				17	21	0,4	0,55	0,40
	Typic	A1	3-22	16	24	60	fa	12	17	71				10	18	1,3	0,43	1,75
	Haplocryands	Bw	22-43	34	19	47	fAa	35	8	57				18	31	0,3	0,47	0,55
<b>Pichicán</b>	Haplocryands	BC	43-70	36	27	37	fA	37	16	47				19	32	0,1	0,72	0,43
		C	70-86	38	19	42	fA	33	14	53				22	35	0,1	0,50	0,18
	Vitrandic	A1	0-10	8	13	79	af	4	7	89				5	8	0,6	0,30	0,15
	Cryorthends	B	10-40	11	15	74	fa	8	9	83				6	10	0,4	0,33	0,10
<b>Guallatire</b>	Cryorthends	2 C 1	40-65	6	23	71	fa	9	9	82				7	10	0,1	0,60	0,05
		2 C 2	65-85	6	16	79	af	6	5	89				6	10	0,0	0,41	0,05
	Vitrandic	A1	4-19	4	19	77	af	0	13	87				6	10	0,9	0,30	1,02
	Cryorthends	B	19-49	4	23	73	fa	6	12	82				5	11	0,2	0,20	0,98
<b>Calatambo</b>	Cryorthends	BC	49-65	11	17	72	fa	6	11	83				6	16	0,1	0,30	0,65
		2 C 1	65-78	12	68	20	f1	19	45	36				8	34	0,0	0,23	0,65
	Vitrandic	A1	5-18	13	22	64	fa	6	15	80				8	23	1,3	0,50	1,23
	Cryorthends	2 B	18-24	12	55	33	f1	19	35	47				8	25	0,1	0,40	0,42
	3 C 1	24-40	15	23	62	fa	17	13	70				9	22	0,1	0,53	0,21	
	4 C 2	40-60	19	26	55	fa	19	14	67				12	27	0,1	0,65	0,20	

<sup>1</sup>Texturas:

a: Arenosa; af: Areno francosa; fa: Franco arenosa; f: Franca;

fAa: Franco arcillo arenosa; fA: Franco arcillosa; fl: Franco limosa; A: Arcillosa.

Para evaluar los efectos del contenido de materia orgánica, del contenido de sales solubles y de la carga variable sobre la determinación de la distribución de tamaño de partículas y su relación con la retención de humedad, se realizó el análisis de regresión estableciendo los siguientes grupos de muestras:

1. Todas las muestras ( $n = 29$ ).
2. Todas las muestras menos aquellas con un contenido de carbono orgánico igual o superior a 1% ( $n = 26$ ).
3. Todas las muestras menos aquellas con una conductividad eléctrica igual o superior a  $1 \text{ dS m}^{-1}$  ( $n = 27$ ).
4. Todas las muestras menos aquellas con un contenido de  $\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2} \text{Fe}_{\text{ox}}$  igual o superior a 0,4% ( $n = 17$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A) Método de Bouyoucos vs. método de la Pipeta

Al comparar los resultados de las correlaciones entre ambos métodos se puede apreciar (Figura 1) que en términos generales, mantiene una tendencia similar por lo cual los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) son bastante elevados. El análisis de cada grupo de muestras permite hacer las siguientes observaciones:

- a) Asumiendo que la materia orgánica tiene un papel de agente floculante, al eliminar las muestras con más de 1% de carbono orgánico (CO), la correlación debiera mejorar en forma notable. Sin embargo, esto no ocurre debido a que las muestras eliminadas son sólo tres (1,0 – 1,3 – 1,3% de CO) por lo que su influencia es muy limitada. Además, se debe considerar que los niveles de CO en todas las muestras son muy bajos, por lo cual para suelos de este tipo los resultados obtenidos por el método de Bouyoucos no se consideran distorsionados.

- b) Un análisis semejante se puede efectuar para el grupo en que se eliminaron las muestras con conductividades eléctricas superiores a  $1 \text{ dS m}^{-1}$ . En igual forma que el CO, las CE son suficientemente bajas como para influir en la variación de los  $R^2$  al comparar ambos métodos.

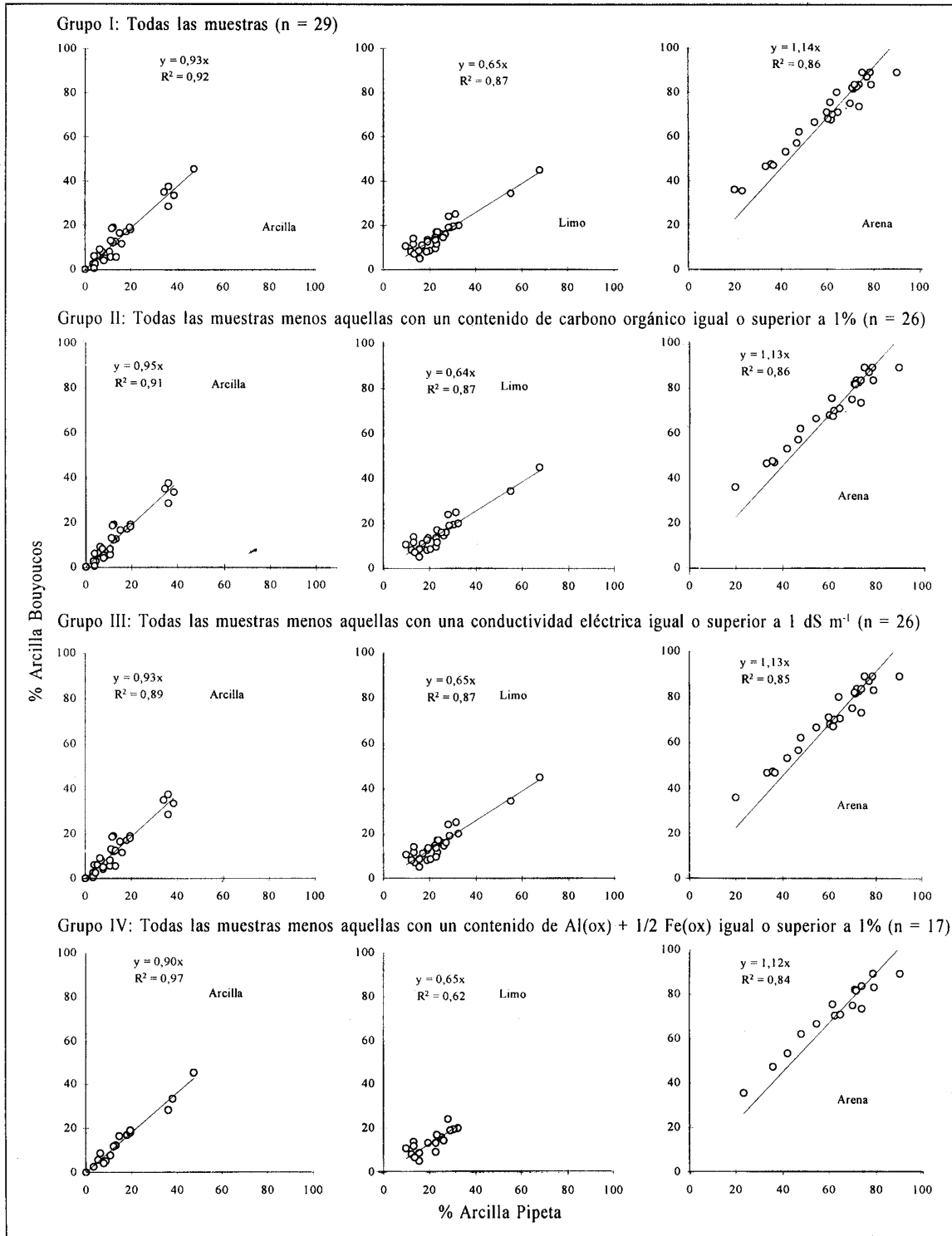
- c) En cambio, la eliminación de las muestras con más de 0,4% de  $\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2} \text{Fe}_{\text{ox}}$  efectivamente produjo una distorsión de los resultados. En primer lugar debe considerarse que la cantidad en que se encuentran los minerales de ordenamiento de rango corto es significativa y que, además, ellos ejercen un efecto floculador en el sistema coloidal. Por lo tanto, el método de Bouyoucos sólo produce una dispersión incompleta del suelo, de tal manera que una parte de la fracción arena estaría formada por pseudo agregados de arcilla y/o limo, que sí lograrán una mejor dispersión con el método de la pipeta.

Al comparar los porcentajes de arcilla con ambos métodos, se aprecia que en 66% de los casos es mayor en el método de la pipeta; en aquellos casos en que eso no sucede, el limo se presenta en mayor porcentaje. Esto significa que los pseudo agregados del tamaño arena están constituidos por limo y/o arcilla.

De acuerdo con estos resultados, el método de Bouyoucos no sería aconsejable para suelos que presentan propiedades ándicas débilmente expresadas, a causa del efecto floculante de los minerales de ordenamiento de rango corto. En el caso de los suelos con propiedades ándicas bien definidas, la distribución de tamaño de partículas no se considera una propiedad de diagnóstico (Soil Survey Staff, 1998), por lo que no cabe un análisis de esta naturaleza para ellos.

### B) Métodos de Bouyoucos y de la pipeta vs. retención de agua

- a) Dados los bajos contenidos de materia orgánica de los suelos se asume que la fracción



**Figura 1. Correlación arcilla Pipeta (eje X) / arcilla Bouyoucos (eje y).**  
**Figure 1. Correlation among Pipete clay (X axes) / Bouyoucos clay (y axes).**

arcilla es la responsable de la retención de agua. El análisis de todas las muestras ( $n = 29$ ), señala que existe una mejor correlación entre la fracción arcilla obtenida por el método de la pipeta y la retención de agua a 1.500 kPa, que la fracción arcilla obtenida por el método de Bouyoucos y la retención de agua a 1.500 kPa (Figura 2). Esto se atribuye a la mejor dispersión que se produce en el método de la pipeta, lo cual se traduce en un resultado más real.

- b) La eliminación de las muestras con CO igual o superior a 1% disminuye el  $R^2$  tanto en el método de la pipeta como en el método de Bouyoucos. Sin embargo, esa disminución (-0,036 en la pipeta y -0,049 en Bouyoucos) no produce una alteración considerable en la tendencia del resultado para ambos métodos.
- c) Un resultado semejante se obtuvo con la eliminación de las muestras con CE igual o superior a  $1 \text{ dS m}^{-1}$ , lo cual significa que valores de CE inferiores a esa cifra no afectan la relación entre el contenido de arcilla y la retención de agua a 1.500 kPa.

La eliminación de las muestras que tienen igual o superior a 0,4% de  $\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2} \text{Fe}_{\text{ox}}$  produce una disminución importante del  $R^2$  para el método de la pipeta (-0,0776) y para el método de Bouyoucos de -0,0567 en comparación con las cifras obtenidas para  $n = 29$ , lo cual significa que los

minerales de ordenamiento de corto rango tienen un papel importante en la retención de agua del suelo. Según Maeda y Soma (1986) los Andisoles que presentan minerales cristalinos, además de los minerales de ordenamiento de corto rango, pueden presentar de 20 a 70% de agua a 1.500 kPa. En el suelo Chirigualla se detectó la más alta retención de agua a 1.500 kPa, lo cual se atribuye a que es el suelo que presenta los mayores contenidos de minerales de ordenamiento de corto rango (deducido del porcentaje de  $\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2} \text{Fe}_{\text{ox}}$ ).

## CONCLUSIONES

En 6,8% de las muestras el porcentaje de arena fue superior con el método de la pipeta. En 93% de las muestras, el porcentaje de limo fue superior con el método de la pipeta, y en el 66% de las muestras el porcentaje de arcilla fue superior con la pipeta. Por lo tanto, el método de Bouyoucos incrementa la fracción arena a causa de la dispersión incompleta de las muestras. De acuerdo con estos resultados, los pseudo agregados que no se dispersan con el método de Bouyoucos están constituidos en mayor proporción por limo y en menor grado por arcilla. Por lo tanto, aun cuando las tendencias entre ambos métodos son similares (tomando en cuenta los  $R^2$ ), los porcentajes de los separados texturales difieren, incluso para suelos con bajos contenidos de carbono orgánico y baja salinidad, como los analizados en esta investigación.

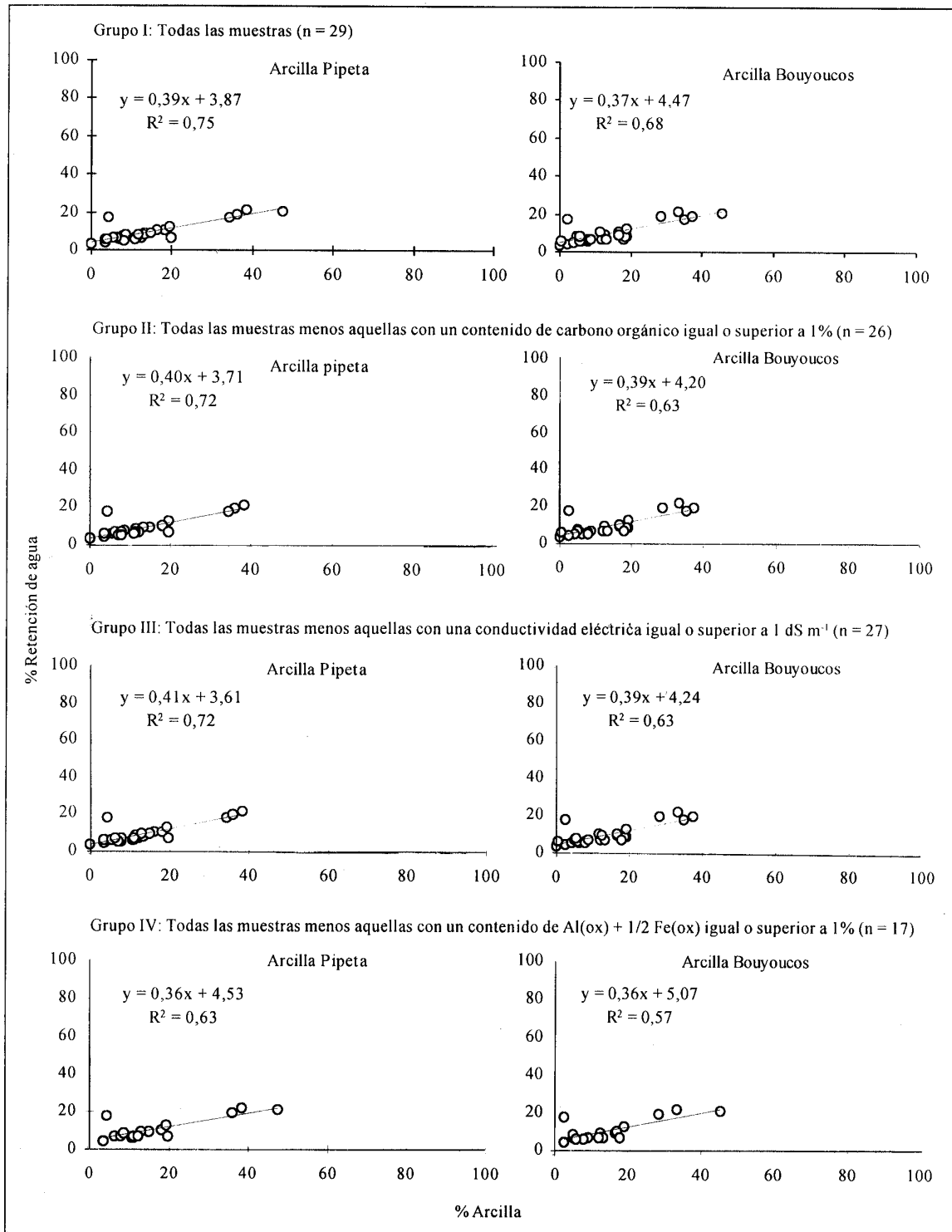


Figura 2. Correlación arcilla (eje X) / retención de agua a 1.500 kPa (eje y).

Figure 2. Correlation among clay (X axes) / water retention (1500 kPa) (y axes).

**LITERATURA CITADA**

---

- Buol, S., F. Hole, and R. McCracken. 1973. Soil genesis and classification. 360 p. The Iowa University Press, Ames, Iowa, USA.
- Day, P. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. p. 565-566. Part 1. *In* Black, C.A. (ed.). Method of soil analysis. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, USA.
- Dewis, J., y F. Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. 252 p. Boletín sobre suelos N° 10. FAO, Roma, Italia.
- Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. Part 1. p. 383-409. *In* Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA.
- Maeda, T., and K. Soma. 1986. Physical properties. 111 p. *In* Wada, K. (ed.) Ando soils in Japan.
- Soil Survey Staff. 1998. Keys to Soil Taxonomy. 326 p. 8th. ed. USDA, Natural Resources Conservation Service, Washington DC, USA.