

ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS DEL SUELO TAMIZANDO EN HUMEDO

Guía útil para comparar las prácticas
de manejo de cultivo



ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS DEL SUELO TAMIZANDO EN HUMEDO

Guía útil para comparar las prácticas
de manejo de cultivo



Reconocimientos

Este material fue elaborado como parte del Programa de Investigación del Cambio Climático, la Agricultura y la Seguridad Alimentaria del CGIAR (CCAFS) y financiado en parte por el componente 'Desarrollo sustentable con el productor', de la iniciativa 'Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional', que es respaldada por la SAGARPA. Esta serie se elaboró con base en las contribuciones y materiales aportados por A. Castellanos-Navarrete, A. Chocobar, R. A. Cox, S. Fonteyne, B. Govaerts, N. Jespers, F. Kienle, K. D. Sayre y N. Verhulst.

Si tiene alguna sugerencia respecto a cómo mejorar esta guía, por favor comuníquese con Bram Govaerts (b.govaerts@cgiar.org) o Nele Verhulst (n.verhulst@cgiar.org).

Con sede en México, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (conocido como el CIMMYT) es un organismo sin fines de lucro que se dedica a la investigación agrícola y la capacitación. El Centro trabaja para reducir la pobreza y el hambre mediante el aumento sustentable de la productividad del maíz y del trigo en el mundo en desarrollo. El CIMMYT cuenta con el banco de semillas de maíz y trigo más grande del mundo y es conocido en particular por haber iniciado la Revolución Verde que salvó millones de vidas en Asia, hecho que motivó que el Dr. Norman Borlaug, del CIMMYT, recibiera el Premio Nobel de la Paz. El CIMMYT es miembro del Consorcio del CGIAR y recibe fondos de gobiernos nacionales, fundaciones, bancos de desarrollo y otras instituciones públicas y privadas.

© Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) 2013. Todos los derechos reservados. Las designaciones empleadas en la presentación de los materiales incluidos en esta publicación de ninguna manera expresan la opinión del CIMMYT o de sus patrocinadores respecto al estado legal de cualquier país, territorio, ciudad o zona, o de las autoridades de éstos, o respecto a la delimitación de sus fronteras. Las opiniones expresadas son las del (los) autor(es) y no necesariamente representan las del CIMMYT ni las de nuestros aliados. El CIMMYT autoriza el uso razonable de este material, siempre y cuando se cite la fuente.

Estabilidad de los agregados del suelo tamizando en húmedo

1. Introducción

Los suelos son sometidos a alteraciones espaciales y temporales de los agregados y poros, que son causadas por factores naturales (pedogénesis) y antropogénicos (de manejo) (Lal y Shukla, 2004). La distribución de agregados del suelo es una medida estática, para que genere información acerca de los cambios dinámicos tiene que ser repetida en el tiempo. Otra forma práctica de conocer la dinámica es realizar mediciones de la estabilidad del suelo. La estabilidad estructural con frecuencia es medida como la estabilidad de los fragmentos del suelo que están expuestos a las presiones (Díaz-Zorita et al., 2002). De particular importancia es la capacidad del suelo de mantener su estructura durante la lluvia o el riego. La estructura del suelo se puede colapsar debido a: (i) los impactos de las gotas de lluvia en la superficie del suelo que rompen los agregados causando encostramiento; y (ii) el rompimiento de los agregados del suelo al humedecerse rápidamente, tanto en la superficie (lo cual contribuye al encostramiento) como dentro del suelo (lo cual provoca compactación) (Arshad y Mermut, 1988; FAO, 2003; Lal y Shukla, 2004). En ambos casos, la desintegración de los agregados en pequeñas partículas hace que los poros se tapen y se selle la superficie, lo cual reduce la conductividad hidráulica del suelo (Lal y Shukla, 2004). Este problema se agudiza en regiones áridas y semiáridas debido al secado rápido del suelo después de la lluvia. Cuando el suelo se degrada en la superficie y el subsuelo, se reduce la infiltración del agua de lluvia en el mismo, incrementando el escurrimiento y la erosión edáfica, lo cual resulta en un uso del agua poco eficiente. En otras palabras, la erodibilidad del suelo aumenta a medida que la estabilidad de los agregados disminuye (Kemper y Rosenau, 1986). El colapso de los agregados también influye en los procesos de transporte de solutos en el suelo, así como en la resistencia a la penetración por raíces y la germinación (Rathore et al., 1983; Schneider y Gupta, 1985; Nasr y Selles, 1995; Díaz-Zorita et al., 2002).

La técnica de tamizado en húmedo ha sido propuesto como una metodología para estudiar la estabilidad de los agregados con relación a la erosión hídrica (Yoder, 1936; Kemper, 1966; Kemper y Rosenau, 1986). En este método, el suelo se sumerge en agua y se tamiza para imitar las fuerzas naturales que actúan cuando el agua entra en los agregados de suelo. Según el contenido inicial de humedad de las muestras

será la intensidad de la desagregación (Beare y Bruce, 1993; Márquez et al., 2004), por lo cual dos pre-tratamientos han sido propuestos: uno humedeciendo las muestras por sumergirlas en agua y otro humedeciendo las muestras por capilaridad. La inmersión directa de suelo seco en agua a presiones de aire atmosférico, causa un gran ruptura de agregados generando agregados más pequeños y partículas primarias. Los agregados débiles se rompen por causa de la salida rápida de aire interno cuando éste es desplazado por el agua (Panabokker y Quirk, 1957; Cambardella y Elliott, 1993; Gale et al., 2000).

Si el objetivo del análisis de agregados tiene que ver con la velocidad de infiltración de suelos anegados o la formación de encostramiento en el suelo, el procedimiento a seguir es, probablemente, la inmersión en agua del suelo secado al aire. El pre-tratamiento con humedecimiento por capilaridad es más adecuado para analizar la estabilidad del suelo en condiciones de temporal y también cuando se estudia el subsuelo. Cuando el suelo es humedecido lentamente (por ejemplo, utilizando un aerosol), hay un grado menor y gradual de ruptura, debido a que la cohesión es todavía lo suficientemente fuerte para mantener a la mayoría de las partículas primarias unidas en agregados (Kemper y Rosenau, 1986). Es necesario utilizar agua destilada en este pre-tratamiento, ya que la sal puede causar cambios en el estado iónico y la estabilidad del suelo, salvo en el caso de los suelos sódicos (Shainberg et al., 1981). Estos resultados se pueden expresar en términos del diámetro medio ponderado (MWD, siglas en inglés) (van Bavel, 1949) o como porcentaje de agregados.

Para evitar errores en los cálculos, es importante no incluir las partículas texturales primarias (es decir, arena, grava, arcilla y limo) ni los productos de otros procesos que no sean la fragmentación (por ejemplo, la abrasión) (Díaz-Zorita et al., 2002). La cantidad de grava o de arena gruesa en las muestras se puede determinar utilizando el procedimiento de corrección por arena en el que las muestras son sometidas a dispersión química mediante la inmersión en hexametáfosfato de sodio (HMP) (Díaz-Zorita et al., 2002). La dispersión química se basa principalmente en el concepto de la repulsión entre partículas que resulta cuando se eleva el potencial zeta de las partículas, lo cual generalmente se logra saturando el complejo de intercambio con sodio (Gee y Bauder, 1986).

2. Materiales y equipo

- Una palita
- Cajas rectangulares grandes de muestreo o bolsas de papel
- Marcador y etiquetas, si se usan cajas
- Un tamiz de 8 mm para preparar las muestras
- Tamices con aberturas de 4.00, 2.00, 1.00, 0.50, 0.25 y 0.053 mm
- Agua destilada (aproximadamente 5 l por cada muestra)
- Un atomizador
- Bandejas (charolas) de metal cuyo peso se conoce
- Una piceta
- Una báscula
- Un cronómetro
- Una hoja de datos y un lápiz

3. Procedimiento

3.1 Muestreo en el campo

Los muestreos en campo, con la finalidad de realizar estudios sobre la estructura del suelo, deben efectuarse con cuidado para evitar rupturas de la estructura de la muestra que pudieran distorsionar los resultados. Si el estudio tiene como finalidad hacer comparaciones entre diferentes prácticas de manejo, es necesario recoger todas las muestras el mismo día (ya que la variabilidad observada en la estructura de suelos que tienen un contenido de humedad parecido, puede ser el resultado de las distintas prácticas de manejo). Las muestras se toman con una palita para no comprimirlas ni romperlas (como sucede cuando se usa una sonda pedológica) y para asegurar una relación mínima entre el área de la superficie de la pared y el volumen, a fin de reducir el riesgo de compactación. Solo se debe utilizar la parte de la muestra que no fue tocada por la palita. Asimismo, se debe evitar cualquier actividad que pudiera romper la muestra, como martillar la palita. Enseguida las muestras se colocan en cajas de muestreo grandes y rígidas, o en bolsas de papel que han sido debidamente identificadas. No acomode las muestras una encima de la otra, ya que esto causa que se compriman. Antes de analizar las muestras, almacénelas en un ambiente controlado (por ejemplo, a una temperatura y humedad constantes).

3.2 Preparación de las muestras

Después del muestreo en campo, seque las muestras al aire a temperatura ambiente durante unas cuantas horas y luego rompa con cuidado los terrones grandes (>5 cm) por las líneas de debilidad natural para producir agregados naturales. Enseguida seque las muestras al aire durante dos semanas, posteriormente deben pasarse a través de un tamiz de 8 mm para retirar residuos vegetales gruesos, raíces o piedras >8 mm. Tome una submuestra de 200-300 g para análisis posteriores. Mezcle muy bien la muestra antes de tomar la submuestra para estar seguro(a) de obtener una submuestra representativa.

3.3 La medición

Para cada tamiz es necesario tener una bandeja (charola) debidamente identificada, donde se colocan las fracciones de suelo después del tamizado y durante el secado. En el pre-tratamiento con humedecimiento por capilaridad, la submuestra se moja con un atomizador después de verterla en los tamices (Figura 1). En el pre-tratamiento de sumergir las muestras, las muestras se colocan en una bandeja de metal y luego se sumergen en agua destilada durante 30 min (tenga cuidado de no dirigir la boquilla directamente a la muestra, ya que esto podría desintegrar los agregados).

Apile los tamices uno sobre otro, poniendo el del diámetro más grande hasta arriba y el del diámetro más pequeño hasta abajo (es decir, 4.00, 2.00, 1.00, 0.50, 0.25 y 0.053 mm) (Figura 2). Vierta la muestra de suelo en el tamiz de arriba y, si fuera necesario, limpie la bandeja con la piceta sin dirigir el agua directamente sobre la muestra. A continuación los tamices se sumergen en un recipiente con agua destilada y se mueven hacia arriba y hacia abajo en sentido vertical cubriendo una distancia de 3.5 cm, a una velocidad de 35 agitaciones min^{-1} durante 1 minuto (Figura 3). Después del tamizado, vierta el contenido de cada tamiz en una bandeja debidamente identificada, utilice una piceta para limpiar el tamiz y vaciar todo su contenido. Enseguida el suelo se seca al horno a una temperatura de 105°C (Figura 4) y luego se pesa.

Cada fracción es corregida para compensar la presencia de arena y fragmentos gruesos; las fracciones son agitadas durante 18 h con hexametáfosfato de sodio al 5% (una relación suelo:líquido de 1:3). Posteriormente se vierte el contenido de cada tubo en el tamiz de la fracción que le correspondía, quedando retenido en el tamiz la arena y fragmentos gruesos. La arena y los fragmentos gruesos que fueron retenidos en cada tamiz son lavados con agua con mucho cuidado para asegurar que todas las partículas dispersas pasen por el tamiz y que solo sean retenidos la arena y los fragmentos gruesos. Se puede utilizar agua de la llave, ya que en esta etapa el contenido de sal del agua ya no afecta la agregación. Limpie el tamiz utilizando la piceta y vacíe su contenido en una bandeja debidamente identificada. Seque la arena y fragmentos gruesos al horno a una temperatura de 105°C (Figura 4) y luego péselo. Para facilitar los cálculos, conviene utilizar la misma bandeja que se usó en el primer tamizado y en la corrección por arena. El peso de la arena y fragmentos gruesos retenidos se resta del peso original de la fracción correspondiente.



Figura 1. Muestras de suelo pre-humedecidas.



Figura 2. Torre de tamices.



Figura 3. Inmersión de la torre de tamices en agua destilada.

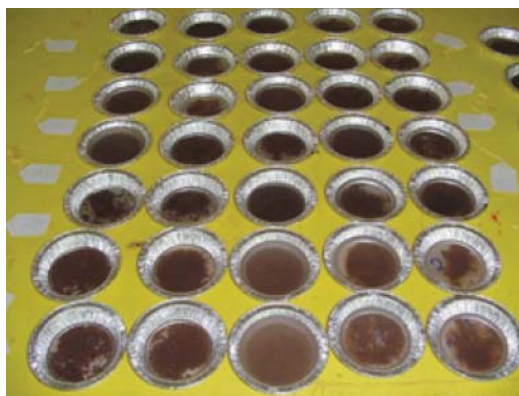


Figura 4. Muestras de suelo después del tamizado en húmedo, que serán secadas al horno.

4. Otro método de tamizado en húmedo

Si usted no cuenta con pequeños tamices como los arriba descritos, puede utilizar los tamices de 20 cm de diámetro que usó para el tamizado en seco. Este método requiere más trabajo y es un poco menos preciso.

Otros materiales que se requieren (Figura 5):

- Recipientes de fondo plano (palangana) de ± 30 cm de diámetro y ± 8 cm de altura
- Una piseta, para limpiar los tamices
- Una probeta grande de 1 L
- Un vaso de precipitado
- Tamices con un diámetro de 20 cm y mallas de los siguientes tamaños: 4.00, 2.00, 0.250 y 0.053 mm
- Bandejas (charolas) de metal grandes

Las bandejas que se utilizarán para secar las muestras en el horno deben ser pesadas antes de procesar las muestras. Tome una muestra representativa de 40 g y colóquela en un tamiz de 4 mm dentro de una palangana; llene la palangana de agua hasta llegar a 1.5 cm debajo del anillo superior del tamiz. La muestra de suelo se distribuye uniformemente por todo el tamiz y se deja remojar durante 5 minutos. Mientras se remoja, retire los residuos orgánicos que están flotando sobre el agua. A continuación, tamice la muestra durante 2 minutos, como sigue: mueva suavemente el tamiz hacia arriba y hacia abajo utilizando un ángulo pequeño (± 3.5 cm de distancia vertical) de inclinación. El suelo debe salir de la superficie del agua con cada movimiento, pero mantenga un ángulo pequeño de inclinación para que el aire no entre por debajo de la malla. Lave con cuidado los lados y el fondo del tamiz con agua destilada, sobre el siguiente tamiz colocado en una palangana. Vierta el material retenido en el tamiz en una bandeja debidamente marcada.

Ponga el tamiz de 2 mm en la siguiente palangana y pase toda el agua y el suelo de la palangana anterior por el tamiz. Puede utilizar la piseta con agua destilada para lavar el suelo de la primera palangana y verterlo en el tamiz, teniendo cuidado de no dirigir



Figura 5: Materiales requeridos para el segundo método de tamizado.

el chorro de agua directamente sobre el suelo. El tamizado se repite y el tamiz se lava vertiendo su contenido en una bandeja debidamente pesada e identificada. Repita el mismo procedimiento con los tamices de 0.250 mm y 0.053 mm, y vierta también en una bandeja la fracción de <0.053 mm que queda. Tome una submuestra de la fracción si ésta es demasiado grande y no cabe en la bandeja. Para tomarla, utilice una taza medidora mientras mezcla la fracción de manera continua para asegurar que todo el material se mantiene suspendido. Enseguida pese la bandeja que contiene la submuestra que fue tomada de la fracción de <0.053 mm. Con el cilindro medidor, mida la cantidad de la fracción de <0.053 mm que queda para después poder calcular el total de la fracción de <0.053 mm. Coloque las bandejas en el horno a una temperatura de 105°C entre 18 y 24 horas, hasta que estén totalmente secas.

La corrección por arena se realiza de la misma manera que se describió para el otro método de tamizado en húmedo.

5. Cálculos

$$MWD = \sum_{i=1}^n <d>_i w_i$$

donde:

MWD = diámetro medio ponderado (mm)

d = diámetro medio de cada fracción de tamaño *i* (mm) (por ejemplo, el suelo retenido en el tamiz de 1.00 mm tiene un diámetro máximo de 2.00 mm y uno mínimo de 1.00). Por tanto, el diámetro medio ponderado de ese tamiz es de 1.50 mm.

w = proporción del peso total de la muestra (g) al peso (g) de los fragmentos gruesos y de arena encontrados en la fracción de tamaño *i*

n = número de fracciones

6. Ejemplo realizado

La muestra de suelo 2041-la fue pasada a través de tamices de 4.00, 2.00, 0.250 y 0.053 mm. Se colocaron las distintas fracciones obtenidas en bandejas anteriormente numeradas y pesadas, y luego se secaron al horno a una temperatura de 105°C durante 24 horas. Se obtuvieron los datos siguientes:

Muestra	Tamiz (mm)	Plato No.	Peso del plato (g)	Peso del plato + la submuestra <53 μm (g)	Volumen del resto <53 μm (l)	Peso seco del plato + suelo (g)
2041-la	4.00	133	15.77	-	-	15.87
	2.00	132	15.86	-	-	15.89
	0.250	131	16.01	-	-	32.25
	0.053	130	15.98	-	-	35.02
	0	129	15.73	455.68	1.250	16.47

Después del secado, se calculó el peso de las fracciones restando el peso de la bandeja del peso total del plato más el suelo. Por ejemplo, en el caso de la fracción que es más pequeña que 0.250 mm y más grande que 0.053 mm:

$$35.02 - 15.98 = 19.04 \text{ g}$$

El peso, dentro de la bandeja, de la fracción menor que 0.053 se calculó de manera similar y luego se calculó el peso total de las fracciones <0.053 mm. Después del tamizado, se vertieron en una bandeja 439.95 g del agua que quedó; el resto se midió, se encontró que era 1.250 l y luego se desechó. Debido a que la cantidad de suelo en el agua es muy pequeña, podemos simplificar el cálculo y afirmar que el peso del agua que fue desechada era de 1,250 g. Después del secado, quedaron 0.74 g de suelo en la bandeja, así que la relación suelo:agua es:

$$0.74 \text{ g} / 439.95 \text{ g} = 0.001682$$

Esta relación nos permite calcular la fracción total <0.053 mm:

$$(1250 \text{ g} + 439.95 \text{ g}) * 0.001682 = 2.843 \text{ g}$$

Enseguida se calculó el peso total del suelo de la muestra (36.18 g) y la proporción del peso de cada fracción. En este ejemplo, se omitió la corrección por arena. Por ejemplo, en el caso de la fracción que es menor que 0.053 mm:

$$2.843 \text{ g} / 36.18 \text{ g} = 0.07432$$

A continuación, el diámetro medio ponderado de la muestra de suelo fue calculado según la siguiente fórmula:

$$MWD = \sum_{i=1}^n <d>_i w_i$$

$$= (6 \times 0.002614) + (3 \times 0.0007843) + (1.125 \times 0.4245) + (0.1515 \times 0.4977) + (0.0265 \times 0.07432) = 0.57 \text{ mm}$$

Hoja de datos – Tamizado en húmedo (con tamices pequeños)

Fecha de muestreo:/...../.....

Experimento: _____

Fecha de la medición:/...../.....

Página:/.....

Muestra	Peso total de la muestra (g)	Tamiz (mm)	Plato No.	Peso del plato (g)	Peso seco del plato + suelo (g)
		4			
		2			
		1			
		0.5			
		0.250			
		0.053			
		4			
		2			
		1			
		0.5			
		0.250			
		0.053			
		4			
		2			
		1			
		0.5			
		0.250			
		0.053			
		4			
		2			
		1			
		0.5			
		0.250			
		0.053			

Hoja de datos- Tamizado en húmedo (con tamices de 20 cm)

Fecha de muestreo:/...../..... Experimento: _____

Fecha de la medición:/...../..... Página:/.....

Muestra	Tamiz (mm)	Plato No.	Peso del plato (g)	Peso del plato + sub-muestra <53 μm (g)	Volumen del resto <53 μm (g)	Peso seco del plato + suelo (g)
	4			-	-	
	2			-	-	
	0.250			-	-	
	0.053			-	-	
	0			-	-	
	4				-	-
	2			-	-	
	0.250			-	-	
	0.053			-	-	
	4			-	-	
	2			-	-	
	0.5			-	-	
	0.250			-	-	
	0.053			-	-	
	0			-	-	
	4			-	-	
	2			-	-	
	0.250			-	-	
	0.053			-	-	
	0			-	-	
	4			-	-	
	2			-	-	
	0.250			-	-	
	0.053			-	-	
	0			-	-	
	4			-	-	
	2			-	-	
	0.250			-	-	
	0.053			-	-	
	0			-	-	

7. Referencias

- Beare, M.H., Bruce, R.R. 1993. A comparison of methods for statistical index of aggregation: Implications for determining environmental effects on soil structure. *Geoderma* 56, 87–104.
- Arshad, M.A., Mermut, A.R. 1988. Micromorphological and physico-chemical characteristics of soil crust types in northwestern Alberta, Canada. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 724–729.
- Cambardella, C.A., Elliott, E.T. 1993. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 1071–1076.
- Díaz-Zorita, M., Perfect, E., Grove, J.H. 2002. Disruptive methods for assessing soil structure. *Soil Till. Res.* 64, 3–22.
- FAO. 2003. Optimizing soil moisture for plant production; The significance of soil porosity. By Francis Shaxson and Richard Barber. *FAO Soils Bulletin No. 79*. FAO, Rome.
- Gale, W.J., Cambardella, C.A., Bailey, T.B. 2000. Root-derived carbon and the formation and stabilization of aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 201–207.
- Gee, G.W., Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A., Campbell, G.S., Jacson, R.D., Mortland, M.M., Nielsen, D.R. (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part I. ASA and SSSA, Madison, WI, USA*, pp. 363–375.
- Kemper, W.D. 1966. Aggregate stability of soils from western United States and Canada. *USDA-ARS. Technol. Bull.* 1355. US Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Kemper, W.D., Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A., Campbell, G.S., Jacson, R.D., Mortland, M.M., Nielsen, D.R. (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part I. ASA and SSSA, Madison, WI, USA*, pp. 425–442.
- Lal, R., Shukla, M.J. 2004. *Principles of Soil Physics*. Marcel Dekker, New York, 2004, viii + 716 pp. ISBN 0-8247-5324-0.
- Márquez, C.O., Garcia, V.J., Cambardella, C.A., Schultz, R.C., Isenhardt, T.M. 2004. Aggregate-Size Stability Distribution and Soil Stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 725–735.
- Nasr, H.M., Selles, F. 1995. Seedling emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. *Soil Till. Res.* 34, 61–76.
- Panabokke, C.R., Quirk, J.P. 1957. Effect of water content on stability of soil aggregates in water. *Soil Sci.* 83, 185–195.
- Rathore, T.R., Ghildyal, B.P., Sachan, R.S. 1983. Effect of surface crusting on emergence of soybean (*Glycine max* L. Merr.) seedlings. I. Influence of aggregate size in the seedbed. *Soil Till. Res.* 3, 111–121.
- Schneider, E.C., Gupta, S.C. 1985. Corn emergence as influenced by soil temperature, matric potential, and aggregate size distribution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49, 415–422.
- Shainberg, I., Rhoades, J.D., Prather, R.J. 1981. Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 273–277.
- van Bavel, C.H.M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 17, 416–418.
- Yoder, R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agric.* 28: 337–351.

