

DETERMINACIÓN ABSOLUTA DE LA POTENCIA Y ENERGÍA DISIPADA EN AGUA PURA POR UNA SONDA DE ULTRASONIDO¹

Francisco Matus^{1,2}, Ricardo Herrera¹, Fredy Smulders¹

¹Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Centro Tecnológico de Suelos y Cultivos, Casilla 747, Talca, Chile

²Dirección actual, Departamento de Ciencias Químicas, Universidad de la Frontera, Chile 54 D, Temuco. Correspondencia: matus.francisco@gmail.com

Absolute determination of the power output and energy dissipated into pure water by an ultrasonic probe

Key words: ultrasound, calibration, soil disruption, energy applied.

ABSTRACT

Physical fractionation of soil organic matter by ultrasonic equipments must reproduce the selected energy applied under experimental conditions. In this paper an ultrasonic apparatus, Branson Sonifer II, equipped with an aluminium-titanium probe was calibrated to compare the nominal power output at 27, 67 and 108 W with the real power (P_c) measurements. This was achieved by heating 250 ml of pure water isolated in a container for 60, 180, 300, 420, 540, 660 and 780 second of working operation. The energy applied (E_a , $J\ ml^{-1}$) was determined as $P_c * t / V$, where t is the time in second (s) and V is the volume of water (ml). The energy lost, *i.e.*, the enthalpy H , was also measured. At very short time of operation (< 60 s), P_c was similar to the nominal power output. However, after 780 s, P_c decreased about 50 % of nominal power. A maximum E_a of $150\ J\ ml^{-1}$ was reached with 108 W after 660 s of working, thereafter P_c remained constant. The ultrasonic equipment has a fine tuning control for setting the working operation from 0.1 s, in which the machine stop working to a continuous use. This was designed to avoid losing efficiency during operation and overheating the soil suspension. In this study the selected time was 0.6 s was not as much as necessary to compensate the lost of energy from the container. Therefore, it is suggested a calibration selecting several intervals from short pulses, as used here, to a continuum use in similar machines as used in this study.

Palabras claves: Calibración, ultrasonido, disrupción del suelo, energía aplicada.

RESUMEN

El fraccionamiento físico de la materia orgánica del suelo con un equipo de ultrasonido debe reproducir la energía aplicada bajo similares condiciones experimentales. En este artículo un aparato de ultrasonido, Branson Sonifer II, equipado con una sonda de aluminio-titánico fue calibrada para comparar la potencia nominal a 27, 67 y 108 W con la potencia real (P_c) medida. Esto se logró calentando 250 g de agua pura aislada en un contenedor por 60, 180, 300, 420, 540, 660 y 780 segundos de trabajo. La energía aplicada (E_a , $J\ ml^{-1}$) se determinó como $P_c * t / V$, donde t es el tiempo en segundos (s) y V es el volumen de agua

¹ Parte de la tesis de Ricardo Herrera para optar al grado de magíster

(ml). La energía perdida, *i.e.*, la entalpía H , también fue medida. Después de un corto tiempo de operación (< 60 s), P_c fue similar a la potencia nominal. Sin embargo, después de 780 s de operación, P_c decreció cerca del 50 % de la potencia nominal. Un valor máximo de E_a , 150 J ml^{-1} se logró con 108 W después de 660 s de trabajo, luego P_c permaneció constante. El aparato de ultrasonido tiene un control fino para ajustar el tiempo de trabajo desde 0,1 s en el cual la máquina para de trabajar hasta un uso continuo. Esto fue diseñado para evitar pérdidas de eficiencia durante la operación y sobrecalentamiento de la suspensión de suelo. En este estudio el tiempo seleccionado de 0,6 s no fue lo suficientemente necesario para compensar la pérdida de energía del contenedor. Por lo tanto, se sugiere una calibración seleccionando varios intervalos desde pulsos cortos, como los elegidos aquí, a un uso continuo en máquinas similares como las usadas en este estudio.

INTRODUCCIÓN

El fraccionamiento físico de los agregados del suelo ha entregado información útil para estudiar la dinámica de la materia orgánica del suelo en ambientes naturales y agrícolas (Roscoe, et al., 2000). Para esto se han empleado métodos químicos y físicos. Los tratamientos con agentes químicos sin embargo, dificultan la interpretación de los resultados ya que pueden alterar la composición original de la materia orgánica (Morra, et al., 1991). Por otra parte, la mayoría de los métodos físicos como la agitación mecánica, provoca una excesiva abrasión de los agregados y la energía disipada en la suspensión de suelo no puede ser cuantificada (North, 1976). Uno de los métodos físicos más usados en la actualidad es mediante un equipo de ultrasonido a través de un vástago de aluminio-titanio (sonda), la cual se introduce en una suspensión de agua y suelo. La ventaja de este método es que la energía disipada en la suspensión puede ser medida y las condiciones experimentales

pueden ser reproducidas (Morra, et al., 1991). El funcionamiento de estos aparatos es a través de un generador ultrasónico que produce una señal eléctrica en una determinada frecuencia. Un transductor convierte y amplifica la señal eléctrica en vibración mecánica a través de cristales piezo-eléctricos. Esta vibración es transmitida a lo largo de la sonda, la cual produce la 'cavitación', *i.e.*, la formación y colapso violento de burbujas de tamaño microscópicas. Así, cualquier material o superficie en contacto con el campo de cavitación es alcanzado por la energía de ruptura de las burbujas.

Por otra parte, generalmente, la potencia nominal indicada por el fabricante muchas veces difiere de la potencia real (P_c) aplicada en una suspensión de agua y suelo. (Christensen, 1985).

El objetivo de este trabajo fue comprar la potencia real P_c con la potencia nominal indicada por el fabricante de un aparato de ultrasonido Branson, Sonifer II.

MATERIALES Y MÉTODOS

La P_c de un equipo de ultrasonido, Branson Sonifer II, modelo 250 (EEUU) se midió de acuerdo a la metodología de North (1976). El aparato fue equipado con una sonda de aleación aluminio-titanio de 130 mm de longitud y 12,7 mm de diámetro. El equipo opera a una frecuencia de 20 kHz con pulsos intermitentes que van desde 0,1 s en que la máquina para de operar, hasta un trabajo continuo. La potencia del equipo es también ajustable por un control independiente hasta 200 W. La comparación entre la potencia nominal y real se realizó en agua pura en tres posiciones de potencia: 27, 67 y 108 W con pulsos de 0,60 s, a una profundidad de inmersión de la sonda de 15 mm (North, 1976; Morra, et al., 1991; Roscoe, et al., 2000).

Cálculo de la energía aplicada

La energía aplicada E_a (J mL^{-1}) se calculó según Christensen, (1985):

$$E_a = \frac{P_c * t_s}{V}$$

donde:

P_c = potencia (W),

t_s = tiempo de operación (s),

V = volumen del agua pura (ml).

Cálculo de la potencia del equipo

P_c se calculó según Morra, et al. (1991):

$$P_c = (m_w * C_w + C_{cont}) * \Delta T / \Delta t + H$$

donde:

m_w = masa del agua pura (g),

C_w = calor específico del agua entre 20 y 30 °C ($4,186 \text{ J g}^{-1} \text{ °C}^{-1}$),

C_{cont} = capacidad calórica del contenedor (J °C^{-1}),

$\Delta T / \Delta t$ = cambio de temperatura por segundo (°C s^{-1}),

H = entalpía (J s^{-1}),

P_c se obtuvo midiendo el cambio de temperatura $\Delta T / \Delta t$ en 250 g de agua pura usando la sonda de ultrasonido. El agua se calentó por 60, 180, 300, 420, 540, 660 y 780 s en un vaso de precipitado de 500 ml. El vaso se aisló en un contenedor de poliestireno de 20 x 15 x 4 cm de espesor con una cubierta del mismo material. La cubierta presentó dos aperturas; una para introducir la sonda y la otra para la termocupla digital ($\pm 0,1 \text{ °C}$). Con ésta última se midieron los incrementos de temperatura. Este procedimiento se repitió tres veces.

Capacidad calórica del vaso

C_{cont} del vaso de vidrio aislado en el contenedor se determinó en 125 g de agua desmineralizada calentada a 50 ó 60 °C. La masa del agua m_1 como su temperatura T_1 fueron registradas. Luego se agregaron 125 g de agua a temperatura ambiente. La masa m_2 y la temperatura T_2 también fueron regis-

tradas. Inmediatamente el contenedor tapado se dejó reposar hasta que se logró una temperatura de equilibrio, T_3 . Esta temperatura se logró entre 34 y 36 °C. La capacidad calórica del contenedor, C_{cont} se obtuvo como:

$$C_{cont} = m_1 * C_w * (T_1 - T_2) / (T_3 - T_2) - m_2 * C_w$$

El mismo valor de C_w de la ecuación 2 fue asumido para la ecuación 3 (Roscoe et al., 2000). La capacidad calórica del vaso varió entre 643,3 y 698,1 J °C^{-1} con un promedio de 680,4 $\pm 28,5 \text{ J °C}^{-1}$.

Determinación de la entalpía

La entalpía, H , o el cambio de energía del agua pura en un vaso de 500 ml en el contenedor se midió según Roscoe et al. (2000): Aproximadamente, 250 g de agua pura fueron calentados a 50 °C usando la sonda del equipo. Luego el vaso con la sonda en su interior se dejó enfriar a temperatura ambiente. La disminución de temperatura se registró como sigue: cada 10 s durante los primeros 3 minutos, cada 30 s durante los siguientes 60 min y cada 5 min hasta completar 3 horas. La tasa de pérdida de energía, H se calculó como se muestra en la Fig. 1:

$$H = m_{50} * C_w * \Delta T / \Delta t_e$$

donde:

m_{50} = masa del agua calentada a 50 °C (g),

$\Delta T / \Delta t_e$ = cambio de temperatura de enfriamiento (°C s^{-1})

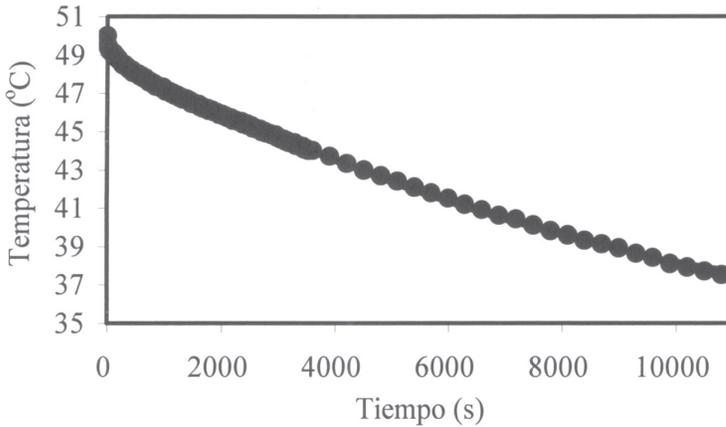


Figura 1. Cambio de temperatura del agua pura calentada a 50 oC para determinar la entalpía H, ($y = 48,92 - 0,0016x + 5,0 \times 10^{-8} x^2$, $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$).

Figure 1. Change of pure water temperature heated to 50 oC for enthalpy H, determination ($y = 48,92 - 0,0016x + 5,0 \times 10^{-8} x^2$, $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$).

La temperatura disminuyó hasta 38 oC después de tres horas y continuó declinando. Los datos fueron ajustados a una función polinomial de segundo grado ($R^2 = 0,99$, $P < 0,01$), cuya derivada correspondió al término $\Delta T / \Delta t_e$.

Con el propósito de compararla con otros valores de la literatura, H se graficó con la temperatura (Figura 2).

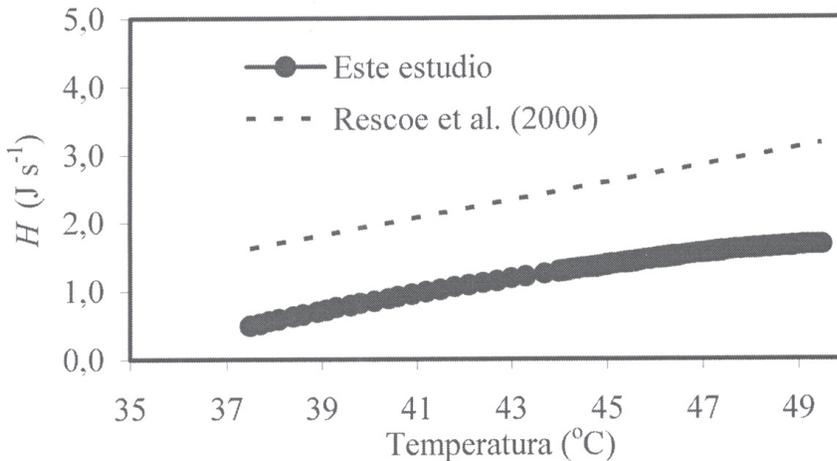


Figura 2. Relación entre la tasa de pérdida de energía (entalpía, H) y la temperatura de enfriamiento ($y = -10,74 + 0,45x - 0,004x^2$, $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$). Línea discontinua, ajuste de Roscoe et al. (2000) ($y = -3,22 + 0,13x$).

Figure 2. Relationship between the rate of energy losses (enthalpy, H) and the cooling temperature, ($y = -10,74 + 0,45x - 0,004x^2$, $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$). Dotted line, fitting of Roscoe et al. (2000), ($y = -3,22 + 0,13x$).

H varió entre 1,7 y 1,5 J s⁻¹ y se ajustó por una función polinomial ($R^2 = 0,99$, $P < 0,01$). En el mismo gráfico se muestra la regresión lineal obtenida por Roscoe et al. (2000), la cual fue superior a la regresión obtenida en este estudio. La pérdida de temperatura se puede ajustar a distintas ecuaciones dependiendo del tamaño del contenedor y de la capacidad de aislamiento del mismo (Roscoe et al., 2000).

Análisis de los datos

El análisis estadístico consistió en regresiones simples y polinomios de segundo grado (North, 1976). Para comprobar la normalidad de los datos se usó la prueba de Shapiro-Wilk W. En nuestro caso todas las

variables fueron normalmente distribuidas por lo que no fue necesaria su transformación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencia real

En la Figura 3a se muestra el incremento de la temperatura para las tres posiciones nominales estudiadas (27, 67 y 108 W) y en la Figura 3b la disminución de la potencia real con respecto al tiempo de operación. Con 108 W de potencia, la temperatura del agua aumentó hasta los 60 °C después de 780 s (Figura 3a). Por el contrario, con 27 W de potencia, la temperatura sólo aumentó hasta los 31 °C. El ajuste de la temperatura para cada potencia se realizó con una fun-

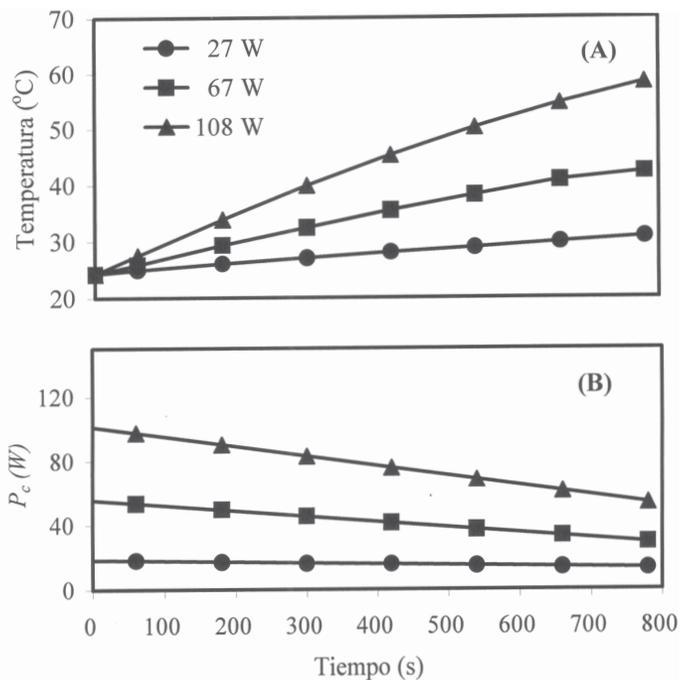


Figura 3. Relación entre el tiempo de sonicación y a) temperatura para una potencia de 27 W ($y = -2 \times 10^{-6}x^2 + 0,0097x + 24,3$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$), 67 W ($y = -1 \times 10^{-5}x^2 + 0,0312x + 24,1$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$) y 108 W ($y = -2 \times 10^{-5}x^2 + 0,0577x + 24,1$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$) y b) la potencia real para 27 W ($y = -0,0066x + 18,4$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,001$), 67 W ($y = -0,0339x + 55,6$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,001$) y 108 W ($y = -0,0609x + 101,4$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,001$).

Figure 3. Relationship between time of sonication and a) temperature for power at 27 W ($y = -2 \times 10^{-6}x^2 + 0,0097x + 24,3$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$), 67 W ($y = -1 \times 10^{-5}x^2 + 0,0312x + 24,1$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$) and 108 W ($y = -2 \times 10^{-5}x^2 + 0,0577x + 24,1$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$) and b) real power for 27 W ($y = -0,0066x + 18,4$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,001$), 67 W ($y = -0,0339x + 55,6$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,001$) and 108 W ($y = -0,0609x + 101,4$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,001$).

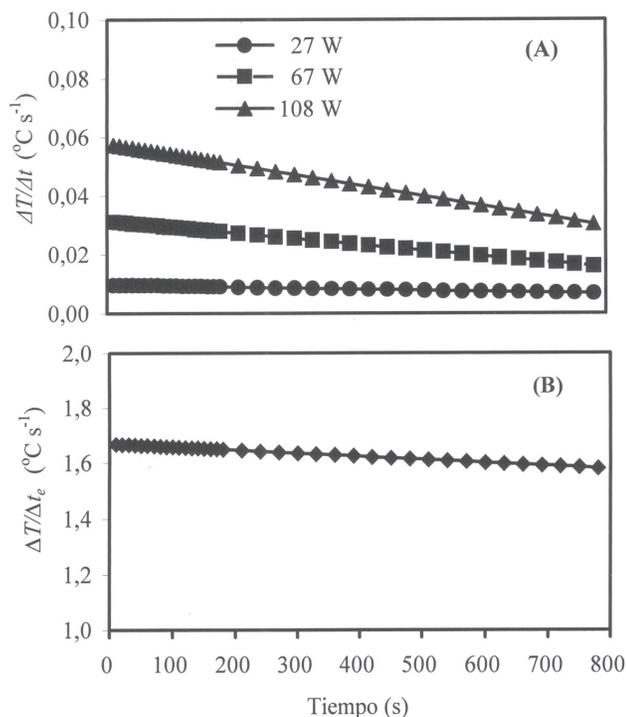


Figura 4. Cambio de la tasas constante de temperatura (derivadas de las funciones ajustadas) para calcular: a) la potencia real de un equipo Branson, Sonifer II, ecuación 2 y b) la pérdida de energía (entalpía), ecuación 4 (ver texto).

Figure 4. Change of the temperature constant rate (derivated functions) to calculate: a) the real power of the equipment Branson, Sonifer II, equation 2 and b) the energy losses (enthalpy), equation 4 (see text).

ción polinomial de segundo grado cuya derivada correspondió a la tasa de cambio $\Delta T/\Delta t_s$ de la ecuación 2. En la Figura 3b se observa que la potencia real disminuyó con el tiempo de operación. En general las potencias nominales fueron similares a los valores reales durante los primeros 60 s de operación. Sin embargo, cuando se usaron 67 y 108 W de potencia, P_c disminuyó drásticamente hasta alcanzar valores cercanos al 50 % de la potencia nominal. Este patrón se debió a una disminución de los valores $\Delta T/\Delta t$ (Figura 4a) ya que la entalpía H , disminuyó levemente a través del tiempo (Figura 4b). Los resultados indicaron que la eficiencia del equipo disminuyó con un incremento en el tiempo de operación.

Energía disipada

En la Fig. 5 se muestra la energía disipada, E_a , calculada según la ecuación (1). Como se aprecia E_a incrementó a medida que transcurrió el tiempo de operación. La energía se elevó de 4 J ml⁻¹ a 150 J ml⁻¹ con la máxima potencia nominal durante 780 s. Sin embargo, este incremento fue menor en potencias bajas e intermedias, donde la energía sólo llegó hasta 90 J ml⁻¹ (Fig. 5). En la Fig. 5 se muestra que E_a para una potencia nominal de 108 W, incrementó hasta 660 s de trabajo y luego se estabilizó. En este punto tanto la pérdida como la ganancia de energía se igualaron y por lo tanto, E_a no aumentó.

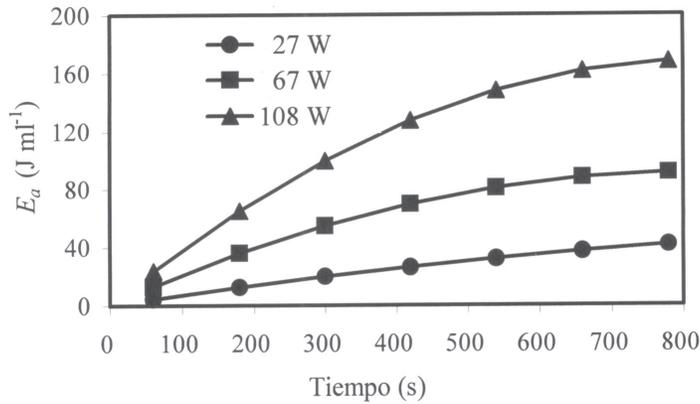


Figura 5. Relación entre la energía real disipada en agua pura y el tiempo de operación de un equipo de ultrasonido Branson, Sonifer II en tres posiciones nominales de potencia estudiadas: 27 W ($y = -3 \times 10^{-5}x^2 + 0,0735x - 2 \times 10^{-13}$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$), 67 W ($y = -1 \times 10^{-4}x^2 + 0,22x - 7 \times 10^{-13}$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$) y 108 W ($y = -2 \times 10^{-4}x^2 + 0,41x - 1 \times 10^{-12}$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$).

Figure 5. Relationship between real energy dissipated in pure water an the time of operation of an equipment of ultrasound Branson, Sonifer II at three nominal power studied: 27 W ($y = -3 \times 10^{-5}x^2 + 0,0735x - 2 \times 10^{-13}$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$), 67 W ($y = -1 \times 10^{-4}x^2 + 0,22x - 7 \times 10^{-13}$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,01$) and 108 W ($y = -2 \times 10^{-4}x^2 + 0,41x - 1 \times 10^{-12}$; $R^2 = 0,99$; $P < 0,001$).

CONCLUSIONES

El equipo de ultrasonido posee un control de tiempo para pulsos intermitentes de trabajo desde 0,1 s hasta un trabajo continuo para prevenir la disminución de la eficiencia y evitar el sobrecalentamiento de la suspensión (North, 1976). Sin embargo, los resultados indicaron que el pulso seleccionado de 0,6 s, fue insuficiente para compensar las pérdidas de energía del contenedor. Por lo tanto, para la operación de equipos similares, se sugiere una calibración desde cortos pulsos hasta la operación continua.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Profesor Enrique González del Instituto de Biología de la Universidad de Talca por facilitar el aparato de ultrasonido y al Profesor Felipe Tirado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca por facilitar la termocupla digital. Del mismo modo agradecemos a los evaluadores anónimos quienes aportaron valiosos comentarios.

BIBLIOGRAFÍA

- CHRISTENSEN, B. T. 1985. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish arable soils by ultrasonic dispersion and gravity-sedimentation. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 35: 175 - 187.
- MORRA, M. J., BLANK, R. R., FREEBORN, L. L. AND SHAFII, B. 1991. Size fractionation of soil organo-mineral complexes using ultrasonic dispersion. *Soil Science*, 152, 294 - 303.
- NORTH, P. F. 1976. Towards an absolute measurement of soil structural stability using ultrasound. *Journal of Soil Science*, 27: 451 - 459.
- ROSCOE, R., BUURMAN, P. AND VELTHORST, E. J. 2000. Disruption of soil aggregates by varied amounts of ultrasonic energy in fractionation of organic matter of a clay Latosol: carbon, nitrogen and $\delta^{13}C$ distribution in particle-size fractions. *European Journal of Soils Science*, 51: 445 - 454.