



HAL
open science

Efectos de la dispersión ultrasónica en suspensiones de suelos

Jorge Sierra, Liliana Di Pietro

► **To cite this version:**

Jorge Sierra, Liliana Di Pietro. Efectos de la dispersión ultrasónica en suspensiones de suelos. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal, 1985, 3 (1-2), pp.1-7. hal-02726025

HAL Id: hal-02726025

<https://hal.inrae.fr/hal-02726025>

Submitted on 2 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EFECTOS DE LA DISPERSION ULTRASONICA EN SUSPENSIONES DE SUELOS *

Jorge O. Sierra y Liliana B. Di Pietro
Laquige (CONICET), J. R. de Velasco 847 - (1414) Buenos Aires

RESUMEN

Se estudiaron algunos efectos de la dispersión ultrasónica en suspensiones de suelos diferentes de la República Argentina. La eficiencia de dispersión fue comparada con la obtenida por el método de peróxido-calgón.

Los efectos observados son discutidos en base a la reacción de dispersión propuesta por Edwards.

Se obtuvo, además, un método de preparación de muestras de suelo utilizando el ultrasonido para realizar determinaciones granulométricas. Con el mismo se logra la reducción del tiempo de pretratamiento para el análisis, menor consumo de reactivos y mejor eficiencia de dispersión.

Palabras clave: Dispersión ultrasónica, pretratamiento para análisis granulométrico.

EFFECTS OF ULTRASONIC DISPERSION ON SOIL SUSPENSIONS

ABSTRACT

The effects of ultrasonic dispersion on different Argentine soil suspensions are studied. Dispersion efficiency was compared to that obtained by the peroxide-calgón method.

The observed effects are discussed on the basis of the dispersing reaction proposed by Edwards.

A method for preparing soil samples using ultrasonic vibration for particle-size determinations is obtained. The proposed method reduces pretreatment time, less amount of reagents are needed and a better dispersion efficiency is obtained.

Key words: Ultrasonic dispersion, pretreatment for particle-size determinations.

* Trabajo presentado en el X Congreso Argentino y VIII Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, 1983.

INTRODUCCION

En los últimos años se han publicado trabajos que proponen el uso de la energía ultrasónica para dispersar suelos en suspensión.

Edwards y Bremner (1967 a) obtuvieron considerable dispersión de partículas en suspensión acuosa utilizando un vibrador sónico (9 kc, 50 W) y uno ultrasónico (20 kc, 60 W) durante 30 minutos, observando alta estabilidad de las suspensiones. Hinds y Lowe (1980 b), usando un vibrador ultrasónico (20 kc, 60 W), observaron que la eficiencia de dispersión dependía de la energía mecánica entregada. Los mismos autores (1980 a), trabajando con suspensiones de suelos gleysoles, encontraron que la dispersión ultrasónica en agua producía considerable disolución de Fe, Si, Al y C orgánico y que este efecto era mayor en los horizontes B. También observaron que la dispersión en electrolitos tales como Cl_2Ca , Cl_2Ba , etc. suprimía tales efectos. Edwards y Bremner (1967 b) propusieron una teoría según al cual la dispersión ultrasónica entrega la energía suficiente para invertir la reacción de formación de microagregados. Tal reacción sería la unión en fase sólida de los minerales de arcilla y de la materia orgánica por medio de los metales polivalentes en sitios de intercambio. North (1979) estudió la estabilidad de microagregados menores de 250 μm para seis suelos, encontrando que la ruptura de los mismos dependía de la energía entregada y cuantificó tal dependencia. Mikhal y Briner (1979) propusieron un método de dispersión ultrasónica en suelos previamente tratados con hipoclorito

de sodio para destruir materia orgánica con el objeto de realizar determinaciones granulométricas.

El objeto de este trabajo es aportar mayor información al estudio de los efectos de la dispersión ultrasónica y la eficiencia de la misma para algunos suelos de la República Argentina, así como también obtener un método de dispersión para realizar determinaciones granulométricas.

MATERIALES Y METODOS

Suelos

Se utilizaron suelos de varias zonas de la República Argentina. Las características de los mismos figuran en la Tabla 1. Los suelos numerados de 1 a 7 fueron seleccionados para estudiar los efectos del ultrasonido y la totalidad de los mismos se emplearon en la calibración del pretratamiento propuesto para análisis granulométrico.

Métodos químicos empleados

Las determinaciones de materia orgánica y pH fueron realizadas por el método de Walkley y Black modificado por Richter y Von Wistinghausen (1981) y potenciométrico, respectivamente.

Equipo de ultrasonido

Se empleó un equipo de Heat Systems Ultrasonics,

TABLA 1: Algunas características de los 17 suelos de la República Argentina utilizados en el trabajo.
I: Illita, K: caolinita, M: montmorillonita.

| Suelo | pH | %MO | Horizonte o profundidad | Procedencia | Tipo de arcilla | Observaciones |
|-------|-----|------|-------------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 1 | 6,7 | 1,3 | 0-20 cm | Entre Ríos | I + K + M | -- |
| 2 | 8,0 | 2,6 | 0-20 cm | Córdoba | I | Cálcico |
| 3 | 5,8 | 10,4 | 0-38 cm | Tierra del Fuego | K + I | -- |
| 4 | 6,0 | 3,4 | A1 | S. O. Bs. As. | I + K | -- |
| 5 | 7,2 | 1,4 | 30-60 cm | Miramar (Bs. As.) | I + K | -- |
| 6 | 6,0 | 3,5 | 0-20 cm | Misiones | K + I + M | Oxisol (férrico) |
| 7 | 6,5 | 1,6 | B21 | Barcarce | K + I + M | -- |
| 8 | 6,5 | 2,6 | A1 | S. O. Bs. As. | -- | -- |
| 9 | 7,5 | 0,6 | C1 | S. O. Bs. As. | -- | Cálcico |
| 10 | 6,5 | 2,3 | B2 | S. O. Bs. As. | -- | -- |
| 11 | 7,0 | 1,4 | B2t | S. O. Bs. As. | -- | -- |
| 12 | 6,1 | 4,0 | A1 | S. O. Bs. As. | -- | -- |
| 13 | 6,8 | 1,4 | A1 | Norte Bs. As. | -- | -- |
| 14 | 5,9 | 2,9 | A1 | Norte Bs. As. | -- | -- |
| 15 | 9,4 | 1,0 | B2 Na | Norte Bs. As. | -- | Sódico |
| 16 | 6,6 | 1,6 | B2 | Norte Bs. AS. | -- | -- |
| 17 | 5,8 | 8,0 | A1 | Miramar (Bs. As.) | -- | -- |

modelo W-375 (20 kHz, 375 W) utilizando en todos los casos el 40 por ciento de la energía máxima de salida.

Pretratamiento de las muestras para determinación granulométrica

Método del peróxido-calgón (Método común)

Este fue el método de referencia para todos los probados en este trabajo. Consistió en la destrucción de la materia orgánica con 100 ml de agua oxigenada (60 V) sobre 10 g de suelo durante 24 hs. continuándose en plancha caliente a 80°C hasta destrucción total. Luego de determinado el peso seco se añaden 50 ml de calgón y se agita en agitador mecánico durante 90 minutos para proceder luego al análisis granulométrico.

Dispersión ultrasónica en agua

La vibración se aplicó a suspensiones de 10 g de suelo en 200 ml de agua destilada durante 2 y 20 minutos. A continuación se destruyó la materia orgánica con agua oxigenada en plancha a 80°C hasta cese de burbujeo específico. Se trabajó con tres repeticiones, una de las cuales fue utilizada para determinar peso seco y las otras dos se usaron para la determinación granulométrica. Se probó además, en otro tratamiento vibrar nuevamente las suspensiones posteriormente a la destrucción de la materia orgánica en forma análoga a la anterior durante 2 y 20 minutos. La vibración previa a la destrucción de materia orgánica fue en este caso de 2 minutos.

Pretratamiento propuesto

A una suspensión de 10 g de suelo en 150 ml de agua destilada se añadieron 50 ml de agua oxigenada. Se le aplicó vibración ultrasónica durante 2 minutos. Se colocaron en plancha a 80°C durante 2 hs. agregándosele a la hora 50 ml más de agua oxigenada. Se trabajó con tres repeticiones, una de las cuales se utilizó para determinar el peso seco. A las dos restantes se le añadieron 50 ml de calgón y se le aplicaron 2 minutos de vibración ultrasónica; posteriormente se realizó la determinación granulométrica.

Determinación granulométrica

En todos los casos las mediciones de porcentaje de arcilla más limo y porcentaje de arcilla se realizaron por el método de la pipeta (Kilmer y Alexander, 1949). El porcentaje de arena se obtuvo por tamizado

húmedo a presión en tamiz de 50 μ m. El pH de las suspensiones fue siempre regulado a 8,5 previo a las determinaciones.

Para el estudio de la estabilidad de la suspensión se varió el tiempo de pipeteo y por lo tanto la profundidad de medición.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efectos del ultrasonido sobre la destrucción de materia orgánica

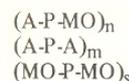
El método común de destrucción de materia orgánica insume aproximadamente de 12 a 24 hs, dependiendo del tenor de materia orgánica de las muestras.

Cuando se procede a la destrucción de materia orgánica, luego de aplicarse vibración ultrasónica a las muestras en suspensión en agua, el tiempo se reduce aproximadamente a 5 hs. Es aún más notable este efecto en el pretratamiento propuesto, en este caso se insume como máximo dos horas.

Para comprobar la efectiva destrucción de la materia orgánica se determinó carbono total en el residuo seco de las muestras en todos los tratamientos, comprobándose en todos los casos su ausencia.

No se observó diferencia al variar el tiempo de aplicación de la vibración entre 2 y 20 minutos.

Una posible explicación de estos efectos estaría basada en la teoría propuesta por Edwards y Bremner (1967 b). Según ella los microagregados serían complejos cuya estructura sería de la forma



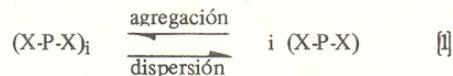
siendo A: la partícula de arcilla

P : metal polivalente (Ca, Al, Fe, etc.)

MO : materia orgánica humificada complejada con metales polivalentes.

n, m y s : número de constituyentes del polímero.

Según esta teoría el ultrasonido rompe y/o debilita las uniones produciéndose una reacción del tipo:



representando X cualquiera de las estructuras primarias antes mencionadas.

Al actuar la energía ultrasónica, la reacción se pro-

TABLA 2: Resultados del análisis granulométrico y eficiencias de dispersión respecto al método común (MC), en suspensiones de suelo en agua con 2 minutos de vibración ultrasónica (S2') y 20 minutos (S20'), y para el método propuesto (MP).

| Suelo | Tratamiento | % arena | % arcilla | % limo + arcilla | Total | e (a + l) | e _a |
|-------|-------------|---------|-----------|------------------|-------|-----------|----------------|
| 1 | MC | 16,0 | 52,6 | 84,0 | 100,0 | | |
| | S2' | 13,6 | 38,3 | 81,5 | 95,1 | 97 | 73 |
| | S20' | 15,4 | 42,5 | 80,9 | 96,3 | 96 | 80 |
| | MP | 18,5 | 50,1 | 81,5 | 100,0 | 97 | 95 |
| 2 | MC | 29,0 | 28,7 | 71,0 | 100,0 | | |
| | S2' | 28,5 | 13,4 | 65,4 | 93,9 | 90 | 47 |
| | S20' | 26,6 | 15,4 | 66,2 | 92,8 | 91 | 53 |
| | MP | 27,6 | 30,6 | 72,4 | 100,0 | 107 | 102 |
| 3 | MC | 22,9 | 46,2 | 77,1 | 100,0 | | |
| | S2' | 22,9 | 37,5 | 75,4 | 98,3 | 98 | 81 |
| | S20' | 22,5 | 36,5 | 74,0 | 96,5 | 96 | 79 |
| | MP | 22,8 | 48,0 | 77,2 | 100,0 | 100 | 104 |
| 4 | MC | 32,2 | 27,7 | 67,8 | 100,0 | | |
| | S2' | 32,3 | 18,8 | 61,9 | 94,2 | 91 | 68 |
| | S20' | 32,0 | 19,9 | 64,5 | 96,5 | 95 | 72 |
| | MP | 31,0 | 29,3 | 69,0 | 100,0 | 106 | 102 |
| 5 | MC | 34,8 | 37,4 | 65,2 | 100,0 | | |
| | S2' | 34,8 | 24,0 | 61,4 | 96,2 | 94 | 64 |
| | S20' | 34,7 | 26,4 | 60,8 | 95,5 | 93 | 70 |
| | MP | 33,6 | 40,2 | 66,4 | 100,0 | 102 | 107 |
| 6 | MC | 15,2 | 62,2 | 84,8 | 100,0 | | |
| | S2' | 15,1 | 38,7 | 80,6 | 95,7 | 95 | 62 |
| | S20' | 14,9 | 35,7 | 80,1 | 95,0 | 95 | 62 |
| | MP | 13,8 | 59,2 | 86,2 | 100,0 | 102 | 95 |
| 7 | MC | 35,5 | 42,8 | 64,7 | 100,0 | | |
| | S2' | 33,0 | 22,3 | 58,9 | 91,9 | 91 | 38 |
| | S20' | 32,4 | 31,6 | 60,5 | 92,9 | 93 | 74 |
| | MP | 32,2 | 42,7 | 67,8 | 100,0 | 100 | 105 |
| 8 | MC | 38,2 | 27,2 | 61,8 | 100,0 | | |
| | MP | 37,5 | 32,3 | 62,5 | 100,0 | 101 | 119 |
| 9 | MC | 44,0 | 17,6 | 56,0 | 100,0 | | |
| | MP | 39,2 | 24,5 | 60,8 | 100,0 | 108 | 139 |
| 10 | MC | 25,2 | 38,3 | 74,8 | 100,0 | | |
| | MP | 25,7 | 42,4 | 74,3 | 100,0 | 99 | 111 |
| 11 | MC | 17,6 | 46,6 | 82,4 | 100,0 | | |
| | MP | 17,2 | 49,9 | 82,8 | 100,0 | 100 | 107 |
| 12 | MC | 19,6 | 35,9 | 80,4 | 100,0 | | |
| | MP | 20,4 | 38,5 | 79,6 | 100,0 | 99 | 107 |
| 13 | MC | 53,7 | 16,5 | 46,3 | 100,0 | | |
| | MP | 57,0 | 17,2 | 43,0 | 100,0 | 93 | 104 |
| 14 | MC | 45,8 | 26,3 | 54,2 | 100,0 | | |
| | MP | 43,3 | 26,3 | 56,7 | 100,0 | 105 | 100 |
| 15 | MC | 41,8 | 19,4 | 58,2 | 100,0 | | |
| | MP | 39,8 | 21,6 | 60,2 | 100,0 | 103 | 152 |
| 16 | MC | 33,6 | 31,7 | 66,4 | 100,0 | | |
| | MP | 32,0 | 34,4 | 68,0 | 100,0 | 102 | 108 |
| 17 | MC | 34,5 | 33,0 | 65,5 | 100,0 | | |
| | MP | 34,4 | 34,3 | 65,6 | 100,0 | 100 | 104 |

duce en el sentido de la dispersión; de este modo la materia orgánica adquiere una mayor susceptibilidad al ataque del peróxido. Esto explicaría el menor tiempo que se emplea en la destrucción en los tratamientos con vibración ultrasónica. En el pretratamiento propuesto la acción del peróxido estaría coadyuvada por la energía suministrada por la vibración, mientras que al cesar el suministro de energía en las suspensiones vibradas sólo en agua la reacción [1] ocurriría en el sentido de agregación haciéndose la materia orgánica menos susceptible al ataque.

El no encontrar diferencias al variar el tiempo de vibración puede interpretarse como que la energía aplicada con el mínimo tiempo utilizado es mayor al umbral mínimo necesario para producir la reacción de dispersión en su totalidad.

Efectos del ultrasonido sobre la dispersión de suelo en agua

Eficiencia de dispersión

En la Tabla 2 se muestran los resultados del análisis granulométrico para los distintos pretratamientos. Se exceptuamos de este análisis al propuesto, se observa que los porcentajes de arcilla medidos en el tratamiento con vibración ultrasónica son menores que los obtenidos por el método común y no se observan diferencias al variar el tiempo de aplicación de la vibración.

El mismo efecto se observa en el porcentaje de arcilla más limo, pero la disminución es relativamente menor.

Definimos eficiencia de dispersión como

$$e_i = \frac{\% \text{ iMS} \quad 100}{\% \text{ iMC}}$$

siendo % iMS: porcentaje de arcilla o arcilla más limo medido después del pretratamiento con ultrasonido.

% iMC: porcentaje de arcilla o arcilla más limo obtenido con la dispersión común.

Se observa que las eficiencias de arcilla (Tabla 2, columna 8) varían entre el 40 y 80 por ciento. Para arcilla más limo los valores oscilan entre 90 y 98 por ciento.

La disminución de la eficiencia antes mencionada puede deberse a que los cationes polivalentes que quedarían en suspensión luego de destruída la materia orgánica influirían en el reagrupamiento de las partículas de arcilla dispersas. Esto se evita en el método común al precipitar o complejarse dichos cationes y ser reemplazados por el sodio en los sitios de intercambio (Edwards y Brenner, 1967 a).

Si se considera que el proceso de reagregación es dinámico (ver estabilidad de la suspensión), esto justificaría que este efecto se observe en menor medida para el porcentaje de arcilla más limo debido a que se determina a un tiempo menor.

Al no observarse aumento en los porcentajes de arena (Tabla 2, columna 3) puede considerarse que la ruptura y el debilitamiento de las uniones producidas por el ultrasonido es irreversible en el sentido en que no vuelven a agruparse con la misma energía original, así con sólo la energía mecánica entregada al tamizar las arenas con agua a presión se produce la ruptura de estos agregados.

En sólo dos suelos (2 y 6) se observó un aumento significativo en la eficiencia de arcillas cuando fueron pasadas dos veces por vibración ultrasónica, una previa a la destrucción de materia orgánica y una posterior. No ocurrió así en arcilla más limo (Tabla 3)

Ambos suelos se caracterizaron por presentar los valores más bajos de eficiencia de dispersión en agua. (ver Tabla 2).

La capacidad flocculante del calcio y el hierro que estos suelos poseen respectivamente, parecen disminuir luego de la destrucción de materia orgánica. Este comportamiento no puede ser explicado con sólo los resultados obtenidos.

TABLA 3: Resultados del análisis granulométrico y eficiencias de dispersión, luego de 2 vibraciones ultrasónicas (una previa a la destrucción de M. O. y una posterior) a 2 minutos y 20 minutos.

| Suelo | Tratamiento | % arena | % arcilla | % arcilla + limo | Total | e(a + l) | e _a |
|-------|-------------|---------|-----------|------------------|-------|----------|----------------|
| 2 | 2' | 27,5 | 19,4 | 69,1 | 96,6 | 97 | 67 |
| | 20' | 26,0 | 22,1 | 71,2 | 97,2 | 100 | 77 |
| 6 | 2' | 14,9 | 56,2 | 80,4 | 95,3 | 95 | 90 |
| | 20' | 13,7 | 58,7 | 84,2 | 97,9 | 99 | 94 |

Estabilidad de las suspensiones

Edwards y Bremner (1967 a) encontraron que las suspensiones de suelo vibradas con ultrasonido se mantenían estables hasta 9 días Olmstead (1931) necesitaba agregar iones amonio para prevenir la floculación.

Los autores del presente trabajo encontraron que las suspensiones se reagregaron en función del tiempo. Para cuantificar este efecto se hizo la determinación granulométrica variando el tiempo de medición. En la Tabla 4 se muestra la disminución de las eficiencias de arcilla y en menor medida las de arcilla más limo al aumentar el tiempo de pipeteo. La Figura 1 muestra la caída del porcentaje de arcilla medido en función del tiempo. Como se observa la pendiente es mayor en el primer tramo de la curva para luego disminuir. Es interesante hacer notar que con la simple agitación mecánica manual los suelos se resuspenden.

Pretratamiento propuesto

En la Tabla 2 se muestran los resultados del análisis granulométrico de los 17 suelos utilizados con el método propuesto.

Se aprecia que las eficiencias de arcilla obtenidas son iguales o incluso mayores al 100 por ciento. Esto se debe a una mejor dispersión de las arcillas en el método propuesto.

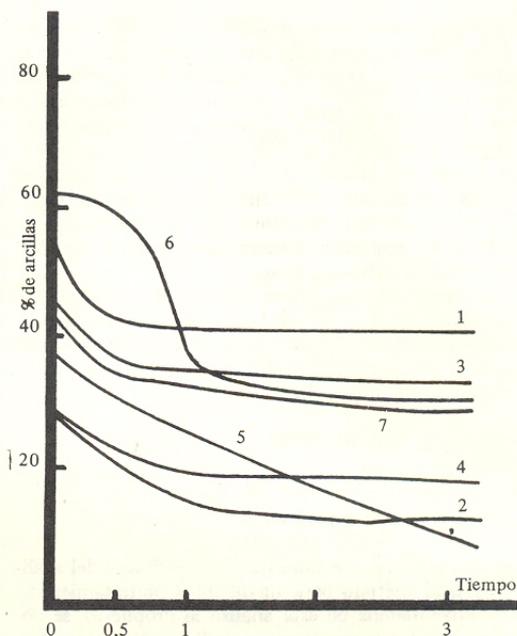


Fig. 1: Estabilidad de las suspensiones vibradas ultrasónicamente: Porcentaje de arcilla en función del tiempo de medición para 7 suelos.

| TABLA 4: Resultados del análisis granulométrico y eficiencias de dispersión respecto al método común, correspondientes a distintos tiempos de medición. Los tiempos (t) de medición están referidos a un t = 1 que corresponde a una profundidad de pipeteada de 5 cm para arcillas y 10 cm para arcilla más limo. | | | | | | | |
|--|-------------|--------|----------|-----------------|-------|------------|-------|
| Suelo | Tratamiento | %arena | %arcilla | %arcilla + limo | Total | $e(a + l)$ | e_a |
| 1 | t 0,5 | 18,2 | 43,3 | 80,2 | 98,4 | 95 | 82 |
| | t 3,0 | 18,2 | 41,4 | 80,0 | 98,2 | 95 | 79 |
| 2 | t 0,5 | 28,2 | 20,8 | 67,3 | 95,5 | 95 | 72 |
| | t 3,0 | 26,9 | 12,9 | 65,8 | 92,7 | 90 | 45 |
| 3 | t 0,5 | 19,0 | 36,9 | 69,5 | 88,5 | 90 | 80 |
| | t 3,0 | 19,9 | 34,4 | 77,1 | 97,0 | 100 | 74 |
| 4 | t 0,5 | 30,3 | 21,8 | 68,6 | 98,9 | 101 | 79 |
| | t 3,0 | 32,8 | 18,2 | 63,2 | 96,0 | 82 | 66 |
| 5 | t 0,5 | 32,8 | 31,2 | 62,0 | 94,8 | 95 | 83 |
| | t 3,0 | 29,7 | 10,0 | 59,4 | 89,1 | 91 | 27 |
| 6 | t 0,5 | 13,3 | 59,0 | 82,2 | 95,5 | 97 | 95 |
| | t 3,0 | 14,1 | 30,7 | 80,6 | 94,7 | 95 | 49 |
| 7 | t 0,5 | 35,5 | 34,3 | 59,2 | 94,7 | 91 | 80 |
| | t 3,0 | 32,2 | 29,6 | 63,3 | 95,5 | 98 | 69 |

Las suspensiones obtenidas resultan estables.

Los suelos 2 y 9 (ambos cálcicos) y el suelo 6 (férrico) no fueron excepciones al comportamiento general.

CONCLUSIONES

La ruptura y el debilitamiento de las uniones de los complejos órgano-minerales de los suelos producida por el ultrasonido se traduce en una mayor susceptibilidad de la materia orgánica al ataque con peróxido de hidrógeno. La destrucción de materia orgánica insume menos tiempo, siendo muy notable cuando se utilizan suspensiones en agua oxigenada.

El efecto de la vibración ultrasónica sobre la dispersión de los coloides minerales de suelos en agua es temporaria y reversible. Al finalizar la entrega de energía ultrasónica, las partículas se reagrupan, siendo necesaria escasa energía mecánica, para lograr la redispersión.

La facilidad de redispersión de las suspensiones in-

dica que efecto del ultrasonido es irreversible en el sentido en que la reagregación no ocurre con la misma energía original. Se carece de suficiente información para explicar este fenómeno.

El comportamiento diferencial que en varios aspectos han demostrado el suelo cálcico y el férrico utilizados no puede ser satisfactoriamente justificado con los resultados obtenidos. Probablemente tengan influencia la clase de complejos órgano-minerales de estos suelos y/o el estado en que se hallan los cationes flocculantes al momento de aplicar la vibración ultrasónica.

Con el pretratamiento propuesto se ha obtenido igual o mejor dispersión de suelos que con el método del peróxido-calgón, pudiendo utilizarse también para suelos cálcicos o férricos. Este método presenta las ventajas de menor consumo de agua oxigenada y una disminución muy notable del tiempo de preparación de las muestras para análisis granulométrico.

El ultrasonido resulta ser un arma muy eficaz para dispersar suelos sin poder evitarse el uso de un agente que mantenga estable las suspensiones.

REFERENCIAS

- Edwards, A. P. y J. M. Bremner, 1967 a. Dispersion of soil particles by sonic vibration. *Journal of Soil Sci.* 18: 47-63.
- Edwards, A. P. y J. M. Bremner, 1967 b. Microaggregates in soils. *Ibid.* 18: 64-73.
- Hinds, A. A. y L. E. Lowe, 1980 a. Dispersion and dissolution effects during ultrasonic dispersion of gleysoils in water and electrolytes. *Can. Journal of Soil Sci.* 60: 329-335.
- Hinds, A. A. y L. E. Lowe, 1980 B. The use of an ultrasonic probe in soil dispersion and in the bulk isolation of organo mineral complexes. *Ibid.* 60: 389-392.
- Kilmer, V. J. y L. T. Alexander, 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil. Sci.* 68: 15-24.
- Mikhail, E. H. y G. P. Briner, 1978. Routine particle size analysis of soils using sodium hypochlorite and ultrasonic dispersion. *Australian Journal of Soil Research.* 16: 241-244.
- North, P. F., 1979. Rothamsted studies of soil structure VI: Assessment of the ultrasonic method of determining soil structural stability in relation to soil management properties. *The Journal of Sol Sci.* 30: 463-472.
- Olmstead, L. B., 1931. Dispersion of soils by a supersonic method. *Journal of Agric. Res.* 42: 441-452.
- Richter, M. y E. Von Wistinghausen, 1981. Unterscheidbarkeit von Humusfraktionen in Böden bei unterschiedlicher Bewirtschaftung. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 144: 395-406.