

MÁQUINA DE ACCIÓN COMBINADA PARA LA MEZCLA DE SUELOS

DI PRINZIO, A.P.; BEHMER, S.N.; STRIEBECK, G.L; IRISARRI, J.A. ¹

RESUMEN

Los suelos aluviales presentan capas texturales contrastadas y de límites abruptos que dificultan el enraizamiento. Los objetivos del trabajo fueron diseñar una máquina integral que distorba y mezcle los agregados del suelo y evaluar su distribución luego del pasaje de la herramienta de mezclado. Se utilizaron cajas de suelo, en laboratorio y en campo, constituidas por cuatro capas de partículas inertes de diferente color y separadas entre sí por capas de suelo. Como variable experimental se utilizó el número y el peso de las partículas presentes en diferentes profundidades del perfil de las cajas de suelo después del mezclado. De la evaluación del modelo a escala surgió la configuración de la máquina prototipo que consiste en una herramienta rotativa helicoidal accionada por la toma de potencia del tractor que, para avanzar a través del suelo, debe trabajar detrás de un subsolador. El prototipo diseñado para la mezcla de suelos intercambia los agregados entre los distintos estratos, eliminando límites abruptos entre capas.

Palabras clave: *labranza, maquinaria, suelos, capas contrastadas, mezcla.*

¹ Docentes Investigadores. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Comahue. C.C. 85 (8303) Cinco Saltos. Río Negro. Argentina. Email: aldipri@uncoma.edu.ar

SUMMARY

COMBINE MACHINE TO THE SOILS MIXTURE

Alluvial grounds display contrasted textural mantles and rugged limits that make difficult the root. The purposes of the work were: to design an integral machine that disturbs and mixes the soil aggregates and to evaluate their distribution after the passage of the mixer. Soil boxes were used formed by four mantles of inert particles of different colour and separated by mantles of soil. As an experimental variable, the number and the weight of the appeared particles in different depths of the soil boxes profile after the mixture, were used. From the results of the scaled pattern arise out the configuration of the prototype machine that is composed of a helicoidal rotative tool actioned by tractor's power take off, which could forward against soil if it works behind a subsolator. The designed prototype for the mixture soils interchanges the aggregates between the different mantles and eliminates rugged limits between mantles.

Key words: *tillage, machinery, soils, contrasted mantles, mixture.*

INTRODUCCIÓN

Los suelos con capas texturales contrastadas en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén ocupan una superficie de más de 24.000 hectáreas, lo que representa un 28,73 % de las tierras productivas de la región. Las capas se presentan asociadas a las terrazas más bajas cercanas al río, donde la actividad fluvial está claramente evidenciada en la morfología de estos suelos a través de contrastes texturales (AyEE, 1991), característica que no es eliminada por la actividad biótica del suelo (Soil Survey Staf, 1975). Por su parte Sys (1979) define a los contrastes texturales como una limitante permanente, mencionando que este tipo de anisotropía vertical y lateral dificulta el enraizamiento de los árboles frutales o bien producen distribuciones anómalas del sistema radicular. Para su mejoramiento se debe intervenir con operaciones mecanizadas; sin em-

bargo, estas capas de textura diferente se encuentran generalmente fuera del alcance de las herramientas de labranza convencional, siendo necesarias herramientas especiales de labranza profunda que permitan el mezclado de las capas con el objeto de asegurar una mejora perdurable del perfil.

Con el fin de mezclar suelos con capas de arena por debajo de una capa de arcilla, Nichols y Reaves (1958), citados por Gill y Vanden Berg (1968), propusieron la utilización de herramientas de labranza vertical que provocan la segregación de una capa por encima de la otra. Capurro (1993) utilizó arados de desfonde para provocar la inversión del horizonte B nátrico; esta herramienta rompe la continuidad de los horizontes al cambiar su posición, logrando un ligero mezclado al permitir que parte de la capa superior del suelo se deposite en el fondo del surco de la pasada anterior.

La mezcla entre capas estratificadas, que de acuerdo con Gill y Vanden Berg (1968) pretende obtener un perfil uniforme, conduciría a una mejora perdurable del suelo dada la imposibilidad física de que las capas retornen a su condición inicial.

Los suelos de origen coluvial de las regiones frutícolas de Stellembosch, Sudáfrica, presentan capas contrastadas y los productores utilizan subsoladores con alas verticales perforadas para favorecer la mezcla de las distintas capas, permitiendo, además, la segregación de los fragmentos más gruesos (Du Preis, T., 1998, com. pers.). En los suelos planosoles de China, con bajos rendimientos, Araya y col. (1996) evaluaron distintas herramientas diseñadas para el mezclado de horizontes y encontraron una invasión del horizonte Aw, impermeable, en el horizonte B; herramientas que demandan un esfuerzo de tracción de 55 a 85 kN, según el diseño.

Gill y Vander Berg (1968) afirmaron que las herramientas rotativas presentan menor requerimiento de potencia y por otro lado tienen la habilidad de cambiar el patrón de las partículas del suelo, afectando su condición final. Citan además a Davinson y Collins (1929), quienes propusieron un arado de vertedera seguido de un eje vertical rotatorio con paletas horizontales dispuestas en forma helicoidal, accionado por la toma de potencia del tractor.

Los objetivos del trabajo fueron:

- Diseñar una máquina integral que disturbe y mezcle los agregados del suelo
- Evaluar la distribución de los agregados del suelo luego del pasaje de la herramienta de mezclado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para definir el diseño de una herramienta que favorezca la mezcla de capas contrastadas, se realizaron dos evaluaciones:

A) *Del modelo a escala*: se trabajó en laboratorio sobre una herramienta rotativa helicoidal de eje vertical de 150 mm de largo y 25 mm de diámetro, accionada por un motor eléctrico. El conjunto fue montado en un bastidor que permitió su traslado a través de una caja de suelo a una velocidad de avance de 0,05 m/s. La caja de suelo, con una de las paredes longitudinales transparente, fue preparada con cuatro capas de diferente coloración, de 6 mm de espesor, separadas entre sí por 25 mm de suelo. Luego del pasaje de la herramienta se fotografió el perfil longitudinal del suelo a través de la pared transparente. La evaluación en un perfil vertical con nueve secciones de 5 mm de alto y 20 mm de ancho, se realizó mediante el recuento de las partículas de cada color, utilizando una lupa de 5X aumentos. El procedimiento se repitió aleatoriamente en 12 lugares del perfil longitudinal de la caja de suelo.

B) *Del prototipo*: se trabajó en campo con una herramienta rotativa accionada por la toma de potencia del tractor, montada detrás de una herramienta de labranza profunda constituida por un subsolador con rejas aladas de 0,35 m de envergadura que trabaja a una profundidad de 0,70 m y dos cinceles de arcos rígidos con rejas de 70 mm de ancho que trabajan a 0,30 m de profundidad y en un plano anterior al subsolador (figura 3). La herramienta rotativa es de forma helicoidal de 0,7 m de largo; 0,32 m de diámetro, y con un paso de 0,2 m, está dispuesta verticalmente con una

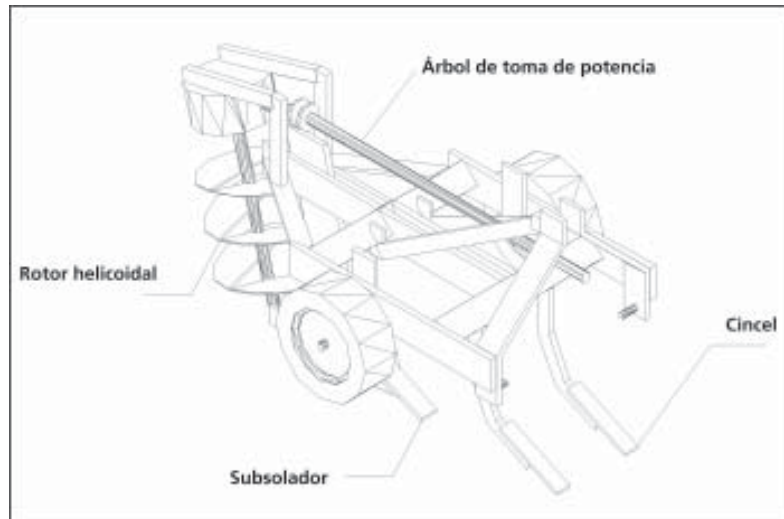


Figura 3. Vista en perspectiva del prototipo mezclador integral (Patente en trámite N° P2000106783)

inclinación hacia atrás de 105° respecto al plano horizontal inferior y gira a $10,5 \text{ rad/s}$ (patente en trámite N° P2000106783). Se utilizó un tractor con tracción delantera asistida de 52 kW de potencia efectiva y un peso total de 2850 kg , el que trabajó a una velocidad de avance de $0,5 \text{ m/s}$.

Para la determinación del esfuerzo de tracción se utilizó un tractor auxiliar, y se midió el esfuerzo realizado por éste al traccionar el conjunto tractor herramienta, con una celda de carga interpuesta entre ambos tractores, descontándose luego la rodadura del tractor bajo ensayo; el área disturbada por la herramienta se midió con un perfilómetro. La determinación de la potencia demandada por la herramienta rotativa se realizó con un torquímetro ubicado en el árbol cardánico. Estas evaluaciones explicativas se realizaron en el suelo adyacente al sitio donde se ubicó la caja de suelo, el que presentó una resistencia a la penetración promedio entre 0 y $0,60 \text{ m}$ de $1,28 \text{ MPa}$ y una humedad del 22% .

Para la evaluación de la capacidad de mezclado de la herramienta se utilizó una caja de suelo de 0,65 m de ancho; 2,5 m de largo y 0,65 m de profundidad, cuya preparación se realizó desde el fondo hacia la superficie, colocándose capas horizontales de diferente coloración de un trazador inerte intercaladas por capas de suelo. Se comenzó con una capa de 36 mm de trazador rojo y luego una capa de 120 mm de suelo, continuando la secuencia con los trazadores blanco, celeste y naranja. De esta manera, la ubicación definitiva de las capas coloreadas, en profundidad fue: naranja de 50 a 100 mm; celeste de 200 a 250 mm; blanca de 350 a 400 mm, y roja de 500 a 550 mm. Como trazador se utilizó puzolana teñida con pintura al agua, con una granulometría de 7 a 19 mm de diámetro y un peso específico de 765 kg/m^3 . Para cada capa se empleó un volumen de $0,0558 \text{ m}^3$, lo que originó un espesor promedio de 36 mm. Una vez distribuida cada capa de trazador y la respectiva capa de suelo, ambas capas se compactaron para obtener el nivel deseado a fin de que la caja de suelo quedase nivelada con la superficie del terreno.

Como variable de respuesta del grado de mezclado, se consideró el peso de las partículas de cada color halladas en diferentes profundidades luego del pasaje de la herramienta. Para ello, en el centro del ancho de labor de la máquina se extrajeron 12 muestras consecutivas de 50 mm de altura, 313 mm de diámetro, abarcando una profundidad de 600 mm, empleándose un cilindro metálico de igual diámetro y 200 mm de alto, el que fue introduciéndose en el suelo a medida que se avanzaba en la extracción de muestras; esto permitió definir en el perfil de la caja de suelo, 12 estratos de 50 mm de profundidad cada uno. El mismo procedimiento se realizó en cuatro sitios ubicados en la dirección longitudinal de la caja de suelo; éstos fueron considerados repeticiones del ensayo y se ubicaron aleatoriamente. Cada muestra fue tamizada separándose las partículas de acuerdo con su coloración, las que fueron pesadas en una balanza de precisión.

Los resultados se analizaron en el programa estadístico SAS y sus medias se contrastaron mediante el test de Tukey con un nivel de confianza del 0,05 y 0,01.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A) *Del modelo a escala:*

La migración originada en cada una de las capas coloreadas presentó un comportamiento similar. Las capas superiores se distribuyeron en todos los estratos.

Considerando todas las partículas como de un mismo color y concentradas en su ubicación original, el coeficiente de variación de todo el perfil fue del 120 %. Luego del pasaje de la herramienta, que provocó una migración de las partículas a las capas adyacentes, el coeficiente de variación disminuyó al 60 %.

Al analizar cada capa de partículas con su color, se observó que la migración provocada por la herramienta disminuyó la cantidad original presente en cada capa, dejando solamente el 12,3 % en la capa naranja, el 25 % en la celeste, el 32,7 % en la roja y el 34 % en la verde, produciéndose una disminución promedio para las cuatro capas originales del 74 %.(Tabla 1).

Tabla 1. Distribución porcentual de las partículas en los diferentes estratos, y migración porcentual de las partículas desde su estrato original, provocada por el modelo a escala.

Estratos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
naranja	7,2	12,3	33	30	11	4,9	1,2	0,2	0	100
celeste	0,8	1,2	17	25	26	23,4	4,7	1,6	0,2	100
Rojo	0	0	2	5,2	32	32,7	16,3	8,5	3,3	100
verde	0	0	0	0	5,9	18,8	22,3	34	18,8	100
Migración %		77,7		75		67,3		76	x = 74 %	

Ambos análisis muestran una eliminación de los límites abruptos presentes en la caja, por lo que justifica su estudio a escala real. En este sentido y dado el alto compromiso mecánico que supone la resistencia del suelo al avance, el eje de la herramienta rotatoria

vertical debería estar vinculado por detrás de un subsolador, el que además, al disturbar el suelo, permitiría que el mezclador encontrase siempre las mismas condiciones de desagregación independientemente del estado de compactación previa.

B) *Del prototipo:*

Al realizar el análisis las distintas capas de colores como pertenecientes a una misma clase, se observa una fuerte homogeneidad de todo el perfil, ya que el coeficiente de variación de las partículas disminuyó del 147,3 % para la condición original, al 31,3 % luego del pasaje de la herramienta, no existiendo diferencias significativas entre los estratos considerados, con una variabilidad general del ensayo del 38,6% (Figura 1). Ello indicaría la habilidad del prototipo para eliminar los límites abruptos de los suelos, en coincidencia con Gil y Vanden Berg (1968).

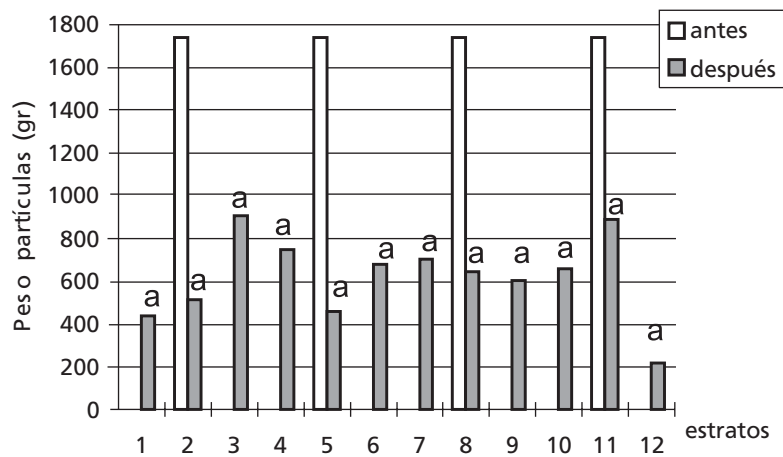


Figura 1. Distribución de partículas antes y después del pasaje de la herramienta. (Letras iguales indica que no hay diferencias significativas, Tukey $\mu=0,01\%$).

En la figura 2 se observa que la distribución de las partículas, luego del pasaje de la máquina, fue diferente para cada color. Las partículas de la capa celeste, ubicadas inicialmente entre 200 y 250

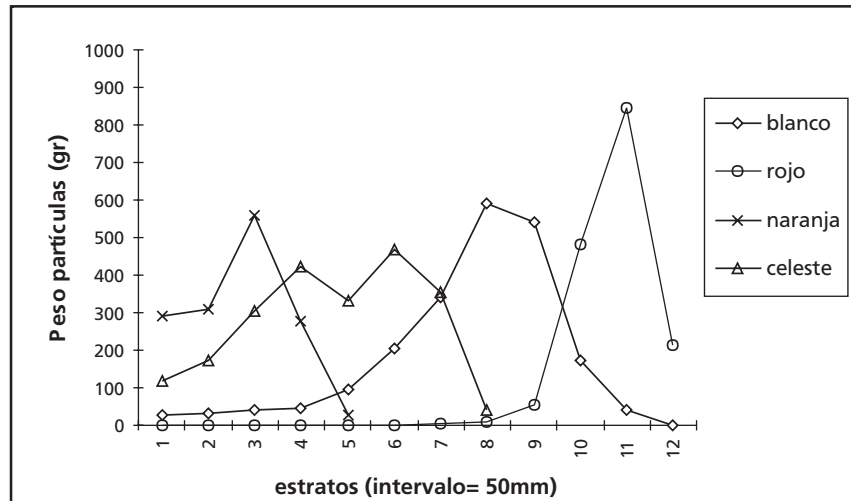


Figura 2. Distribución de partículas de diferente color después de realizado el mezclado con el prototipo.

mm, presentan una redistribución más uniforme cubriendo un intervalo de 400 mm en el perfil del suelo, con un importante aporte de material hacia la superficie. La movilidad de las partículas de las capas naranja y roja (ubicadas entre 50 y 100 mm y entre 500 y 550 mm, respectivamente) fue menor, invadiendo un intervalo aproximado a 300 mm cada una, mientras que las partículas de la capa blanca (ubicadas entre 350 y 400 mm) se destacaron por invadir todo el perfil. Del análisis de la misma figura surge que el mezclador presenta una tendencia a elevar las partículas desde su posición original más que a provocar su descenso, lo que podría deberse al sentido de giro de la herramienta helicoidal. Por otra parte, la menor invasión hacia otros estratos de las capas extremas (naranja y roja) obedecerían a un efecto de borde, principalmente esta última donde podría aparecer el efecto de discontinuidad provocado por el extremo de la herramienta helicoidal.

En este análisis se observó que la migración de partículas provocada por la herramienta fue significativa, dejando solamente en

sus capas originales el 20,9 % de las partículas naranjas, el 15 % de las celestes, el 27,6 % de las blancas y el 52,2 % de las rojas, produciéndose una disminución promedio para las cuatro capas originales del 71 %, (Tabla 2); este valor resulta similar al obtenido por el modelo experimental a escala.

Tabla 2. Distribución porcentual de las partículas entre los diferentes estratos, y migración porcentual de las partículas desde su estrato original, provocada por el prototipo.

Estratos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Naranja	19.78	20.91	37.91	18.85	1.80	0.54	0.15	0	0.06	0	0	0	100
Celeste	5.35	7.88	13.73	19.03	15.03	21.07	15.94	1.85	0.12	0	0	0	100
Blanca	1.29	1.50	2.01	2.22	4.51	9.47	15.99	27.61	25.23	8.14	1.92	0.08	100
Roja	0.10	0	0.07	0.13	0.13	0.08	0.17	0.59	3.50	29.81	52.19	13.21	100
Migración %		79.1			85			72.4			47.8		x = 71 %

Por otra parte, esta migración de partículas podría asociarse al concepto de transferencia entre capas, utilizado por Araya y col. (1996) como indicador del aporte del horizonte impermeable dentro del horizonte B; destacándose, en el presente trabajo, que el intercambio de partículas se produjo entre los estratos de la totalidad del perfil del suelo, mientras que los mencionados autores sólo obtuvieron una transferencia entre horizontes adyacentes.

El análisis en la dirección longitudinal mostró una alta variabilidad entre las repeticiones para cada uno de los colores, en cada uno de los 12 estratos. Esto refleja la aptitud de la herramienta para provocar la mezcla de partículas diferenciándose de aquellas que sólo provocan la segregación de capas. En esta última técnica de mejoramiento de suelo, si bien se rompe el contraste de capas en profundidad, se mantiene la continuidad a lo largo del recorrido de la herramienta, de acuerdo con Gill y Vander Berg (1968), (Tabla 3).

42 MÁQUINA DE ACCIÓN COMBINADA PARA LA MEZCLA DE SUELOS.

Tabla 3. Variabilidad entre repeticiones (CV %) de la mezcla realizada por el prototipo. (Mezcla longitudinal)

Estrato	Naranja	Celeste	Blanco	Rojo
1	36	33	59	115
2	32	36	63	-
3	12	28	75	200
4	40	16	81	120
5	88	40	91	115
6	53	16	46	126
7	92	50	4.7	176
8	-	128	35	133
9	-	-	28	143
10	-	-	115	72
11	-	-	143	21
12	-	-	200	135

El alto grado de mezclado entre capas obtenido en el perfil de la caja de suelo, que elimina los límites abruptos, permite inferir una mejora permanente de las condiciones de un suelo anisotrópico.

Desde el punto de vista de la aplicación de esta técnica dentro de un huerto frutal, esta herramienta resultaría promisorio dado que es posible su accionamiento con un tractor frutícola de mediana potencia. Esta afirmación se basa en las mediciones realiza-

das en el suelo dentro del huerto, fuera de la caja de suelo preparada para la evaluación de mezclado, cuyos resultados indican un esfuerzo de tracción de 18 kN, un coeficiente de labranza de 55 kN/m², una potencia en la barra de tiro de 9 kW y una potencia absorbida en la toma de potencia de 3,5 kW.

CONCLUSIÓN

El prototipo diseñado para la mezcla de suelos intercambia los agregados entre los distintos estratos, eliminando límites abruptos entre capas.

REFERENCIAS

AGUA Y ENERGÍA ELÉCTRICA. 1991. Estudio para el aprovechamiento integral de río Negro, etapa II, provincias de Río Negro y Neuquén. Capítulo Edafología. Consorcio Inconas Latinoconsult, UTE. 382 p.

ARAYA, K.; KUDOH, M.; ZHAO, D.; LIU, F. Y JIA, H. 1996. Improvement of planosol solum: part I, II, III, IV. Journal Agr. Engineering Research, (63), 251-282.

CAPURRO, J. A. 1993. Comparación del efecto de dos velocidades en el uso de un arado de desfonde para mezclar suelos con horizontes nátricos en la pampa deprimida. Tesis Magister Scientiae en Mecanización Agrícola, UNLP. 188 p.

GILL, W.R.; VANDEN BERG, G.E. 1968. Soil dynamics in tillage and traction. Agricultural Handbook 316 U.S. Dept. of Agriculture. 511 p.

SOIL SURVEY STAF. 1975. Soil Taxonomy . Handbook N° 436. 728 p.

SYS, C. 1979. Evaluation of the physical environment for irrigation in term of land characteristics and land quality. World Soil Resources Report N° 50, 60-76.