

## **Sistematización de suelos: eficiencia en la ejecución del proyecto en suelos complejos <sup>1</sup>**

### **Soil land leveling: project execution efficiency in complex soil**

Héctor Gustavo Rosatto <sup>2</sup>  
Daniel Andrés Laureda <sup>2,3</sup>  
Gustavo Ariel Villalba <sup>2</sup>  
Guido Fernando Botta <sup>2</sup>  
Luis Rodríguez Plaza <sup>4</sup>

Alejandro Atencio <sup>4</sup>  
César Eduardo Caso <sup>2</sup>  
Paula Gamboa <sup>5</sup>  
Maia Meyer <sup>5</sup>

*Originales: Recepción: 14/11/2008 - Aceptación: 13/03/2009*

#### **RESUMEN**

El manejo sustentable de los recursos naturales relacionados con proyectos de utilización de los recursos hídricos (entre otros), requiere en muchos casos de la modificación del relieve existente. Esto conlleva la necesidad de adecuación de la capa homogénea superior del suelo, operación que suele denominarse "sistematización", la cual facilita una distribución más uniforme de las lluvias y del agua de riego. Esta modificación de la capa superior del suelo es realizada en base a un proyecto, cuya inclinación responda a las pendientes naturales o a las establecidas por el diseñador. En la ejecución del diseño proyectado, en superficies superiores a una hectárea, el movimiento de tierra se realiza con equipos pesados, que no aseguran un alto porcentaje de eficiencia en lo que al movimiento de tierra se refiere, ya que parte del material se pierde en el acarreo, pero muy especialmente, por la

#### **ABSTRACT**

The sustainable use of natural resources related to hydric and soils projects (among others), requires in many cases, the existing relief modification. So it's necessary the adjustment of superior homogenous soil layer, that is usually denominated like "land leveling". This practice facilitates a more uniform distribution of rains and irrigation water. This modification of the surface relief is made in base to a project whose inclination responds to natural slopes or the established by the designer. This project tries to obtain the smaller soil movement. In projected design execution, in surfaces greater than 5,0 acres, the land leveling, is made with heavy machinery equipment, that don't assure a high efficiency in project execution, because of the material lost in the transport, and also by the no uniform compaction, associated to the complex soil textures.

- 
- 1 El presente trabajo es el resultado de parte de los estudios financiados por el proyecto "Sistematización de superficies: comportamiento del suelo removido" - Programación Científica de la Universidad de Morón. Buenos Aires. Argentina.
  - 2 Docente Investigador del Dpto. Ing. Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453. Buenos Aires. C1417DSE. rosatto@agro.uba.ar
  - 3 Docente Investigador de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Morón. Cabildo 134. Morón. Buenos Aires. Argentina. B1708JPD.
  - 4 Docente Investigador de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB.
  - 5 Asistente Alumno del Dpo. Ing. Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453. Buenos Aires. C1417DSE.

compactación desuniforme del mismo, asociada con las texturas complejas del suelo a trabajar. El presente trabajo determinó el índice de precisión en la ejecución del proyecto de sistematización a partir de un índice estadístico internacionalmente aceptado, el "Root Mean Squared Error (RMSE)", comparando los valores altimétricos proyectados y los realmente obtenidos luego de la ejecución del proyecto, en tres parcelas con distinta secuencia de labores y maquinaria utilizadas, pero con el mismo tipo de suelo en el área del eje Pilar - La Plata (Argentina). Los resultados obtenidos, que varían de un RMSE de 4 a 6 cm, permiten concluir, para los sitios y las condiciones estudiadas, que no pueden asegurarse en la sistematización índices de precisión en la ejecución de la obra, inferiores a los 4 cm.

The present work determined the execution efficiency of land leveling project using an internationally accepted statistical index, "Root Mean Squared Error (RMSE)", contrasting the projected topographical altitude and the really obtained after the project execution, in three parcels which used different sequence of agricultural workings and machinery, but with similar complex soil textures, near to "Pilar and La Plata" cities (Argentina). The statistical index (RMSE) allow to assure that, in the studied conditions of complex soils textures, cannot assure in land leveling values lower than four centimeters of difference between the projected and the constructed.

#### Palabras clave

sistematización de suelos • fiabilidad • pequeñas áreas

#### Keywords

soil land leveling • reliability • small areas

## INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La sistematización de los suelos es una práctica que facilita una entrega más uniforme del agua de irrigación (2). "Sistematizar" un terreno es ajustar la superficie del mismo a la de un plano proyecto, cuya inclinación responda a las pendientes naturales o a las establecidas por el diseñador, de modo de lograr el menor movimiento de tierra (10).

La textura del suelo a mover influye directamente en el porcentaje de esponjamiento. La textura tiene influencia sobre la resistencia al rodamiento que ofrece el suelo a la máquina (1). Esta resistencia depende de las propiedades intrínsecas del material (textura) que compone el suelo original (3).

La sistematización del suelo mejora la conservación del agua en las tierras de secano. Sin embargo, los movimientos de suelo producen a menudo una mezcla de horizontes edáficos respecto de la estratificación original y pueden causar condiciones superficiales desfavorables después del movimiento realizado, dependiendo ello de la naturaleza de los mencionados horizontes subsuperficiales. En un estudio llevado a cabo por Unger *et al.* (12) se verificó que la sistematización afectó perceptiblemente la arena del suelo, el limo, la arcilla y el contenido de materia orgánica así como la estabilidad de los agregados, pero los cambios fueron relativamente pequeños. Por lo tanto, los autores mencionados recomendaron la sistematización de suelos para mejorar la productividad de los cultivos en suelos de secano.

En la sistematización nunca debe realizarse un movimiento de suelos sin conocer primero las condiciones del perfil y el máximo corte que puede ser realizado (10).

Los factores de importancia que deben ser tenidos en cuenta en el movimiento de suelos son el clima, la topografía, el tipo de suelo, el césped y el agua, los cuales deben combinarse adecuadamente para la consecución de un buen resultado (10).

El "esponjamiento" puede ser definido como un incremento del volumen del suelo al ser removido de su estado natural. Generalmente se expresa como un porcentaje de aumento de volumen sufrido respecto del volumen original (3).

Al realizar un desmonte se produce una disminución del peso específico aparente. Luego del terraplenado de un suelo, la tierra se compacta, esto es, se produce un aumento del peso específico aparente de la misma. Esto significa que si se desea rellenar un hueco de 1 m<sup>3</sup> con tierra suelta, será necesario un volumen de tierra superior al metro cúbico mencionado. En consecuencia, al hacer un movimiento de suelos el volumen de desmonte debe superar en un cierto porcentaje el volumen de terraplén (SCS-USDA, 11), citado por Rodríguez Plaza (10).

El movimiento de tierra con equipos pesados no se realiza con un 100% de eficiencia ya que parte del material se pierde en el acarreo, pero muy especialmente, por la compactación del material. Por estas razones, en un cálculo aproximado del movimiento de tierra se recomienda incrementar en un 30% el volumen calculado (8).

Atencio y Rodríguez Plaza (1) y Nichols (7), entre otros, proponen tablas con distintos coeficientes de esponjamiento de acuerdo con la textura del suelo.

En cuanto a los índices de precisión en la ejecución de la obra, el Servicio de Conservación de Suelos de la USDA (11) sostiene que normalmente las operaciones de movimiento de suelos tienen un límite de tolerancia de  $\pm 3$  cm, aunque el trabajo se refiere a suelos con texturas del tipo arenosas.

En el área del eje Pilar - La Plata (Argentina), los suelos son complejos y asociaciones de difícil manejo en su sistematización.

## Objetivos

Determinar el índice de precisión en la ejecución del proyecto de sistematización a partir de un índice estadístico internacionalmente aceptado, el "Root Mean Squared Error (RMSE)", comparando los valores altimétricos proyectados y los realmente obtenidos luego de la ejecución del proyecto.

Determinar qué secuencia de labores y maquinaria utilizada en la ejecución del proyecto presenta el mejor índice de precisión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las parcelas en las cuales se realizó el ensayo se encuentran ubicadas en las localidades de Lobos, Pilar y San Miguel del Monte, todas en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Los suelos están compuestos por complejos y asociaciones con una fuerte componente arcillosa.

Se determinó el relieve de las tres parcelas mediante una nivelación areal, también llamada en grilla o cuadrícula: es el procedimiento habitual de obtención de las cotas de terreno en predios a sistematizar (11). Suele realizarse con instrumental topográfico mayor, como el nivel de anteojo, con tornillo de elevación o automático, e inclusive con nivel de rayo láser, que asegura la precisión del centímetro en la determinación de los desniveles (4, 5).

En los tres sitios de ensayo se replanteó a campo (con cinta y goniómetro) una cuadrícula de 25 m de lado, tamaño acorde con el relieve y áreas (de aproximadamente 5 ha) de las parcelas estudiadas. Luego se determinó (con nivel de anteojo automático) la altura relativa de los vértices de la cuadrícula (previamente estaqueados) al cm. Se procedió al cálculo de los proyectos de sistematización por el método del centroide corregido y pendientes medias (6). Finalmente se replantearon los proyectos a campo y se controlaron luego del movimiento de suelos, a fin de establecer la diferencia existente entre lo proyectado y lo ejecutado. La sistematización se realizó con la siguiente secuencia de labores y maquinarias para cada parcela, detalladas en la tabla 1.

**Tabla 1.** Secuencia de labores y maquinaria utilizada en cada una de las parcelas.  
**Table 1.** Sequence of work and machinery used in each plot.

	<b>Parcela 1 (Pilar)</b>	<b>Parcela 2 (Lobos)</b>	<b>Parcela 3 (San Miguel del Monte)</b>
<b>Maquinaria utilizada</b>	Tractor de 80 hp. Rastra de discos de doble acción. Pala de arrastre (accionada por hidráulico) de 1,5 m <sup>3</sup> de capacidad. Pala arrocera. Rabasto.	Tractor de 100 hp. Rastra de discos de doble acción. Pala de arrastre (accionada por hidráulico) de 1,5 m <sup>3</sup> de capacidad. Pala arrocera.	Tractor de 80 hp. Rastra de discos de doble acción. Pala de arrastre (accionada por hidráulico) de 1,5 m <sup>3</sup> de capacidad. Hoja niveladora autopropulsada. Rabasto.
<b>Secuencia de labores</b>	Cuatro pasadas de rastra, hasta roturar bien la superficie. Movimiento "grueso" de tierra con palas de arrastre (dos) en tándem. Movimiento "fino" de tierra con pala arrocera. Una pasada de rabasto.	Cuatro pasadas de rastra, hasta roturar bien la superficie. Movimiento "grueso" de tierra con palas de arrastre (dos) en tándem. Movimiento "fino" de tierra con pala arrocera.	Cuatro pasadas de rastra, hasta roturar bien la superficie. Movimiento "grueso" de tierra con palas de arrastre (dos) en tándem. Movimiento "fino" de tierra con hoja niveladora autopropulsada. Varias pasadas de rabasto, en distintas direcciones.

Una medida ampliamente utilizada como índice de precisión de las sistematizaciones realizadas es una medida de dispersión: el RMSE (Root Mean Square Error). Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_j)^2}{N}}$$

donde:

$y_i$  es el valor de altura de proyecto

$y_j$  es la altura real luego de realizado el movimiento de tierra

N es el número de pares de valores modelados

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron 70 pares (proyectado versus construido), de valores modelados para cada una de las tres parcelas. Se determinó el RMSE a partir de los errores hallados entre lo proyectado y lo construido en las 70 observaciones, anteriormente descritas, para cada sitio (tabla 2, pág. 90-91).

De los resultados expuestos en la mencionada tabla, se puede establecer que para las labores y las maquinarias utilizadas en los suelos de las zonas ensayadas, con un fuerte componente arcilloso, el índice de precisión varía entre 4 y 6 cm.

Este resultado es superior al sugerido por el Servicio de Conservación de Suelos de la USDA (11) aunque, como ya se mencionó, la textura de los suelos de las parcelas ensayadas, es distinta (más arcillosa), lo que dificulta la sistematización "fina" debido al tamaño y consistencia de los agregados.

El trabajo de movimiento de suelo en la parcela que presentó un menor error medio cuadrático (RMSE) se realizó con hoja niveladora autopropulsada y varias pasadas de rabasto, en la sistematización "fina".

Con el objeto de comprobar si los resultados obtenidos permiten aseverar o no que los tratamientos realizados (secuencia de labores y maquinarias utilizadas) son equivalentes, se procedió (a partir de las variancias muestrales) a la comparación de las variancias poblacionales utilizando el estadístico "F" de G. W. Snedecor (9).

Se propuso una hipótesis nula (H0) de igualdad entre las variancias y una hipótesis (H1) de desigualdad: para cada muestra de datos apareados se obtuvo:

S1 (variancia muestral parcela 1) = 6,1 cm

S2 (variancia muestral parcela 2) = 5,8 cm

Grados de libertad: 69 en ambos casos

Nivel de significancia del 1% (0,01)

$$F \text{ (calculada)} = \frac{S1^2}{S2^2} = \frac{6,1 \text{ cm}}{5,8 \text{ cm}} = 1,05$$

F (de tabla) = 1,76 (valor crítico)

**Tabla 2.** Determinación del RMSE.  
**Table 2.** RMSE determination.

Nro. de muestra	Parcela 1 (Pilar)			Parcela 2 (Lobos)			Parcela 3 (S. M. del Monte)			Cuadrado de los errores (cm <sup>2</sup> )		
	Cota de Proy. (m) (y <sub>i</sub> )	Cota de Construcción (m) (y <sub>j</sub> )	Errores (cm) (y <sub>i</sub> - y <sub>j</sub> )	Cota de Proy. (m) (y <sub>i</sub> )	Cota de Construcción (m) (y <sub>j</sub> )	Errores (cm) (y <sub>i</sub> - y <sub>j</sub> )	Cota de Proy. (m) (y <sub>i</sub> )	Cota de Construcción (m) (y <sub>j</sub> )	Errores (cm) (y <sub>i</sub> - y <sub>j</sub> )	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
1	39,27	39,34	-7	59,44	59,55	-11	58,56	58,59	-3	49	121	9
2	39,29	39,35	-6	59,40	59,51	-11	58,56	58,60	-4	36	121	16
3	39,31	39,36	-5	59,36	59,41	-5	58,56	58,62	-6	25	25	36
4	39,33	39,41	-8	59,32	59,32	0	58,56	58,64	-8	64	0	64
5	39,35	39,46	-11	59,28	59,28	0	58,56	58,65	-9	121	0	81
6	39,37	39,44	-7	59,24	59,24	0	58,56	58,60	-4	49	0	16
7	39,39	39,49	-10	59,20	59,17	3	58,56	58,56	0	100	9	0
8	39,41	39,49	-8	59,16	59,16	0	58,56	58,62	-6	64	0	36
9	39,43	39,45	-2	59,12	59,05	7	58,56	58,56	0	4	49	0
10	39,45	39,50	-5	59,08	59,04	4	58,56	58,56	0	25	16	0
11	39,47	39,51	-4	59,04	58,98	6	58,56	58,61	-5	16	36	25
12	39,49	39,49	0	59,00	58,98	2	58,56	58,56	0	0	4	0
13	39,51	39,48	3	58,96	58,96	0	58,56	58,52	4	9	0	16
14	39,53	39,60	-7	59,59	59,68	-9	58,70	58,75	-5	49	81	25
15	39,55	39,46	9	59,55	59,64	-9	58,70	58,73	-3	81	81	9
16	39,36	39,28	8	59,51	59,62	-11	58,70	58,70	0	64	121	0
17	39,38	39,44	-6	59,47	59,57	-10	58,70	58,74	-4	36	100	16
18	39,40	39,45	-5	59,43	59,48	-5	58,70	58,72	-2	25	25	4
19	39,42	39,44	-2	59,39	59,44	-5	58,70	58,72	-2	4	25	4
20	39,44	39,42	2	59,35	59,39	-4	58,70	58,73	-3	4	16	9
21	39,46	39,43	3	59,31	59,35	-4	58,70	58,73	-3	9	16	9
22	39,48	39,41	7	59,27	59,32	-5	58,70	58,73	-3	49	25	9
23	39,50	39,39	11	59,23	59,23	0	58,70	58,74	-4	121	0	16
24	39,52	39,43	9	59,19	59,26	-7	58,70	58,76	-6	81	49	36
25	39,54	39,48	6	59,15	59,15	0	58,70	58,74	-4	36	0	16
26	39,56	39,45	11	59,11	59,11	0	58,70	58,64	6	121	0	36
27	39,58	39,50	8	59,72	59,76	-4	58,84	58,90	-6	64	16	36
28	39,60	39,50	10	59,68	59,78	-10	58,84	58,84	0	100	100	0
29	39,62	39,65	-3	59,64	59,72	-8	58,84	58,76	8	9	64	64
30	39,48	39,48	0	59,60	59,66	-6	58,84	58,84	0	0	36	0
31	39,50	39,50	0	59,56	59,59	-3	58,84	58,84	0	0	9	0
32	39,52	39,56	-4	59,52	59,52	0	58,84	58,84	0	16	0	0
33	39,54	39,58	-4	59,48	59,52	-4	58,84	58,84	0	16	16	0
34	39,56	39,62	-6	59,44	59,47	-3	58,84	58,82	2	36	9	4
35	39,58	39,62	-4	59,40	59,40	0	58,84	58,80	4	16	0	16
36	39,60	39,68	-8	59,36	59,36	0	58,84	58,84	0	64	0	0
37	39,62	39,68	-6	59,32	59,36	-4	58,84	58,84	0	36	16	0
38	39,64	39,69	-5	59,28	59,32	-4	58,84	58,80	4	25	16	16
39	39,66	39,72	-6	59,24	59,29	-5	58,84	58,84	0	36	25	0
40	39,68	39,75	-7	59,83	59,83	0	58,98	58,98	0	49	0	0
41	39,70	39,76	-6	59,79	59,79	0	58,98	58,98	0	36	0	0
42	39,72	39,70	2	59,75	59,82	-7	58,98	58,98	0	4	49	0
43	39,74	39,74	0	59,71	59,80	-9	58,98	58,98	0	0	81	0
44	39,36	39,39	-3	59,67	59,75	-8	58,98	59,01	-3	9	64	9
45	39,38	39,40	-2	59,63	59,67	-4	58,98	58,96	2	4	16	4
46	39,40	39,40	0	59,59	59,57	2	58,98	58,96	2	0	4	4
47	39,42	39,42	0	59,55	59,58	-3	58,98	58,93	5	0	9	25
48	39,44	39,46	-2	59,51	59,56	-5	58,98	58,94	4	4	25	16
49	39,46	39,44	2	59,47	59,47	0	58,98	58,98	0	4	0	0
50	39,48	39,50	-2	59,43	59,43	0	58,98	59,02	-4	4	0	16

Nro. de muestra	Parcela 1 (Pilar)			Parcela 2 (Lobos)			Parcela 3 (S. M. del Monte)			Cuadrado de los errores (cm <sup>2</sup> )		
	Cota de Proy. (m) (y <sub>i</sub> )	Cota de Construcción (m) (y <sub>j</sub> )	Errores (cm) (y <sub>i</sub> - y <sub>j</sub> )	Cota de Proy. (m) (y <sub>i</sub> )	Cota de Construcción (m) (y <sub>j</sub> )	Errores (cm) (y <sub>i</sub> - y <sub>j</sub> )	Cota de Proy. (m) (y <sub>i</sub> )	Cota de Construcción (m) (y <sub>j</sub> )	Errores (cm) (y <sub>i</sub> - y <sub>j</sub> )	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
51	39,50	39,55	-5	59,39	59,39	0	58,98	58,95	3	25	0	9
52	39,52	39,54	-2	59,35	59,39	-4	58,98	58,98	0	4	16	0
53	39,54	39,61	-7	59,92	59,92	0	59,12	59,12	0	49	0	0
54	39,56	39,62	-6	59,88	59,88	0	59,12	59,12	0	36	0	0
55	39,58	39,58	0	59,84	59,90	-6	59,12	59,17	-5	0	36	25
56	39,60	39,62	-2	59,80	59,90	-10	59,12	59,17	-5	4	100	25
57	39,62	39,67	-5	59,76	59,84	-8	59,12	59,18	-6	25	64	36
58	39,29	39,24	5	59,72	59,70	2	59,12	59,16	-4	25	4	16
59	39,31	39,27	4	59,68	59,66	2	59,12	59,2	-8	16	4	64
60	39,33	39,24	9	59,64	59,69	-5	59,12	59,16	-4	81	25	16
61	39,35	39,29	6	59,60	59,60	0	59,12	59,09	3	36	0	9
62	39,37	39,34	3	59,56	59,56	0	59,12	59,12	0	9	0	0
63	39,39	39,31	8	59,52	59,52	0	59,12	59,17	-5	64	0	25
64	39,41	39,36	5	59,48	59,52	-4	59,12	59,09	3	25	16	9
65	39,43	39,46	-3	59,44	59,49	-5	59,12	59,12	0	9	25	0
66	39,45	39,45	0	59,99	59,71	28	59,26	59,26	0	0	784	0
67	39,47	39,45	2	59,95	59,95	0	59,26	59,30	-4	4	0	16
68	39,49	39,42	7	59,91	59,96	-5	59,26	59,31	-5	49	25	25
69	39,51	39,49	2	59,87	59,93	-6	59,26	59,31	-5	4	36	25
70	39,53	39,63	-10	59,83	59,87	-4	59,26	59,35	-9	100	16	81
Sumatoria del cuadrado de los errores										2339	2626	1079
Número de muestras										70	70	70
RMSE (cm)										5,8	6,1	3,9

Como el valor calculado es inferior al valor crítico, se acepta la hipótesis de igualdad de variancias, lo que demuestra que los tratamientos son equivalentes. Realizando el mismo cálculo para las restantes combinaciones de variancias muestrales, se obtienen los siguientes valores (tabla 3):

**Tabla 3.** Comparación de las variancias poblacionales utilizando el estadístico "F".  
**Tabla 3.** Samples variances comparison using the "F" statistical.

	Variancias muestrales		
	Parcelas 1 y 2	Parcelas 2 y 3	Parcelas 1 y 3
F calculada (S1/S2)	1,05	1,56	1,49
F de tabla (para 1% de significancia y 70 grados de libertad)	1,76 ( <sup>70/70</sup> y <sub>0,01</sub> )		

Los datos demuestran que el valor calculado es inferior al valor crítico en todas las combinaciones de variancias muestrales analizadas, lo que evidencia que los tratamientos son equivalentes en las tres áreas ensayadas, por lo que las distintas secuencias de labores y maquinarias no presentan diferencias estadísticas significativas.

## CONCLUSIONES

Los índices de precisión determinados (RMSE) permiten asegurar que para los sitios y las condiciones de suelos arcillosos complejos, no puede asegurarse en la sistematización de terrenos valores inferiores a los 4 cm de diferencia entre lo proyectado y lo construido.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Atencio, A.; Rodríguez Plaza, L. 1999. Nivelación de terrenos por el método FCA. En :Topografía Agrícola. Mendoza: Ed. EDIUNC. 325 p.
2. Brye, K. R.; Slaton, N. A.; Savin, M. C.; Norman, R. J.; Miller, D. M. 2003. Short-term effects of land leveling on soil physical properties and microbial biomass. Volume 67, Issue 5, September 2003, Pages 1405-1417. Soil Science society of America Journal.
3. García, G. J; G. C. R. Piedade. 1989. Topografía aplicada as Ciencias Agrarias. Brasil: Ed. Nóbél. 256 p.
4. Hourcade, M. D. 1998. Levantamientos planialtimétricos no taquimétricos. En: Curso de Topografía Agrícola 2<sup>da</sup> parte. CEABA. Buenos Aires, Argentina. p. 50-72.
5. Ibáñez, M. 1994. Nivelación y movimiento de suelo. Bol. de extensión n° 29. Universidad de Concepción, Chillán, Chile.
6. Laureda, Daniel A. 2005. Nivelación areal, sistematización y replanteo del proyecto de sistematización. En: Topografía para Espacios Verdes. Ed. FAUBA. p. 150-162.
7. Nichols, Herbert L. 1966. Movimiento de Tierras. México: Ed. Compañía Editorial Continental S. A. 1111 p.
8. Peña McCaskill, Luis. 1995. Apuntes de conservación de suelos. Chile: Ed. de la Universidad de Concepción. 167 p.
9. Pimentel Gómez, F. 1978. Curso de Estadística Experimental. Buenos Aires: Ed. Hemisferio Sur. 323 p.
10. Rodríguez Plaza, Luis. 2000. Modelo matemático de nivelación de parcelas agrícolas en zonas regadías. Edición propia. 111 p.
11. Servicio de Conservación de Suelos (SCS). USDA. 1972. Nivelación de terrenos. México: Ed. Diana.
12. Unger, P. W.; Fulton, L. J.; Jones, O. R. 1990. Land-leveling effects on soil texture, organic matter content, and aggregate stability. En Journal of Soil & Water Conservation, Volume 45, Issue 3. p. 412-415.