



NIVELACIÓN DE SUELOS REGADÍOS MODELOS PARA CALCULAR CORTES Y RELLENOS

Land leveling of irrigable soils Models to calculate cuts and fills

Luis A. E. Rodríguez Plaza
José A. Morábito
Alejandro L. Atencio *

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan y se comparan dos modelos computacionales :

- TOPAG'97 (Rodríguez Plaza, 1997), desarrollado localmente
- SURFER (Golden Software Inc., versión 5.03, 1995) de gran difusión internacional.

El TOPAG'97 ** se aplica a la nivelación de terrenos destinados a la producción agrícola regadía en Cuyo (Argentina), destacándose por:

- su fácil uso por parte de productores y profesionales
- su ejecución bajo DOS
- el cálculo de pendientes naturales
- el cálculo de la dirección de las líneas de cultivo (de acuerdo a las pendientes del terreno) y volúmenes de corte y relleno.

El SURFER tiene muchas aplicaciones:

- dibuja isolíneas sobre la base de varias alternativas de interpolación,
- presenta, además, excelentes opciones para la visualización bi y tridimensional de los planos.

Con este último modelo, comparando la información real obtenida a campo con un plano imaginario de cotas proyecto, plan-

SUMMARY

The present paper has for object to analyze and to compare the pattern of calculation TOPAG'97 (Rodríguez Plaza, 1997), developed locally, with another of great international diffusion as SURFER (Golden Software Inc., 1995, version 5.03).

The first model is applied to the leveling of lands dedicated to the irrigable agricultural production in the area cuyana, standing out the following qualities: use easiness for producers and professionals, to run under DOS, to calculate the natural slopes, to calculate the direction of the cultivation lines (according to the slopes of the land) and court volumes and filling

The second software has wide diffusion in the international market and it has many applications: it draws isolines on the base of several interpolation alternatives and it also presents excellent options for the two-dimensional and three-dimensional visualization of the planes. With this last model and comparing the real information obtained to field with an imaginary plane of bench marks project outlined by the user, you can calculate the court volumes and filling.

* Departamento de Ingeniería Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Alte. Brown 500. (5505) Chacras de Coria. Mendoza. Argentina.
e-mail: caifca@uncu.edu.ar

** El TOPAG'97 se describe en la págs. 9-12 de la presente revista.

teado por el usuario, se pueden calcular los volúmenes de corte y relleno.

Se analizan los fundamentos de ambos modelos, sus aplicaciones y sus limitaciones, comparándose los resultados obtenidos en el cálculo de cortes y rellenos sobre cinco parcelas. Las pendientes máximas de las mismas fueron 2,062 % (eje X) y 1,893 % (eje Y); las superficies extremas, 4 060,40 y 14 045,20 m² y la distancia entre estacas utilizadas a campo, 20 m.

En función de los resultados, se especifican ventajas y desventajas de los modelos y, simultáneamente, los criterios más importantes para una adecuada sistematización del terreno. El objetivo es que los profesionales tomen conciencia de la importancia del movimiento de suelo.

The foundations are analyzed on which the models, their applications and limitations have been developed and the results are compared obtained in the calculation of courts and fillings on 5 parcels. The maximum slopes of the studied parcels are 2,062 % (axis X) and 1,893 % (axis Y), the extreme surfaces of the parcels are: 4060,40 and 14045,20 m² and the distance among stakes used to field are of 20 m.

In function of the results, advantages and disadvantages of the analyzed models are specified, at the same time that the most important approaches are analyzed to achieve an appropriate systematizing of the land in order to achieve the taking it makes aware for the professionals that develop these tasks, about the importance of soil movement.

Palabras clave

nivelación • movimiento de suelos • modelos matemáticos

Key words

leveling • movement of soils • mathematical models

INTRODUCCIÓN

En la provincia de Mendoza (Argentina) menos del 2 % de aprox. 360 000 ha bajo riego cuenta con riego presurizado. Si bien esta última superficie se está incrementando más rápidamente que el área bajo riego superficial, su proporción continúa siendo pequeña. Por ello, la incorporación anualmente sistematizada de tierra para riego por superficie es importante, al igual que las correcciones de nivelación normalmente realizadas en terrenos sistematizados ya incorporados a la producción. En la actualidad se estima que en Mendoza se nivelan aprox. 3 000 ha/año.

El diseñador de sistemas de riego, cuando selecciona el método de aplicación del agua a la planta, debe considerar todos los factores de suelo y topográficos, analizando la posibilidad de usar cada método: superficial, aspersión y goteo, según las condiciones del sitio sistematizable. Los factores mencionados son:

- topográficos: irregularidad de la superficie, magnitud y cambios en la dirección de la pendiente,
- edáficos: la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, velocidad de infiltración y profundidad,
- geométricos: forma del campo o parcela, desagües naturales, construcciones, elementos útiles e indeseables, etc.

El primer paso en una eficiente sistematización del riego es la buena nivelación del terreno, con el menor movimiento posible de suelo para no comprometer seriamente la producción y obtener un riego eficaz. Así se optimizarán los costos de implantación y mantenimiento, además de conservar intacto el recurso suelo. Cuando se realiza la nivelación de las propiedades agrícolas en un plano, el método utilizado tradicionalmente para calcular movimiento de suelo se basa en el cálculo del centroide, o cota terreno promedio, cuya ubicación planimétrica está definida por el centro matemático dado por las coordenadas medias en los ejes X e Y. Posteriormente, de acuerdo con la finalidad propuesta: nivelación a cero en todas las direcciones o respeto de la pendiente natural en una o dos direcciones, se calcula la cota proyecto de cada punto de la retícula. Este cálculo se realiza en función de la textura de suelo, considerando la relación corte-relleno objetivo:

$$Icc = Vc / Vr$$

donde Vc es el volumen de corte y Vr, el volumen de relleno. De esta forma, el valor de Icc obtenido se ajusta al valor Icc objetivo, bajando y subiendo el centroide y/o alterando las pendientes proyecto hasta lograr el ajuste deseado por el diseñador. Este trabajo iterativo es fácilmente modelable con programas de computación que aceleran notablemente la velocidad de cálculo y brindan resultados muy precisos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se estudian comparativamente dos de los modelos existentes en el mercado, que son habitualmente usados en la región.

1° TOPAG'97 (Rodríguez Plaza, 1997)

Desarrollado en la cátedra de Topografía Agrícola (Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo), escrito en lenguaje Q Basic 4.5, apto para cualquier computadora. El mismo permite el análisis de parcelas, en las que conocida la cota terreno de cada punto de la retícula, se calcula la cota proyecto para diferentes alternativas de nivelación: nivelación a cero en todos los sentidos, nivelación a cero en un sentido y siguiendo la pendiente natural en el otro, o bien, respetando la pendiente natural en ambos sentidos. Además, tiene un algoritmo de cálculo de ajuste del plano proyecto, o ajuste del centroide en un solo paso, según la siguiente ecuación (Atencio y Rodríguez Plaza, 1996):

$$App = \frac{-\sum Dr - Icc \cdot \sum Tr}{Icc \cdot \sum Cst + \sum Csd}$$

- App:** ajuste del plano proyecto
Dr: desmonte o corte afectado por el coeficiente de superficie de cada estaca afectada por el desmonte
Icc: relación "Corte/Relleno" objetivo
Tr: terraplén o relleno afectado por el coeficiente de superficie de cada estaca afectada por el terraplén
Cst: coeficiente de superficie de estaca en terraplén o relleno
Csd: coeficiente de superficie de estaca en desmonte o corte

El modelo es de operación sencilla, fácil corrección de datos cuando se han cometido errores en su ingreso y permite trabajar en el interfilar comprendido entre dos hileras de plantas consecutivas en cultivos perennes: por hilera y en la dirección que el usuario defina. La distancia entre estacas puede ser irregular y, además, calcula el ángulo del sentido del riego de la parcela de acuerdo con la pendiente deseada por el diseñador. También permite el cálculo de pendientes naturales provenientes de cotas relevadas por procedimientos taquimétricos. El TOPAG'97 no genera planos del terreno pero sí archivos de salida con extensión ".dat", los que pueden ser tomados por otro software (por ejemplo, el modelo SURFER) a fin de graficar las parcelas y sus isolinéas.

2° SURFER Versión 5.03 1995 (Golden Software Inc.)

Este modelo también es usable en cualquier computadora. Además de trazar isolinéas sobre la base de varias alternativas (interpolación lineal, interpolación con el cuadrado de la distancia, método Kriging, etc.), presenta excelentes opciones para la visualización bi y tridimensional de los planos. El usuario puede calcular el volumen de corte comparando la información real obtenida a campo con un plano imaginario de cotas proyecto planteado como objetivo.

A fin de comparar ventajas e inconvenientes de ambos modelos se seleccionaron cinco parcelas de diferentes tamaños, con similar tipo de suelo y distintas pendientes naturales, todas ellas con relevamientos realizados a campo sobre la base del método del reticulado (equidistantes) a igual espaciamiento entre estacas. Estas parcelas fueron sometidas a trabajos de nivelación, realizando los movimientos necesarios de suelo a fin de lograr una adecuada preparación del terreno antes de la implantación del cultivo regadío por escurrimiento superficial (surcos o melgas).

RESULTADOS

La tabla consigna los principales parámetros y resultados obtenidos: volúmenes de corte, en las parcelas analizadas con los 2 modelos estudiados, sobre la base de una nivelación del terreno siguiendo la pendiente natural en ambos sentidos; es decir,

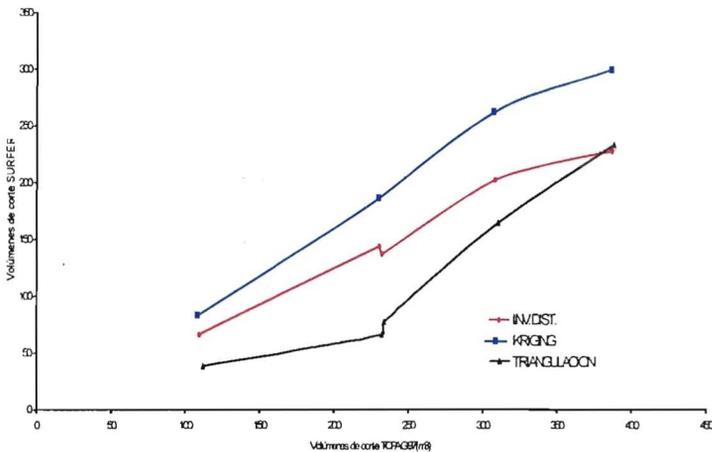
Parcela	1	2	3	4	5
Ubicación	Maipú	S. Rafael	Pocitos	Luján	Lavalle
	Pendiente natural (%)				
X	2.022	2.062	2.046	0.738	1.527
Y	1.893	1.84	1.715	0.867	0.370
	Área (m²)				
TOPAG'97	5000	6200	4060.4	14045.2	11605.2
SURFER Inv. Dist.	4822	5952	3744	13762	11252
SURFER Kriging	4822	5952	3744	13762	11252
SURFER Triang.	2970	3939	2303	9730	7770
	Volumen corte (m³)				
TOPAG'97	232.306	233.446	111.757	387.766	309.722
SURFER Inv. Dist.	146.75	139.617	70.5774	230.243	204.477
SURFER Kriging	187.59	188.532	84.5794	301.925	264.484
SURFER Triang.	65.6705	77.0442	38.5471	233.161	165.301

pensando en reducir al máximo posible el movimiento de suelo, pero manteniendo siempre la parcela en un solo plano. De esta manera se debería encontrar el ángulo que permita realizar el riego más adecuado de acuerdo con la pendiente elegida.

Las pendientes máximas de las parcelas fueron 2,062 % (eje X) y 1,893 % (eje Y); las superficies extremas, 4 060,40 y 14 045,20 m² y la distancia entre estacas utilizada a campo, 20 m. Como se aprecia en la tabla (pág. 4), entre los resultados obtenidos para las mismas parcelas, hay diferencias en los volúmenes de corte a realizar según los modelos TOPAG'97 y SURFER. Este último da volúmenes de corte y superficies inferiores debido a su capacidad de generar grillas por diferentes procedimientos de interpolación.

El TOPAG'97 arroja resultados superiores en cuanto a los volúmenes pues asume que cada cota tiene un área de influencia igual al cuadrado de la distancia entre estacas: 400 m², mientras que los valores de superficie se calculan mediante el área de influencia multiplicada por su coeficiente de superficie.

Figura 1. Volúmenes de corte en cada parcela con los modelos TOPAG'97 y SURFER utilizando los métodos de interpolación: Inversa de la distancia, Kriging y triangulación.



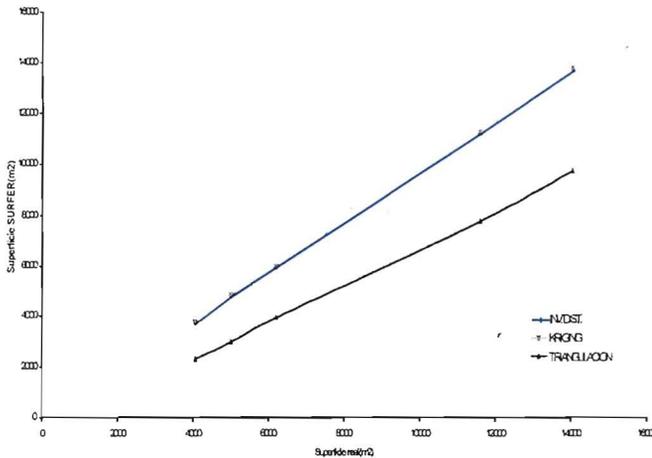
Es apreciable la estrecha relación brindada por ambos modelos. Debido a la correlación entre TOPAG'97 y SURFER (Kriging), se le aplicó a estos valores un cálculo de regresión obteniéndose la siguiente ecuación de predicción:

$$VS = 4,722 + 1,218.VT$$

siendo VS el volumen de cortes en SURFER y VT, el volumen de cortes en TOPAG'97.

La figura 2 (pág. 6) relaciona las superficies obtenidas en cada parcela con la aplicación de los modelos utilizando los métodos de interpolación: inversa de la distancia, Kriging y triangulación, pudiendo apreciarse la estrecha relación obtenida con TOPAG'97 y SURFER (métodos de interpolación Kriging e inversa de la distancia).

Figura 2. Comparación de superficies entre los modelos TOPAG'97 y SURFER (Inversa de la distancia, Kriging y Triangulación).



Dado que en la superficie existe una relación similar a la del volumen se calculó la siguiente ecuación:

$$AS = 227,482 + 1,006.AT$$

donde AS es el área de la parcela en SURFER y AT, el área de la parcela en TOPAG'97.

CONCLUSIONES

Analizados los resultados se advierte que existe una relación entre los volúmenes y las superficies calculados con el SURFER y el TOPAG'97. El TOPAG'97 ha sido contrastado a campo en las parcelas estudiadas pudiendo observarse muy buen ajuste entre los resultados obtenidos con el modelo (cota proyecto y volúmenes de suelo a mover) y el trabajo realizado en el campo por el maquinista, sin sobrar ni faltar suelo para lograr el plano objetivo.

Por ello sería conveniente rescatar la facilidad de manejo del modelo TOPAG'97, así como las opciones incorporadas para ajustar el plano proyecto y la posibilidad de cálculo del ángulo óptimo para los surcos o melgas, según los requerimientos del diseño del giro por superficie.

Asimismo, con respecto al SURFER es importante recordar que fundamentalmente es un modelo para graficar y visualizar planos. No ha sido elaborado para calcular movimientos de tierra sino que, sobre la base de las cotas terreno y cotas proyecto, calcula los volúmenes para hacer posible su comparación. Los resultados obtenidos son diferentes debido al método usado para la interpolación entre los distintos puntos de la retícula.

Por último, desde un punto de vista estrictamente agrícola, es necesario mantener y mejorar la nivelación de año en año. Para restituir a la tierra su máxima productividad el agricultor deberá dedicar a esta tarea parte del tiempo de las labores anuales.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, C. L., A. D. Halderman, H. A. Paul y E. Rapp. 1991. Land shaping requirements. Design and operation of farm irrigation systems. USA.
- Atencio, A. y L. Rodríguez Plaza. 1996. Temas de Topografía Agrícola. Cátedra de Topografía Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo.
- Chambouleyrón, Jorge. 1995. Riego y Drenaje. Texto para el curso de Hidrología Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo.
- Jensen, M. E., D. S. Harrison, H. C. Korven and F. E. Robinson. 1983. Design and operation of farm Irrigation Systems, Chapter 2. The American Society of Agricultural Engineers.
- Morábito, José A. 1997. Introducción al riego. El riego en el mundo, Argentina y Mendoza. INA-CRA & UNCuyo-FCA.
- Olsen, Ted. 1991. LEVLGRAM. Utah State University. USA.
- Rodríguez Plaza, L. 1997. TOPAG'97 Programa de cómputos para la nivelación de terrenos. Cátedra de Topografía Agrícola. FCA-UNCuyo.
- Sacaloppi E.J. & L.S. Willarson L. 1986. Practical land grading based on least squares. ASCE Volumen 112, nº 2.



Mendoza en otoño