

MEDIDAS DE MICRORRELIEVE E ÍNDICES DE RUGOSIDAD: RESULTADOS DE LA CAMPAÑA 1998-1999

Vidal Vázquez, E., Taboada Castro, M^a. M. y Paz González, A.

Facultad de Ciencias. Universidad de A Coruña. A Zapateira. 15071. A Coruña.

SUMMARY

Microrelief measurement and roughness indices: results of experiences in 1998-1999

In this work, microrelief measurements in field conditions for 66 small plots are presented. Experimental data included different tillage conditions (mouldboard ploughed, harrowed and seedbeds) for both, initial soil surfaces and also surfaces degraded by natural rain action. The data set was collected between December 1998 and September 1999. A pinmeter was used for elevation measurements on a 2 cm x 2 cm regular grid. The area of each experimental plot was circa 1.80 m². After trend removal for both, slope effect and slope plus oriented roughness effect induced by tillage, two data series of point elevation measurements were obtained. In each of this data series four indices were calculated: random roughness, limiting difference, limiting slope and tortuosity. After slope trend removal the random roughness values were in the range between 10.08 mm and 50.99 mm and after slope plus oriented roughness removal, these range was between 7.42 mm and 38.35 mm. Random roughness and limiting slope exhibit values about the same order of magnitude and present the highest correlation coefficients between pairs of indices.

Key words: Microrelief, roughness indices, pinmeter, mouldboard plough, harrow, seedbeds.

RESUMEN

En este trabajo se presentan medidas de microrrelieve efectuadas en condiciones de campo en 66 microparcels. Los datos experimentales incluyen diferentes condiciones de laboreo (arado de vertedera, gradeado y lecho de siembra) tanto de superficies iniciales como de otras degradadas por la acción de la lluvia natural. Esta serie de datos se obtuvo entre diciembre de 1998 y septiembre de 1999. Las medidas se realizaron usando un asperímetro con una rejilla de 2 cm x 2 cm. En cada determinación se cubrió un área de aproximadamente 1.80 m². Se filtró el efecto de la pendiente y el de la pendiente más la rugosidad orientada debida al laboreo del suelo obteniéndose dos series de datos de alturas puntuales en los que se calcularon cuatro índices: rugosidad aleatoria, diferencia límite, pendiente límite y tortuosidad. El rango de valores de la rugosidad aleatoria una vez filtrada la pendiente osciló entre 10.08 mm y 50.99 mm y eliminando pendiente más rugosidad orientada osciló entre 7.42 mm y 38.55 mm. La rugosidad aleatoria y la pendiente límite presentaron valores del mismo orden de magnitud y los coeficientes de correlación más elevados entre pares de índices.

Palabras clave: Microrrelieve, índices de rugosidad, asperímetro, arado, gradeado, lecho de siembra.

INTRODUCCIÓN

La erosión y escorrentía de los suelos constituyen una importante fuente de contaminación difusa por lo que en los últimos años se han incrementado notablemente los estudios encaminados tanto a determinar el riesgo de las mismas como a proponer medidas de prevención.

El microrrelieve de la superficie del suelo ha sido relacionado con frecuencia con la erosión hídrica ya que se admite que el agua acumulada en las depresiones superficiales contribuye a favorecer la infiltración y a disminuir la escorrentía (DEXTER, 1977; HELMING *et al.*, 1993, 1998; KAMPHORST *et al.*, 2000).

Se admite que la erosión del suelo y la escorrentía de superficie asociadas a actividades agrícolas son problemas medioambientales de gran importancia que producen directa o indirectamente pérdidas de suelo fértil y que se ven agravados en determinadas áreas por las características de su suelo y geología, como ocurre en diversas regiones atlánticas de Europa. En las dos últimas décadas se ha asistido a un aumento muy notable del número de estudios relacionados con la erosión. En estos trabajos se evidencia que a escala de parcela, la escorrentía viene controlada principalmente por tres propiedades de la superficie del suelo: la velocidad de infiltración, la capacidad de almacenamiento superficial y la resistencia del suelo al flujo (BOIFFIN, 1984; VALCÁRCEL ARMESTO *et al.*, 1999). Las tasas de infiltración bajas están asociadas al deterioro de la estructura del suelo después del laboreo o a la compactación del suelo por la maquinaria agrícola. Por otra parte, la formación de costros superficiales determina una disminución de la rugosidad superficial que causa una merma en la capacidad de reserva hídrica del suelo. El estudio de las modificaciones que sufre el microrrelieve a lo largo del tiempo se suele describir mediante índices estadísticos y geoestadísticos clásicos a la vez que se evalúa la importancia del microrrelieve del suelo para el almacenamiento temporal de agua en microdepresiones (KAMPHORST *et al.*, 2000).

Las modificaciones del estado de la superficie del suelo posteriores a una operación de laboreo dependen de un conjunto de mecanismos que gobiernan

los procesos de disgregación, separación de partículas, transporte y sedimentación. Estas modificaciones inducidas por la precipitación se manifiestan por una reducción de la rugosidad superficial, de la porosidad y de la velocidad de infiltración. Debido a la complejidad y a la interrelación entre los procesos de disgregación, la evolución de la superficie del suelo depende de condiciones específicas, difíciles de reproducir.

Los suelos agrícolas presentan distintos grados de almacenamiento en el microrrelieve de la superficie en función de la época del año. Este almacenamiento depende de la historia reciente de la superficie del suelo, siendo modificado por la acción de la lluvia, viento, laboreo y tipo de cultivo. El almacenamiento en el microrrelieve es usado en los estudios de conservación de suelos y aguas ya que eligiendo unos tipos de laboreo que originen superficies rugosas con gran almacenamiento en superficie se incrementa la infiltración, se reduce la escorrentía y se controla la erosión hídrica. El método mas frecuentemente utilizado para evaluar el agua retenida en las microdepresiones es la caracterización indirecta a partir de parámetros como la rugosidad superficial (ONSTAD, 1984). La rugosidad superficial ha sido estudiada a diversas escalas y con distintos instrumentos de medida. Como consecuencia, en la bibliografía se encuentran numerosos índices para describir el microrrelieve tales como rugosidad aleatoria, RR (ALLMARAS *et al.*, 1966 y CURRENCE and LOVELY, 1970), diferencia límite, LD y pendiente límite, LS (LINDEN and VAN DOREN, 1986) o tortuosidad, T (BOIFFIN, 1984).

Desde el año 1997 el grupo de Conservación de Suelos de la Universidad de La Coruña, ha llevado a cabo campañas sistemáticas de medida del microrrelieve del suelo bajo diferentes condiciones de laboreo. Esta campaña ha continuado durante el año 1999-2000 de modo que en un trabajo previo ya se presentaron resultados preliminares de algunas de estas superficies (VIDAL VÁZQUEZ y TABOADA CASTRO, 1999).

Por tanto, el principal objetivo de este trabajo es presentar globalmente las condiciones en que se efectuaron las medidas y llevar a cabo una primera evaluación del conjunto de las 66 superficies medidas en esta campaña.

MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente estudio se describen un total de 66 medidas de rugosidad superficial efectuadas en varias parcelas localizadas en dos lugares diferentes: una de las parcelas está situada en la parroquia de Liñares (Culleredo, A Coruña), es de propiedad privada y se destina al cultivo de maíz. Las medidas se realizaron previamente al sembrado de este cultivo. Las demás parcelas pertenecen al Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (Abegondo, A Coruña), dependiente de la Xunta de Galicia y estaban dedicadas a cultivos forrajeros.

El periodo de estudio comprendió desde diciembre de 1998 hasta septiembre de 1999. Las experiencias se realizaron cubriendo distintos tipos de laboreo y de evolución de la superficie del suelo.

Para la realización de las medidas se utilizó un asperímetro o rugosímetro de agujas que permite obtener datos puntuales de altura a lo largo de un perfil con una separación de 2 cm (LADO LIÑARES y TABOADA CASTRO, 1998). Con este diseño de muestreo se obtienen redes bidimensionales formadas por perfiles paralelos separados por distancias regulares. En este estudio la red de muestreo utilizada fue de 134 cm x 134 cm con un paso de medida de 2 cm x 2 cm. El número total de puntos por medida fue 4624 ya que se registraron 68 perfiles con 68 puntos en cada medida. La toma de fotografías se efectuó usando una cámara Olympus C-800L digital. Para obtener los valores de altura de los diferentes puntos se usó el Profile Meter Program desarrollado por la USDA-ARS Wind Erosion Research Unit de la Kansas State University (WAGNER and YIMING YU, 1991) que mediante análisis de imagen detecta los topes de las agujas en formato digital.

Previo al cálculo de los índices de rugosidad se eliminó de los datos la componente de altura debida a la pendiente para separarla de la componente aleatoria que es la utilizada habitualmente en la caracterización del microrrelieve. Para ello se ajustó a los datos originales una superficie polinomial de orden uno (lineal) utilizando el método de mínimos cuadrados. Los residuos fueron obtenidos como la diferencia entre la superficie original y la ajustada. La expresión matemática utilizada para este ajuste fue la siguiente:

$$m(x) = a_0 + a_1 + a_2 y \quad (1)$$

También se llevó a cabo la retirada de tendencia usando el método propuesto por CURRENCE and LOVELY (1970) mediante el cual se filtra el efecto de la pendiente y del laboreo.

Una vez obtenidas las dos series de datos residuales, la primera tras filtrar el efecto de la pendiente y la segunda tras retirar el conjunto de la pendiente y el laboreo, se calcularon los siguientes índices de rugosidad:

Rugosidad aleatoria, RR (ALLMARAS *et al.*, 1966 y CURRENCE and LOVELY, 1970), fue calculada como la desviación estándar de los datos de altura:

$$RR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - z)^2}{n}} \quad (2)$$

donde: z_i = altura en cada punto.
 z = media de las alturas.
 n = número de puntos.

Diferencia límite (LD) y pendiente límite (LS) (LINDEN and VAN DOREN, 1986). Estos dos índices se basan en el cálculo del semivariograma de primer orden de los datos de altura:

$$\Delta Z_h = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i - Z_{i+h}}{n} \quad (3)$$

donde: z_i = altura en cada punto.
 z_{i+h} = altura en un punto situado a una distancia h de Z_i
 n = número de datos.

El semivariograma de primer orden es el gráfico de z en función de h .

Puede ser aproximado por un modelo lineal, definido por:

$$\frac{1}{\Delta Z_h} = a + b \frac{1}{h} \quad (4)$$

donde a y b son parámetros que se calculan mediante análisis de regresión. A partir de ellos se definen los índices diferencia límite, LD y pendiente límite, LS como

$$LD = \frac{1}{a} \quad \text{y} \quad LS = \frac{1}{b} \quad (5)$$

Índice de tortuosidad, T: se ha empleado el índice propuesto por BOIFFIN (1984), que se define como:

$$T = \frac{L_1}{L_0} \quad (6)$$

donde: L_1 longitud del perfil.

L_0 = longitud de la proyección horizontal del perfil.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestra un listado que contiene las principales características de las medidas de microrrelieve realizadas. El número total de superficies cuyas características microtopográficas se determinaron fue 66. De ellas, se efectuaron 25 determinaciones en una finca situada en la parroquia de Liñares (Culleredo, A Coruña) y las 41 restantes en parcelas del Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (Abegondo, A Coruña) bajo diferentes condiciones de laboreo de la superficie del suelo.

En Liñares, las determinaciones se efectuaron después de una labor con arado de vertedera, iniciándose a mediados de diciembre de 1998 para concluir a finales de mayo de 1999. De las 25 determinaciones efectuadas, 21 se midieron en la misma parcela (código Li-1) y sólo las tres últimas se realizaron en una parcela vecina (código Li-2). Durante este período tan

prolongado de tiempo, en plena estación invernal lluviosa, se pudo observar la degradación de la superficie del suelo, que originó primero fenómenos de erosión difusa y finalmente erosión concentrada por incisión de la escorrentía originando surcos sobre el terreno. Por tanto, las primeras medidas de esta serie corresponden a superficies permeables y porosas (foto 1), con características muy similares a las de un estado inicial y las últimas se efectuaron incluso en zonas en las que se observaba la presencia de pequeños surcos.

En Mabegondo, el tipo de laboreo del suelo fue más variable. Como se aprecia en la tabla 1, se llevaron a cabo 41 determinaciones en cinco parcelas. De ellas, 4 se efectuaron después de la siembra de trigo, 10 con posterioridad a una labor mediante arado de vertedera, 11 después de un gradeado y las 16 restantes tras la siembra de maíz en surcos. Las determinaciones en el lecho de siembra del cereal de invierno se llevaron a cabo entre finales de diciembre de 1998 y comienzos de marzo de 1999. El microrrelieve generado por el arado de vertedera se midió entre mediados de febrero y mediados de abril de 1999 y el correspondiente al gradeado entre finales de mayo y comienzos de septiembre de ese mismo año. Por último, las medidas en la superficie sembrada de maíz (foto 2) se efectuaron en dos parcelas entre finales de mayo y mediados de septiembre de 1999.

Dado que las medidas puntuales de altura se efectuaron en rejilla cuadrada de 2 cm x 2 cm y siendo, por una parte, 68 el número de datos por perfil, y, por otra, también 68 el número de perfiles, resulta un área muestreada en cada determinación de 134 cm x 134 cm, que fue igual en todos los casos estudiados. Por tanto el área muestreada en cada determinación equivale a 1.7956 m², es decir aproximadamente 1.80 m². Para facilitar el análisis de los datos todas las medidas se realizaron tomando los perfiles en sentido paralelo a la dirección del laboreo.

Se calcularon índices estadísticos (RR) y geoestadísticos (LD y LS) de rugosidad así como el índice de tortuosidad (T) propuesto por BOIFFIN (1984) para dos condiciones del microrrelieve obtenidas al transformar las medidas puntuales de altura tomadas en el campo:

- 1) Tras filtrar una tendencia lineal, que da cuenta de la pendiente media en el área en que se lleva a cabo cada determinación.

Código	Puntos perfil	Perfiles	Puntos	Lugar	Fecha	Parcela	Laboreo	Estado inicial	Orientación
dtmsp001	68	68	4624	Liñares	17/12/98	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp002	68	68	4624	Liñares	17/12/98	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp003	68	68	4624	Liñares	21/12/98	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp004	68	68	4624	Liñares	21/12/98	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp005	68	68	4624	Liñares	22/12/98	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp006	68	68	4624	Liñares	08/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp007	68	68	4624	Liñares	11/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp008	68	68	4624	Liñares	11/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp009	68	68	4624	Liñares	12/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp010	68	68	4624	Liñares	12/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp011	68	68	4624	Liñares	20/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp012	68	68	4624	Liñares	20/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp013	68	68	4624	Liñares	21/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp014	68	68	4624	Liñares	21/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp015	68	68	4624	Liñares	25/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp016	68	68	4624	Liñares	28/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp017	68	68	4624	Liñares	02/03/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp018	68	68	4624	Liñares	02/03/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp019	68	68	4624	Liñares	23/03/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp020	68	68	4624	Liñares	23/03/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp021	68	68	4624	Liñares	07/04/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp022	68	68	4624	Liñares	09/04/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp023	68	68	4624	Liñares	24/05/99	Li-2	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp024	68	68	4624	Liñares	24/05/99	Li-2	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp025	68	68	4624	Liñares	24/05/99	Li-2	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp026	68	68	4624	Mabegondo	22/12/98	Ma-33	Lecho s. trigo	Laboreo primario	Paralela
dtmsp027	68	68	4624	Mabegondo	13/01/99	Ma-33	Lecho s. trigo	Laboreo primario	Paralela
dtmsp028	68	68	4624	Mabegondo	28/01/99	Ma-33	Lecho s. trigo	Laboreo primario	Paralela
dtmsp029	68	68	4624	Mabegondo	01/03/99	Ma-33	Lecho s. trigo	Laboreo primario	Paralela
dtmsp030	68	68	4624	Mabegondo	12/02/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp031	68	68	4624	Mabegondo	12/02/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp032	68	68	4624	Mabegondo	19/02/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp033	68	68	4624	Mabegondo	19/02/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp034	68	68	4624	Mabegondo	01/03/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp035	68	68	4624	Mabegondo	01/03/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp036	68	68	4624	Mabegondo	07/04/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp037	68	68	4624	Mabegondo	08/04/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp038	68	68	4624	Mabegondo	08/04/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp039	68	68	4624	Mabegondo	08/04/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela

Tabla 1. Características de las medidas de microrrelieve ordenadas por lugares y fechas.

Código	Puntos perfil	Perfiles	Puntos	Lugar	Fecha	Parcela	Laboreo	Estado inicial	Orientación
dtmsp001	68	68	4624	Liñares	17/12/98	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp002	68	68	4624	Liñares	17/12/98	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp003	68	68	4624	Liñares	21/12/98	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp004	68	68	4624	Liñares	21/12/98	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp005	68	68	4624	Liñares	22/12/98	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp006	68	68	4624	Liñares	08/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp007	68	68	4624	Liñares	11/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp008	68	68	4624	Liñares	11/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp009	68	68	4624	Liñares	12/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp010	68	68	4624	Liñares	12/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp011	68	68	4624	Liñares	20/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp012	68	68	4624	Liñares	20/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp013	68	68	4624	Liñares	21/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp014	68	68	4624	Liñares	21/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp015	68	68	4624	Liñares	25/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp016	68	68	4624	Liñares	28/01/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp017	68	68	4624	Liñares	02/03/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp018	68	68	4624	Liñares	02/03/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp019	68	68	4624	Liñares	23/03/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp020	68	68	4624	Liñares	23/03/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp021	68	68	4624	Liñares	07/04/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp022	68	68	4624	Liñares	09/04/99	Li-1	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp023	68	68	4624	Liñares	24/05/99	Li-2	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp024	68	68	4624	Liñares	24/05/99	Li-2	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp025	68	68	4624	Liñares	24/05/99	Li-2	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp026	68	68	4624	Mabegondo	22/12/98	Ma-33	Lecho s. trigo	Laboreo primario	Paralela
dtmsp027	68	68	4624	Mabegondo	13/01/99	Ma-33	Lecho s. trigo	Laboreo primario	Paralela
dtmsp028	68	68	4624	Mabegondo	28/01/99	Ma-33	Lecho s. trigo	Laboreo primario	Paralela
dtmsp029	68	68	4624	Mabegondo	01/03/99	Ma-33	Lecho s. trigo	Laboreo primario	Paralela
dtmsp030	68	68	4624	Mabegondo	12/02/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp031	68	68	4624	Mabegondo	12/02/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp032	68	68	4624	Mabegondo	19/02/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp033	68	68	4624	Mabegondo	19/02/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp034	68	68	4624	Mabegondo	01/03/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp035	68	68	4624	Mabegondo	01/03/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp036	68	68	4624	Mabegondo	07/04/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp037	68	68	4624	Mabegondo	08/04/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp038	68	68	4624	Mabegondo	08/04/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela
dtmsp039	68	68	4624	Mabegondo	08/04/99	Ma-7	Arado	Laboreo primario	Paralela

Tabla 1 (continuación). Características de las medidas de microrrelieve ordenadas por lugares y fechas.

2) Tras filtrar simultáneamente la pendiente media y el efecto de la rugosidad orientada debida a motivos lineales de origen agrario, según el método de CURRENCE and LOVELY (1970).

Los resultados obtenidos mediante los dos métodos se presentan en la tabla 2. Cuando se efectúa una retirada de tendencia lineal se comprueba que los valores medios y extremos de RR y LD son del mismo orden de magnitud; no obstante, el valor medio de LD (31.65 mm) es superior al de RR (26.96 mm), al igual que ocurre con el rango de variación, que se cifra en 52.53 para LD y 40.90 para RR.



Foto 1. Aspecto de una superficie arada. Liñares, 21-12-98.



Foto 2. Aspecto de los surcos durante la siembra de maíz. Mabegondo, 27-5-99.

El amplio rango de variación de estos dos índices da cuenta de las condiciones tan diversas de microrrelieve medidas en este trabajo, que abarcan desde superficies con rugosidad tan débil como los lechos de siembra formados por agregados a otras con grandes microdepresiones limitadas por terrones, como las que resultan del arado de vertedera.

	MEDIA	STD	CV (%)	RANGO	MÍNIMO	MÁXIMO
Tras retirar la tendencia lineal						
RR (mm)	26.96	9.83	36.47	40.90	10.08	50.99
LD (mm)	31.65	12.39	39.15	52.53	11.12	63.65
LS	0.72	0.17	23.74	0.68	0.47	1.14
T	1.16	0.06	5.57	0.21	1.07	1.28
Tras retirar la rugosidad orientada según Currence and Lovely (1970)						
RR (mm)	17.93	7.91	44.11	31.13	7.42	38.55
LD (mm)	22.44	11.62	51.78	46.87	8.64	55.51
LS	0.73	0.23	31.50	1.32	0.45	1.77
T	1.13	0.06	5.31	0.20	1.05	1.26

Tabla 2. Valores de diversos índices calculados después de retirar la tendencia lineal y la totalidad de la rugosidad orientada.

La rugosidad aleatoria, RR, que se calcula como la desviación estándar de los datos residuales de altura, obtenidos tras el filtrado de las medidas experimentales, es un índice que mide únicamente la componente vertical del microrrelieve. El índice LD (al igual que LS) fue desarrollado por LINDEN and Van DOREN (1986) para dar cuenta de la distribución espacial de la rugosidad. El índice diferencia límite, LD, desde el punto de vista matemático es una asíntota, que equivale al valor de la meseta del semivariograma de primer orden calculado a partir de los datos puntuales de altura, asumiendo un modelo hiperbólico de dependencia espacial. A su vez, RR corresponde a la raíz cuadrada de la meseta del semivariograma de segundo orden (KAMPHORST *et al.*, 2000). En consecuencia, los coeficientes de correlación entre los índices RR y LD de muchas de las series de datos analizadas son muy elevados (BERTUZZI *et al.*, 1990; VIDAL VÁZQUEZ, 1998; LADO LIÑARES, 1999a; VIVAS MIRANDA, 2000) y ello independientemente del método utilizado para filtrar la tendencia previamente al cálculo de los mismos.

Por otra parte en la tabla 2 se aprecia que, tras retirar la tendencia lineal, los valores de los índices LS y T son de un orden de magnitud inferior a los de los índices RR y LD (tabla 2). Este resultado está de acuerdo con los obtenidos por diversos autores (BERTUZZI *et al.*, 1990; VIDAL VÁZQUEZ, 1998; LADO LIÑARES, 1999a) quienes presentan valores para LS y T del mismo orden de magnitud que los calculados en este trabajo. Sin embargo, la interpretación física de estos índices y la posible relación entre ellos resulta difícil de interpretar. Con respecto a la tortuosidad, T, algunos autores (SKIDMORE, 1997; KAMPHORST *et al.*, 2000 y VIVAS MIRANDA, 2000) presentan ejemplos en los que se pone de manifiesto que su valor depende de la escala de medida. En consecuencia series de datos medidas con diferentes escalas no pueden ser comparadas entre sí, contrariamente a lo que ocurre con la rugosidad aleatoria, RR. Por su parte, el índice pendiente límite, LS, ha sido interpretado como la pendiente de los agregados que conforman la superficie (LINDEN and Van DOREN, 1986) o simplemente como la pendiente del semivariograma de primer orden en el origen (KAMPHORST *et al.*, 2000). Algunos autores (BERTUZZI *et al.*, 2000 y LADO LIÑARES, 1999a), encontraron buenas correlaciones entre LS y T, concluyendo que ambos índices proporcionan información acerca de las características del microrrelieve para pequeñas distancias.

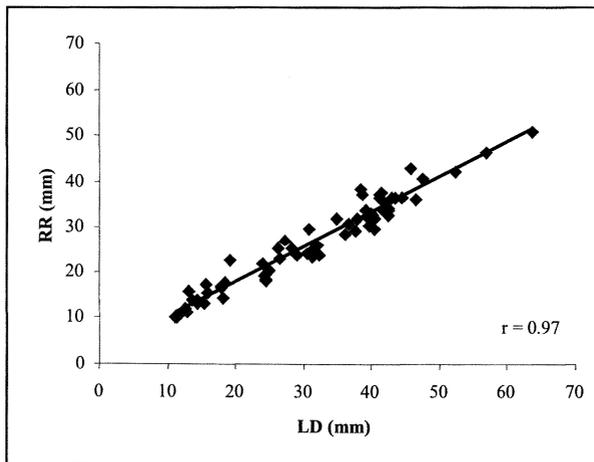


Figura 1. Relación entre los índices de rugosidad aleatoria, (RR), y distancia límite, (LD), calculados una vez filtrada la pendiente.

ALLMARAS *et al.* (1966) propusieron un método de cálculo de la rugosidad aleatoria, RR, que no siempre fue tenido en cuenta posteriormente, lo que dificulta la comparación de los resultados obtenidos por diferentes autores (VIDAL VÁZQUEZ, 1998; LADO LIÑARES, 1999a; KAMPHORST *et al.*, 2000). En todo caso, el término rugosidad aleatoria, se refiere a las características del microrrelieve una vez que ha sido filtrado no solamente el efecto de la pendiente, sino también el de la rugosidad orientada, debido fundamentalmente a las labores agrícolas. Para filtrar el efecto de la rugosidad orientada a su vez han sido utilizados diferentes métodos, entre ellos los propuestos por ALLMARAS *et al.* (1966), CURRENCE and LOVELY (1970) y RÖMKENS and WANG (1986). También se analizó la posibilidad de filtrar el efecto de la pendiente y la rugosidad orientada, simultáneamente (LADO LIÑARES, 1999b), mediante el uso de funciones distintas de la lineal, como la parabólica y la cúbica; no obstante los resultados obtenidos no permitieron discernir si al utilizar este método se introducían artificios en el cálculo de determinados índices, particularmente LD y LS.

Los resultados obtenidos para los cuatro índices tras filtrar el efecto simultáneo de la pendiente y la rugosidad orientada, según los criterios de CURRENCE and LOVELY (1970) también se consignan en la tabla 2. Se comprueba que los valores de RR y LD continúan siendo similares entre ellos, si bien los valores medios y extremos de estos dos índices son menores al utilizar el método de CURRENCE and LOVELY que si se filtra solamente la pendiente. El índice con un valor medio más elevado es LD, si bien dicho valor disminuye de 31.65 mm al retirar la tendencia lineal a 22.44 mm, al utilizar el método de CURRENCE and LOVELY (1970). El rango de variación de los valores de RR también disminuye desde 40.20 hasta 31.33, si bien sigue siendo amplio; por su parte el rango de LD pasa de 52.53 a 46.87.

En la tabla 2 también se puede comprobar que el filtrado adicional de las características de laboreo no tiene un efecto muy acusado sobre los valores del índice de tortuosidad, T, lo que está de acuerdo con resultados previos (LADO LIÑARES, 1999a,b; VIVAS MIRANDA, 2000); este resultado confirma que para el cálculo de la tortuosidad es más importante el intervalo de medida que el método de retirada de la tendencia. Finalmente con respecto a LS, aunque sus valores medios no se ven muy modificados por el método de retirada de tendencia, se aprecian importantes diferencias entre los valores individuales,

pudiendo ser más altos o más bajos cuando se tiene en cuenta el efecto de la rugosidad orientada, en relación con el caso en que solo se considera la pendiente.

Los coeficientes de correlación entre los distintos índices calculados para los dos tipos de retirada de tendencia se muestran en la tabla 3. Como ya se puso en evidencia en la figura 1, la rugosidad aleatoria, RR y la diferencia límite, LD, presentan una elevada correlación ($r = 0.97$) cuando se filtra únicamente el efecto de la pendiente media, mediante una tendencia lineal. Más aún, al considerar el efecto simultáneo de pendiente y tipo de laboreo, según el método de CURRENCE and LOVELY, el coeficiente de correlación entre RR y LD todavía aumenta ($r = 0.99$). Este resultado está de acuerdo con los presentados en trabajos de otros autores (BERTUZZI *et al.*, 1990, LADO LIÑARES 1991a,b).

Los coeficientes de correlación entre RR y T y entre LD y T también son muy elevados, 0.74 y 0.76, respectivamente, tras retirar el efecto de la pendiente. Dichos coeficientes son todavía más próximos a 1 cuando se utiliza el método de CURRENCE and LOVELY (1970) para tratar los datos originales de microrrelieve de modo que en este caso entre RR y T se obtiene una correlación de 0.90 y entre LD y T de 0.89. Sin embargo, como se discutió anteriormente, entre la tortuosidad, T, y los índices RR y LD no existe una relación unívoca, sino que para cada tipo de red de muestreo se obtiene una recta de regresión independiente (KAMPHORST *et al.*, 2000). De hecho se ha demostrado que superficies finas y muy rugosas, medidas con diferente espaciado pueden proporcionar el mismo valor de T (SKIDMORE, 1997). Todo ello limita la utilidad del cálculo del índice de tortuosidad.

En la tabla 3 se comprueba también la baja correlación entre el índice LS que caracteriza la rugosidad a pequeñas distancias y los índices RR y LD que, en el caso ideal representan el valor de una meseta más o menos estable a grandes distancias, es decir a distancias mayores que el alcance o máximo rango de dependencia espacial.

Por último de los datos consignados en la tabla 3, merece una discusión aparte la relación entre los índices T y LS, dado que de acuerdo con otros autores (BERTUZZI *et al.*, 1990; LADO LIÑARES, 1999a) las buenas correlaciones obtenidas entre ambos permiten considerar la hipótesis de que

ambos describen la rugosidad a pequeñas distancias. De acuerdo con los resultados de este trabajo, en la serie de datos en la que se retiró solamente el efecto de la pendiente, el coeficiente de correlación era más bien elevado ($r = 0.69$). Sin embargo, se observa una disminución notable del coeficiente de correlación entre estas dos variables, si se filtra al mismo tiempo el efecto de la pendiente y el efecto del laboreo ($r = 0.28$). En consecuencia, nuestros resultados no apoyan la hipótesis de que LS y T tengan una base física similar. Las diferencias entre los resultados de este trabajo y el de BERTUZZI *et al.* (1990) pueden ser debidas a que en el primero se consideran tipos de laboreo muy diferentes, con un amplio rango de rugosidades, mientras que en el segundo las condiciones de las superficies estudiadas eran más uniformes.

	RR	LD	LS	T
Tras retirar la tendencia lineal				
RR	1			
LD	0.97	1		
LS	0.17	0.14	1	
T	0.74	0.76	0.69	1
Tras retirar la rugosidad orientada según Currence and Lovely (1970)				
RR	1			
LD	0.99	1		
LS	-0.05	-0.09	1	
T	0.90	0.89	0.28	1

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre los índices de rugosidad calculados mediante dos métodos de retirada de tendencia.

La anterior discusión pone en evidencia que los índices RR y LD son los que describen más adecuadamente las características del microrrelieve del suelo, a pesar de las limitaciones que ambos presentan. Dado que RR sólo describe la componente vertical, en principio la diferencia límite de alturas (LD) podría parecer más adecuado, ya que presenta la ventaja de que describe ciertas características espaciales de la rugosidad. Por otra parte, el rango de variación de LD es mayor que el de RR, por lo que cabría suponer que la sensibilidad del primero para describir las características de superficies con un amplio rango de valores de rugosidad, es mayor que la del segundo. Sin embargo, KAMPHORST *et al.* (2000) han puesto en evidencia que la mayor variabilidad de LD en comparación con RR podría ser debida al hecho de que

los semivariogramas experimentales de cada superficie individual no siempre corresponden con el modelo teórico de tipo hiperbólico en el que se basa el cálculo del primero de estos índices. En base a consideraciones teóricas el semivariograma de primer orden tendría que llegar a alcanzar una meseta estable; sin embargo en la práctica, particularmente cuando sólo se retira la pendiente, los componentes no aleatorios del microrrelieve del suelo puede modificar sensiblemente la forma del semivariograma teórico.

En el caso de las dos series de datos presentados en este trabajo (que resultan de filtrar solo la pendiente o también la rugosidad orientada), el alcance del semivariograma de primer orden es muy variable, dado que se consideran superficies relativamente lisas, como el lecho de siembra junto a otras con una rugosidad muy acusada. Sin embargo, en este trabajo, los cálculos del índice LS se efectuaron asumiendo un rango constante de dependencia espacial de 20 cm, según los criterios de LINDEN and Van DOREN (1986); por lo tanto el amplio rango de variación de LS, no implica que los resultados proporcionados por este índice sean superiores a los obtenidos mediante un índice de cálculo más sencillo, aunque sin un fundamento físico adecuado como es la rugosidad aleatoria, RR.

La caracterización del microrrelieve del suelo a partir de medidas puntuales de altura es un proceso largo y costoso. Por ello resulta de interés analizar si se puede predecir un valor medio para cada tipo de laboreo considerado. Para analizar esta posibilidad se calcularon los parámetros estadísticos elementales (media, desviación estándar, máximo y mínimo) considerando los cuatro tipos de laboreo estudiados: laboreo primario (con arado de vertedera), gradeado, lecho de siembra de maíz y lecho de siembra de trigo. Los datos medios y la desviación estándar se representan en las figuras 2 y 3, para la serie de datos en que sólo se filtró la tendencia y para aquella otra en que se filtró el efecto de la tendencia y rugosidad orientada.

En la figura 2, se observa que tras filtrar la tendencia lineal, los valores medios de RR siguen el orden arado de vertedera > lecho de siembra de maíz > lecho de siembra de trigo > gradeado. Para el arado de vertedera y lecho de siembra de maíz, se obtienen de media 32.63 mm y 26.19 mm, respectivamente: la proximidad de estos valores se debe a que el maíz se sembró en

surcos, es decir, la superficie del suelo de las parcelas con esta dedicación presentaba una importante componente orientada que no se filtra al considerar los datos representados en la figura 2. Los datos medios de gradeado (14.13 mm) y lecho de siembra de trigo (15.71 mm) son poco diferentes entre sí. Sin embargo lo que cabe reseñar en la figura 2 es que los datos de los distintos tipos de laboreo se solapan entre sí. Particularmente notorio es el solapamiento entre los valores de rugosidad aleatoria, RR, en las parcelas con laboreo primario (rango de variación entre 18.24 mm y 50.99 mm) y lecho de siembra de maíz, (de 13.36 a 38.23), a pesar de que la primera estaba constituida por terrones decimétricos y la segunda por agregados y otras unidades estructurales milimétricos y centimétricos. Del mismo modo, se aprecia como se solapan los rangos de valores de RR de las parcelas gradeadas con las sembradas de maíz por un lado y con las sembradas de trigo por otro.

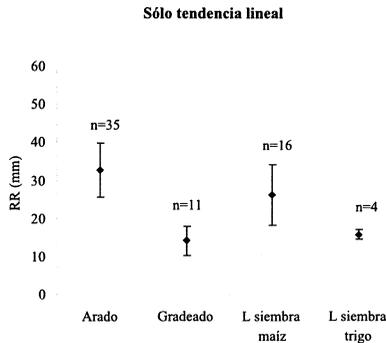


Figura 2. Valores medios y desviación estándar de RR para cada tipo de laboreo, tras retirar la tendencia lineal.

Los resultados presentados en la figura 3, una vez filtrada la componente orientada de la rugosidad, permiten apreciar un contraste importante con los de la figura 2. En este caso, la superficie sembrada de maíz ya no presenta tantas similitudes con las de laboreo primario. Por el contrario se aprecia un notable solapamiento entre tres de los tratamientos, los de los dos tipos de superficie de siembra y los de gradeado.

El rango de variación para el valor de RR en las parcelas aradas con vertedera, después de eliminada la componente orientada osciló entre 9.27 mm

y 38.55 mm. Para el lecho de siembra de maíz osciló entre 9.31 mm y 18.04 mm. Esto pone en evidencia que, si bien algunos de los valores de los dos tipos de superficie todavía se solapan, el filtrado de la componente orientada permite discriminar mejor entre tratamientos tan diferentes entre sí como un lecho de siembra y un laboreo primario.

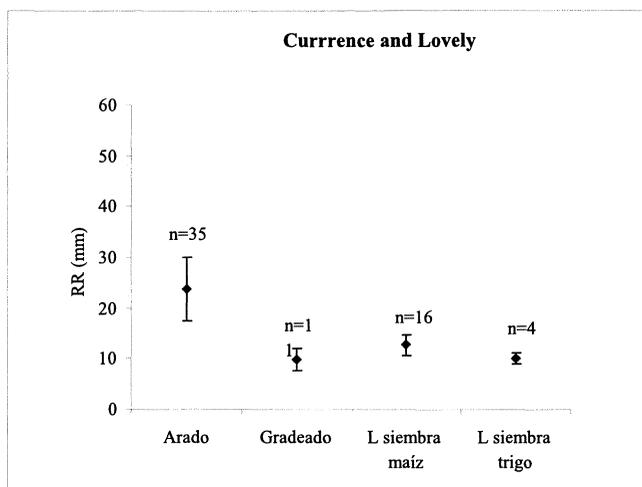


Figura 3. Valores medios y desviación estándar de RR para cada tipo de laboreo, tras retirar la tendencia según Currence and Lovely (1970).

Si se emplea el método de CURRENCE and LOVELY (1970) los valores medios de RR son 23.76 mm para el laboreo primario, 12.73 mm para el lecho de siembra de maíz, 10.18 mm para el lecho de siembra de trigo y 9.77 mm para el gradeado. En síntesis, estos datos son más acordes con las dimensiones de las unidades estructurales observadas en cada uno de los tipos de superficie que los obtenidos cuando se filtra solamente la tendencia lineal. Por tanto, se pone de manifiesto que el conjunto de superficies estudiadas se pueden segregar en dos poblaciones, atendiendo a los valores de rugosidad aleatoria, RR. Por un lado se diferencian 35 superficies determinadas en parcelas de laboreo primario, cuyo índice de rugosidad, RR oscila entre 9.27 mm y 38.55 mm y, por otro, 31 superficies medidas en parcelas gradeadas o sembradas de maíz y trigo, con un rango de valores de RR comprendido entre 7.42 mm y 18.04 mm.

Por otra parte, se pone en evidencia que no es posible distinguir entre los dos tipos de lecho de siembra diferentes o entre éstos y el gradeado, debido al notable grado de solapamiento entre los valores de rugosidad aleatoria, RR, de estas superficies.

Considerando las 66 superficies, se observa que independientemente del método de filtrado de tendencia y el tipo de laboreo, la tortuosidad, T es el índice que presenta un coeficiente de variación más bajo (en torno al 5%). Por el contrario, LD es el índice que presenta mayor variabilidad (39.15 % retirando la tendencia lineal y 51.78 % siguiendo el método de CURRENCE and LOVELY (1970) para todas las superficies estudiadas, seguido de RR y LS. Los coeficientes de variación de los cuatro índices calculados en este trabajo, teniendo en cuenta los cuatro tipos diferentes de laboreo, se presentan en la tabla 4.

De acuerdo con los datos de la tabla 4 no siempre se observa una mayor variabilidad al efectuar la retirada simultánea de pendiente y rugosidad orientada, según CURRENCE and LOVELY (1970) que cuando se filtra sólo la pendiente media mediante una función lineal. Así, se aprecia que el coeficiente de variación para las medidas efectuadas en las superficies aradas con vertedera es mayor al usar el método de CURRENCE and LOVELY (1970) para retirar la tendencia. Por el contrario, para los tratamientos gradeados y para los lechos de siembra de trigo y de maíz existe una mayor variabilidad al retirar sólo la tendencia lineal.

	Arado (n=35)	Gradeado (n=11)	Lecho s. maíz (n=16)	Lecho s. trigo (n=4)
RR lineal	0.22	0.28	0.30	0.08
RR Currence	0.27	0.23	0.16	0.11
LD lineal	0.22	0.21	0.26	0.10
LD Currence	0.28	0.20	0.17	0.09
LS Lineal	0.18	0.23	0.09	0.10
LS Currence	0.19	0.45	0.22	0.20
T lineal	0.05	0.04	0.02	0.02
T Currence	0.04	0.03	0.02	0.01

Tabla 4. Coeficientes de variación de los índices de rugosidad según tipos de laboreo.

Resultados similares han sido presentados por LADO LIÑARES (1999a). Comparando los coeficientes de variación de RR y LD, cuando se retira el efecto de la pendiente y la rugosidad orientada se observa que éstos no son muy diferentes, de modo que para las superficies gradeadas y las sembradas de maíz se obtuvo que RR presentaba una variabilidad un poco más elevada que LD. No obstante, dicha variabilidad puede estar relacionada con las condiciones elegidas para efectuar los cálculos, dado que, como se discutió anteriormente, LD se ha calculado para una distancia de referencia constante e igual a 20 cm. Por ello, una vez más se pone de manifiesto que a pesar de su sencillez y de que no tiene en cuenta la distribución espacial de las unidades que conforman el microrrelieve, el índice estadístico RR es similar o superior a otros índices más complejos como el índice LD, con base geoestadística y por lo tanto más adecuados, a priori, para describir las características espaciales de la superficie del suelo.

Queda por establecer, la precisión con que estos índices pueden predecir la capacidad de almacenamiento temporal de agua por las depresiones del microrrelieve. Los resultados de este análisis deben de aportar criterios adicionales para decidir acerca de la superioridad o de las desventajas de la rugosidad aleatoria, RR, calculada según el método convencional de CURRENCE and LOVELY (1970). Por otra parte, se pone en evidencia la necesidad de desarrollar líneas de investigación que permitan poner a punto índices que describan las características espaciales del microrrelieve, como puedan ser los basados en la geometría fractal (VIVAS MIRANDA, 2000).

CONCLUSIONES

De la evaluación de cuatro índices para caracterizar el microrrelieve de la superficie del suelo, rugosidad aleatoria, RR, diferencia límite, LD, pendiente límite, LS y tortuosidad, T, en una serie de 66 determinaciones bajo diferentes tipos de laboreo se obtienen las siguientes conclusiones:

El filtrado del efecto de la rugosidad orientada, además de la pendiente media del terreno, permite establecer condiciones similares para superficies con microrrelieves muy diferentes, lo que hace posible la comparación de la componente aleatoria de diferentes tipos de laboreo. Si se tienen en cuenta, por

un lado, los resultados tras retirar la pendiente media y, por otro, tras retirar pendiente media y rugosidad orientada, se comprueba que los valores de tres de los índices, RR, LD y LS presentan una gran dependencia del método de filtrado de las componentes orientadas; por el contrario el índice de tortuosidad, T, resulta menos sensible al tratamiento de los datos originales para filtrar la tendencia de los mismos.

Los valores medios y el rango de variación de los índices RR y LD son del mismo orden de magnitud, si bien ambos siempre son numéricamente superiores para el segundo en relación con el primero. Los índices RR y LD presentan coeficientes de correlación muy elevados, cuyo valor se ve incrementado cuando se efectúa la retirada de tendencia según el método de CURRENCE and LOVELY (1970). Los índices RR y LD también presentan importantes correlaciones con el índice de tortuosidad, T; no obstante la validez de esta relación se ve limitada para el tamaño de celdilla con el que se ha llevado a cabo la determinación.

Empleando el método de CURRENCE and LOVELY (1970) se pone de manifiesto que el conjunto de superficies estudiadas se pueden segregar en dos poblaciones, atendiendo a los valores de rugosidad aleatoria, RR. Por un lado se diferencian 35 superficies determinadas en parcelas de laboreo primario, cuyo índice de rugosidad, RR oscila entre 9.27 mm y 38.55 mm y, por otro, 31 superficies medidas en parcelas gradeadas o sembradas de maíz y trigo, con un rango de valores de RR comprendido entre 7.42 mm y 18.04 mm.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto FAIR1/CT95/0458 financiado por la Unión Europea y del Proyecto PGIDT 99MA10303 financiado por la Xunta de Galicia.

BIBLIOGRAFÍA

ALLMARAS, R. R., BRUWELL, R. E., LARSON, W. E. and HOLT, R. F. 1966. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. *USDA Conserv. Res. Rep.*, 7. 22 pp.

BERTUZZI, P., RAUWS, G. and COURAULT, D. 1990. Testing roughness indices to estimate soil surface roughness changes due to simulated rainfall. *Soil and Tillage Research*, 17: 89-99.

BOIFFIN, J. 1984. *La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies*. Thèse docteur-ingénieur, Paris INA-PG. 320 pp + annexes.

CURRENCE, H. D. and LOVELY, W. G. 1970. The analysis of soil surface roughness. *Transactions of the A.S.A.E.*, 13: 710-714.

DEXTER, A. R. 1977. Effect of rainfall on the surface micro-relief of tilled soil. *J. of Terramechanics*, (1): 11-22.

HELMING, K. ROTH, CH. H. WOLF, R. and DIESTEL, H. 1993. Characterization of rainfall-microrelief interactions with runoff using parameters derived from digital elevation models (DEMs). *Soil Technology*, 6: 273-286.

HELMING, K. RÖMKENS, M. J. M. and PRASAD, S. N. 1998. Surface roughness related processes of runoff and soil loss: a flume study. *Soil Sci. Soc. of Am.*, 62: 243-250.

KAMPHORST, E. C. JETTEN, V. GUÉRIF, J. PITKÄNEN, J. IVERSEN, B. V. DOUGLAS, J. T. and PAZ, A. 2000. Predicting Depressional Storage from Soil Surface Roughness. *Soil Sci. Soc. of Am.*, 64 (5): 1749-1758.

LADO LIÑARES, M. 1999a. *Cuantificación de la rugosidad orientada y aleatoria mediante índices y su relación con la degradación del microrrelieve del suelo y el almacenamiento temporal de agua*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de La Coruña. 265 pp.

LADO LIÑARES, M. 1999b. Influencia del procedimiento empleado para separar el efecto de la topografía sobre el cálculo de los índices de rugosidad a partir de perfiles de microrrelieve. En: *Avances sobre el estudio de la erosión hídrica*. Editado por Paz González, A. y Taboada Castro, M^a. T. Colección Cursos, Congresos e Simposios, 52. pp: 151-165.

LADO LIÑARES, M. y TABOADA CASTRO, M. M. 1998. Medida de la rugosidad del suelo en terrenos de cultivo. En: *V Reunión Nacional de Geomorfología. A. Gómez Ortiz y F. Salvador Franch (Ed.)*. Granada, pp.: 731-734.

LINDEN, D. R. and Van DOREN Jr., D. M. 1986. Parameters for characterizing tillage-induced soil surface roughness. *Soil Sci. Soc. of Am.*, 50: 1550-1565.

ONSTAD, C. A. 1984. Depressional storage on tilled soil surfaces. *Transactions of the A.S.A.E.*, 27: 729 - 732.

RÖMKENS, M. J. M. and WANG, J. Y. 1986. Effect of tillage on surface roughness. *Transactions of the A.S.A.E.*, 29: 429-433.

SKIDMORE, E. L. 1997. Comment on chain method for measuring soil roughness. *Soil Sci. Soc. of Am.*, 61: 1532-1533.

VALCÁRCEL ARMESTO, M., PAZ GONZÁLEZ, A., DAFONTE DAFONTE, J. y TABOADA CASTRO, M. T. 1999. Importancia de las prácticas agrícolas en el control de los procesos erosivos y evaluación mediante modelos de la incidencia de las mismas. En: *Avances sobre el estudio de la erosión hídrica*, editado por Paz González, A. y Taboada Castro, M. T. Colección Cursos, Congresos e Simposios, 52. pp: 7- 41.

VIDAL VÁZQUEZ, E. 1998. *Análisis del microrrelieve y la retención temporal de agua en suelos de pradera*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de La Coruña. 94 pp.

VIDAL VÁZQUEZ, E. y TABOADA CASTRO, M. M. 1999. Índices de rugosidad y estimación del almacenamiento temporal de agua en un terreno de cultivo. *Cadernos Lab. Xeol. de Laxe*, 24: 89-98.

VIVAS MIRANDA, J. G., 2000. *Análisis fractal del microrrelieve del suelo*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de La Coruña. 313 pp.

WAGNER, L. E. and YIMING YU. 1991. Digitization of profile meter photographs. *Transactions of the A.S.A.E.*, 34 (2): 412-416.