

# CORRELACION ENTRE HUMEDAD DEL SUELO Y RETRODISPERSION EN IMAGENES SAR

H. A. SALGADO<sup>1</sup>

Recibido: 01/07/98

Aceptado: 22/12/98

## RESUMEN

La estimación de la humedad del suelo en la zona de desarrollo radicular de los cultivos es de fundamental importancia para el pronóstico de rendimientos. Para ello se requiere un monitoreo periódico y extendido a lo largo de amplias superficies, que sólo se puede lograr mediante la teledetección.

La tecnología de sensores de microondas activos, como el Radar de Abertura Sintética (SAR), se muestra como una herramienta eficaz para el monitoreo del grado de humedad superficial, en el rango de 0 a 10 cm. de profundidad, de los suelos.

En efecto, tales sensores, operando en la banda C (5,3 GHz), posibilitan la obtención de información de los suelos, bajo cualquier condición meteorológica y/o luminica, a partir de la energía retrodispersada captada por los mismos.

Entre los parámetros del suelo, que influyen en la retrodispersión están principalmente la rugosidad, su pendiente y sus características eléctricas. Precisamente, la constante dieléctrica del suelo, que depende de su contenido de agua, presenta una correlación positiva con la energía retrodispersada.

En este trabajo se brindan los primeros resultados de análisis de regresión realizados para lotes ubicados en la Llanura Pampeana (al Sur de la Provincia de Buenos Aires, Argentina) con imágenes SAR ERS-1.

Se presentan las correlaciones obtenidas para distintos tipos de suelos y cobertura vegetal, habiéndose encontrado un coeficiente de correlación ( $r=0,8$ ) aceptable para una función lineal de ajuste. Se analizan tales primeras experiencias, sus limitaciones, y las expectativas futuras del estudio.

**Palabras clave:** Humedad del suelo; Agrohidrología; Radar de Abertura Sintética (SAR)

## SOIL MOISTURE AND BACKSCATTERING CORRELATION IN SAR IMAGES

### SUMMARY

Estimation of soil surface moisture is required in several agricultural and hydrological applications, for instance in crop yield forecasting.

Satellite remote sensing technique allows the periodic and extended monitoring of fields. Active microwave sensors, as the Synthetic Aperture Radar (SAR), provide a remote sensing tool to estimate soil moisture level, in a range of 0 to 10 cm. of deep.

The SAR sensors, operating in C band (5,3 GHz), work in all weather conditions, and during day or night, capturing the backscattering energy from the scene.

The soil backscattering depends on the geometric, physical and chemical conditions. The dielectric constant is related to soil moisture, and then is correlated with the backscattering energy.

In this paper first results of regression analysis in fields of Buenos Aires Province (Argentina) are showed. Different land cover and soil types are classified, and the correlation coefficient between Digital Number (DN) and Volumetric Soil Moisture is calculated.

The first experiences, limitations and future expectatives are discussed.

**Key words:** Soil Moisture ; Agrohydrology ; Synthetic Aperture Radar (SAR)

---

<sup>1</sup> Cátedra de Hidrología Agrícola, Facultad de Agronomía UBA Avda. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina

### INTRODUCCION

Dada la importancia del conocimiento del contenido de humedad del suelo en la zona no saturada, muchas investigaciones han sido llevadas a cabo para estimar este parámetro. El empleo de sensores de microondas pasivos y activos ha mostrado una interesante posibilidad, debido a la alta constante dieléctrica del agua para esas frecuencias (Ulaby *et al.* 1974, Brisco *et al.* 1997).

El potencial del radar para estimar humedad del suelo en su horizonte superficial (de 0 a 5 cm) fue demostrado hace ya más de una década (Ulaby, 1974). Desde esa época se han dedicado esfuerzos a investigar suelos desnudos y bajo cobertura vegetal (Ulaby y Batlivala, 1976; Bernard *et al.*, 1982).

Se analizaron diferentes ángulos de incidencia (desde 0° a 40°), con dispersómetros operando en banda C, obteniendo alta correlación con humedad del suelo para valores cercanos a los 30° (Martin *et al.*, 1989).

Experiencias con sensores satelitarios, como en el SEASAT (Ulaby *et al.*, 1983) y el Taxi Espacial (Wang *et al.*, 1986) han mostrado la eficiencia de radares, operando incluso en otras bandas (como la L).

En la presente década, con el lanzamiento del Satélite Europeo de Percepción Remota (ERS-1), con su SAR de polarización vertical VV, en banda C, y ángulo de incidencia de 23° (nominal), numerosos trabajos demostraron su utilidad para el monitoreo extensivo de la humedad del suelo (Wooding *et al.*, 1992, Mohan *et al.*, 1992), inclusive con distintos tipos de cobertura vegetal (Demircan *et al.*, 1992).

### MATERIAL Y METODO

La zona geográfica corresponde al litoral costero de la provincia de Buenos Aires (Latitud 38°S, Longitud 57°W aprox., Argentina), en los alrededores de la Ciudad de Mar del Plata (Fig. 1).

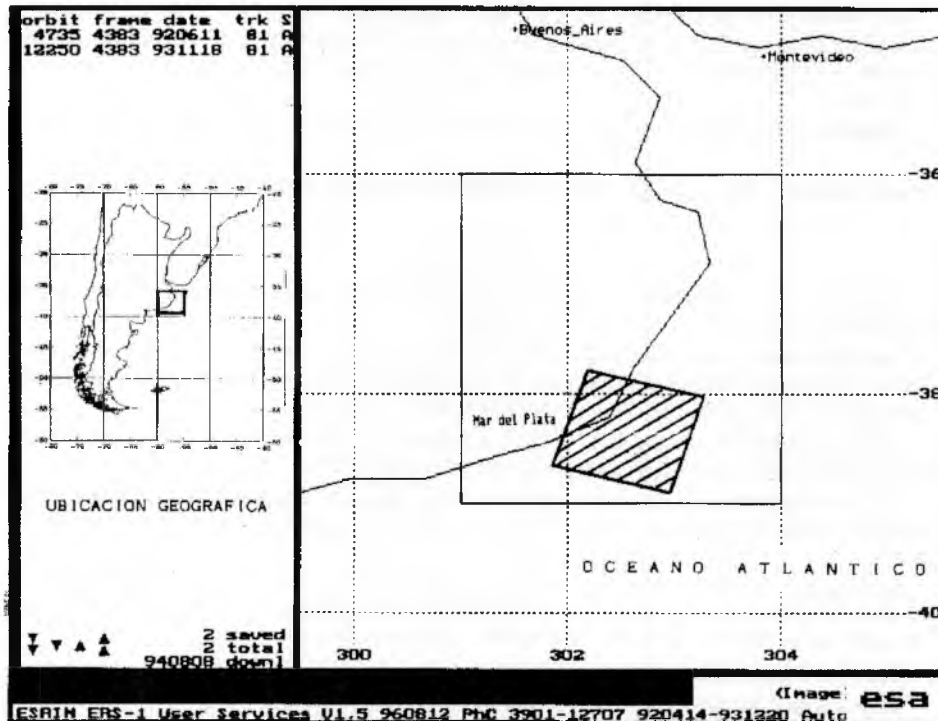


Fig. 1: Croquis de ubicación de las imágenes SAR ERS-1 en el litoral marítimo de la Pcia. de Buenos Aires (Argentina).

Cuadro N° 1. imágenes ERS-1 utilizadas

Imagen	Orbita	Frame	Fecha	Pixel
SAR.PRI	4735	4383	11 junio 92	12,5 m
SAR.PRI	12250	4383	18 nov. 93	12,5 m

En dicha área se encuentra un paisaje variado, con llanuras, lagunas y sierras, con actividad importante agrícola y ganadera. Los suelos más representativos son los Molisoles (Soil Survey Staff, 1975), suborden Udoles, gran grupo de Argiudoles y Hapludoles, sobre los cuales se desarrollan los cultivos de trigo, maíz, girasol, y pasturas en los campos ganaderos.

Se utilizaron 2 imágenes ERS-1 SAR.PRI (Fig. 1 y Cuadro N°1), correspondientes a 2 estaciones del año distintas (otoño y primavera), a fines de contar con distintas situaciones hídricas y de cobertura vegetal de los suelos.

La estimación de la humedad volumétrica en el horizonte superficial de los suelos (10 cm) se realizó por balance hídrico diario, de acuerdo al modelo de Thornthwaite y Mather (1955), con la ayuda del programa AGROAGUA (Forte Lay *et al.*, 1995).

Se contó con el registro histórico diario de precipitaciones de Mar del Plata y Balcarce, la descripción

taxonómica del perfil de los suelos (INTA, 1989) y sus constantes hídricas (Humedad a Capacidad de Campo y en Coeficiente de Marchitez Permanente).

Las imágenes fueron procesadas inicialmente por la Agencia Espacial Europea (ESA), donde se las calibró radiométricamente. Luego se convirtió la "Profundidad del pixel" de 16 a 8 bits, y, mediante el programa IDRISI, se georreferenciaron las imágenes, se seleccionaron los campos para «verdad terrestre» (42 en total), y se obtuvo el nivel de energía retrodispersada, expresada por el «Digital Number» (DN).

Para la localización geográfica se utilizó la cartografía topográfica provista por el Instituto Geográfico Militar (IGM). Para mayor agilidad en la operación, se procuró trabajar con archivos de menores dimensiones, para lo cual se seleccionaron ventanas en las zonas de Camet, Sierra de Los Padres y Chapadmalal, donde estaban ubicados los campos estudiados (Fig. 2).

Dado que la rugosidad es un factor importante en la



Fig. 2: Imágenes SARERS-1. A la derecha, se observa en ambas el mar. La zona más brillante es la Ciudad de Mar del Plata.. En el centro, Sierra y Laguna de Los Padres. Campos con pasturas (P), vegetación natural (L), trigo (T) y suelo desnudo (D).

retrodispersión de la energía, los sitios fueron clasificados de acuerdo a la cobertura vegetal del suelo en 3 tipos: 1) desnudo; 2) pastoril (con pasturas o vegetación espontánea) y 3) trigo.

Finalmente, se confeccionó una tabla de correspondencia con los valores de humedad del suelo estimada y los de energía DN de cada sitio, se determinó la correlación entre ambas series (para cada tipo de cobertura), mediante el método de mínimos cuadrados, obteniendo el mejor ajuste con una función lineal.

### RESULTADOS Y DISCUSION

Los análisis de regresión muestran una correlación positiva lineal entre humedad y energía retrodispersada para los 3 tipos de cobertura (Figuras 3, 4 y 5).

Las diferencias entre los coeficientes (ordenada al origen y pendiente) de las funciones lineales

se deben, principalmente, a los distintos tipos de cobertura, que provocan diferencias en la retrodispersión de la energía del radar, independientemente de la humedad del suelo.

El grado de correlación es aceptable para suelos pastoriles ( $r = 0,8$ ) y con cobertura de trigo ( $r = 0,7$ ), pero los mejores resultados se presentan con suelos del mismo grupo (por ej. argiudoles), y desnudos (incluyendo aquellos que están en «barbecho», presiembra, preemergencia, etc.), donde resulta ligeramente mejor ( $r = 0,82$ ) (Fig. 3). Esto se debe a que, en este caso, la onda del radar incide directamente en el suelo, sin interferencia de la cobertura vegetal, manifestando mejor la influencia de las propiedades del suelo.

Cabe destacar que los estados hídricos de los suelos en las 2 fechas analizadas no son muy diferentes, y se encuentran dentro del rango de capacidad de almacenamiento, no brindando valores extremos, que hubieran resultado más útiles a los fines del ajuste de correlación.

### CONCLUSIONES

En este trabajo se ha comprobado la linealidad positiva de la relación entre la humedad superficial del suelo y la energía retrodispersada captada por el sensor satelitario SAR.

Dado que la retrodispersión depende también de las características geométricas de la superficie

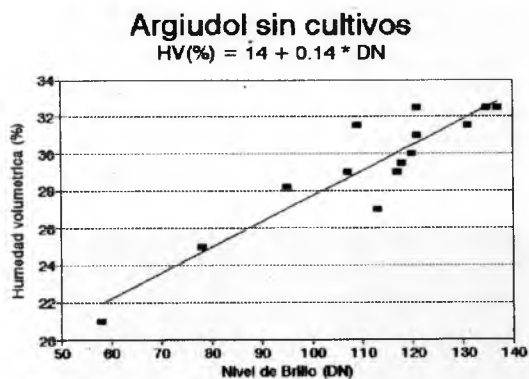


Fig. 3 : Suelos argiudoles desnudos

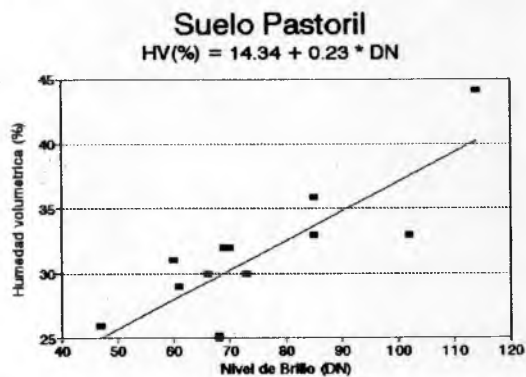


Fig. 4 : Suelos con cobertura de pasturas o vegetación natural

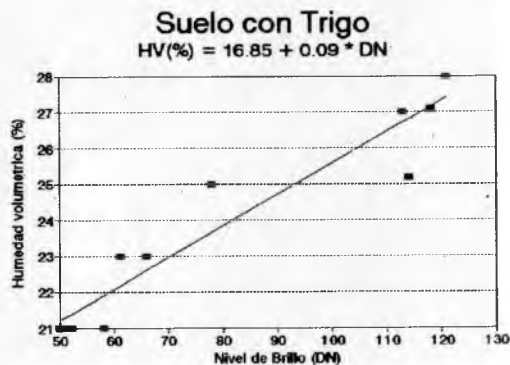


Fig. 5. Suelos con cobertura de trigo

(rugosidad, tipo y estado de cultivo, etc.), se pueden obtener tantas rectas de regresión como tipos de coberturas se clasifiquen.

La intensidad de la señal radar (energía retrodispersada) se corresponde con las propiedades del suelo siempre que interactúe con éste, tornándose una función del sistema complejo suelo-cultivo, en la medida que el cultivo se desarrolle y cubra el suelo.

El aceptable grado de correlación se ha alcanzado manteniendo constantes los demás factores que influyen en la energía retrodispersada captada, como ser el sistema satélite-sensor (SAR ERS-1), ángulo de incidencia y tipo de órbita (en este caso, ambas descendentes).

Los presentados son sólo los resultados preliminares de los estudios, que se están desarrollando

en la Cátedra de Hidrología Agrícola, a través de proyectos con el Centro de Sensores Remotos Canadiense y la Agencia Espacial Europea, esperándose próximamente arribar a conclusiones más específicas con determinaciones "in situ" y empleo de modelos hidrológicos distribuidos.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Agencia Espacial Europea (ESA), que proveyó las imágenes SAR.PRI, con las cuales se realizó este trabajo. También a los Ing. Agr. Juan Forte Lay y Stella Maris Zabala, del Centro de Investigaciones Biometeorológicas (CIBIOM-CONICET), por sus opiniones técnicas y ayuda en la operación del programa AGRO-AGUA, con el cual se realizó el cálculo del balance hídrico en el suelo.

#### BIBLIOGRAFIA

- BERNARD R., P. MARTIN and J. THONY, 1982. C-Band radar for determining surface soil moisture. *Remote sensing of Environment*, 12 :189-200.
- BRISCO B., T. PULTZ, R. BROWN and H. GWYN, 1997. Soil moisture estimation with Radarsat. Pre-print IGARSS'97, Ottawa, Canada.
- DEMIRCAN A., M. ROMBACH and W. MAUSER, 1992. Extraction of plant and soil parameters from multitemporal ERS-1 SLC data of the Freiburg site. *Proceedings of the First ERS-1 Symposium*, Cannes, France, 631-634.
- FORTE LAY J., J.L. AIELLO y J. KUBA, 1995. AGROAGUA. Centro de Investigaciones Biometeorológicas CIBIOM-CONICET y Comisión Nacional de Actividades Espaciales CONAE, Argentina.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, 1989. Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- MARTIN R.D., A. GHASSEM and E. KANEMASU, 1989. C-Band scatterometer measurements of tallgrass prairie. *Remote Sensing of Environment*, 29: 281-292.
- MOHAN S., N.S. MEHTA and R.L. MEHTA., 1992. Assessment of ERS-1 SAR data for soil moisture estimation. *Proceedings of First ERS-1 Symposium*, Cannes, France, 635-639.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. US Department of Agriculture, Agriculture Handbook Nº436, Washington DC.
- THORNTHWAITHE C. and J. MATHER, 1955. The water balance. *Drexel Institute of Technology, Public. in Climatology*, 2(1), Centerton.
- ULABY F., 1974. Radar measurement of soil moisture content. *IEEE Trans. Antennas Propagation*, AP-22(2): 257-265.
- ULABY F. and BATLIVALA, 1976. Optimun radar parameters for mapping soil moisture. *IEEE Trans. on Geosciences and electronics*, GE-14(1) : 81-93.

- ULABY F.** , 1978. Microwave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture and soil texture. Part I. Bare soil. *IEEE Trans. Geosci Electron.* GE-16, 286-295.
- WANG J., J. ENGMAN, M. SHIUE, RUZEK and STEINMEIER**, 1986. The SIR-B observations of microwave backscatter dependence on soil moisture, surface roughness and vegetation covers. *IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing*, GE-24(4): 510-516.
- WOODING M. , G.H. GRIFFITHS and R. EVANS** ,1992. Temporal monitoring of soil moisture using ERS-1 SAR data. *Proceedings of First ERS1 Symposium*, Cannes, France, 641-648.