

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE RUGOSIDAD Y VEGETACIÓN IN SITU PARA LA ESTIMACIÓN DE HUMEDAD DE SUELO: EL EXPERIMENTO GRAJO (GPS AND RADIOMETRIC JOINT OBSERVATIONS)

C. Pérez-Gutiérrez (*), N. Sánchez (*), J. Martínez-Fernández (*), G. Baroncini-Turricchia (*), J. Álvarez-Mozos (**), M. Vall-llossera (***) (§), A. Aguasca (***) (§), A. Camps (***) (§), A. Monerris (***) (§), N. Rodríguez-Álvarez (***) (§), M. Piles (***) (§), R. Acevo (***)

(*) CIALE. Universidad de Salamanca. C/ del Duero, 12. 37185-Villamayor. carpegu@usal.es

(**) Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural. UP Navarra. Arrosadía s/n. 31006-Pamplona.

(***) Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. UPC. c/ Jordi Girona 1-3, 08034-Barcelona.

(§) SMOS Barcelona Expert Centre. Pg. Marítim de la Barceloneta 37-49, E-08003 Barcelona, Spain.

RESUMEN

GRAJO (GPS And Radiometric Joint Observations) es un experimento que pretende estudiar de forma intensiva el comportamiento de la vegetación y la rugosidad del suelo en la estimación de la humedad del suelo. El área de estudio dispone de tres parcelas con diferente cobertura sobre las que se realizan medidas con el radiómetro LAURA (L-band Automatic Radiometer) y el reflectómetro GPS SMIGOL (Soil Moisture Interference-pattern GNSS Observations at L-band reflectometer). Se realizarán medidas aerotransportadas del campo experimental con el radiómetro en banda L ARIEL (Airbone Radiometer at L-band). Se pretende analizar la influencia que la rugosidad del suelo tiene en la estimación de los parámetros geofísicos y el rol de la vegetación durante un ciclo fenológico completo.

ABSTRACT

The experiment GRAJO (GPS And Radiometric Joint Observations) is aimed to study the impact of vegetation and soil roughness in the retrieval of soil moisture. The area of study has three parcels with different land uses where the radiometer LAURA (L-band Automatic Radiometer) and the GPS reflectometer SMIGOL (Soil Moisture Interference-pattern GNSS Observation at L-band reflectometer) are continually measuring. Airbone measurements of the experiment site with the ARIEL radiometer (Airbone Radiometer at L-band) are also planned. The main aims are to analyse how the soil roughness affects the estimation of geophysical parameters and, the role of the vegetation in a full fenology cycle.

Palabras clave: radiometría banda L, reflectometría GPS, rugosidad, vegetación, humedad.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto es una colaboración conjunta entre el Grupo de Investigación en Recursos Hídricos de la Universidad de Salamanca y el grupo de Teledetección Pasiva de la Universitat Politècnica de Catalunya. Forma parte de las actividades Cal/Val del programa SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) de la Agencia Espacial Europea. El experimento inició sus preparativos en el verano de 2008, se ejecutó la instalación en campo en noviembre del mismo año, y su duración está prevista para un ciclo fenológico completo. El objetivo fundamental del trabajo es el análisis de la influencia de la rugosidad del suelo y de la vegetación en la estimación de la humedad del suelo mediante teledetección por microondas (Banda L).

ÁREA DE ESTUDIO

El experimento se desarrolla en una parcela localizada en Vadillo de la Guareña, Zamora,

(41.18°N, 5.22° W, altitud 716 m), que forma parte de REMEDHUS, Red de Estaciones de MEDición de la HUMedad de Suelo de la Universidad de Salamanca (Martínez-Fernández y Ceballos 2003) (Figura 1).

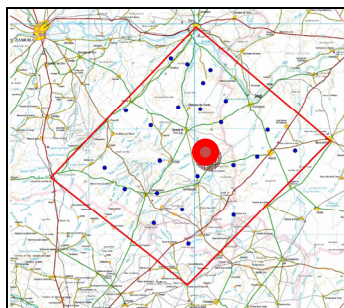


Figura 1.- Disposición de las estaciones de REMEDHUS y ubicación de la zona de estudio.

En el centro de REMEDHUS, en la finca Granja de Valdeguareña, se ha habilitado una zona experimental en la que se han dispuesto tres parcelas de un tamaño de 4x10 metros cada una, con diferente tipo de cobertura: suelo desnudo, cereal (*Hordeum vulgare*) y pasto (*Festuca arundinacea*). La disposición de las parcelas se ha fijado de forma que los equipos de medida puedan maximizar su eficiencia simultaneando el registro de medidas en las tres parcelas (Figuras 2 y 3).

Un área de aproximadamente 1000x1000 metros, será utilizada en el experimento para la estimación de humedad con sensores aeroportados (Camps 2007).

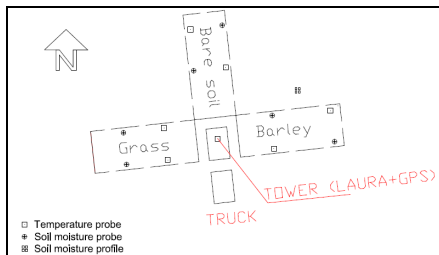


Figura 2.- Disposición de las parcelas para el análisis de la rugosidad, la vegetación y el suelo, y las medidas con el radiómetro LAURA.

EQUIPAMIENTO

Por su pertenencia a REMEDHUS, la zona disponía de una estación meteorológica y de una estación de humedad del suelo, con datos validados desde hace varios años.

Con el fin de realizar el presente experimento, se han instalado varios instrumentos específicos para caracterizar la evolución de las diferentes parcelas a lo largo del tiempo, así como la realización de algunas campañas intensivas en momentos puntuales.

El radiómetro LAURA (*L-band AUTomatic Radiometer*) (Figura 3) está situado en una plataforma a 5.5 m sobre el terreno y mide de forma continua los cuatro parámetros de Stokes a 1.4135 GHz (Villarino, 2004). LAURA está montado sobre un pedestal que permite su movimiento en elevación y acimut. Durante una secuencia LAURA adquiere medidas de cada uno de los tres campos a ángulos de elevación entre 25° y 65°, con pasos de 5°. El instrumento se calibra mediante la medida periódica del cielo (carga fría) y de un absorbente de microondas (carga caliente).

SMIGOL (Soil Moisture Interference-pattern GNSS Observation at L-band reflectometer) es un reflectómetro basado en los patrones de interferencia de la señal GPS. Tal como se muestra en la figura 4, se sitúa el instrumento compuesto de un receptor GPS comercial y una antena de polarización lineal vertical a 3m de altura y apuntando al horizonte. Este sensor recibe la señal procedente de la constelación GPS tanto en su recepción directa desde los satélites en sentido descendente, como la reflejada por el terreno en sentido ascendente. El análisis de la interferencia de ambas permite discriminar el contenido de humedad del suelo para ángulos de incidencia particulares (Rodríguez-Álvarez *et al*, 2008).



Figura 3.- Instalación del radiómetro LAURA y el reflectómetro SMIGOL sobre plataforma elevadora.

Remolque en cuyo interior están instalados los ordenadores para la adquisición de datos. Antena de satélite para control remoto y envío de datos vía Internet.

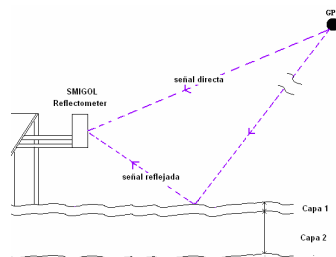


Figura 4.- Reflectómetro SMIGOL: mide la interferencia entre la señal directa y la reflejada que proviene de los satélites GPS.

ARIEL (Airbone Radiometer at L-band) es un radiómetro de Dicke cuya antena está constituida por un array de 7 patch microstrip, con un ancho de banda de 22° y una MBE del 90%. ARIEL está montado en un avión de 2.5m de envergadura y 45 minutos de autonomía de vuelo. Se ha instalado una cámara de vídeo junto al radiómetro, apuntando a nadir, para la interpretación visual del píxel observado en cada momento. Los datos adquiridos pueden ser georreferenciados gracias a un GPS y la posición del spot se puede corregir mediante la información de la actitud de la plataforma suministrada por un conjunto sensores inerciales (3 inclinómetros, 3 giróscopos y 3 acelerómetros). En la figura 5 se muestra la antena (sin radomo) montada en el avión en la cámara anecoica del departamento TSC de la Universidad Politécnica de Cataluña y el avión durante un test de vuelo, respectivamente.

En las parcelas se han instalado diferentes sondas para monitorizar humedad y temperatura del suelo. Cada parcela cuenta con dos *Hydraprobes* y dos *termistores* a 5cm de profundidad, más un perfil completo con cuatro *Hydraprobes* y cuatro *termistores* a profundidad de 5, 25, 50 y 75cm respectivamente. La una frecuencia de medida es cada 30 minutos, modificable a discreción para eventos concretos.

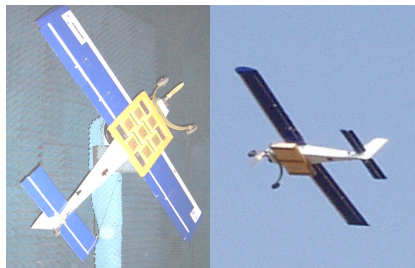


Figura 5.- Izd: Antena de ARIEL (sin radomo) montada en un avión de aeromodelismo en la cámara anecoica del departamento de TSC, en la UPC. Drch: ARIEL en vuelo.

ACTIVIDADES DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El registro continuo realizado por LAURA y SMIGOL implica el estudio de diferentes condiciones de humedad, de crecimiento vegetativo, de rugosidad del terreno y de ángulo de incidencia de la adquisición. En estos momentos (marzo 2009) se está iniciando el procesado de los datos obtenidos por LAURA. En la figura 6 se observan las medidas adquiridas por SMIGOL de dos satélites el día 22 de diciembre de 2008 en REMEDHUS, en azul. En rojo

se muestran las simulaciones teóricas obtenidas tras aplicar el algoritmo de simulación SMIGOL Sim, desarrollado en la UPC. Dicho algoritmo simula la interferencia que se produce entre la señal directa y la interferente, teniendo en cuenta las características físicas de esta superficie (rugosidad, composición de las capas del suelo, textura y grosor, humedad, etc).

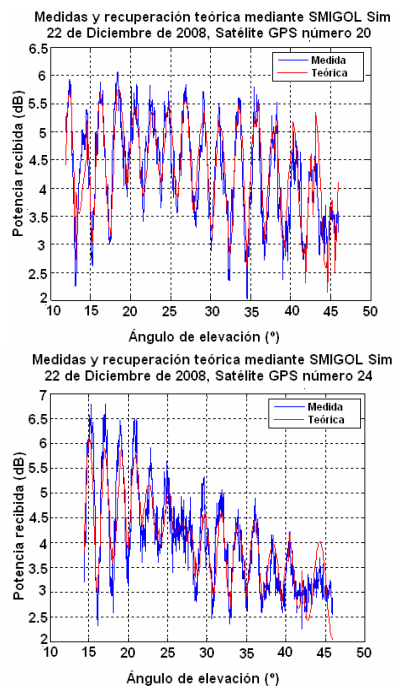


Figura 6.- Comparación entre la señal interferente medida por SMIGOL y la señal interferente simulada mediante SMIGOL Sim para los satélites (a) 20 y (b) 24, el 22/12/2008.

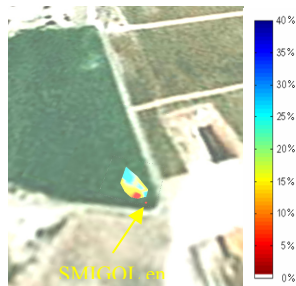


Figura 7.- Mapa de humedad del suelo obtenido con algoritmos de recuperación de humedad de SMIGOL Sim y las medidas del reflector SMIGOL.

La señal interferente se representa respecto del ángulo de elevación del satélite GPS, con lo que a medida que éste avanza en su órbita, describe un trazo sobre el terreno de observación. Si se procesan las diferentes pasadas de varios satélites en un día puede obtenerse un mapa de humedad. La Figura 7 muestra datos del 22 de diciembre de 2008.

Regularmente se realizan otras acciones puntuales que complementan la toma continua. La medida de rugosidad de las diferentes parcelas se realiza utilizando una técnica mixta de fotogrametría de objeto cercano y adquisición mediante scanner laser tridimensional (Pérez-Gutiérrez *et al.* 2007). En el caso de las parcelas con vegetación, se efectúan medidas de parámetros biofísicos y espectrales con el fin de obtener parámetros de biomasa, índice de área foliar, NDVI, temperatura... Cada mes, en todas las parcelas se realiza un mapa densificado (55 medidas por parcela) de la humedad del suelo con el fin de caracterizar la distribución de la humedad del suelo y su variabilidad espacial a escala de detalle (Figura 8).

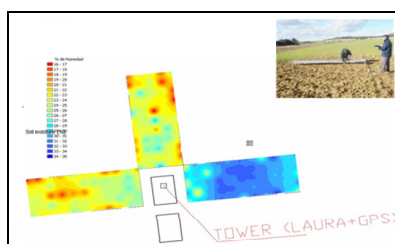


Figura 8.- Mapa de medición manual de la humedad superficial (0-5 cm) del suelo en los muestreos intensivos y ejemplo de mapa de humedad de las tres parcelas.

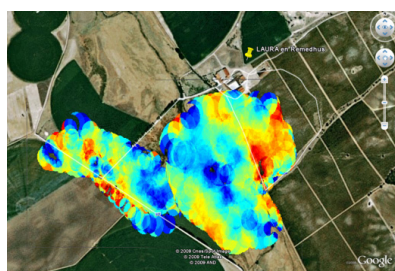


Figura 9.- Mapa de Temperaturas de Brillo para dos sobrevuelos (2 y 5) del día 25/03/2009.

La figura 9 muestra las temperaturas de brillo obtenidas a partir de dos sobrevuelos realizados en la zona de REMEDUS el 25 de marzo de 2009 (altura de vuelo entre 100 y 150m). Como

no están corregidos los efectos del ángulo de incidencia aparecen discontinuidades en las zonas de solapamiento.

Están previstos varios sobrevuelos en la misma zona a distintas alturas (alturas de vuelo de ARIEL entre 50m y 300m) para poder estudiar distintas técnicas de agregación y desagregación de píxel. Se utilizará la información del radiómetro ARIEL y de datos auxiliares como la temperatura y NDVI.

BIBLIOGRAFÍA

Camps, A., A. Aguasca, X. Bosch-Lluis, J. F. Marchan-Hernandez, I. Ramos-Perez, N. Rodríguez-Álvarez, F. Bou, C. Ibáñez, X. Banqué y R. Prehn, 2007. *PAU One-Receiver Ground-based and Airborne Instruments*. En *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2007)*, Barcelona, Spain, 2007

Martínez-Fernández, J.; Ceballos, A. 2003. *Temporal stability of soil moisture in a large-field experiment in Spain*. Soil. Sci. Soc. Am. J. 67:1647-1656.

Pérez-Gutiérrez, C.; Martínez-Fernández, J.; Sánchez, N.; Álvarez-Mozos, J. 2007. *Modeling of soil roughness using terrestrial laser scanner for soil moisture retrieval*, En *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2007)*, Barcelona, Spain, 2007; pp. 1877-1880.

Rodríguez-Álvarez, N., Marchán, J.F., Camps A., Valencia E., Bosch-Lluis X., Ramos-Pérez I., Nieto, J.M. 2008. *Soil Moisture Retrieval Using GNSS-R Techniques: Measurement Campaign in a Wheat Field*, *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2008*, vol. 2, issue. 2, pp. 245-248, from July 7 to July 11, 2008, Boston, USA.

Villarino, R. 2004. *Empirical Determination of the Sea Surface Emissivity at L-band: A contribution to ESA's SMOS Earth Explorer Mission*. PhD thesis, Remote Sensing Laboratory, Dept. Teoria del Senyal i Comunicacions, Universitat Politècnica de Catalunya, 2004.

AGRADECIMIENTOS:

Expresamos agradecimiento al MICTY (Proyectos ESP2007-65667-C04-04 y ESP2007-65667-C04-02 y AC ESP2007-30837-E) y a la ESA (O 3230), sin cuya financiación no podría haberse realizado este trabajo de investigación.