

**PRIMER CONGRESO IBEROAMERICANO DE PROTECCIÓN, GESTIÓN,  
EFICIENCIA, RECICLADO Y REÚSO DEL AGUA**

**PRIMER SEMINARIO DE UNIVERSALIZACIÓN DEL ACCESO AL AGUA APTA  
PARA EL CONSUMO HUMANO**

**HIDROLOGÍA AMBIENTAL PARA SISTEMAS DE LLANURA: ESTIMACIÓN  
DE HUMEDAD DEL SUELO MEDIANTE TELEDETECCIÓN**

***Eugenia Chiarito<sup>1</sup>, Erik D. Zimmermann<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario (FCEIA-UNR), Argentina,  
[eugechiarito@gmail.com](mailto:eugechiarito@gmail.com)*

<sup>2</sup> *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario (FCEIA-UNR), Argentina*

**RESUMEN:**

Se abordará el procedimiento basado en técnicas de teledetección conocido como “Método del Triángulo” para la estimación indirecta del contenido de humedad superficial del suelo, a modo de aporte a la investigación de sistemas hidrológicos de llanura y su modelización matemática, donde dicho parámetro está involucrado como dato de entrada.

Aprovechando la creciente accesibilidad y precisión que ofrecen los sistemas remotos satelitales, se pretende explorar su potencial aplicación a la hidrología, a escala regional, como alternativa superadora de las mediciones in-situ y de las estimaciones a través de ecuaciones empíricas, que se están utilizando en la actualidad.

Dada la relevancia de la variable de estado contenido de humedad, como regulador de los intercambios de flujo energético entre la superficie de la Tierra y la atmósfera a nivel global, así como su rol condicionante en procesos de infiltración y escorrentía frente a un evento local de precipitación, resulta evidente la necesidad de analizar las posibilidades que presentan las nuevas tecnologías para alcanzar resultados que se ajusten más a la realidad.

La opción por el método del triángulo se funda principalmente es su simplicidad de aplicación, en la posibilidad de interpretación física que ofrece, y en que los resultados dependen de la posición relativa del píxel en la nube de puntos, sin demandar información auxiliar.

Se observó que de todas las alternativas posibles, el método lineal presenta la correlación que más se ajusta a los valores observados en las mediciones de campo.

**PALABRAS CLAVES:** Teledetección, Método del Triángulo, Contenido de Humedad superficial del Suelo, Hidrología.

## INTRODUCCIÓN

El creciente nivel de detalle y precisión que vienen acuñando los nuevos modelos hidrológicos, gracias a las posibilidades que la tecnología ofrece hoy en día se traduce en una representación más fiel y realista de los fenómenos físicos que se analizan, a partir de la posibilidad de trabajar con una subdivisión de las regiones en estudio en unidades cada vez más pequeñas (que reflejan con mayor detalle la naturaleza de distribución de sus parámetros y sus datos de entrada), pero al costo de demandar un volumen de datos más significativo y de actualización más frecuente. Esta situación obliga a repensar la viabilidad de la recopilación manual de dichos datos para escalas de trabajo más o menos extendidas territorialmente (situación de gran frecuencia para zonas de escasa pendiente, como es el caso de la llanura pampeana, en Argentina), y para estudios sostenidos en el tiempo; no sólo desde una perspectiva económica, sino también respecto de la capacidad de información recolectable por campaña, su representatividad espacial, y su periodicidad (Kite y Pietroniro; 1996). Actualmente se observa un clivaje cada vez más marcado hacia la opción por sistemas remotos, que coincide con su progresiva accesibilidad y aumento de precisión. De hecho, en las últimas décadas, esta herramienta ha atravesado la transición desde un nivel experimental, hacia uno operativo (Prakash; 2000).

Paralelamente es destacable la importancia que reviste a la variable de estado contenido de humedad del suelo dentro de un sistema que se caracteriza por poseer la escasa pendiente propia de las topografías de llanura, ya que, entre otras cosas, condiciona las proporciones de flujo que adoptan cada sentido de circulación. Asimismo, regula el intercambio de agua y energía calórica entre la superficie y la atmósfera a través de los procesos de evapotranspiración.

El presente trabajo pretende verificar que, efectivamente, la matriz de datos con resolución espacial obtenida por teledetección resulta más idónea que los valores puntuales extrapolados arealmente que ofrece la medición in-situ, para estudios de escala regional.

## MEDICIONES EN CAMPAÑA

Se llevó a cabo una campaña de recopilación de muestras in-situ, que abarcan la recolección en 25 puntos de la parcela experimental operada por la UNR, ubicada al Noroeste de la ciudad de Rosario (Fig. 1), tomando muestras en cada oportunidad en que pasa el satélite, cada 16 días entre las 10:45hs y las 12:00hs, siempre que no se observe cobertura de nubes que puedan obstaculizar las lecturas remotas. El trabajo de campo contempló las siguientes tareas:

- Georreferenciación del posicionamiento de cada muestra según GPS, cuidando una distribución homogénea del conjunto, con una distancia mayor a los 30 metros entre éstas.
- Extracción de las muestras superficiales de suelo, a ser almacenadas en cápsulas debidamente cerradas y almacenadas para evitar que pierdan humedad hasta su análisis en laboratorio
- Lectura de temperatura superficial del suelo, y eventualmente de la cobertura vegetal (si la hubiera) con termómetro infarrojo digital.

El posterior trabajo de laboratorio permite obtener los contenidos de humedad de cada muestra, según método normalizado:

$$\rho_b = \frac{W_{muestraSeca}}{Volumen} \quad 1$$

$$\text{Contenido de agua: HS (en peso)} = \%HS * \rho_b \quad 2$$



**Figura 1.-** Imagen Google Earth de la Parcela Experimental

## MÉTODO DEL TRIÁNGULO

La temperatura superficial del suelo queda determinada por el intercambio de energía con su entorno en la permanente búsqueda de equilibrio térmico, a través de flujos de calor sensible y latente. La cubierta vegetal cumple un rol decisivo en este sistema dada su capacidad de extraer agua de las capas de suelo inferiores, las cuales no se encuentran involucradas en la evaporación (Claps, Laguardia; 2004), y transportarla a la atmósfera.

Existen diversas propuestas para evaluar contenido de humedad por técnicas “indirectas” que explotan las ya conocidas propiedades térmicas de la capa superficial de suelo (a partir de lecturas en el rango de infrarrojo térmico), y la integran a información de la cobertura vegetal, reflejada en los canales del rango visible del espectro electromagnético. En particular, el “Método del Triángulo”, explorado en sus inicios por Carlson et al. (1981), funda su nombre en la geometría que adopta la nube de puntos que constituyen las mediciones si se las grafica en un sistema de coordenadas ortogonales temperatura de la superficie del suelo -LST por sus siglas en inglés- vs. Índice Normalizado Estado de Cobertura Vegetal (NDVI, EVI, Fr, etc.). Si se representa un número de pixeles (libres de cobertura por nubes) lo suficientemente grande, la forma de la envolvente del conjunto se asemeja a un triángulo (Fig. 2); siendo así la misma distribución la que fija las condiciones de borde para el modelo y evitando la necesidad de información auxiliar atmosférica y de la superficie (Carlson; 2007).

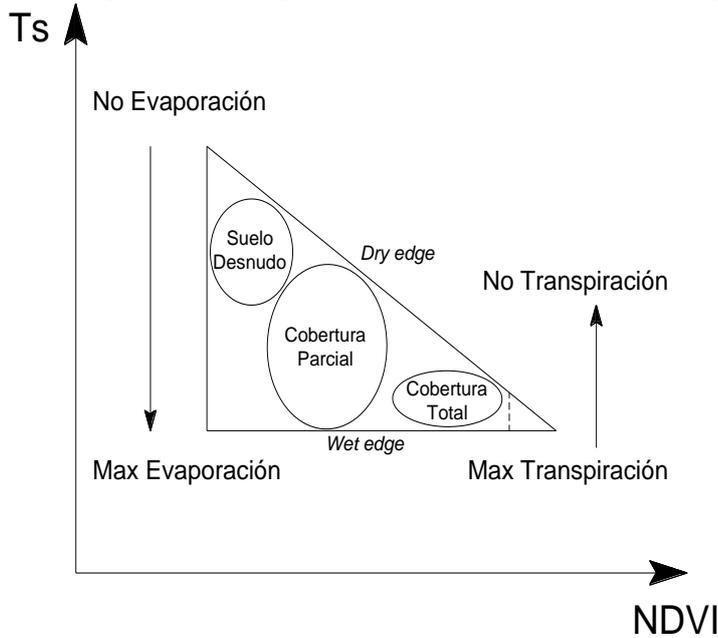
Se apunta a aprovechar las propiedades únicas de emisividad-reflectancia que las hojas poseen en las regiones espectrales del rojo e infrarrojo, que viene a complementarse con la baja masa térmica de las plantas respecto del suelo desnudo.

Al disponer la información tal como lo proponen los autores en el método de triángulo, se visualizan ciertos aspectos muy claramente:

- existe un nítido límite sobre el lado cálido de la nube de puntos (borde cálido, o warm edge),
- existe un límite menos definido sobre el lado frío, con una punta sobresaliente en la zona de pixeles de baja temperatura y baja fracción vegetal (borde frío, o cold edge),
- la gráfica se inclina hacia la izquierda (temperaturas menores) conforme la fracción vegetal aumenta.

Es factible asumir que estos límites, que se repiten en todas las experiencias representan *límites físicos*, tales como contenido de humedad cero, cero cobertura vegetal, y cobertura vegetal completa (Carlson, 2007).

Así, la posición del píxel en el sistema coordinado propuesto define su condición de humedad.



**Figura 2.-** Esquema NDVI/Ts (Lambin and Elrich, 1996; Snadholt, 2002). Fuente: Yang et al., 2008.

El borde cálido se asume así como la representación de la la isolínea de *zero contenido de humedad extraíble*, y el borde frío la respectiva isolínea de humedad correspondiente a *capacidad de campo*. Las publicaciones analizadas proponen, a grandes rasgos, dos alternativas para la determinación del contenido de humedad del suelo: a partir de un planteo de relación lineal entre este parámetro y las demás variables del sistema, o bien a partir de relaciones polinómicas de grados superiores. El nivel de precisión de cada propuesta presenta una relación directa con la complejidad de tales funciones, pero también esto significa una demanda mayor de datos de entrada para ajustar la ecuación respectiva.

- *Ecuaciones de bordes del triángulo y contenido de humedad no lineales (polinomios de grado 2 o mayor)*

Carlson (2007) exploró la posibilidad de construcción de un “*triángulo universal*” (Fig. 12) que permitiera la determinación de los coeficientes de las ecuaciones de cada parámetro por única vez (a partir de un modelo SVAT –Transformación Suelo, Vegetación, Atmósfera-), tal que las mismas admitieran su aplicación posterior para cualquier escena deseada.

Se propone que las variables de los ejes coordinados correspondan a valores adimensionales que varíen dentro del rango de 0 a 1. Para ello se utilizan los siguientes algoritmos de transformación:

$$T^* = \frac{(T_{IR} - T_{\min})}{(T_{\max} - T_{\min})} \quad 3$$

$$Fr = \left[ \frac{NDVI - NDVI_0}{NDVI_S - NDVI_0} \right]^2 \quad 4$$

TIR= Temperatura de brillo de cada píxel

Tmin= Temperatura mínima de la Región de Interés (ROI) seleccionada en la escena

Tmax= Temperatura máxima de brillo del ROI seleccionado en la escena

$$NDVI = \frac{(a_{nir} - a_v)}{(a_{nir} + a_v)}$$

NDVI<sub>0</sub>= NDVI mínimo del ROI seleccionado en la escena

$NDVI_s = NDVI$  máximo del ROI seleccionado en la escena

Las relaciones resultantes, para determinadas variables de entrada auxiliares que se suponen fijas (albedo, resistencia estomática), constituyen polinomios de tercer orden con la siguiente estructura:

$$M_0 = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} T^{*i} Fr^j \quad 5$$

Se supone que, si bien las relaciones no se ajustarán con mucha exactitud a todas las situaciones (Carlson, 2007), los resultados obtenidos de su aplicación serán suficientemente precisos para los casos en los que no se disponga de información auxiliar. La mayor ventaja del sistema reside en su facilidad de aplicación, a costos bajos, y en plazos de tiempo reducidos.

- Ecuaciones de bordes del triángulo y contenido de humedad lineales (polinomios de grado 1)

Sandholt (2002) fue uno de los precursores de esta variante del método del triángulo, que se orienta a prescindir de la transformación SVAT para determinar la función del contenido de humedad y así independizar el sistema de datos auxiliares (*método stand alone*). Para ello elaboró un índice TVDI (*Temperature Vegetation Dryness Index*) de “no-humedad” de suelo como la relación entre la distancia de un punto respecto del borde húmedo y la distancia entre los bordes cálido y frío (Fig. 13). El valor de este indicador varía entre 0 (para el borde frío-húmedo) y 1 (en el borde cálido-seco).

## PROCESAMIENTO

El procesamiento de los datos se aborda desde 3 etapas bien definidas:

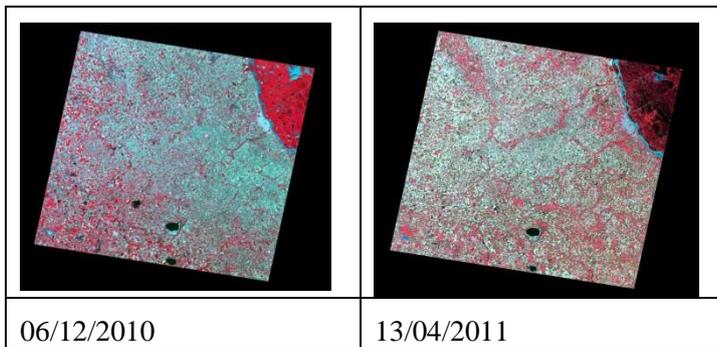
- 1) De los datos crudos que se levantan de la imagen: *Coordenadas – NDVI – Temperatura de brillo (T)*
- 2) De los datos del paso (1), luego de aplicar un proceso de adimensionalización de los valores de índice de vegetación y temperatura: *Coordenadas – NDVI\* - T\**
- 3) De los datos del paso (2), luego de aplicar un nuevo proceso de adimensionalización de los valores de índice de vegetación (resultando en un polinomio cuadrático respecto del NDVI): *Coordenadas – Fr – T\**

Al final de cada una, se genera un gráfico para análisis visual de la distribución de la nube de puntos. En la etapa (1) se aplica un filtro para descartar los puntos con “ruido” (cursos de agua, construcciones, valores con error de medición, entre otros), dejando fuera de la serie al 0,2% del total de datos levantados. Este criterio responde a la necesidad de normalizar un método de filtro aplicable a todas las imágenes, que garantice que el error no afecte luego a las adimensionalizaciones, ni ignore un número significativo de datos válidos.

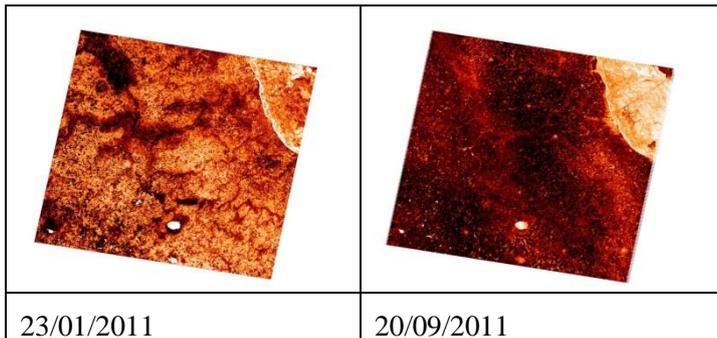
Para avanzar en la etapa (2), se aplican las ecuaciones siguientes a los datos de (1):

$$NDVI_j^* = \frac{NDVI_j - NDVI_{MIN}}{NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN}} \quad 6$$

$$T_j^* = \frac{T_j - T_{MIN}}{T_{MAX} - T_{MIN}} \quad 7$$



**Figura 3.-** Composición falso color bandas 4-3-2 para todas las campañas



**Figura 4.-** Escenas banda 6, Temperatura de brillo para todas las campañas

Sobre este conjunto se aplica el método lineal de determinación de déficit de contenido de humedad (TDVI):

Primero se determinan las ecuaciones de las rectas que definen los límites del triángulo: *Borde frío* y *Borde Cálido*. Se presentan dos alternativas posibles: el trazado manual aproximado de la posición de los mismos, o la unificación del criterio según alguna estandarización. En este caso se propone repetir la exclusión del 0.2% de los datos, garantizando así que la gran mayoría de los puntos quedarán dentro del triángulo, y el cálculo de la ecuación de las rectas no demandará mayores consumos de tiempo. Cabe destacar que uno de los ítems más incidentes en los resultados es justamente la determinación de los bordes cálido y frío, especialmente dado que el método no ofrece una manera más precisa de definirlo. Es por esto que su normalización representa una ventaja comparativa respecto del método individualizado manual, sin inducir un error significativamente mayor. No obstante, debe efectuarse un control visual sobre la gráfica a los efectos de observar que no se generen errores groseros.

A continuación se efectúa para cada píxel de interés (aquellos que contienen al menos un dato de humedad relevada en campo) la relación:

$$TDVI = a/b \quad 8$$

$$M_{0lineal} = 1 - TDVI \quad 9$$

Para que las relaciones sean válidas, debe garantizarse que los puntos queden dentro de los límites del triángulo.

Para el paso (3) se aplica una adimensionalización alternativa, según propone el autor del método, para definir la variable

$$Fr = (NDVI^*)^2 \quad 10$$

La determinación tanto de los bordes frío y cálido como de los valores de  $M_0$  responden a ecuaciones cuadráticas de coeficientes proporcionados con antelación por los autores del método.

Sucesivamente, para cada imagen se obtuvieron los siguientes datos de salida:

- Gráfica de triángulo Temperatura de brillo vs. NDVI para la nube de valores analizada.
- Gráfica del triángulo Temperatura adimensional vs.  $NDVI^*$ , con los valores de los píxeles de campaña debidamente posicionados.
- Ecuaciones de borde del triángulo lineal.

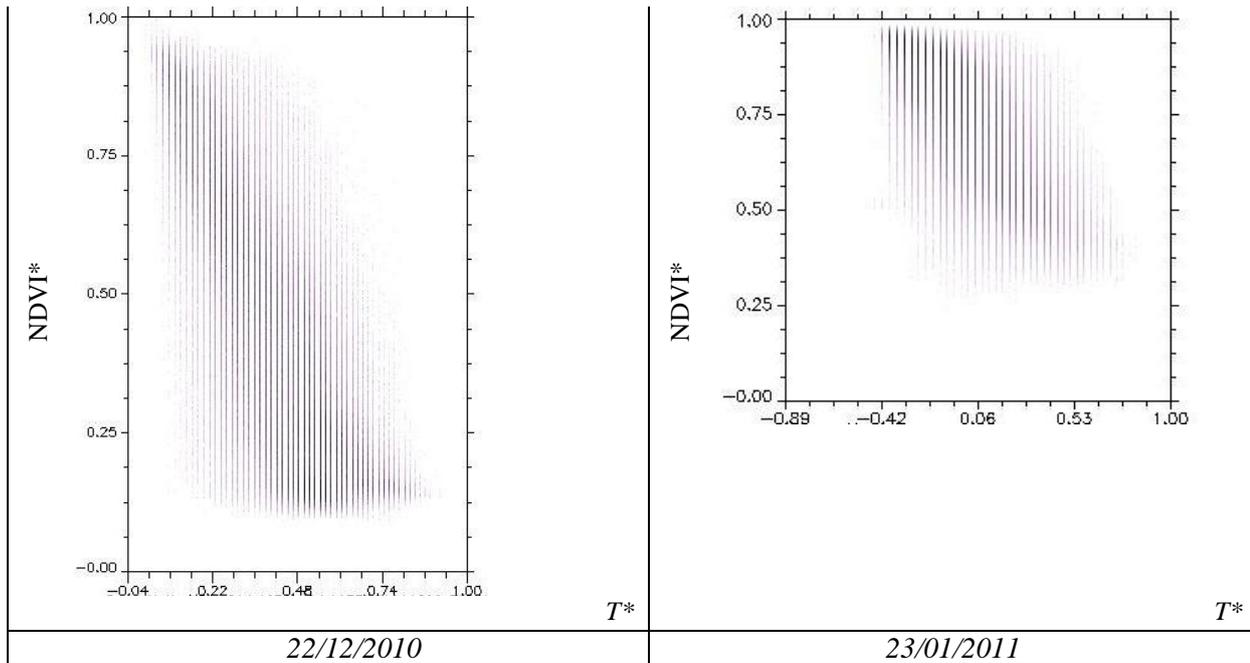
- Valores de humedad según el método lineal.
- Gráfica del triángulo Temperatura adimensional vs. Fr para la nube de valores, con los valores de los píxeles de campaña debidamente posicionados.
- Valores de humedad según el método cuadrático.

*Gráficas Temperatura adimensional vs. NDVI adimensional*

De esta posición relativa a los bordes (Fig. 5 y 6), se determina el TVDI tal como define el método. Finalmente, la humedad queda definida como:

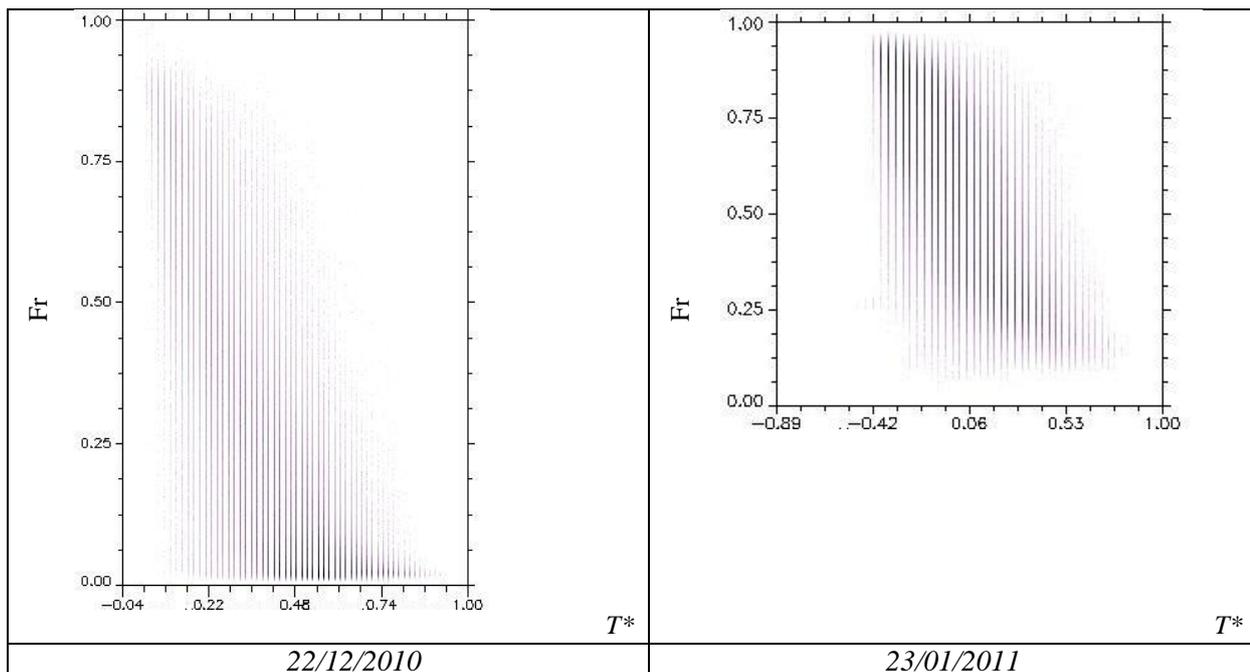
$$M0 = 1 - TVDI$$

11



**Figura 5.-** Gráficas de sistema coordenado T\* vs. NDVI\*

*Gráficas Temperatura adimensional vs. Fr*



**Figura 6.-** Gráficas de sistema coordenado T\* vs. Fr

## COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Para cotejar los valores de contenido de humedad de los tres métodos (a saber: mediciones de campaña, estimaciones según cálculo lineal y ecuaciones cuadráticas), se debe realizar una compatibilización previa de unidades, ya que los triángulos presentan los resultados como una proporción referida a la capacidad de campo. Por otro lado, de las muestras de campaña, en laboratorio se obtuvo el mismo parámetro como valor porcentual (cociente de contenido de agua en gr sobre peso de la muestra seca en gr), y como porcentaje de humedad de suelo volumétrico (producto entre porcentaje anterior por densidad aparente en gr/cm<sup>3</sup>).

Para efectuar la compatibilización se utilizaron valores de capacidad de campo obtenidas de un trabajo publicado por Zimmermann (2008) para la región distintos autores proponen los siguientes valores:

$$CC=0.46\text{cm}^3/\text{cm}^3$$

$$CC=0.40\text{ cm}^3/\text{cm}^3$$

$$CC=0.33\text{ cm}^3/\text{cm}^3$$

Para optar por el más apropiado se sometió a los valores a la evaluación estadística del parámetro Coeficiente de Correlación de Concordancia (CCC), que queda definido por la siguiente ecuación:

$$CCC = \frac{2 \cdot \text{cov ar}(Hum_{med} : Hum_{estim})}{[DESVEST(Hum_{med})]^2 + [DESVEST(Hum_{estim})]^2 + [PROM(Hum_{med}) - PROM(Hum_{estim})]^2} \quad 12$$

Donde,

*covar*= Covarianza - Promedio de los productos de las desviaciones de los pares de puntos de datos en los 2 conjuntos de datos.

*Hum<sub>med</sub>*= Valores de la serie medida en campo

*Hum<sub>estim</sub>*= Valores de la serie estimada por método del triángulo

*PROM*= Media aritmética

*DESVEST*= Desvío estándar de las muestras - medida de la dispersión de los valores respecto a la media.

Resulta que para el análisis lineal la constante Capacidad de Campo que mejor se ajusta a la recta es la de CC=0,33, y para el análisis cuadrático es de CC=0,40.

Tomando como confiables los resultados de campo, se confeccionaron gráficas comparándolos con los valores estimados de humedad por cada técnica satelital, ubicando en ambos casos en las abscisas los datos de campaña, y en las ordenadas los de los respectivos píxeles (Fig. 7 y 8).

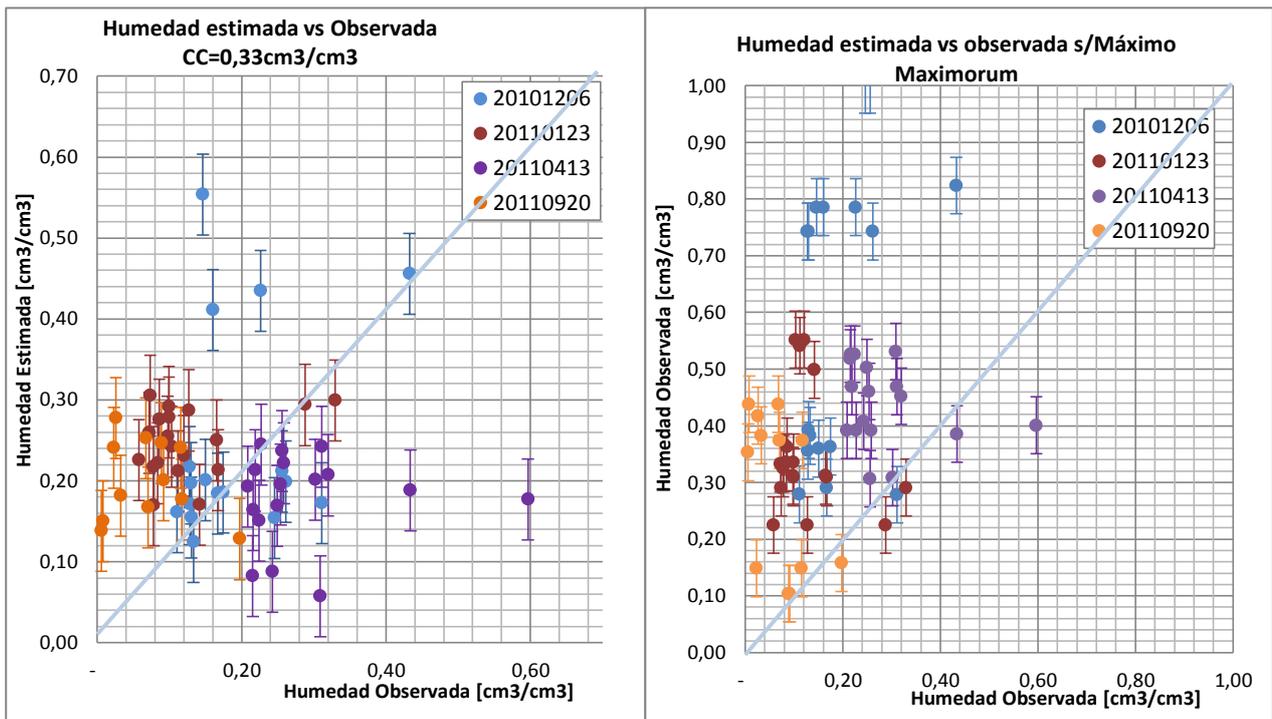
Además, a cada punto se le asignó una barra de error de longitud equivalente al desvío estándar promedio de los píxeles que comprendían más de una medición de campo, de valor de  $\pm 4,73\%$ .

En los píxeles que contenían más de una muestra de campaña fueron cotejados con el promedio resultante de todas éstas.

La compatibilización de datos se concretó de dos maneras distintas: por un lado tomando como capacidad de campo el valor del máximo maximorum de los valores de campaña, y por otro lado, según el dato obtenido de la publicación antes mencionado.

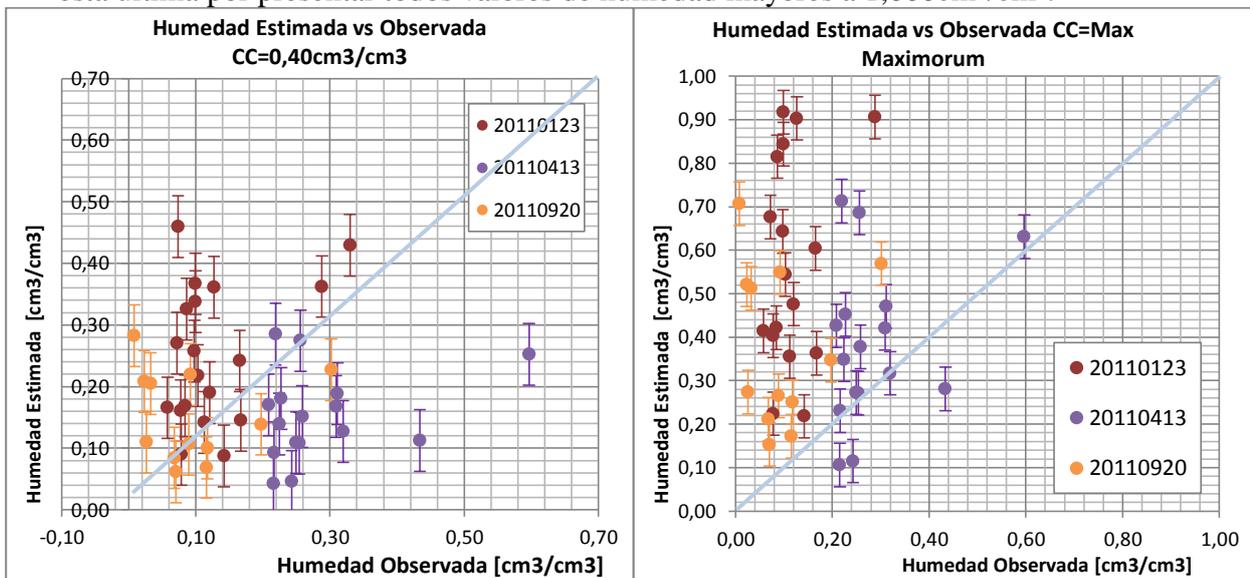
Por otro lado, se efectuó un filtrado descartando todos los valores mayores a (1,000), ya que los registros cercanos a la saturación representan estados de efímera duración en el tiempo, y por lo tanto no se consideran representativos del estado de humedad del terreno. Además, en las inspecciones de campaña no se registró en ninguna ocasión una configuración correspondiente al campo inundado, o a un estado reciente de riego general de los lotes.

La depuración antes mencionada tuvo un alto impacto en las estimaciones según las ecuaciones cuadráticas de Carlson (2007). Es probable que esto se deba a que las mismas fueron deducidas para una región diferente a la nuestra, con parámetros de suelo muy diversos.



**Figura 7.- MÉTODO LINEAL:** Distribución de serie de valores Contenido de Humedad referido al parámetro capacidad de campo=0,33 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> - Máximo Maximorum 0,26cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>

En este caso, no sólo se despreció la campaña del 22/12/2010, sino también la del 06/12/2010, ésta última por presentar todos valores de humedad mayores a 1,000cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>.



**Figura 8.- MÉTODO CUADRÁTICO:** Distribución de serie de valores Contenido de Humedad referido al parámetro capacidad de campo=0,40 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> - Máximo Maximorum 0,26cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>

En los casos en que se observa en las comparaciones que los valores estimados superan a los observados, es posible que esto responda al hecho que las mediciones superficiales pueden presentar un contenido de humedad desdoblado respecto de las capas inferiores (que inciden en la variable NDVI del método del triángulo).

Se presenta a continuación una fotografía de campaña (Fig. 9) donde se puede observar que el suelo inmediatamente inferior al tomado como muestra presenta una coloración más oscura relacionada con una humedad mayor.



**Figura 9.-** Imágenes de campaña, muestras tomadas in-situ

También debe tenerse en cuenta que las muestras corresponden a la capa superficial, de 0-5cm de profundidad, lo cual significa que pueden no ser representativos del estado de humedad subyacente en las capas inferiores, en particular a profundidad radicular (que determina el estado de la vegetación). La pérdida de humedad a nivel superficial ocurre a gran velocidad y con gran variación espacial, lo cual significa un desdoblamiento respecto de la zona radicular.

Por otro lado debe considerarse que las relaciones entre muestras puntuales y mediciones areales pueden diferir notablemente dada la gran variabilidad espacial en la zona de muestreo propia de la parcela experimental, que en un terreno reducido contiene múltiples cultivos, combinados con zonas de suelo desnudo.

## CONCLUSIONES

Queda ampliamente validado el paradigma que centra la medición de contenido de humedad superficial en base a técnicas de teledetección con datos recopilados en las bandas dentro del dominio solar. Sin embargo es importante avanzar en su combinación con otros métodos que superen sus limitaciones por escasa penetración en profundidad y sensibilidad a coberturas por nubes para alcanzar una interpretación más acabada del fenómeno en toda su complejidad.

La visualización que propone el método del triángulo permite una identificación clara del estado de humedad de cada píxel (relativo a su posición en la nube de puntos), lo cual queda complementado con el apreciable correlato que se percibe entre los resultados y el fenómeno físico, facilitando su interpretación.

El método lineal presenta correlaciones mayores que el cuadrático, posiblemente debido a que las ecuaciones surgen de la propia configuración de la nube de puntos, y por tanto las ecuaciones no han sido influenciadas directamente por parámetros propios del suelo. El modelo SVAT utilizado por Carlson (2007) posiblemente no coincida con el correspondiente a esta región, por lo que necesariamente debería ser ajustado antes de ser utilizado. Disponer de estos parámetros excede a los alcances del presente trabajo.

Se propone como alternativa trabajar con la comparación de datos de campaña que conformen una matriz más densa, y con menor variabilidad de estados de cobertura vegetal, a los efectos de disponer de mayor número de datos por píxel, para intentar subsanar las diferencias entre mediciones areales y puntuales. Al respecto se han emprendido nuevas campañas, que complementarán en un futuro la presente investigación.

El método admite una interpretación física de los resultados que lo hace deseable, aunque resta determinar si verdaderamente las correcciones de lecturas del satélite no son necesarias. Es presumible que este déficit sea superado en el futuro por nuevas misiones, con tecnologías de mayor precisión. Hasta tanto esto no suceda, sigue siendo valioso el aporte del método, dada su simple aplicación y la posibilidad de disponer de datos reales, con destacable frecuencia, y libre disponibilidad de información. Contrastando esto con los métodos de aplicación actual en los modelos hidrológicos, de carácter empírico y surgido de suposiciones del estado de humedad de la cuenca, su aporte resulta significativo y valioso.

Lo que es indudable es la importancia del aporte de los sistemas remotos a las investigaciones hidrológicas, y cabe esperar notables avances en el corto plazo que es menester abordar.

## BIBLIOGRAFÍA

- Carlson T. N., Dodd J. K., Benjamin S. G., y Cooper J. N.**, *Satellite estimation of the surface energy balance, moisture availability and thermal inertia*, Journal of Applied Meteorology, Volume 12, Issue: 1, publisher: NOAA Central Library, Department of Commerce, 1981.
- Carlson T. N.**; *An overview of the "Triangle Method" for estimating surface evapotranspiration and soil moisture from satellite imagery*; Sensors 7; 2007.
- Claps P., Laguardia G.**, *Assessing spatial variability of soil water content through Thermal Inertia and NDVI*, En: Owe M, D'Urso G, Moreno J F, Calera A, eds. Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology V. Proceedings of SPIE, Bellingham, 2004.
- Kite G. W., y Pietroniro A.**; *Remote sensing applications in hydrological modelling*, En *Hydrological Sciences Journal, Special issue: Remote sensing applications to hydrology*, Volume 41, Nº 4, IAHS International Committee on Remote Sensing and Data Transmission, Oxfordshire, UK, 1996.
- Prakash A.**, *Thermal remote sensing: Concepts, issues and applications*; International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B1. Amsterdam 2000.
- Yang X., Wu J. J., Shi P. J., Yan F.**; *Modified Triangle Method to estimate soil moisture status with moderate resolution Imaging spectroradiometer (MODIS) products*; The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, Volume XXXII Part B8 commission VII; ISPRS Congress Beijing, 2008.
- Zimmermann, E.**; *Estimación de Humedades características en suelos limosos mediante diferentes funciones de pedotransferencia*; Cuadernos de CURIHAM, Vol. 14, 2008.