

# ÍNDICE SATELITAL DE DÉFICIT HÍDRICO

## Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI)

### ¿Cómo se interpreta este índice?

El TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index) es un índice que combina temperatura de superficie con índice de vegetación y ha sido desarrollado para establecer el estado de la humedad (sequedad) del sistema suelo-planta. El seguimiento que aquí se presenta se ha llevado a cabo con imágenes correspondientes al sensor MODIS a bordo del satélite AQUA, en particular los cálculos se realizan con los productos de temperatura de superficie e índice de vegetación EVI.

El índice no permite distinguir entre diferentes coberturas vegetales (cultivos, pasturas, monte, etc.) sino que representa el estado de déficit hídrico de la cobertura vegetal existente. Donde la cobertura vegetal es escasa o nula (suelo desnudo, siembras incipientes), el índice representa el estado hídrico de la parte superficial del suelo (aproximadamente 5-10 cm de profundidad).

### ¿Cómo se interpreta la escala?

El índice toma valores entre 0 y 1, donde 0 indica máxima humedad y 1 determina máxima sequedad. En las imágenes se colorean sólo los valores extremos de TVDI, según la siguiente clasificación: Muy húmedo (TVDI entre 0 y 0,1), Húmedo (TVDI entre 0,1 y 0,2), Seco (TVDI entre 0,6 y 0,8) y Muy seco (TVDI entre 0,8 y 1). Los valores “no extremos” o Medios aparecen en blanco. Los píxeles en negro se deben a falta de información para evaluar el índice, ya sea por nubosidad o por baja calidad de los datos.

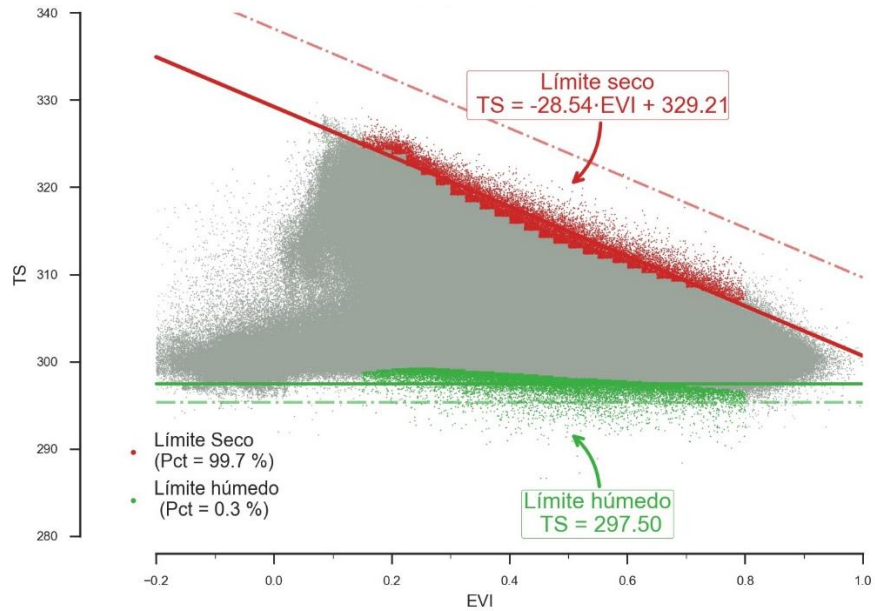
### Resumen metodológico

Uno de los índices de vegetación más utilizados en el mundo es el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), de fácil cálculo e interpretación. El mismo es utilizado para estimar el vigor y grado de cobertura de las superficies vegetadas. Por otro lado, la temperatura de superficie ( $T_s$ ) constituye el principal indicador de la distribución de la energía disponible para distintos procesos (flujo de calor latente y sensible, flujo de calor hacia el suelo).

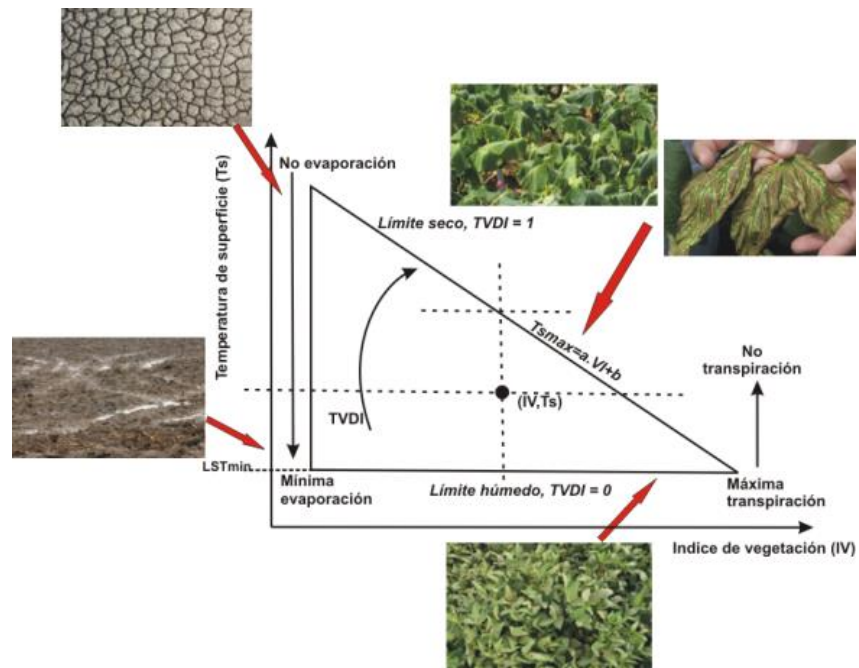
En las áreas cubiertas por vegetación, la disminución en la  $T_s$  a medida que se incrementa la densidad de vegetación (mayor NDVI) es producto del enfriamiento provocado en las plantas por el flujo de calor latente o evapotranspiración (ET). La pendiente de la línea de ajuste  $T_s$ /NDVI se puede interpretar como un índice de la resistencia superficial a la evaporación o a la evapotranspiración. Así, ante condiciones meteorológicas similares, las diferencias en cuanto a esta resistencia se deben principalmente a las variaciones en la disponibilidad de humedad del suelo. Esto sugiere que la pendiente de la recta es similar al factor de disponibilidad de humedad.

El TVDI, el cual combina la  $T_s$  e índice de vegetación fue desarrollado para establecer el estado de la humedad (sequedad) del suelo. Para calcular el índice es necesario realizar el diagrama de dispersión de los píxeles de la imagen satelital analizada (Figura 1) y definir los límites del espacio

Ts/NDVI para el área de estudio, definiendo el límite seco y el límite húmedo del triángulo (Figura 2). El modelo asume que la humedad del suelo es la principal fuente de variación de la Ts y que el TVDI está relacionado con la humedad del suelo debido a los cambios en la inercia térmica y al control de la evaporación y transpiración.



**Figura 1. Diagrama triangular de dispersión de la temperatura de superficie en función del EVI**  
 Fuente: Holzman et al. (2014a).



**Figura 2. Diagrama conceptual de la definición del TVDI. La posición de un píxel (IV, Ts) dentro del triángulo está determinada fundamentalmente por la disponibilidad de agua.**  
 Fuente: Holzman et al. (2014b).

Establecidos los bordes o límites del triángulo, es posible calcular el TVDI o índice de sequedad para cada píxel:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{smin}}{T_{smax} - T_{smin}}$$

donde  $T_s$  es la temperatura (en Kelvin) observada para un píxel dado;  $T_{smin}$  es la mínima temperatura de superficie en el triángulo y define el límite húmedo;  $T_{smax} = a \cdot IV + b$  (donde  $IV$  indica un índice de vegetación como el NDVI,  $a$  y  $b$  parámetros propios de la superficie) es la máxima temperatura observada para un valor dado de  $IV$  y  $a$  y  $b$  son parámetros de superficie propios de la imagen que definen el límite seco como una relación lineal entre los datos (Figura 2).

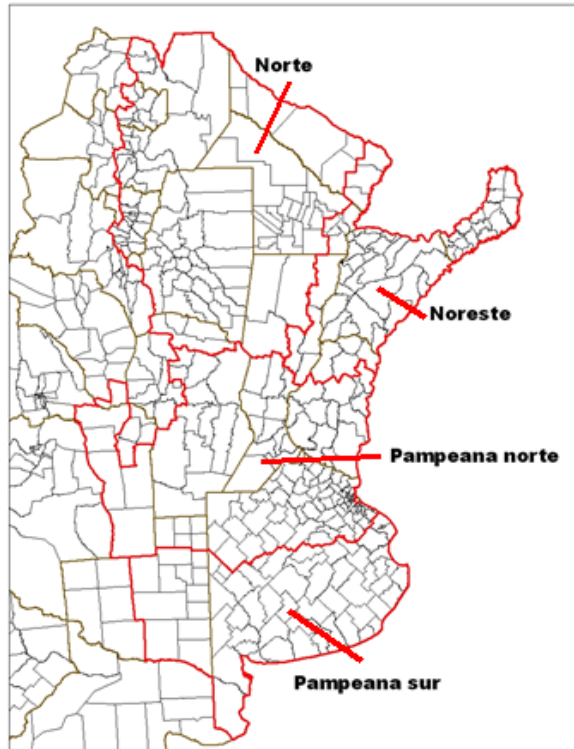
Esta proporción es un valor entre 0 y 1, donde el valor 0 indica máxima humedad y el 1 máxima sequedad.

En el caso del seguimiento mediante el TVDI por parte de la ORA, se ha utilizado el índice de vegetación denominado EVI (Enhanced Vegetation Index) en lugar del NDVI. El EVI es un índice que tiene en cuenta la dispersión atmosférica en la señal captada por el satélite al incorporar la reflectividad en la banda azul y tiene mayor sensibilidad en regiones vegetadas de altas densidades de biomasa.

Las imágenes que se utilizan para el cálculo del TVDI corresponden al sensor MODIS a bordo del satélite AQUA. Este satélite pasa sobre el centro de Argentina entre las 14 y 15:30, hora local GMT-3. El valor de EVI se obtiene del producto MYD13A2 en su versión 6 (período de 16 días con un tamaño de píxel de 1000m) y el de  $T_s$  del producto MYD11A2 también en la versión 6 (período de 8 días con un tamaño de píxel de 1000m).

Las imágenes se normalizaron, determinándose valores estadísticos fijos extremos para los lados del triángulo. De esta manera, los valores de TVDI se obtuvieron en base a esos parámetros de referencia. Esto se realizó para cada periodo de 16 días dentro del semestre octubre-marzo. Para la determinación de los parámetros estadísticos utilizados en la normalización se analizaron imágenes del periodo que va desde octubre de 2002 a Diciembre de 2016.

El proceso de determinación de los parámetros para la normalización se realizó para cuatro zonas geográficas en las que posteriormente se determinarán por separado los valores de TVDI a lo largo de cada campaña. Las mismas se obtuvieron a partir de tres áreas del mapa de zonas climáticas de INTA: climas templados (excluyendo templado serrano), tropical sin estación seca (noreste) y tropical con estación seca (norte) estas dos últimas conformando la región NN (con este nombre se hace referencia en los archivos TIFF). La región pampeana (climas templados) se subdividió en pampeana sur y pampeana norte, utilizando la isoterma media anual de 16°C para la división. Luego los límites de cada una de las cuatro zonas se ajustaron de la manera más aproximada posible a los límites políticos departamentales (figura 3). Finalmente se eliminaron las áreas con agua permanente y por encima de los 1000 msnm en la zona NN, según SIG 250 del IGN.



**Figura 3. Las cuatro zonas climáticas donde se monitorea el TVDI. Norte y Noreste se unieron para conformar una zona donde se calculan los parámetros para calcular el TVDI. A esta zona se le denomina NN.**

#### **Bibliografía en español disponible en la web**

Sánchez Martínez, M. y Carvacho Bart, L., 2013. Aproximación a la determinación del déficit hídrico en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile, a partir de imágenes MODIS y datos meteorológicos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 55: 109-124 (2011039).  
<http://www.redalyc.org/pdf/300/30028714008.pdf>

Pertovt, L.E., Rivas, R., Schirmbeck, J., Coelho, O.G. y Vives, L. (2008). Análisis de condicionantes ambientales del estrés hídrico de la vegetación en el sur de Brasil mediante imágenes NOAA – AVHRR. *Boletín Geológico y Minero*, 119 (1): 119-124.  
[http://www.igme.es/internet/boletin/2008/119\\_1\\_2008/ARTICULO%2010.pdf](http://www.igme.es/internet/boletin/2008/119_1_2008/ARTICULO%2010.pdf)

Holzman, M.E., Rivas, R y Piccolo, M.C., 2012. Utilización de imágenes de temperatura radiativa e índice de vegetación mejorado para el estudio de las condiciones hídricas en la región pampeana. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 28: 25-33. ISSN: 1851-7838.  
[www.asagai.org.ar/revista](http://www.asagai.org.ar/revista)

Holzman, M. E. y Rivas, R., 2012. Estimación del estrés hídrico en cultivos y su relación con el rendimiento. 1º Congreso Argentino de Teledetección, 18 a 21 de septiembre, Córdoba, Argentina.  
[http://cms.iafe.uba.ar/tele/tele\\_congreso/Poster/Agricultura/](http://cms.iafe.uba.ar/tele/tele_congreso/Poster/Agricultura/)

Holzman, M. y Rivas, R., 2013. Evaluación de la humedad del suelo mediante imágenes de temperatura radiativa e índice de vegetación. En: González, N., Kruse, E. Trovatto, M. y Laurencena, P. (Editores), Temas actuales de la hidrología subterránea. VI Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea, La Plata, 17 al 20 de septiembre de 2013. Editorial Edulp, ISBN 978-987-1985-03-06, 219-224 pp.

#### **Bibliografía en inglés:**

Holzman, M.E., Rivas, R. and Piccolo, M.C., 2014b. Estimating soil moisture and the relationship with crop yield using surface temperature and vegetation index. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28: 181-192. ISSN: 0303-2434. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243413001748#>

Holzman, M.E., Rivas, R. y Bayala, M., 2014a. Subsurface soil moisture estimation by VI-LST method. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. ISSN: 1545-598X (en prensa). DOI: 10.1109/LGRS.2014.2314617  
[https://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6803861&sortType%3Dasc\\_p\\_Sequence%26filter%3DAND\(p\\_IS\\_Number%3A4357975\)%26rowsPerPage%3D75](https://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6803861&sortType%3Dasc_p_Sequence%26filter%3DAND(p_IS_Number%3A4357975)%26rowsPerPage%3D75)

Sandholt I., Rasmussen, K., Andersen, J. 2002. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing and Environmental*. Volumen 79 (2-3), 213–224.