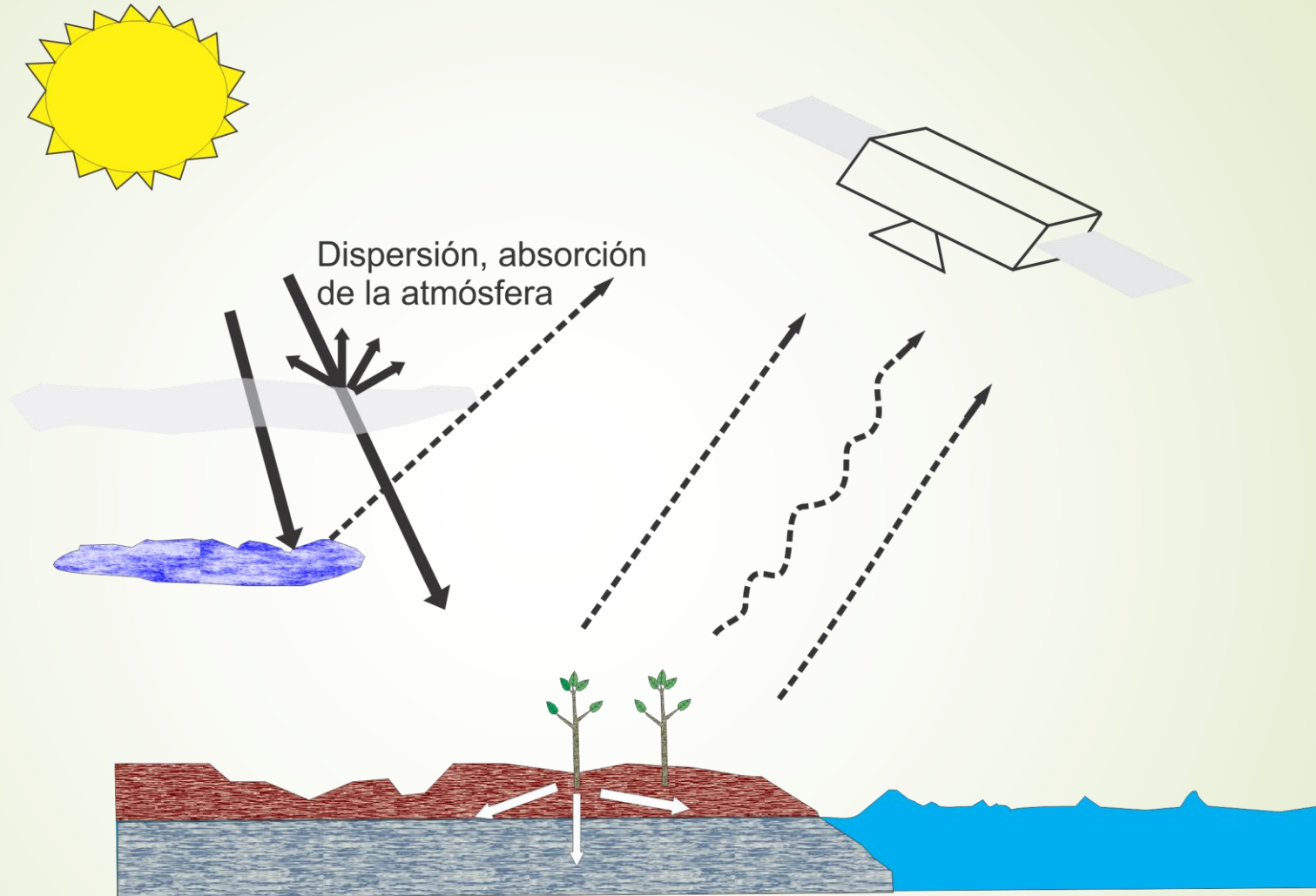






# **Teledetección-Estimación anticipada de rendimientos**

**Balcarce  
27 de mayo de 2019**

# Conceptos básicos

2

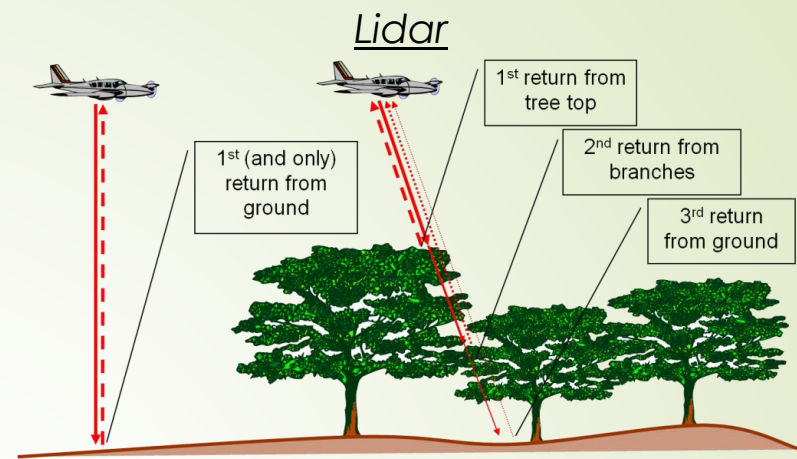


-  Radiación incidente
-  Radiación reflejada
-  Radiación emitida
-  Radiación transmitida

## Tipos de sensores y satélites

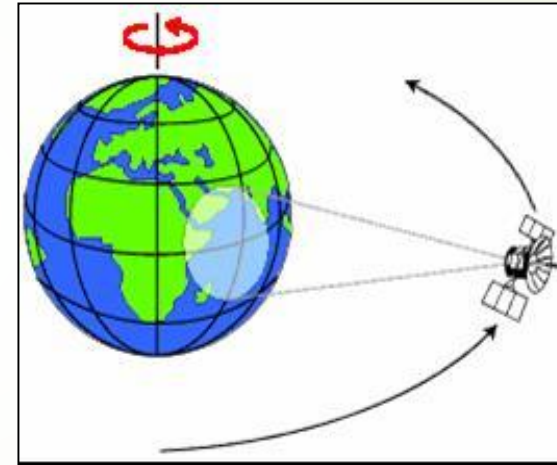
### Forma de recibir la energía

- Sensores activos (radar, Lidar)
- Sensores pasivos

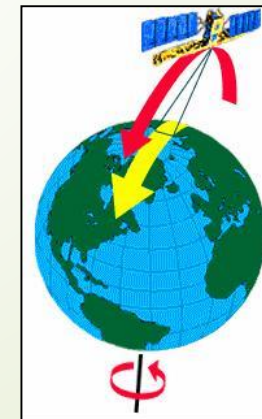


### Órbita de los satélites

- Geoestacionarios (Ecuatoriales)



- Heliosincrónicos (Polares)

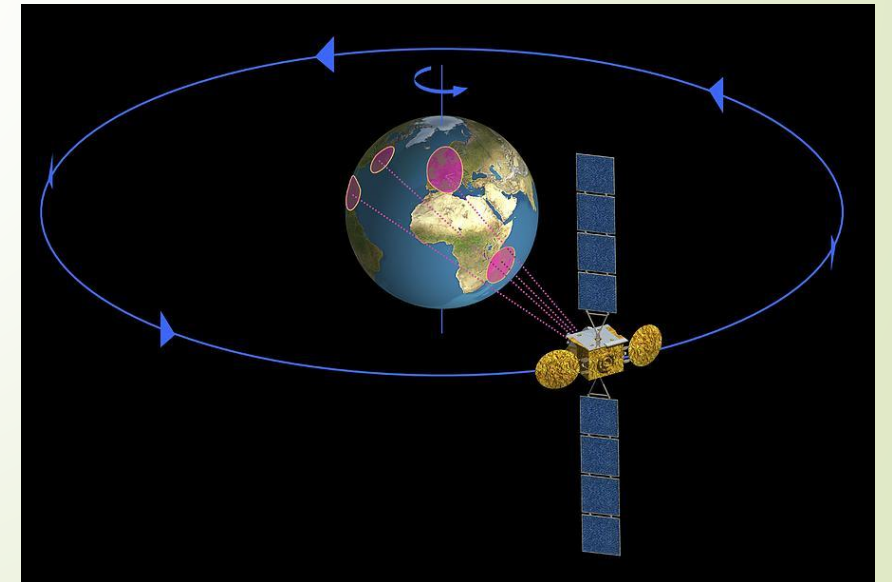


# Geoestacionarios

4

## ► Características

- órbita circular a una altitud de 36000 km
- órbita en el plano ecuatorial
- bajas resoluciones espaciales
- aplicaciones: comunicación, meteorológicas (Meteosat, GOES), geológicas. etc.

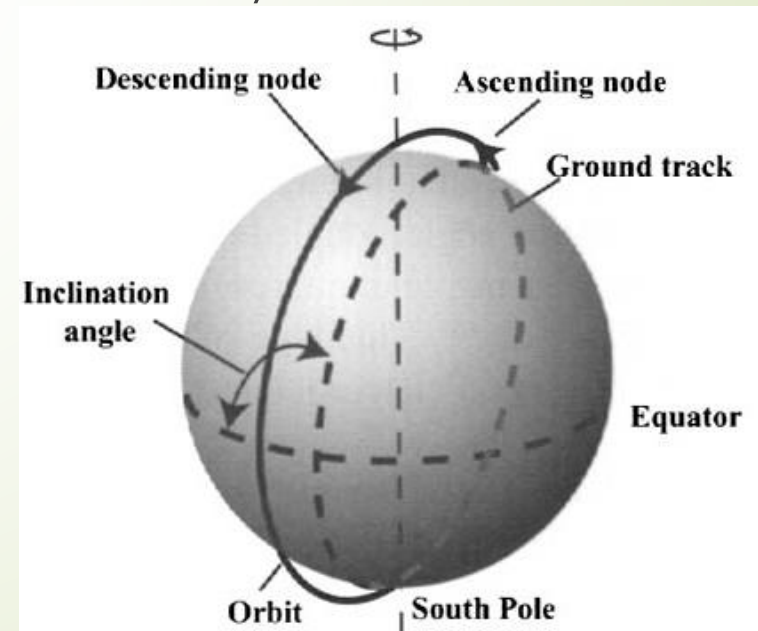


# Heliosincrónicos

5

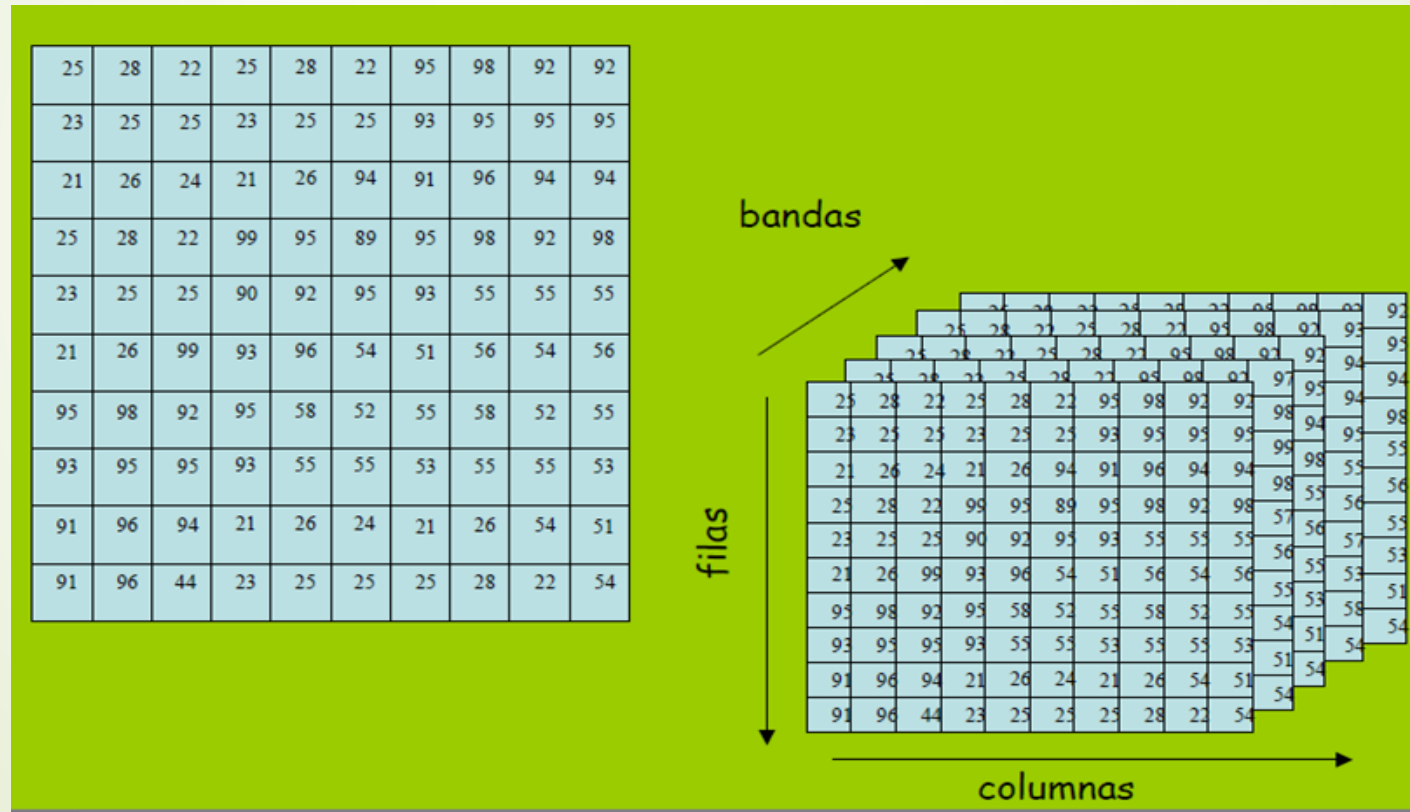
## ➤ Características

- órbita casi polar
- hora local fija a lo largo del año para una latitud dada
- escala de observación constante
- cambios en los ángulos de visión sólo por variaciones estacionales del ángulo solar
- altitudes mayores a los 300 km
- comúnmente usados para observación terrestre y meteorología de alta resolución
- Ej: SPOT, Landsat, Terra



## Qué es una imagen satelital?

Representación visual (y cuantitativa) de la energía electromagnética capturada por un sensor que se encuentra montado en un satélite artificial.



## Resoluciones de los sensores

7

Se distinguen 4 tipos de resolución: espacial, espectral, temporal, radiométrica.

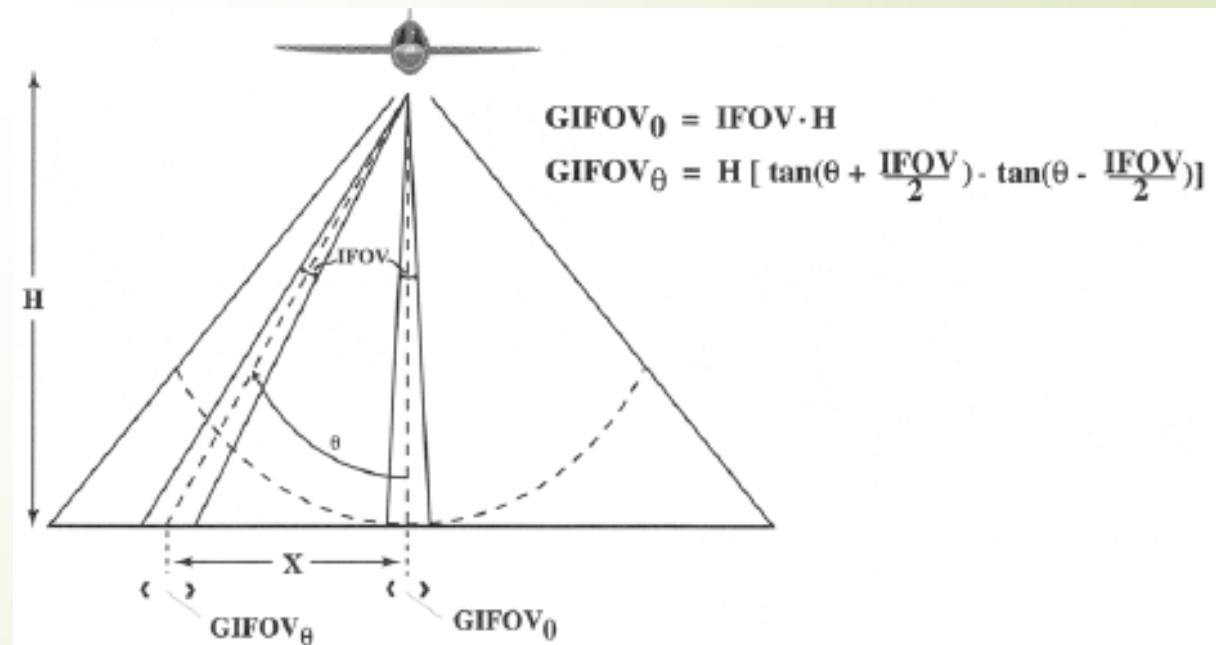
**Resolución espacial:** La resolución espacial es el tamaño del píxel, en algunos casos se emplea el concepto de IFOV (campo instantáneo de visión), que se define como la sección angular observada por un detector individual, ya que el tamaño del píxel en una escena es variable incrementándose conforme nos alejamos del punto nadir.

Conceptos:

**FOV** (Field of View): Extensión angular de la imagen en la dirección perpendicular al avance del sensor.

**SWATH** (Proyección del FOV): Anchura de la imagen en la dirección perpendicular al avance.

**GIFOV** (Ground Instantaneous Field of View): Proyección del IFOV en la superficie.

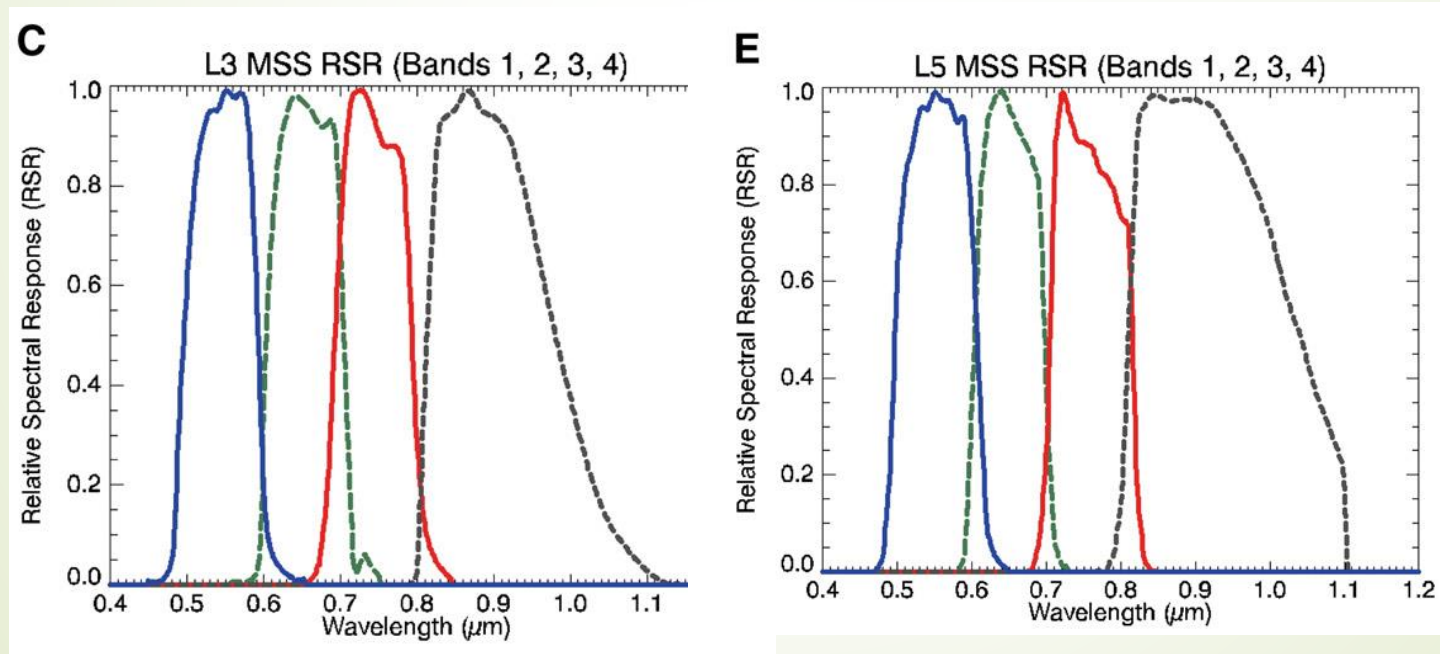


**Resolución espectral:** Número de bandas y ancho de banda.

Cuántas más bandas incluya un sensor, mejor, ya que cada banda constituye una variable para caracterizar la superficie captada.

Es preferible que estas bandas sean estrechas.

Si las bandas son muy anchas van a recoger valores promediados que ocultarán elementos de diferenciación.

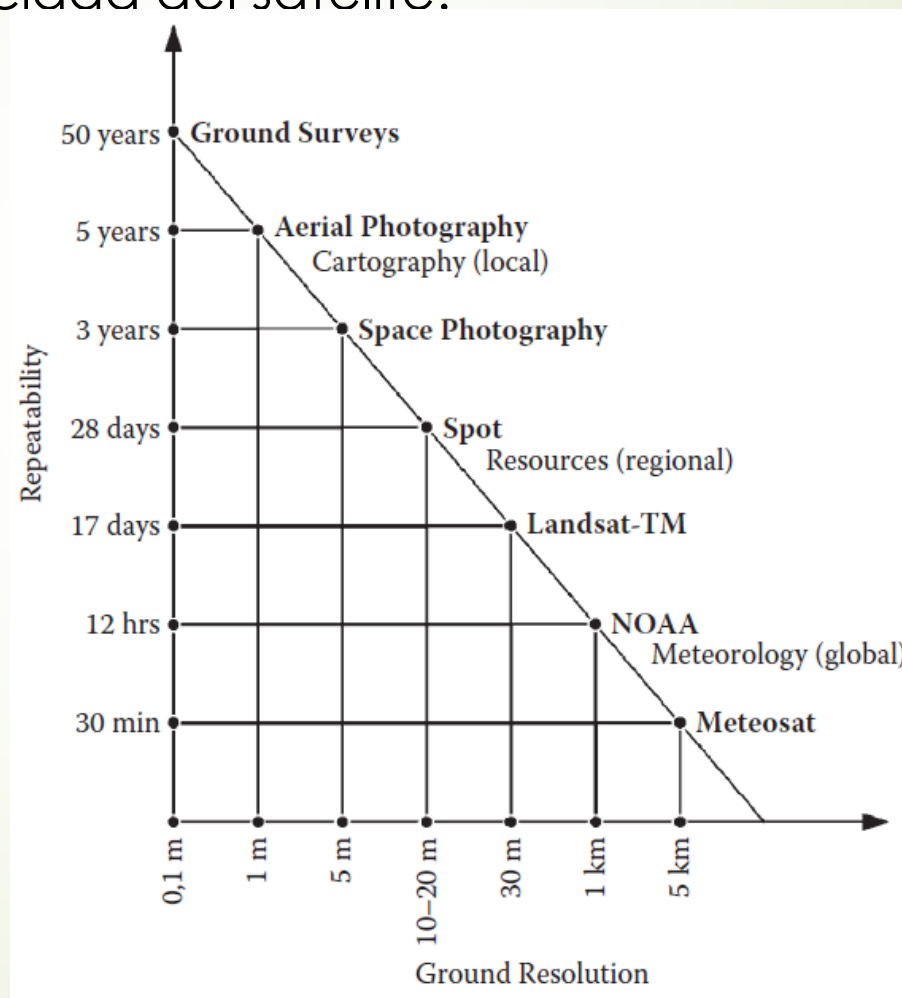


*Ejemplo. Funciones filtro de los satélites Landsat 3 y 5, bandas del Visible e IRC.*



**Resolución temporal:** Frecuencia de cobertura, periodo de revisita o ciclo de repetición. Se refiere a la periodicidad con que un sensor capta imágenes de una misma zona.

Indica el tiempo del paso del satélite sobre la vertical de un punto. La resolución temporal está condicionada por el tipo de órbita, el ángulo de barrido y la velocidad del satélite.



Ver video [MODIS](#)

**Resolución radiométrica:** Número de niveles de gris (energía) distintos que registra el sensor.

Indica la sensibilidad del sensor, es decir la capacidad de discriminar entre pequeñas variaciones en la radiación que capta.

Se expresa en número de bits que es capaz de almacenar cada píxel.

Niveles de energía =  $2^n$

donde  $n$  es el número de bits del sensor

**Ejemplos:**

LANDSAT, SPOT-5: 8 bits, valores de 0-255

Landsat 8: 12 bits (Valores de 0-4095)

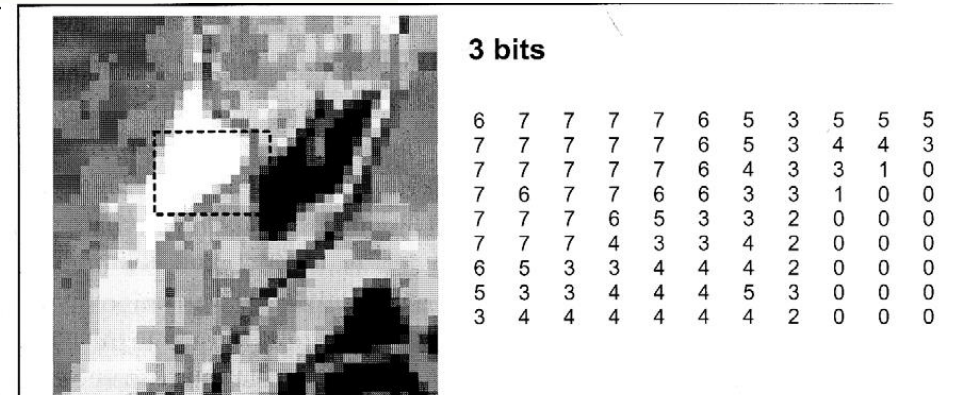
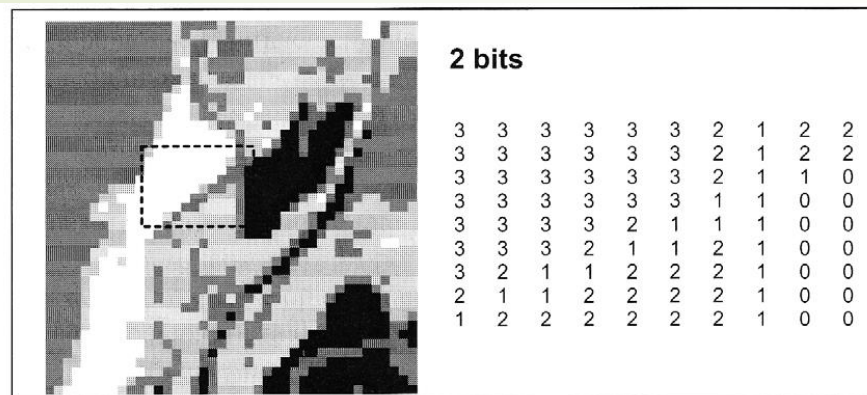
SPOT 6 y 7: 12 bits

MODIS: 12 bits.



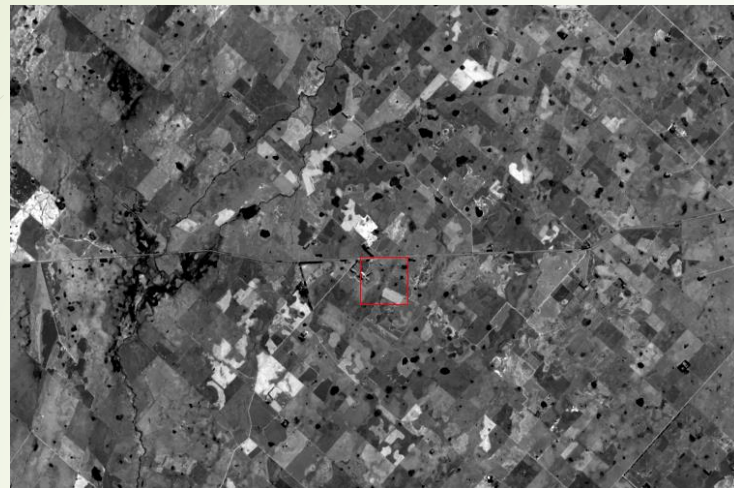
8bits (0-255)

2bits (0-3)



# Resoluciones espaciales y algunas aplicaciones hidrológicas

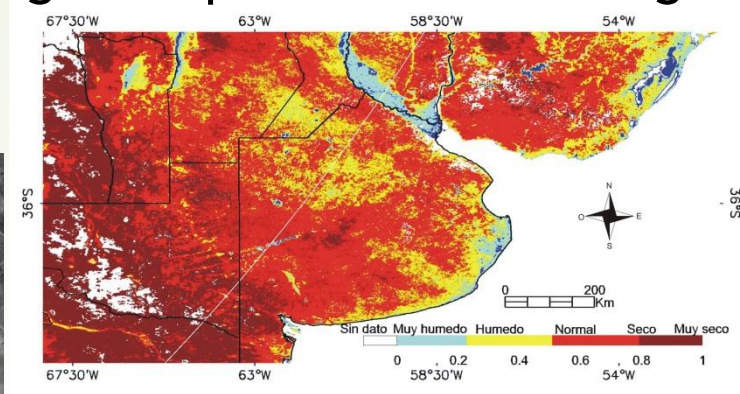
11



Landsat (30 m)



Ikonos (1 m)



MODIS (1 km)



## Escala de potrero

(Ej: manejo del agua en sistemas productivos; drenaje, erosión)

Ej.: Spot 5 en adelante, Sentinel 2A, Quickbird, Pleiades, UAV



## Escala de cuenca

(Ej: estado hídrico de la cuenca, humedad antecedente, estrés hídrico de cultivos)

Ej.: Landsat, ASTER, Sentinel, SAOCOM, C-BERS.



## Escala regional

(Ej: monitoreo del estado hídrico de cultivos, grandes cuencas)

Ej.: MODIS, SABIA-Mar, GOES

## Algunos sitios de adquisición de imágenes

<https://glovis.usgs.gov/>

<https://search.earthdata.nasa.gov/>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

[http://catalogos.conae.gov.ar/catalogo/catalogo-de-  
imagenes.html](http://catalogos.conae.gov.ar/catalogo/catalogo-de-<br/>imagenes.html)

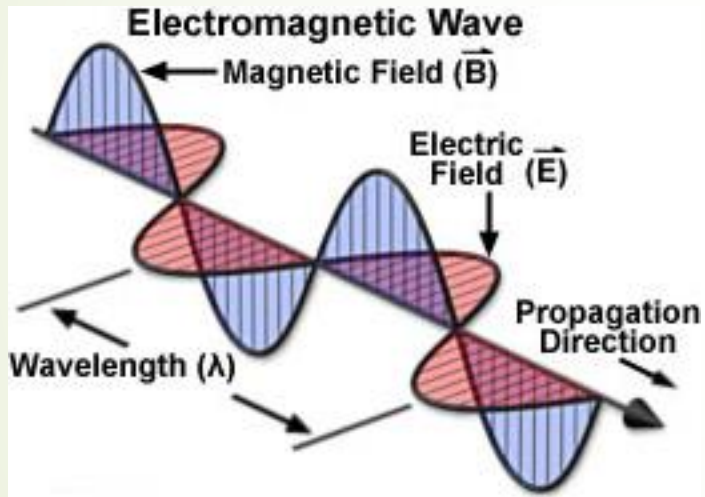
[espa.cr.usgs.gov](https://espa.cr.usgs.gov)

# Principios físicos de la teledetección

13

La **radiación electromagnética (REM)** se puede considerar bien como 1) una serie de ondas o bien como 2) un chorro de partículas, llamadas fotones.

Considerando la REM como onda, podemos hablar de la **longitud de onda  $\lambda$**  y la **frecuencia de oscilación  $f$** , que están relacionadas por la velocidad de la luz en el medio,  **$c$** .



$$\lambda f = c$$

$$(c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s})$$

$\lambda$ :  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ;  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$

Esta dualidad onda-corpúsculo hace que cada fotón tenga una energía:

$$E = hf$$

$$h = 6,6260693 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

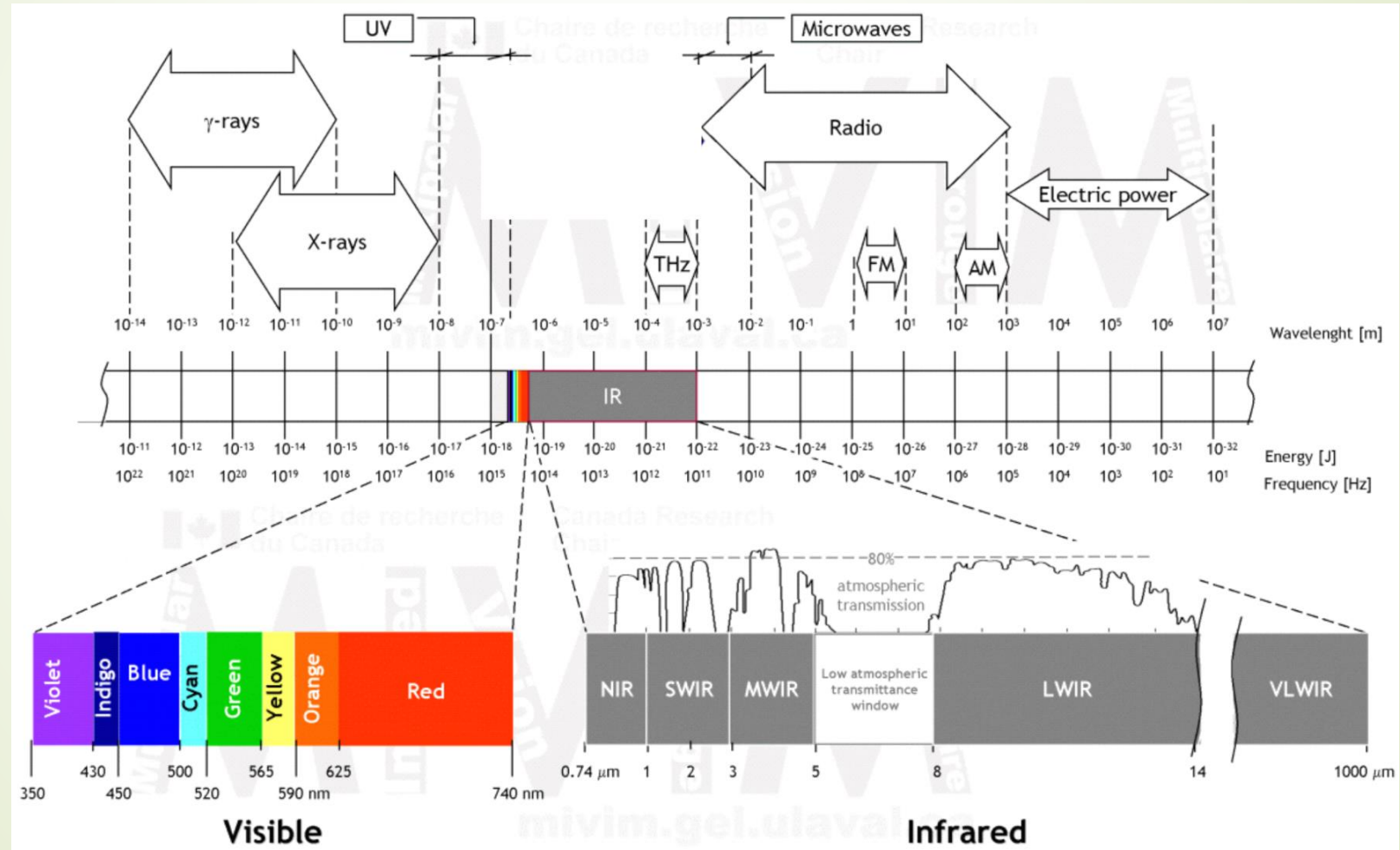
$E$ : energía radiante de un fotón

Considerándola como ondas...

## Espectro electromagnético

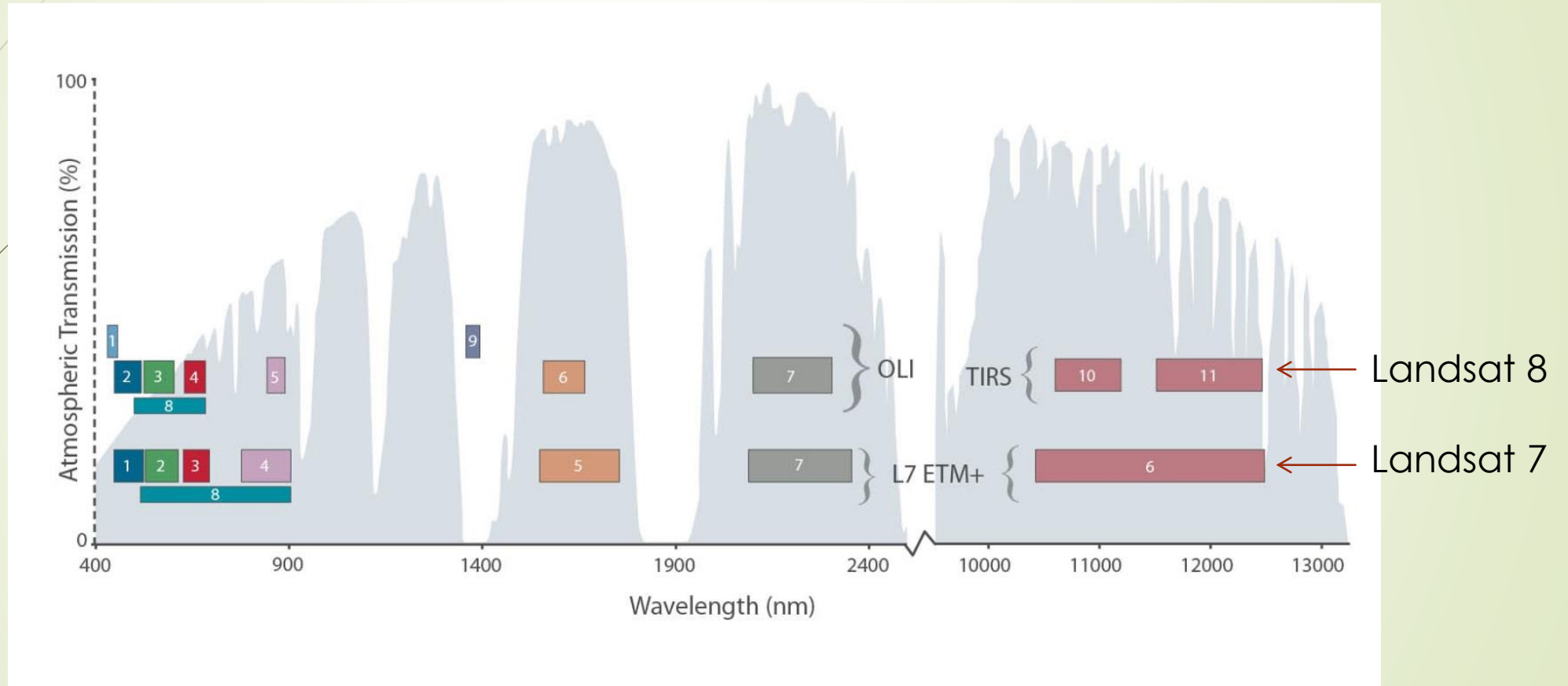
14

Cualquier tipo de energía radiante se puede definir por su  $\lambda$  o  $f$ . Su organización en bandas de comportamiento similar, da origen al espectro electromagnético.



Es importante el efecto de la atmósfera en la señal captada por el satélite...

Los sensores captan información de superficie en bandas ubicadas en las diferentes ventanas de transmisión.



Bandas de LANDSAT 7 y 8\* (LDCM) sensores (ETM+, OLI/TIRS). \*Lanzado en febrero de 2013.

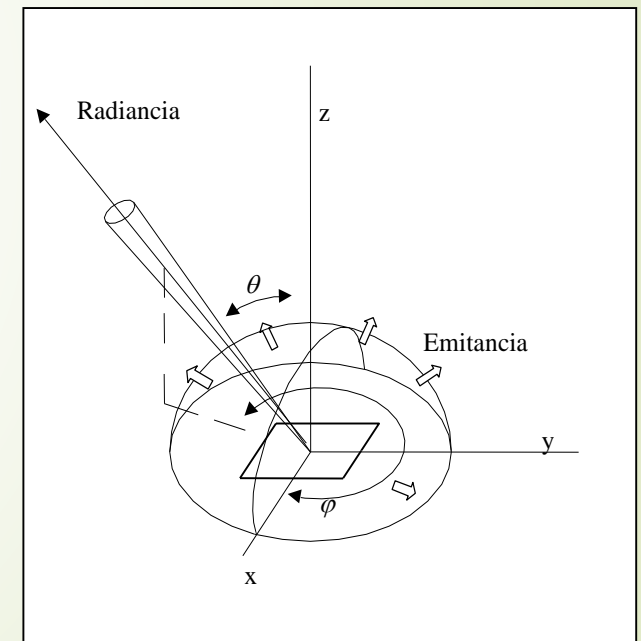
## Cómo se expresa esa energía que capta el satélite?

16

Una forma frecuente de expresarla es en valores de radiancia.

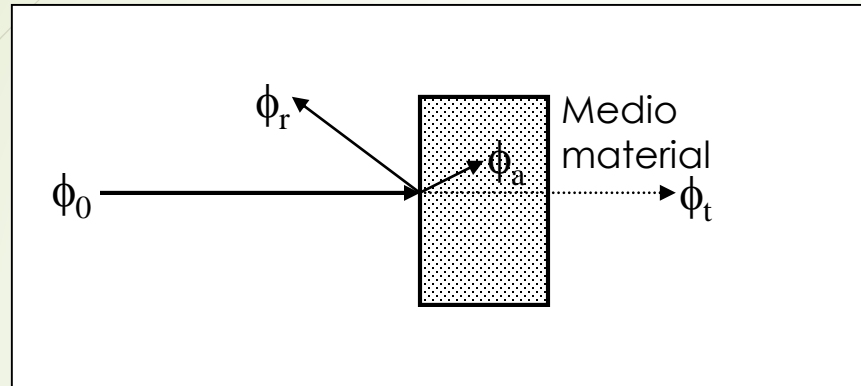
**Radiancia espectral ( $L_\lambda$ ):** flujo radiativo procedente de una unidad de área y longitud de onda, en una dirección dada, por unidad de ángulo sólido

$$L_\lambda = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \Omega \partial A \cos \theta} \quad (\text{W/m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$$





Otras son las **magnitudes relativas (adimensionales)** que surgen de la interacción materia-radiación



$$\phi_0 = \phi_r + \phi_a + \phi_t \Rightarrow \underbrace{\frac{\phi_r}{\phi_0}}_{\rho} + \underbrace{\frac{\phi_a}{\phi_0}}_{\alpha} + \underbrace{\frac{\phi_t}{\phi_0}}_{\tau} = 1$$

- ❑ **ABSORTIVIDAD (α)**: relación entre energía absorbida y energía incidente
- ❑ **EMISIVIDAD (ε)**: relación entre la emitancia de la superficie (M) y la de un emisor perfecto (cuerpo negro) a la misma temperatura
- ❑ **TRANSMISIVIDAD (t)**: relación entre energía transmitida y energía incidente
- ❑ **REFLECTIVIDAD (ρ)**: relación entre energía reflejada y energía incidente

# Leyes de la radiación electromagnética

Estas leyes permitirán una mejor interpretación espectral de los objetos.

18

**Ley de Planck:** expresa la emitancia espectral de un **cuerpo**

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left( \exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \right)} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}$$

(W/m<sup>2</sup> sr μm)

$$C_1 = 2hc^2 = 1,191 \cdot 10^8 \text{ Wm}^{-2} \mu\text{m}^4 \text{ Sr}^{-1}$$

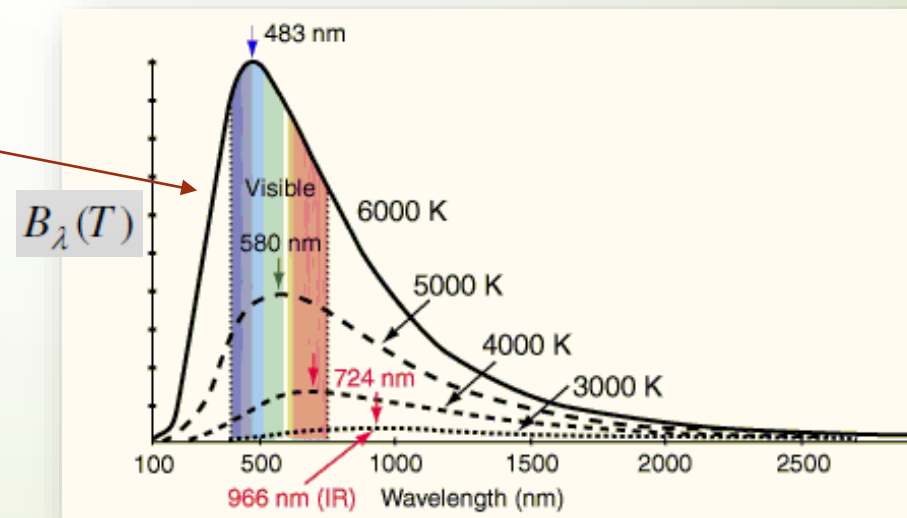
$$C_2 = hc/k = 1,4388 \cdot 10^4 \mu\text{m K}$$

**CUERPO NEGRO:** es un cuerpo ideal, emite toda la energía incidente (**EMISOR PERFECTO**)

Cualquier cuerpo que tenga una temperatura mayor al cero absoluto (-273 °C) radia energía. Más energía y a menor λ si esa temperatura es mayor.

Crecimiento rápido

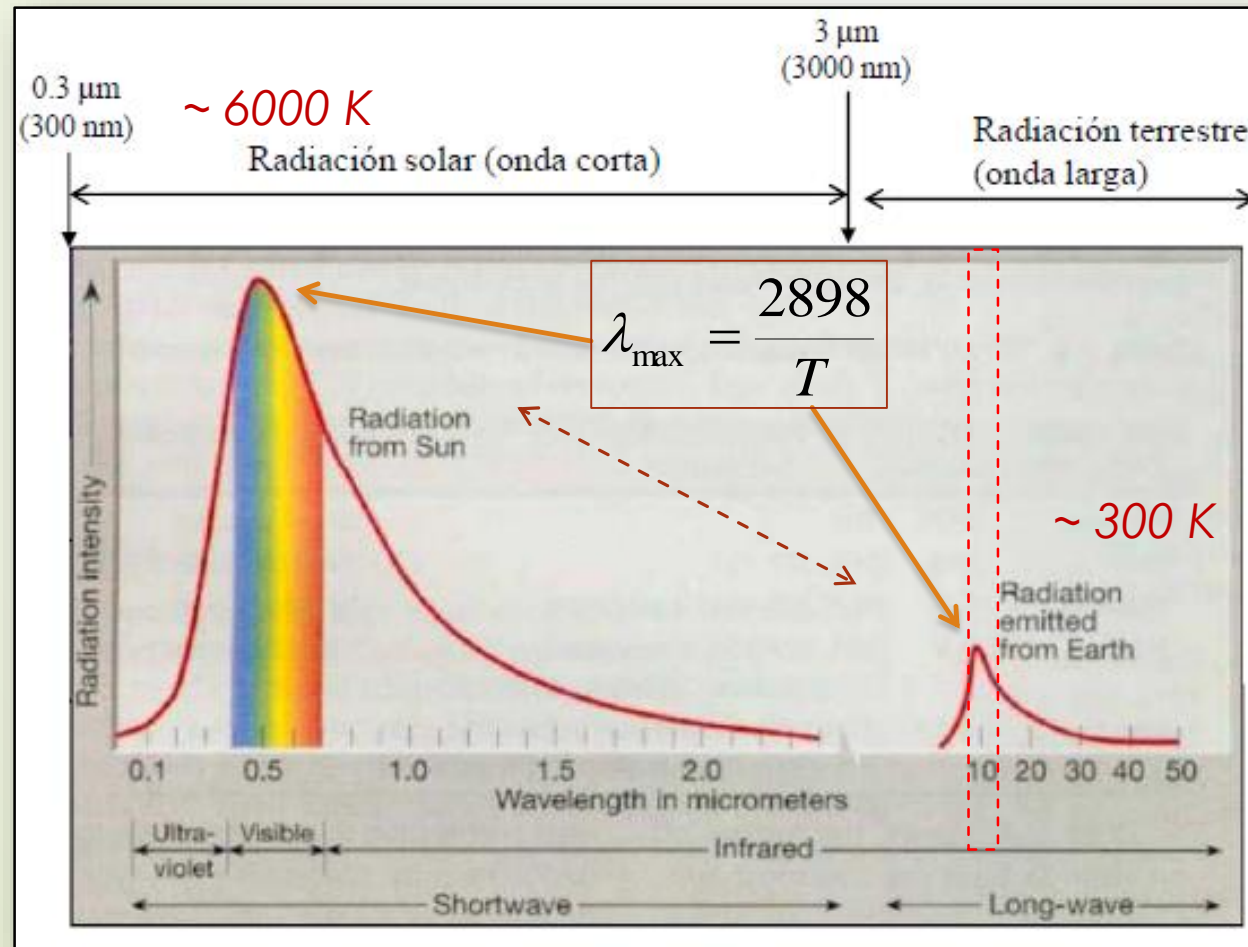
**Radiancia de un cuerpo negro a la temperatura T**



**Ley de Wien:** indica la  $\lambda$  a la que un cuerpo negro emite su máxima energía, según su temperatura. Se deduce a partir de la ley de Planck para una determinada temperatura  $T$ :

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} \quad (\mu\text{m})$$

Relación entre  $\lambda_{\max}$  y  $T$



Radiación emitida desde el Sol (onda corta) y desde la Tierra (onda larga).

## EMISIVIDAD

Importante el concepto de emisividad en sistemas naturales

Los sistemas naturales no se comportan como cuerpos negros perfectos, la energía absorbida y emitida es menor que la de un cuerpo negro a su misma temperatura.

Cualquier cuerpo a una temperatura determinada le corresponde una radiancia  $L_{(\lambda)}$ , que en función de la del cuerpo negro  $B_{(\lambda)}$ , se puede escribir como:

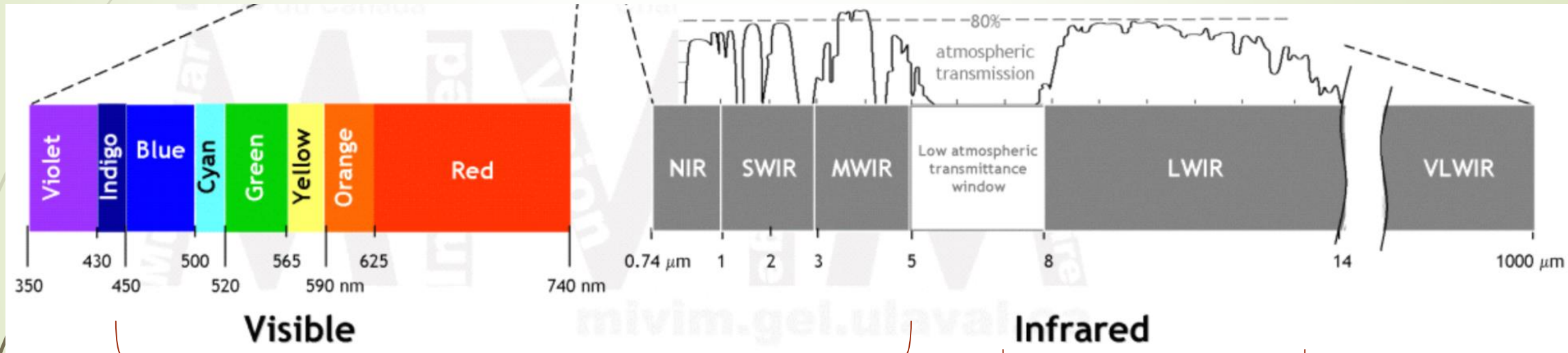
$$L_{\lambda}(T) = \varepsilon_{\lambda} B_{\lambda}(T)$$

$\varepsilon_{\lambda}(T) = cte = 1$	→	Cuerpo negro
$\varepsilon_{\lambda}(T) = cte < 1$	→	Cuerpo gris
$\varepsilon_{\lambda}(T) = cte = 0$	→	Reflector perfecto

← **SUPERFICIES NATURALES**

$$0 < \varepsilon < 1$$

## Espectro solar y térmico



*Espectro solar (Energía reflejada)*

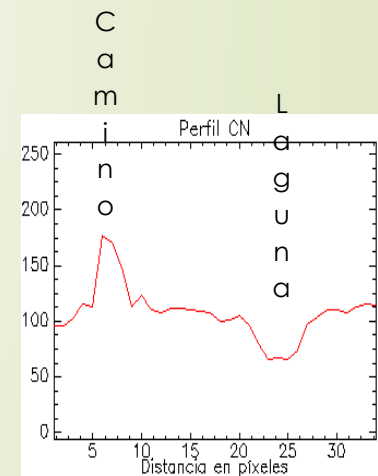
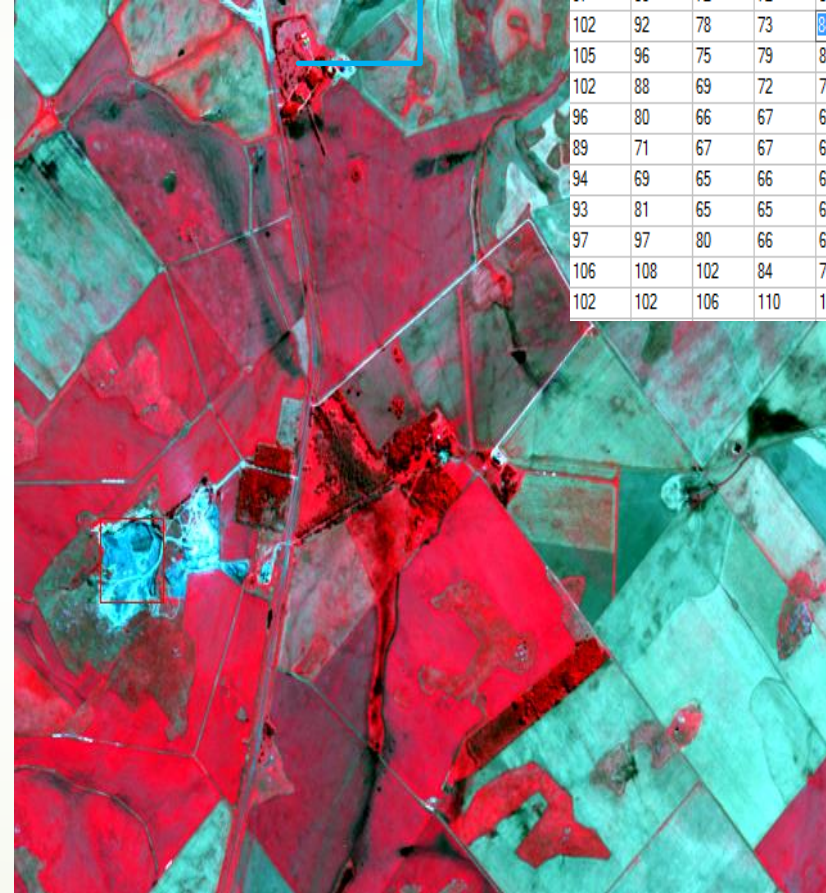
*Espectro térmico (Energía emitida)*

## Campo espectral de trabajo

Nos restringimos al uso de sensores pasivos a bordo de diferentes misiones de satélite. La región espectral que se abordará está comprendida entre 0,4 y 15µm.

Matriz de datos

102	104	106	107	110	108	107	107	106
107	109	109	109	109	107	107	109	109
110	104	103	103	101	102	106	109	110
107	98	97	96	96	103	108	112	114
104	103	98	99	97	105	112	111	113
108	106	101	92	92	103	110	107	105
101	94	83	77	85	99	107	110	106
97	83	72	72	80	95	108	113	109
102	92	78	73	84	96	105	113	110
105	96	75	79	88	95	105	114	112
102	88	69	72	75	82	101	108	109
96	80	66	67	66	74	97	104	110
89	71	67	67	66	73	92	100	103
94	69	65	66	67	70	92	100	97
93	81	65	65	67	67	96	104	101
97	97	80	66	69	71	90	107	108
106	108	102	84	75	82	94	105	111
102	102	106	110	111	102	100	103	106



Perfil en banda XS1.

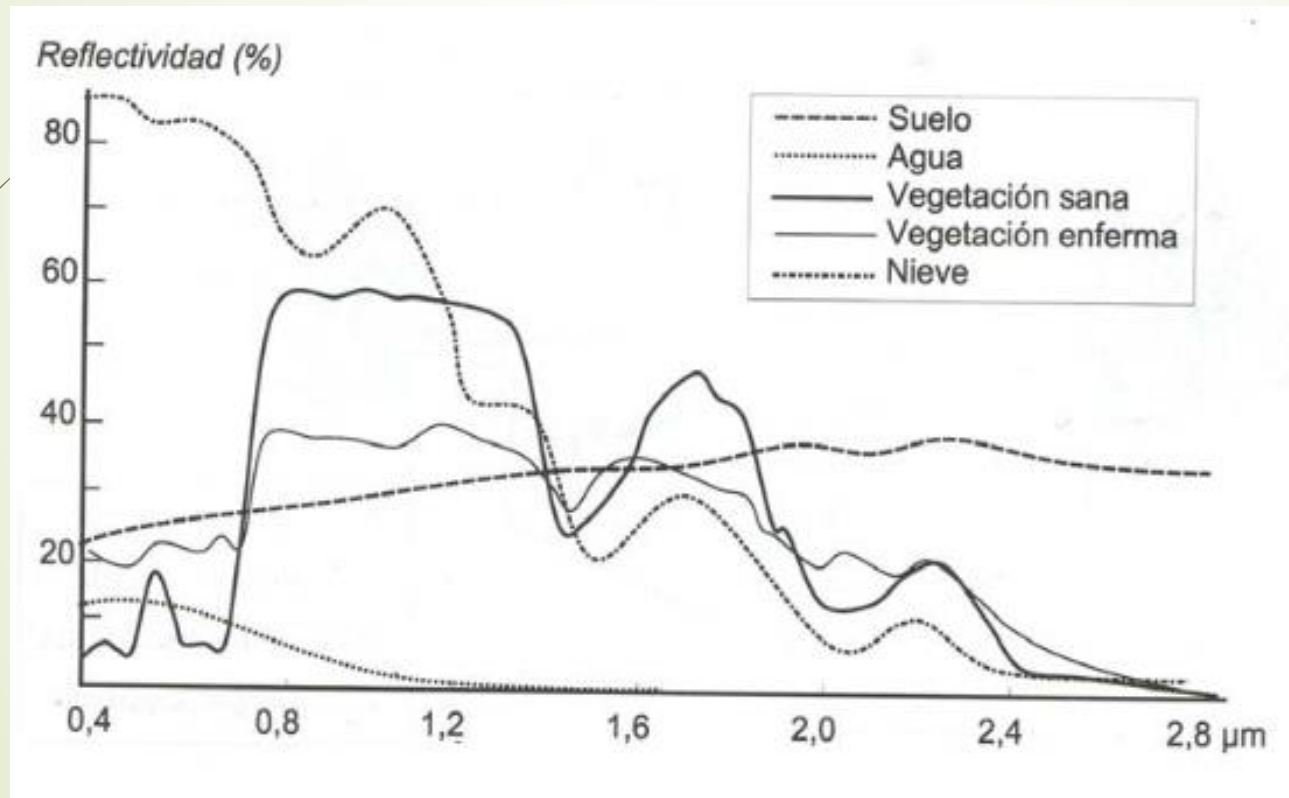
Composición falso color compuesto (XS3-IRc, XS2-R, XS1-V) SPOT 5 (área de Chillar, provincia de Buenos Aires, setiembre de 2012).

# 1-Espectro solar

## Firmas espectrales

23

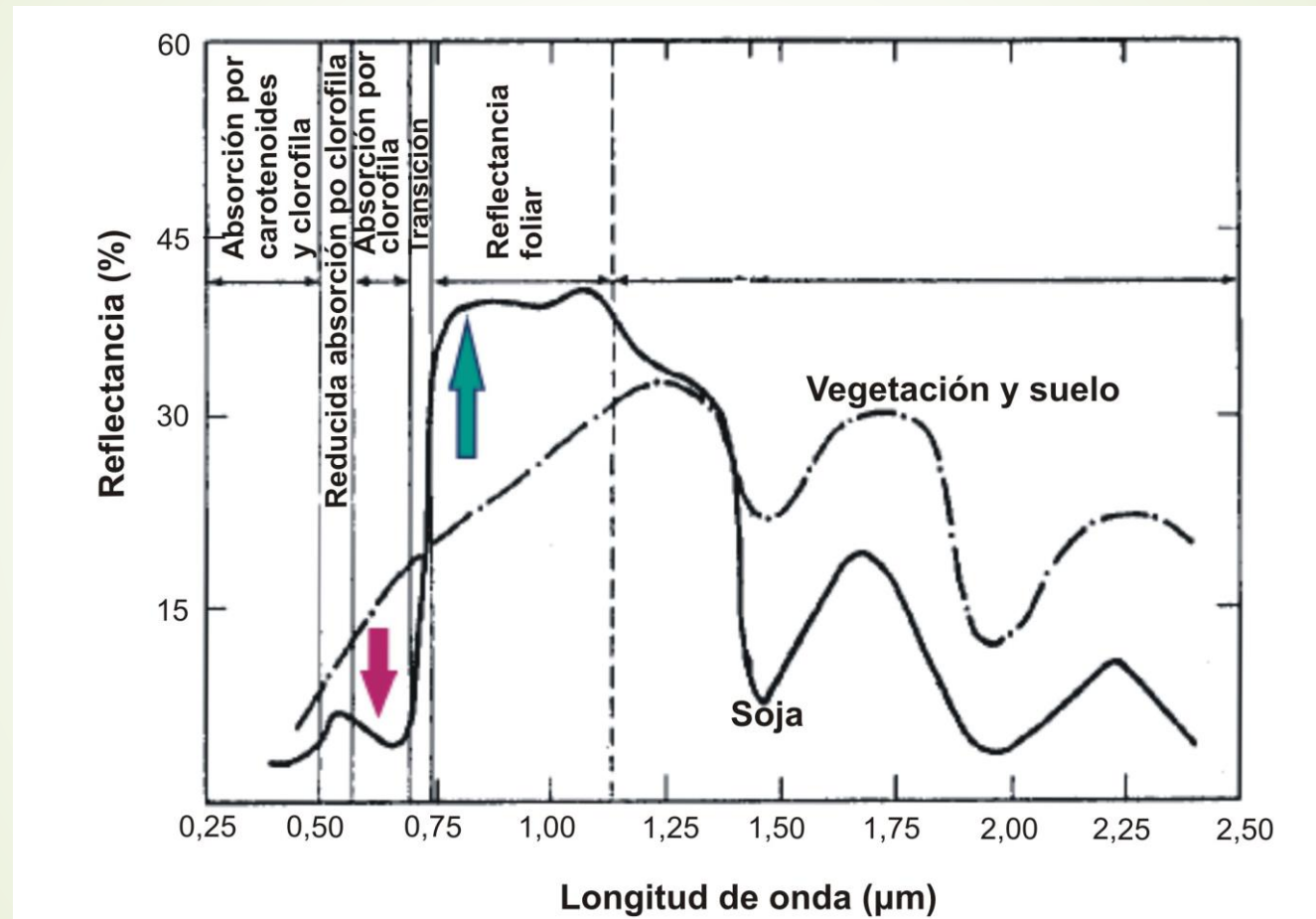
Existen distintos factores que modifican la reflectividad de una cobertura, pero en general para las cubiertas terrestres se pueden definir curvas típicas de reflectividad en las distintas bandas del espectro solar: firmas espectrales.



### Aplicaciones

- Detección de agua en superficie y suelo desnudo
- Cálculo de índices de vegetación, contenido de agua en hoja
- Variables de entrada para calcular evapotranspiración.
- ....

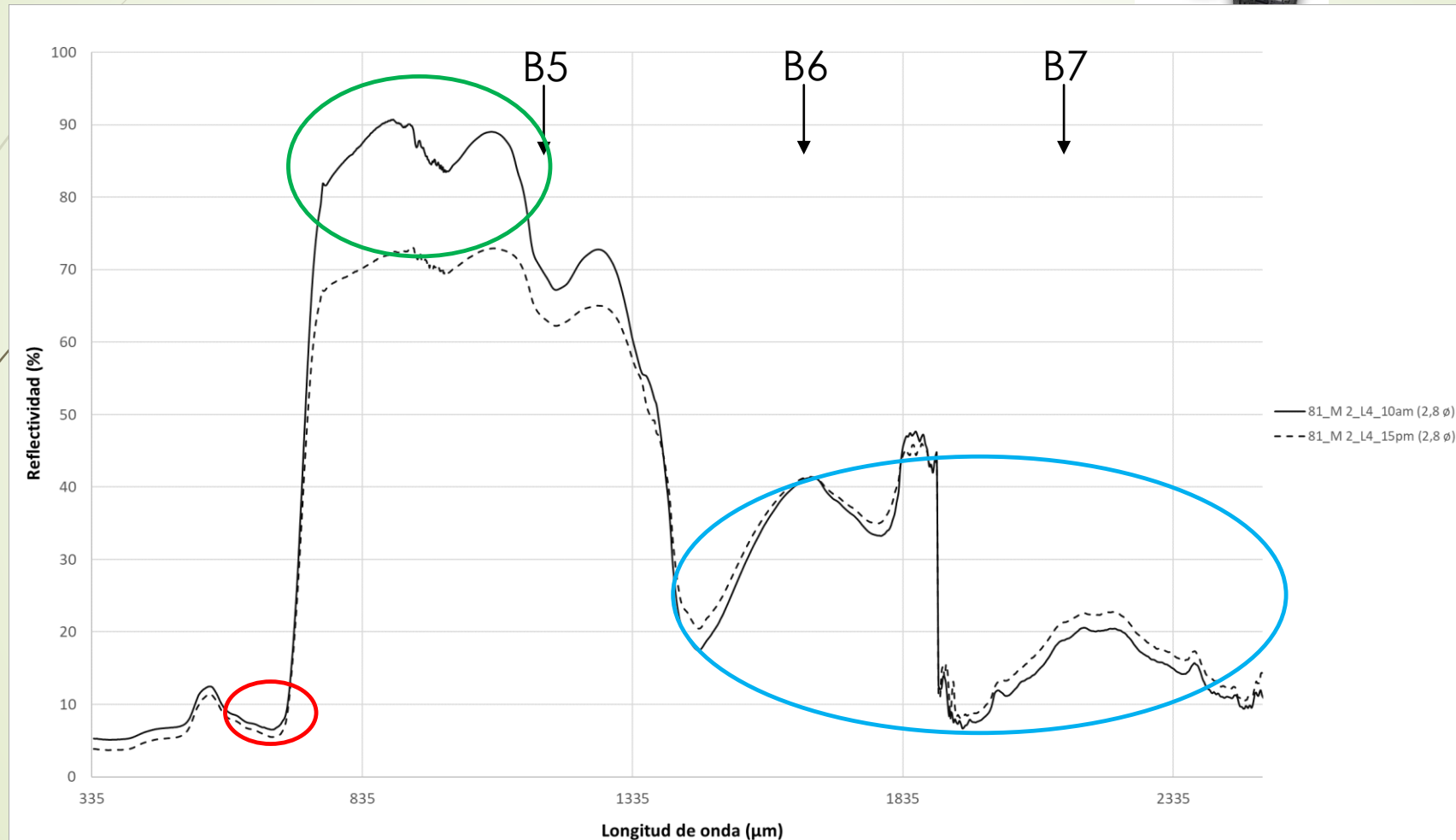
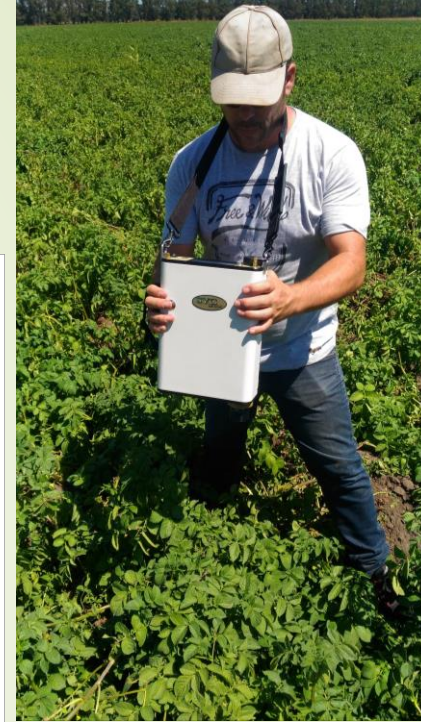
Fuente: Chuvieco



Curva de reflectancia para una vegetación fotosintéticamente activa (Tucker y Sellers, 1986)

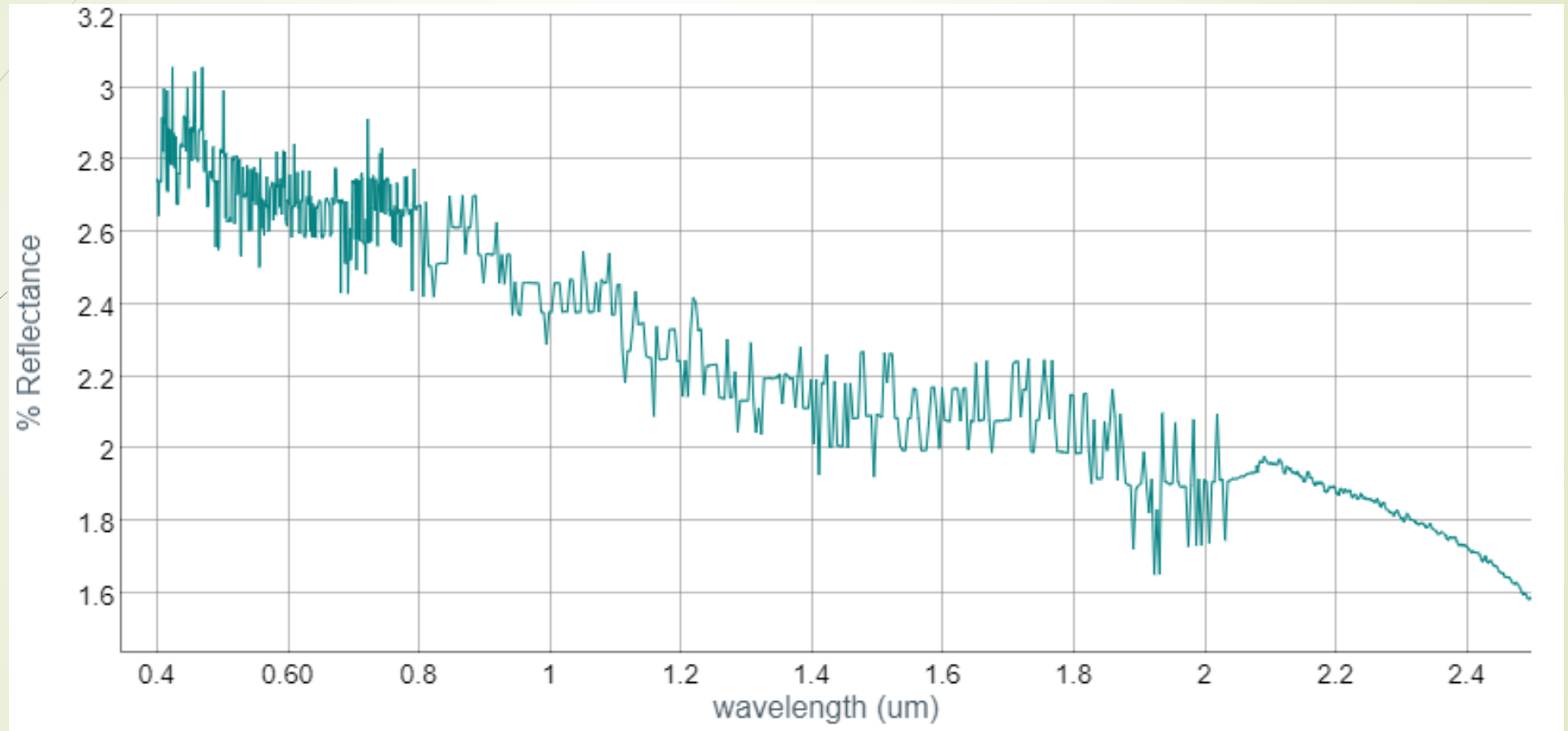


## Spectra Vista Corporation HR 1024i

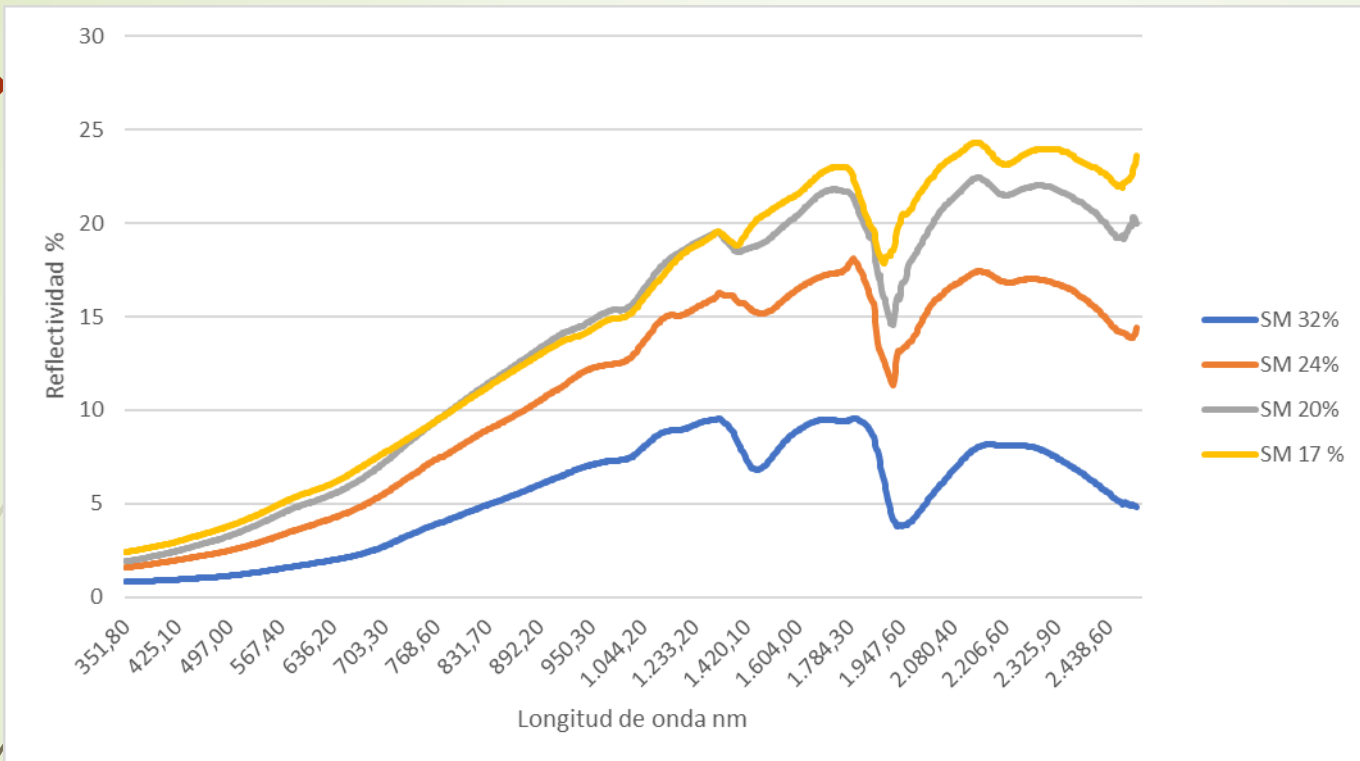


Firma espectral de soja medida a campo con distinto contenido de agua en la hoja. Se incluye la ubicación de bandas de MODIS en IRm

## Agua



Fuente: [speclib.jpl.nasa.gov/library](http://speclib.jpl.nasa.gov/library)



Firma espectral de suelo Argiudol con distinto contenido de humedad en superficie (Fuente: elaboración propia)

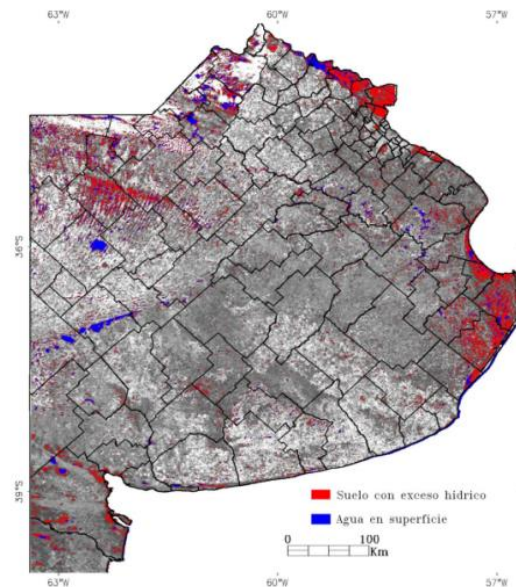
## Boletín hidrológico web

Datos provisionales (podrían contener errores involuntarios); el ihlla no se responsabiliza de su uso. Reproducción permitida citando las fuentes.

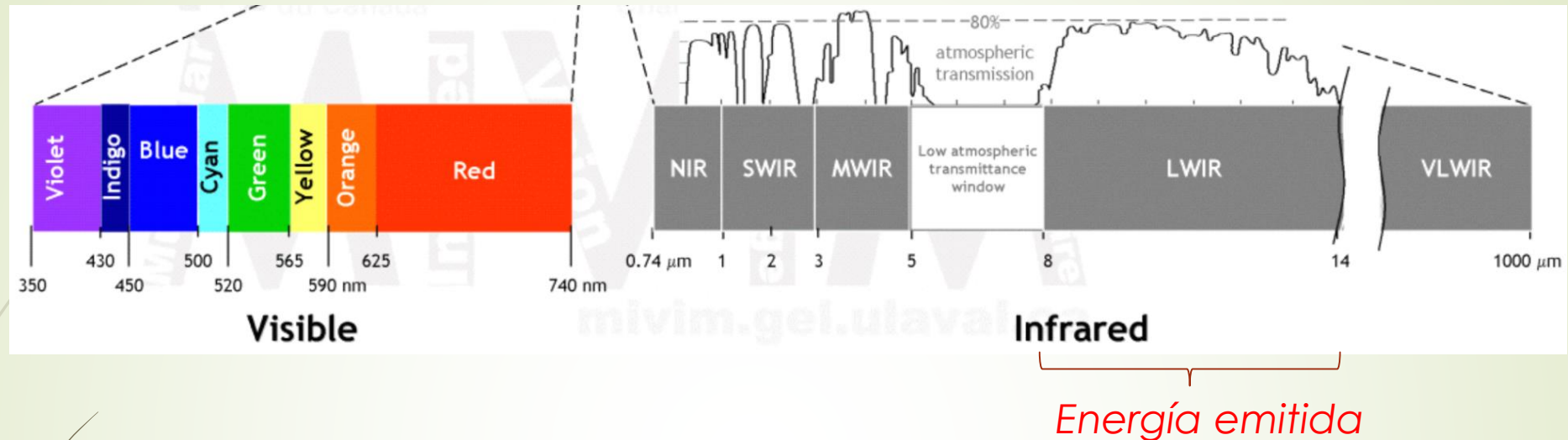
ihlla  
Instituto de Hidrología de Llanuras  
El Huevo, Avda. General  
Nro. 24; Fecha 1-sep-2016

### a) Situación regional mediante teledetección

Mediante el análisis de una imagen satelital diaria (reflectividad) se obtuvo el mapa de excesos hídricos en superficie para la provincia de Buenos Aires, donde se observan situaciones de exceso hídrico principalmente en el noroeste, sudoeste y este de la provincia.



## 2-Espectro térmico



- La temperatura promedio de la superficie terrestre es de aproximadamente 300 K y su emitancia espectral es máxima en el intervalo 8 - 14 μm (IRT). Esto nos permite detectar la energía emitida que procede de las distintas superficies en función de la temperatura.
- La vegetación, el suelo y el agua en el térmico tienen un comportamiento de gran interés para estudios ambientales. Actualmente es un sector del espectro con el cual se está logrando un importante aporte para estudios de estrés hídrico en las plantas, para la estimación del flujo de calor sensible y para la estimación de la evapotranspiración (flujo de calor latente) entre otros.

La energía captada por los sensores en el espectro térmico es la energía radiante del cuerpo (emitida según su temperatura y emisividad para esa  $\lambda$ ). A partir de esa energía, se puede calcular la temperatura radiativa del cuerpo o temperatura de superficie ( $T_s$  o  $LST$ ).



Emitancia:  $M_n = \epsilon M_B$

## Agua

El agua absorbe gran parte de la radiación incidente. Su emisividad es alta (0.93-0.99).

Debido a su alto calor específico e inercia térmica, los cuerpos de agua tendrán una menor  $T_s$  diurna que otras coberturas.

La temperatura superficial de cuerpos de agua, incluso el océano, es objeto de estudio en diferentes campos (eutrofización, corrientes oceánicas, procesos océano-atmosféricos).

## Suelos

Fundamentalmente su comportamiento está dado por el contenido de agua. Mayor contenido de agua produce menores  $T_s$  y mayor inercia térmica (día-noche) que suelos secos. La  $T_s$  en suelos es un indicador de la evaporación.



*Alta  $T_s$ , menor inercia térmica*



*Baja  $T_s$ , mayor inercia térmica y evaporación*

## Vegetación

31

Posee alta inercia térmica. Se mostrará más fría que otras coberturas como suelo (dependiendo su  $T_s$  del estado de humedad y salud de la vegetación).

La  $T_s$  de la vegetación es indicadora de la evapotranspiración.



Cultivo de maíz bajo estrés hídrico.

$T_s$ : 33-36°C

Hs: 14%

Suelo: Argiudol

15/02/2019



Cultivo de papa bajo riego.

$T_s$ : 26°C

Hs: 30%

Suelo: Argiudol

15/02/2019

## Microondas

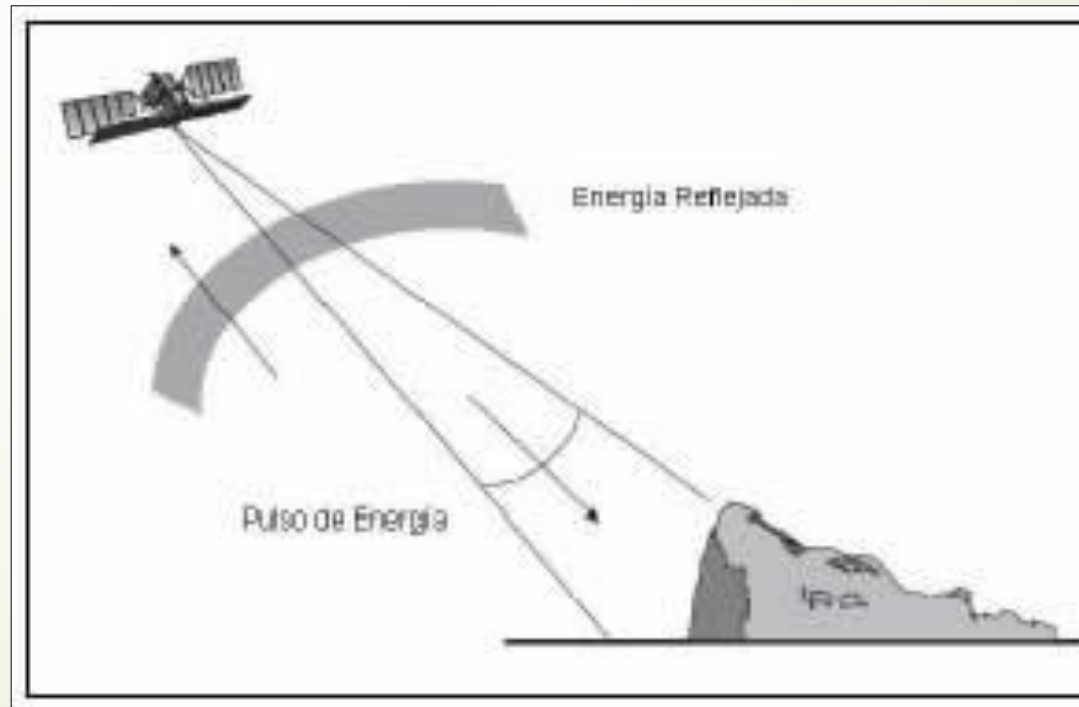
32

Operan en  $\lambda$  entre 0.5 y 75 cm.

La atmósfera es transparente a estas longitudes de onda.

Están asociadas a poca energía, por lo que los sistemas pasivos en general brindan baja resolución (varios km).

Los sistemas activos emiten pulsos de energía con una frecuencia y duración muy precisa y captan la energía retro-dispersada. Permiten monitorear de noche. Resoluciones: centímetros a 30-90m.



Fuente: Marchionni y Cavayas, 2014



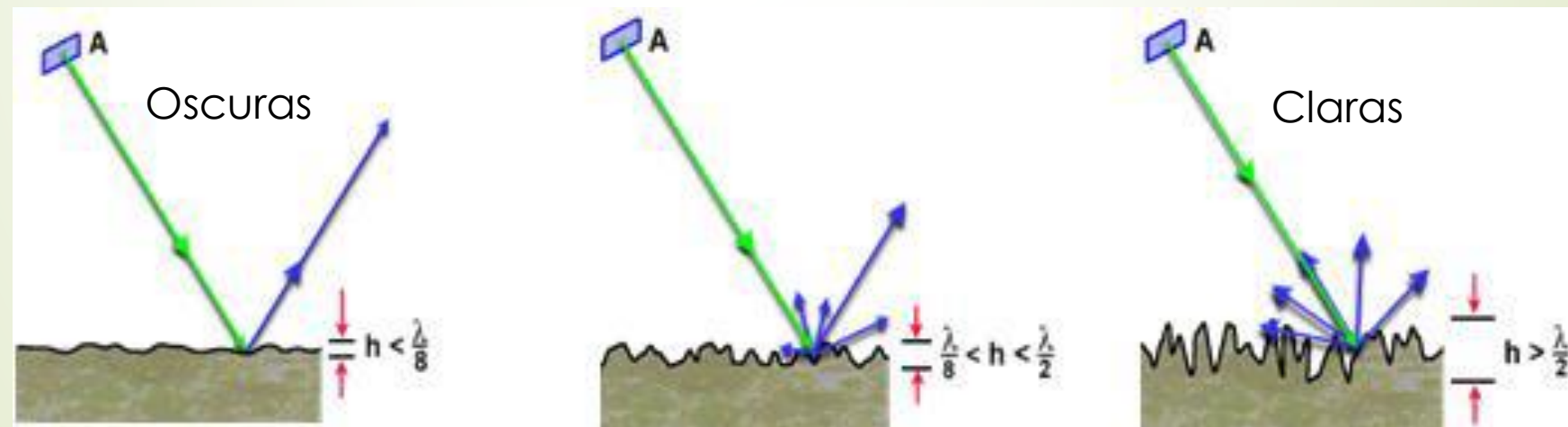
Cada píxel en la imagen de radar representa la intensidad de la radiación retrodispersada, dependiente del coeficiente de retrodispersión de esa área.

Ese coeficiente depende de varios factores:

-**rugosidad y morfología del terreno** (pendiente y orientación del ángulo de incidencia del haz)

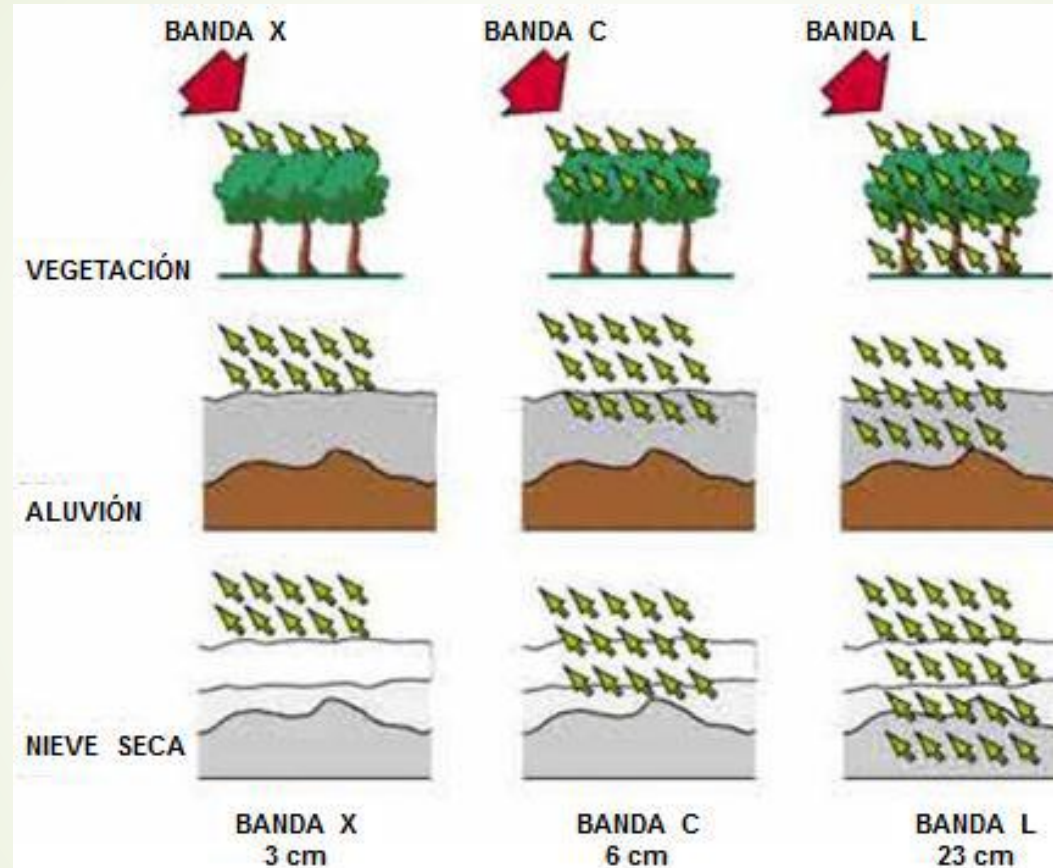
Incide en la señal de retorno. La rugosidad depende de  $\lambda$  y la altura de la cubierta ( $h$ ).

En base al tiempo en que se reciben los ecos se puede calcular la geometría del terreno (relieve y estructura de la vegetación).



Fuente: Masuelli, 2010.

Según la longitud de onda a la que trabajen, los radares pueden penetrar en la superficie (vegetación y suelo).



Fuente: SARMAP (2008)

### **-ángulo de incidencia del haz**

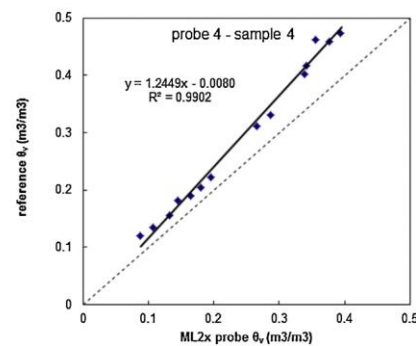
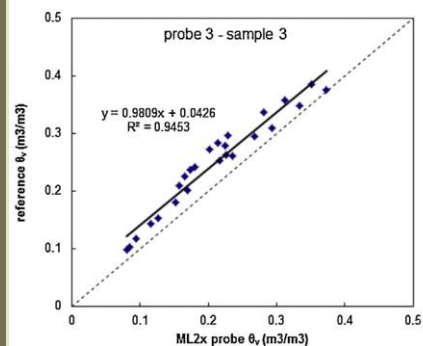
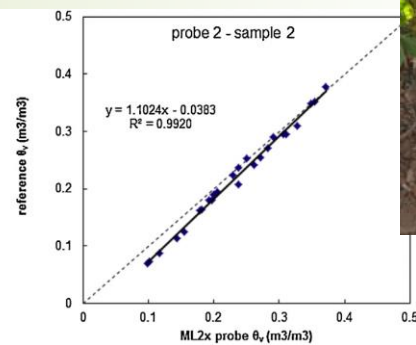
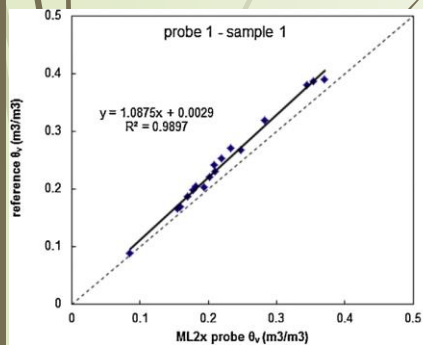
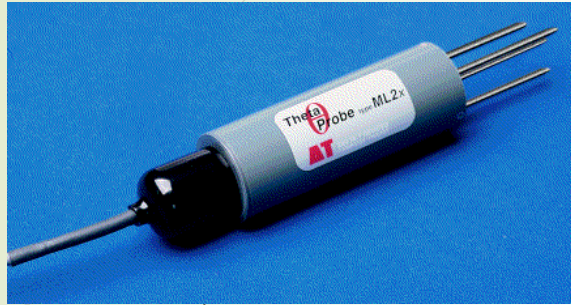
A mayor ángulo, en general, se corresponde un menor pulso de retorno (menor rugosidad y dispersión) y mayor penetración en vegetación.

### **-características eléctricas de los objetos**

La constante dieléctrica de un objeto refiere a la conductividad y reflectividad. Materiales secos tienen baja constante dieléctrica en microondas (3-8) con respecto al agua (80). Los objetos muy húmedos aparecerán en tonos claros, excepto cuerpos de agua sin olas. Actualmente hay un campo activo de desarrollo para el estudio del contenido de agua.

# SMOS Level-2 Soil Moisture Product Evaluation in Rain-Fed Croplands of the Pampean Region of Argentina

Raquel Niclòs, Raúl Rivas, Vicente García-Santos, Carolina Doña, Enric Valor, Mauro Holzman, Martín Bayala, Facundo Carmona, Dora Ocampo, Álvaro Soldano, Marc Thibeault, Vicente Caselles, and Juan M. Sánchez



MethodsX 4 (2017) 243–249



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

MethodsX

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/mex](http://www.elsevier.com/locate/mex)



Method Article

A method for soil moisture probes calibration and validation of satellite estimates

Mauro Holzman<sup>a,\*</sup>, Raúl Rivas<sup>b</sup>, Facundo Carmona<sup>c</sup>, Raquel Niclòs<sup>d</sup>



## **Ecuación de balance de energía- Evapotranspiración-estrés hídrico en cultivos**

- La evaporación (Ev) representa la cantidad de agua que se transfiere a la atmósfera proveniente del suelo y las masas de agua.
- En un suelo con cubierta vegetal, existe además otro aporte de agua a la atmósfera: la transpiración (T) de las plantas.

Este es el objeto principal de los estudios hidrológicos desarrollados en el GT-IHLLA, desde el punto de vista de su espacialidad.

<https://teledeteccion.wixsite.com/gtihlla>

De acuerdo con la ley de conservación de la energía, los procesos de intercambio entre el sistema tierra-superficie pueden ser descritos por la EBE.

La ecuación operativa, en una dimensión, que gobierna el balance de energía (BE) viene dada por la forma en que se distribuye la radiación neta ( $R_n$ ) a nivel de superficie entre el flujo de calor en el suelo ( $G$ ), el flujo de calor sensible ( $H$ ) y el flujo de calor latente ( $LE$ ) (Brutsaert, 1984):

$$R_n + G + H + LE = 0 \quad (\text{W m}^{-2})$$

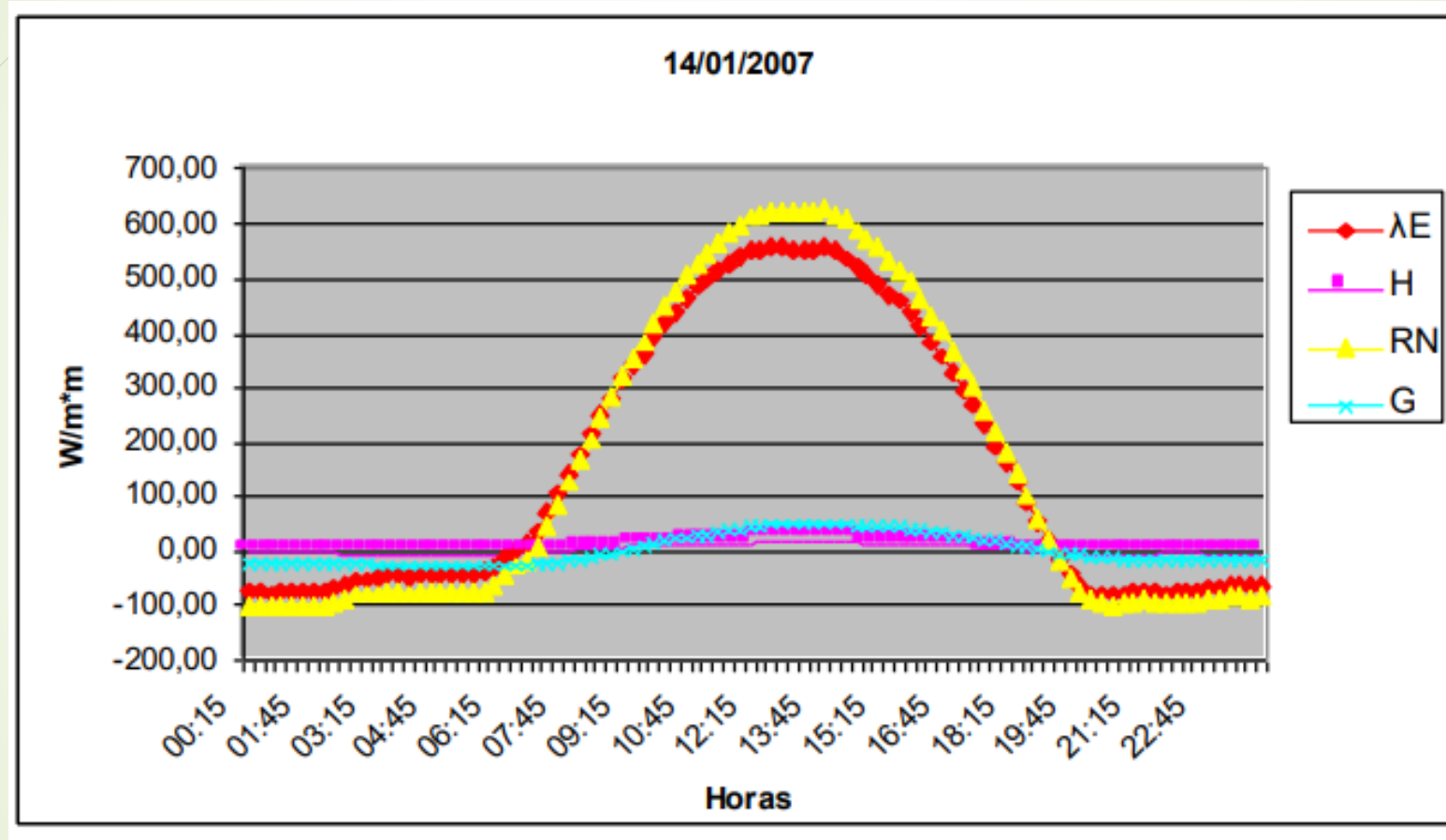
En condiciones de alta humedad en el sistema suelo-planta, el término más importante es  $LE$ .

En condiciones de poca humedad,  $H$  es importante y la  $T_s$  se incrementa.

$G$  se puede considerar despreciable en condiciones de alta cobertura de vegetación.

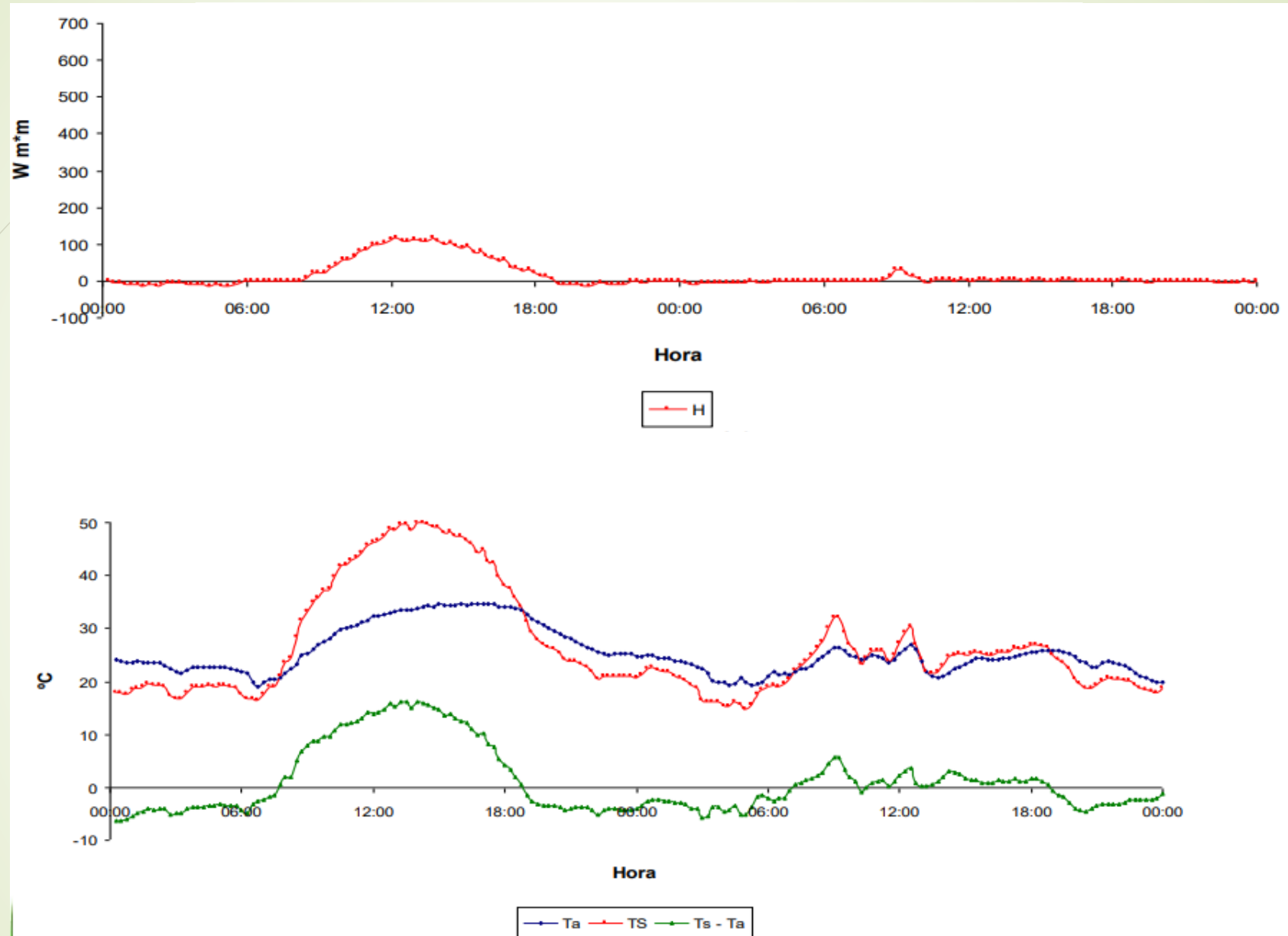


*Estación de balance de energía*



Distribución de la Rn diaria





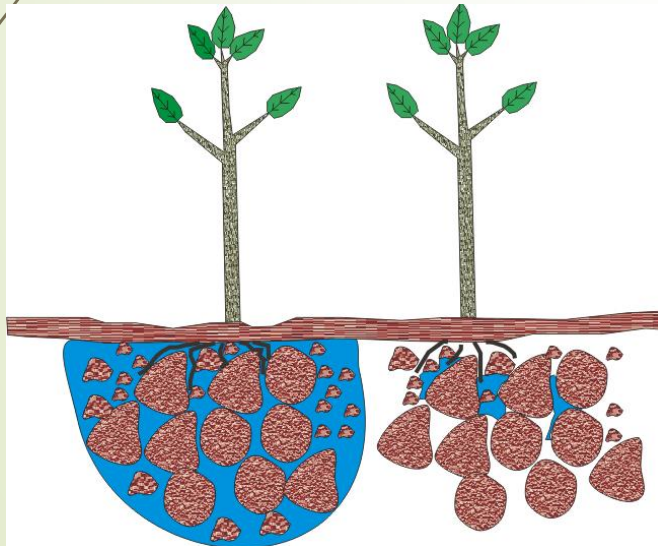
*Flujo de calor sensible y comportamiento de  $T_s - T_a$*

# 1. Estimación de agua disponible en cultivos

El conocimiento espacial de la humedad del suelo es fundamental para distintas disciplinas.

Humedad del suelo ( $H_s$ ) incide

Disponibilidad para  
cultivos



proporción de la  
precipitación que infiltra  
o escurre



## Métodos puntuales

Operativamente implican altos costos económicos

Necesidad de datos auxiliares (disponibilidad?)

Consideran la variabilidad espacial?

Necesidad de metodologías complementarias para la estimación espacial

Aplicación de la teledetección

## **Teledetección:**

### **1) Imágenes Radar**

- Captan información aún en cielo con nubes.
- Limitación: estiman Hs superficial; escasa resolución espacial (20-40 km), visitas 1 a 3 días.
- Radares activos: mejor resolución espacial (10-30 m), período de revisita de 16 a 25 días.

### **2) Imágenes reflectivas y térmicas**

- Limitación: no captan información en cielo con nubes.
- Buena resolución espacial (30 m), visitas 1 día.
- Información del balance de energía en suelo-planta
- Relación con humedad en el perfil de suelo

# Relación entre Ts e índices de vegetación

45

## Índice de vegetación



Respuesta en **IRc y rojo** → vigorosidad y salud de la vegetación por cambios en **Hs**

**Baja Hs**

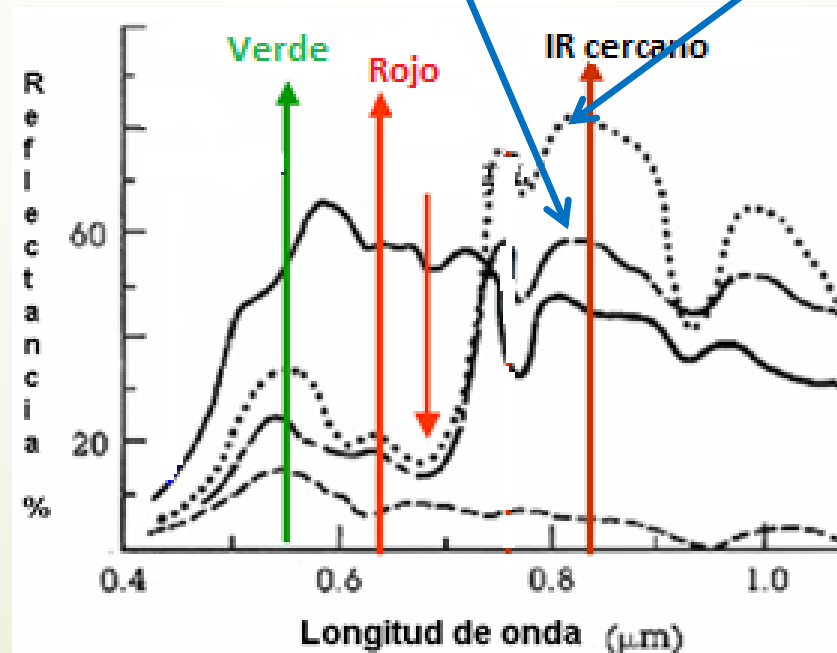


> Ts (<ET)

**Alta Hs**

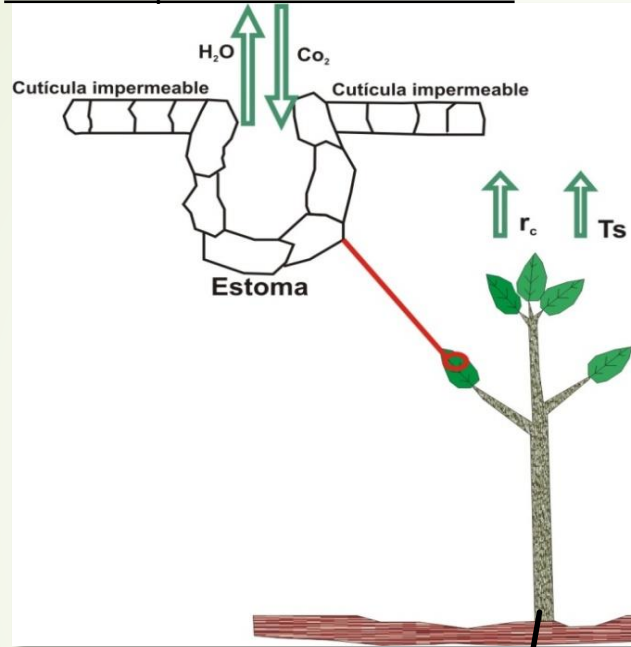
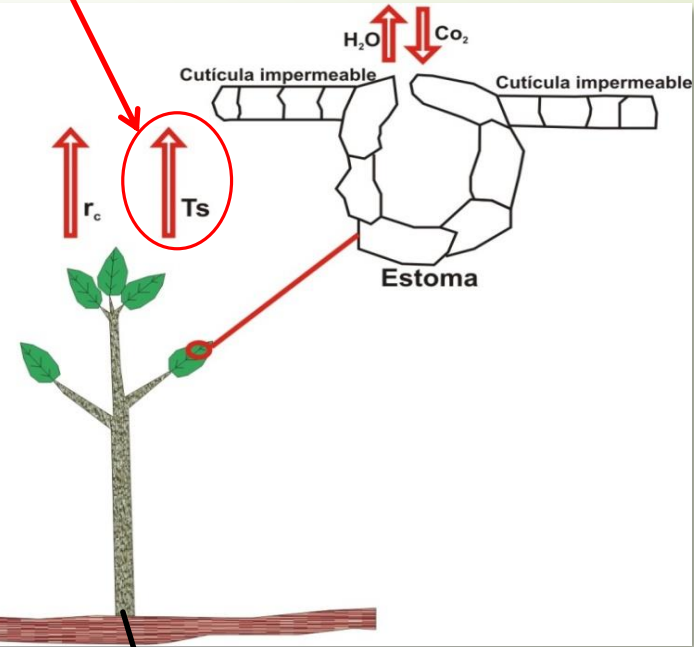


< Ts (>ET)



Ej:  $NDVI = (IRc - rojo) / (IRc + rojo)$

Donde **IRc**=reflect. de superficie en IRc  
y **rojo**=reflect. de superficie en rojo

T<sub>s</sub>Alta disponibilidad de H<sub>s</sub>< T<sub>s</sub> (>ET)Captada desde satélite (IRt)Baja disponibilidad de H<sub>s</sub>> T<sub>s</sub> (<ET)

La humedad del suelo como factor limitante de la evapotranspiración.

Índices de vegetación: muestran los cambios en etapas avanzadas de estrés hídrico.

Ts es mucho más dinámica, incrementándose al inicio del estrés.

Incremento del estrés hídrico

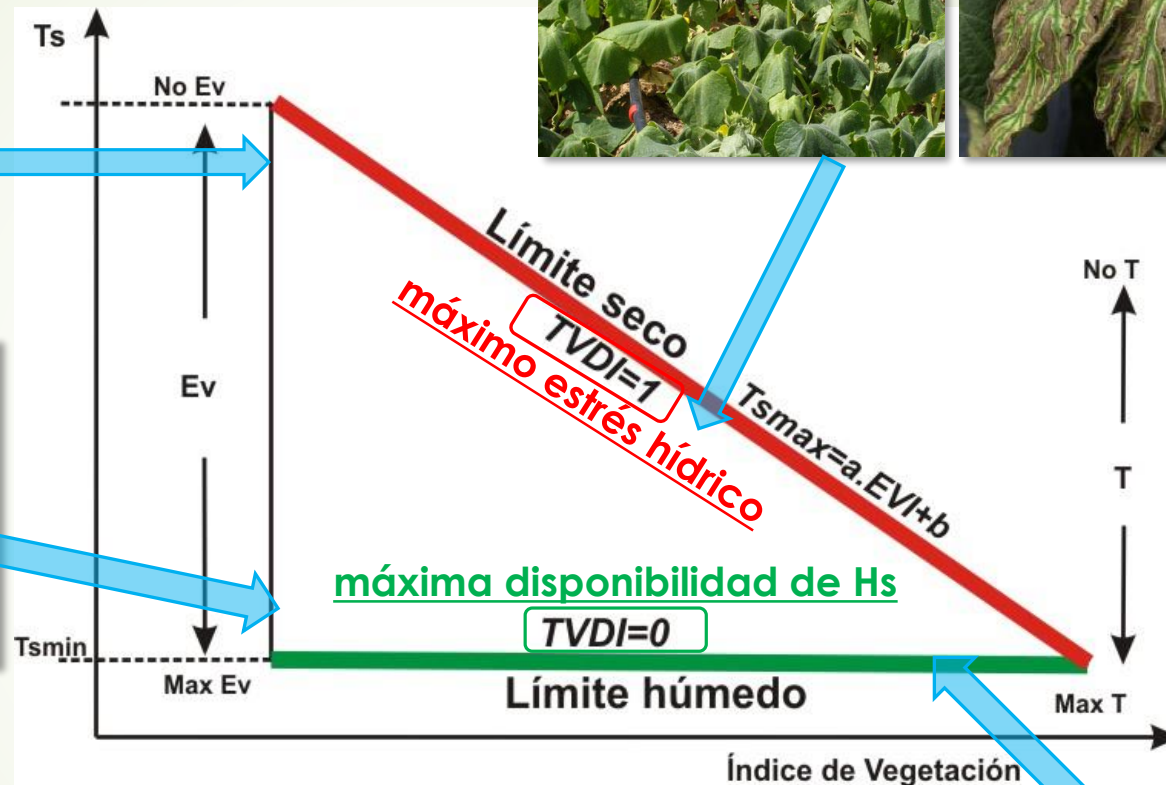


Ts aumenta durante todo el proceso

Índice de vegetación disminuye en etapas avanzadas

# Triángulo de dispersión Ts e índice de vegetación- *Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI)*

48



(En áreas con condiciones heterogéneas de grados de cobertura vegetal y humedad del suelo)



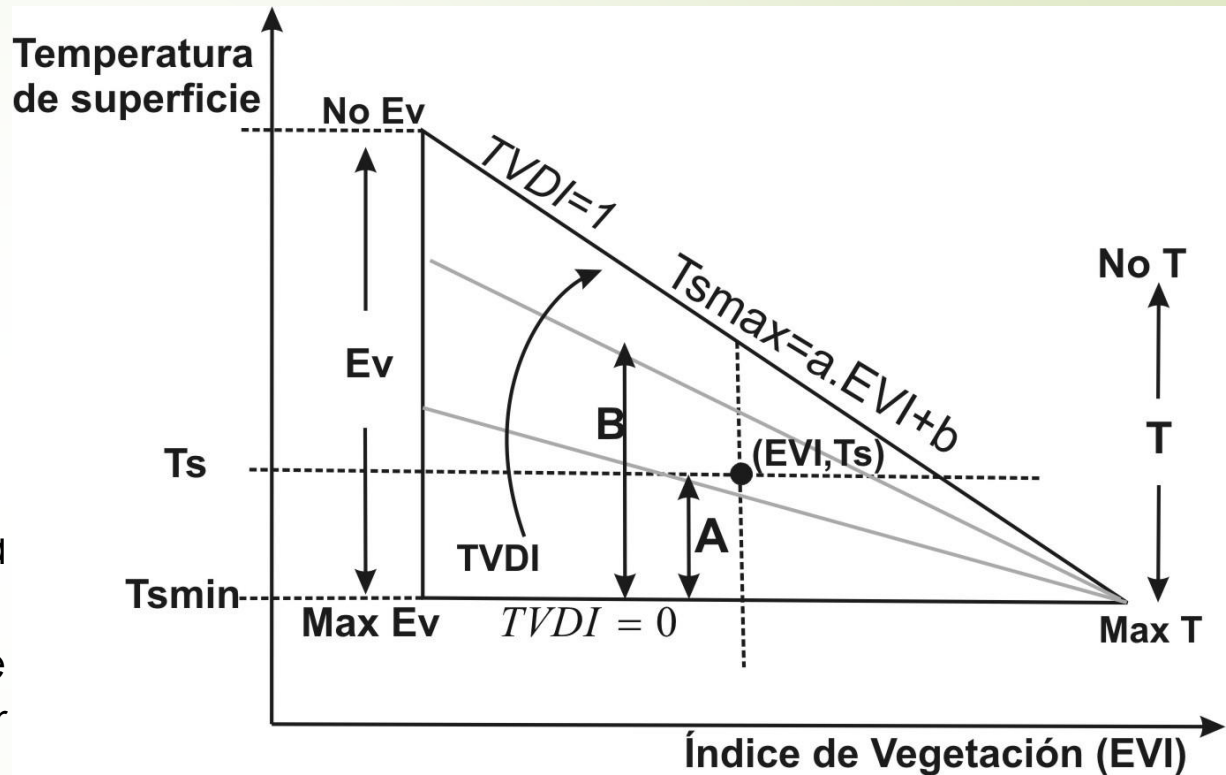


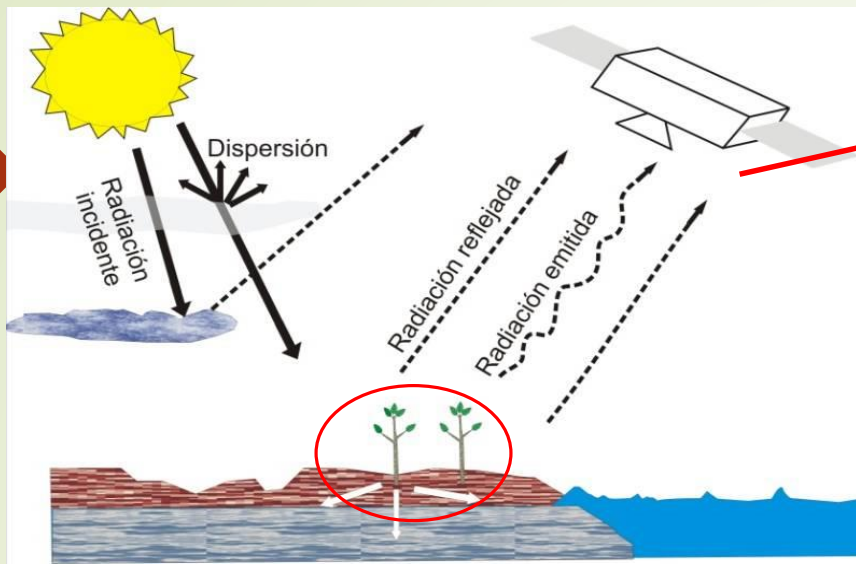
$$TVDI = \frac{T_s - T_{s \min}}{T_{s \max} - T_{s \min}}$$

**T<sub>s</sub>**: temperatura (K) de superficie para un píxel dado;

**T<sub>s min</sub>**: mínima temperatura de superficie en la imagen, definida por el límite húmedo;

**T<sub>s max</sub> = a.EVI + b**: máxima temperatura de superficie de la imagen y se refiere al límite seco del triángulo, definido como una relación lineal entre los datos, donde **a** y **b** son parámetros de la imagen.





Cambios en humedad del suelo

Índice de estrés hídrico:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s \min}}{T_{s \max} - T_{s \min}}$$



TVDI → 1 → mínima humedad del suelo  
 TVDI → 0 → máxima humedad del suelo

### Ventajas del método:

- Calculado con datos de satélite
- No se necesitan datos de campo para su cálculo
- Acceso gratuito a las imágenes satelitales
- Rápida respuesta del índice a cambios de la humedad del suelo, pues no sólo incluye índices de vegetación, sino temperatura de superficie.
- Brinda información de la humedad del suelo a mayores profundidades que otros métodos.

<b>Autor</b>	<b>Escala temporal</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Región</b>	<b>Imágenes</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Mallick et al. (2009)	Diaria	0-5 cm	India	MODIS/Aqua (1km)	0,88
Han et al. (2010)	Mensual	Superficial	China	MODIS/Terra	0,76
Chen et al. (2011)		10-20cm	China	MODIS	0,43



## ***Validación del método en la región pampeana***

- *Holzman, M.E., Rivas, R. y Bayala, M., 2014. **Subsurface soil moisture estimation by VI-LST method**. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 11 (11): 1951-1955. ISSN: 1545-598X.*

Utilizamos datos diarios del sensor MODIS/Aqua de EVI (MYD09GA) y Ts (MYD11A1).

## Productos MODIS

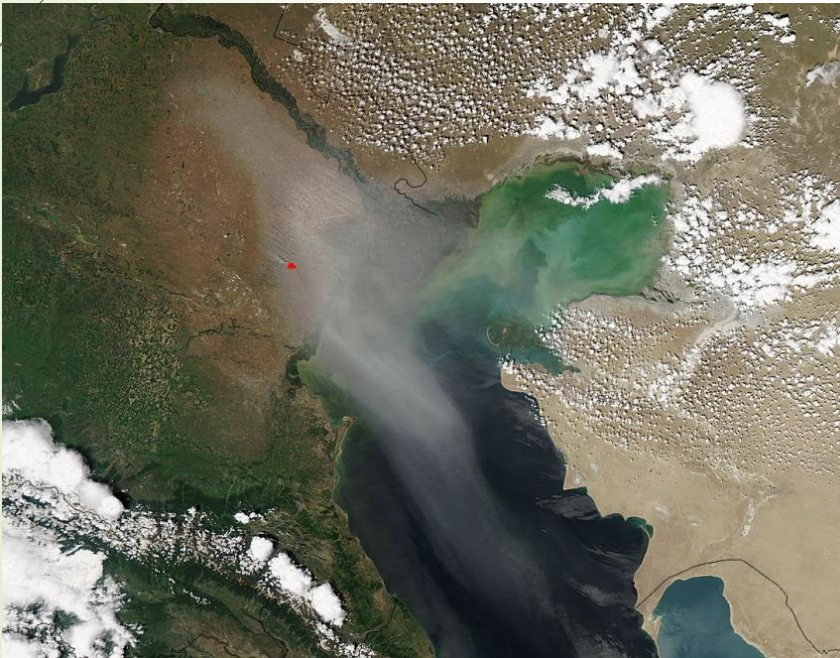
MODIS (MOderate Resolution Imaging Spectroradiometer)

53

- Es un sensor de 36 bandas (0.4  $\mu\text{m}$  a 14.4  $\mu\text{m}$ )
- Período de revisita: 1 días aprox.
- A bordo del satélite Terra (AM) y Aqua (PM)
- Resolución espacial: 250 m (bandas 1-2), 500 m (bandas 3-7), 1 km (bandas 8-36).

**Ts:** valores diarios, semanales...de Ts, 1 km de resolución espacial (producto MYD11A1 y MYD11A2).

**Índice de vegetación:** Valores quincenales o diarias en base a reflectancias diarias (MYD13A2 y MYD09GA...)



Aqua/MODIS, 1 km



Terra/MODIS, 500 m

Más info: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/>

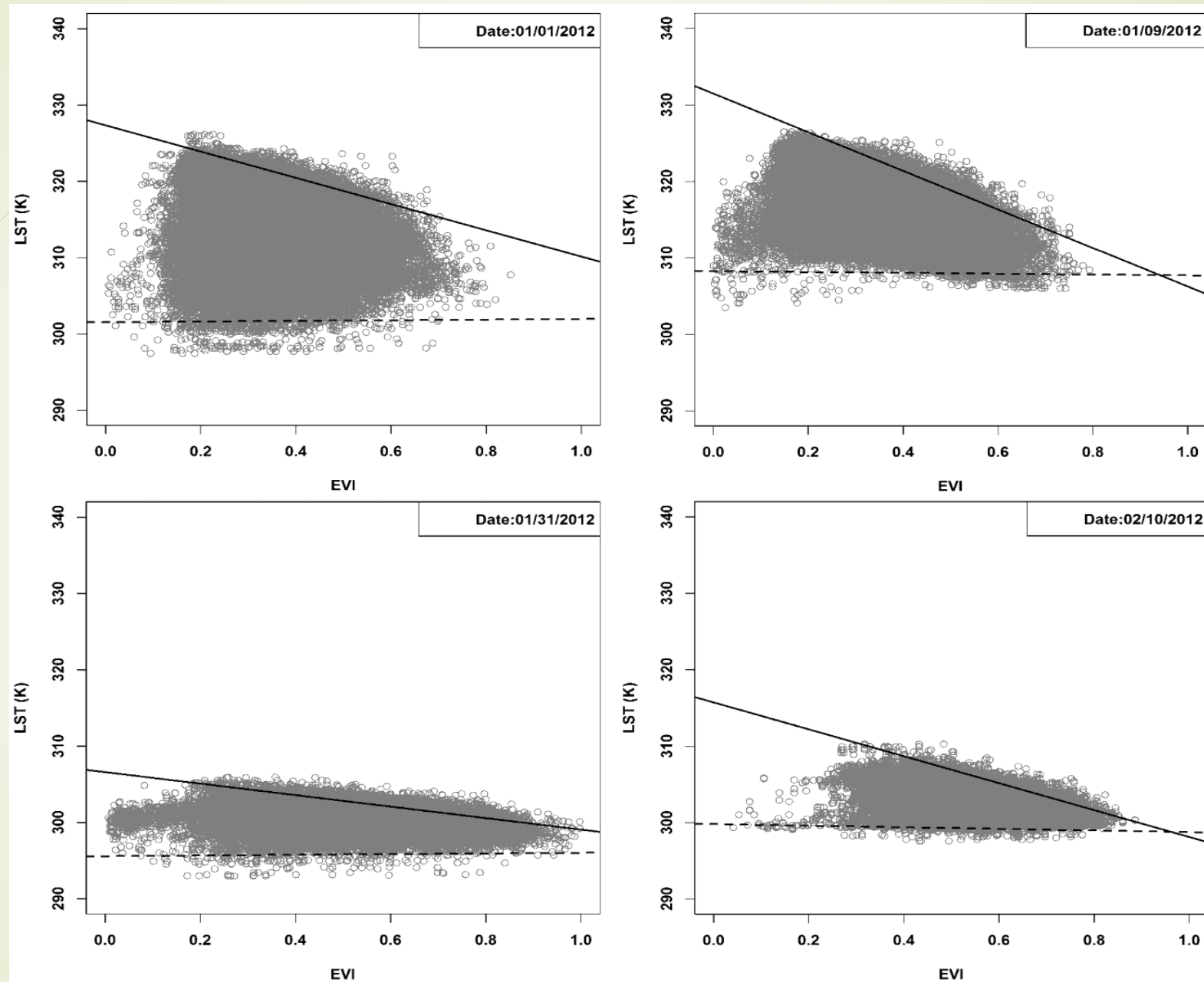
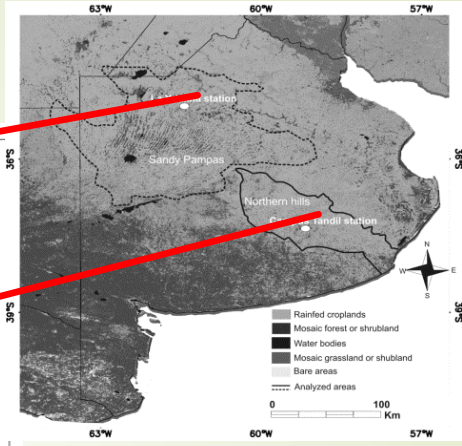
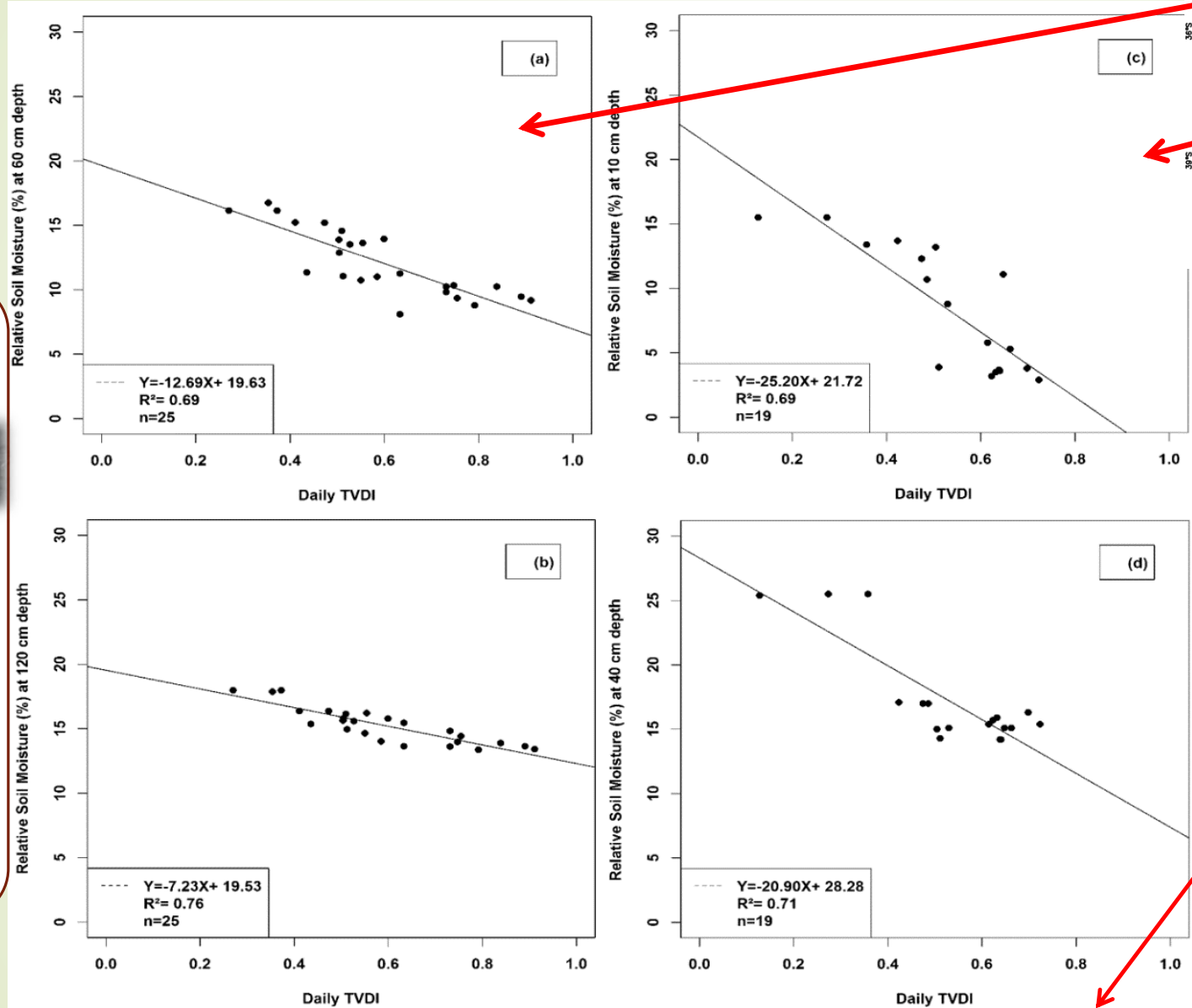


Fig. 4. Scatter plots of EVI and LST for 4 different images of the study period. The extreme dry edge corresponded to 9 January 2012 and wet edge corresponded to 31 January 2012.

# Comparación con la Hs medida a campo

55



**Ecuación general de estimación**

$$Hs = a(TVDI) + b$$

a y b: parámetros de la zona y profundidad de análisis

Sin correlación con el sensor a 60 cm

Fig. 5. Relationship between daily TVDI and relative SM at different soil depths in (a) and (b) La Ydalina Station and (c) and (d) Campus Tandil station.

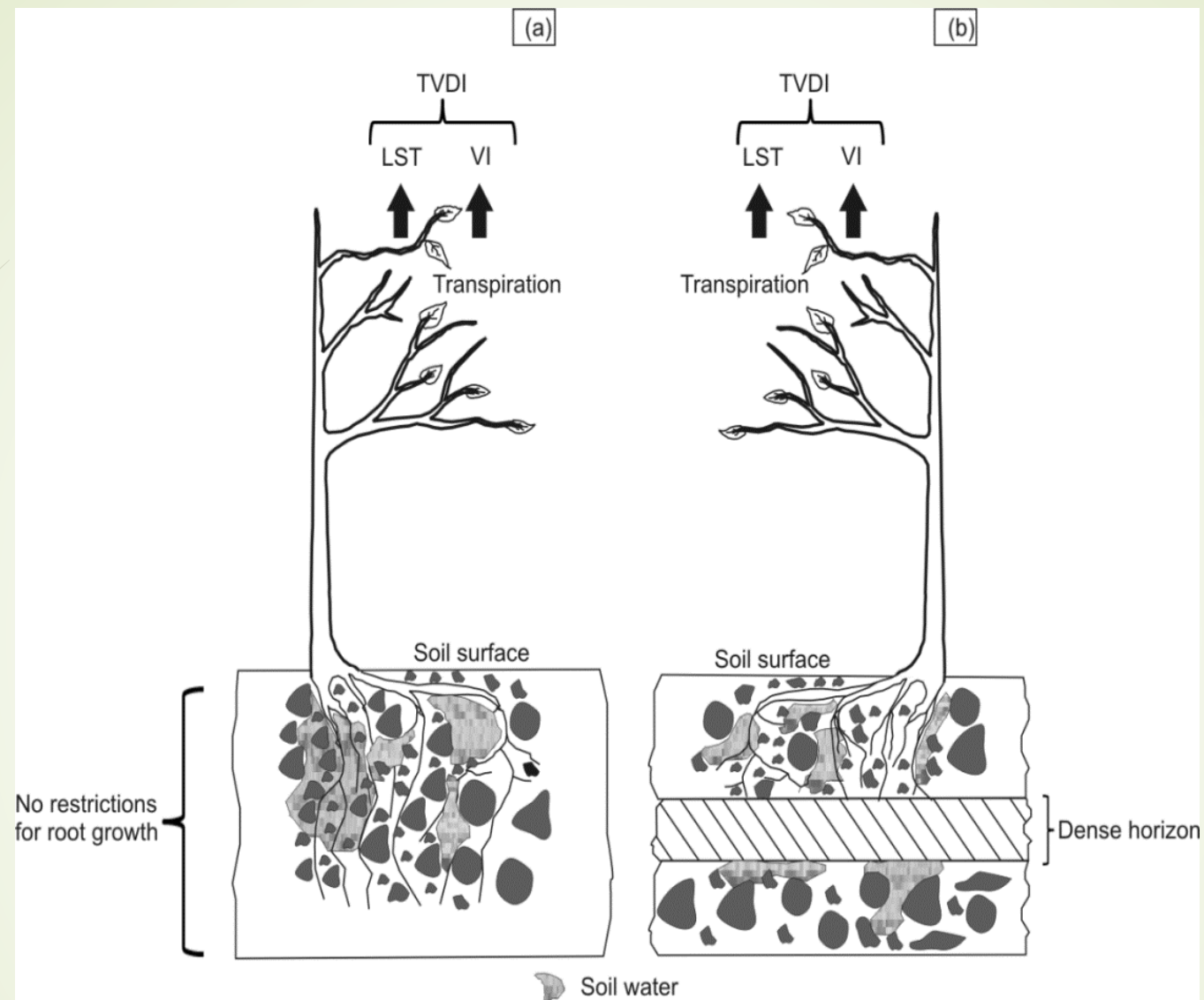


Fig. 6. Illustration of the relationship between transpiration process and TVDI in **(a)** deep root system and **(b)** shallow root system or soils with dense horizon. The TVDI would show subsurface soil water content depending on root system distribution in the soil profile.



Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo | Presidencia de la Nación

**ORA**  
Oficina de Riesgo Agropecuario

Google Búsqueda pers

Biblioteca Virtual | Novedades | Noticias | Eventos | Links | Contacto | Newsletter

HOME  
LA ORA  
RIESGOS AGROCLIMÁTICOS  
SEGUROS AGROPECUARIOS  
SISTEMA DE ESTIMACIÓN DE RIESGO AGROPECUARIO  
CONTACTO

DESCARGAS

SERVIDOR DE MAPAS

Av. Paseo Colón 922 PISO 2  
OFICINAS 233 y 234  
Tel: 0054-11-4349-2069  
Fax: 0054-11-4349-2742  
(C1063ACW)  
Ciudad Autónoma de Bs. As.  
República Argentina

**RIESGO CLIMÁTICO**

Evolución del Índice TVDI

ihlla | ORA | CIC | Consejo de Investigaciones Científicas

**EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SATELITAL DE DÉFICIT HÍDRICO - ÍNDICE 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).

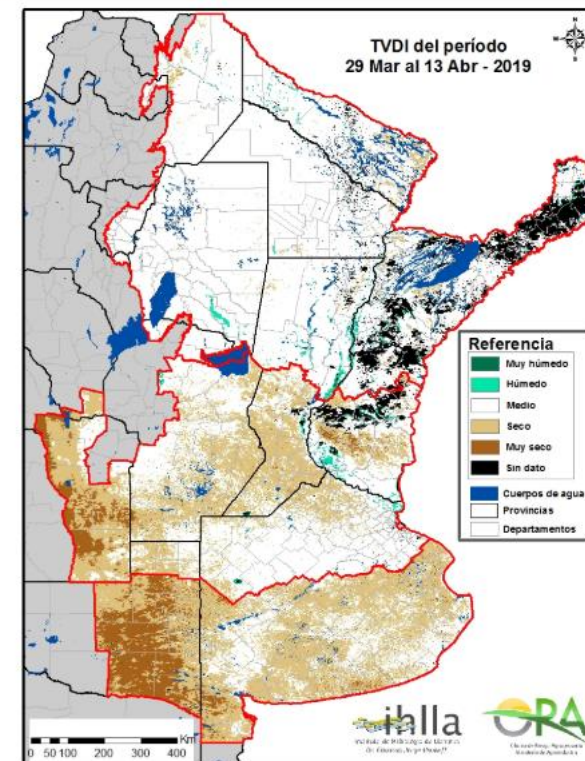
**¿Cómo se interpreta la escala?**

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.

Ver metodología

**Seguimiento de la campaña actual - 2018/2019**

Seguimiento de la campaña actual - 2018/2019



Un método frecuentemente utilizado para estimar la ET real diaria es estimando la fracción evaporativa diaria (FE).

La fracción evaporativa (FE) se define como la relación entre el flujo de calor latente (LE) y la energía total disponible (flujo de calor latente+flujo de calor sensible) (Shuttleworth et al., 1989, Nutini et al., 2014)

$$R_n = LE + H + G$$

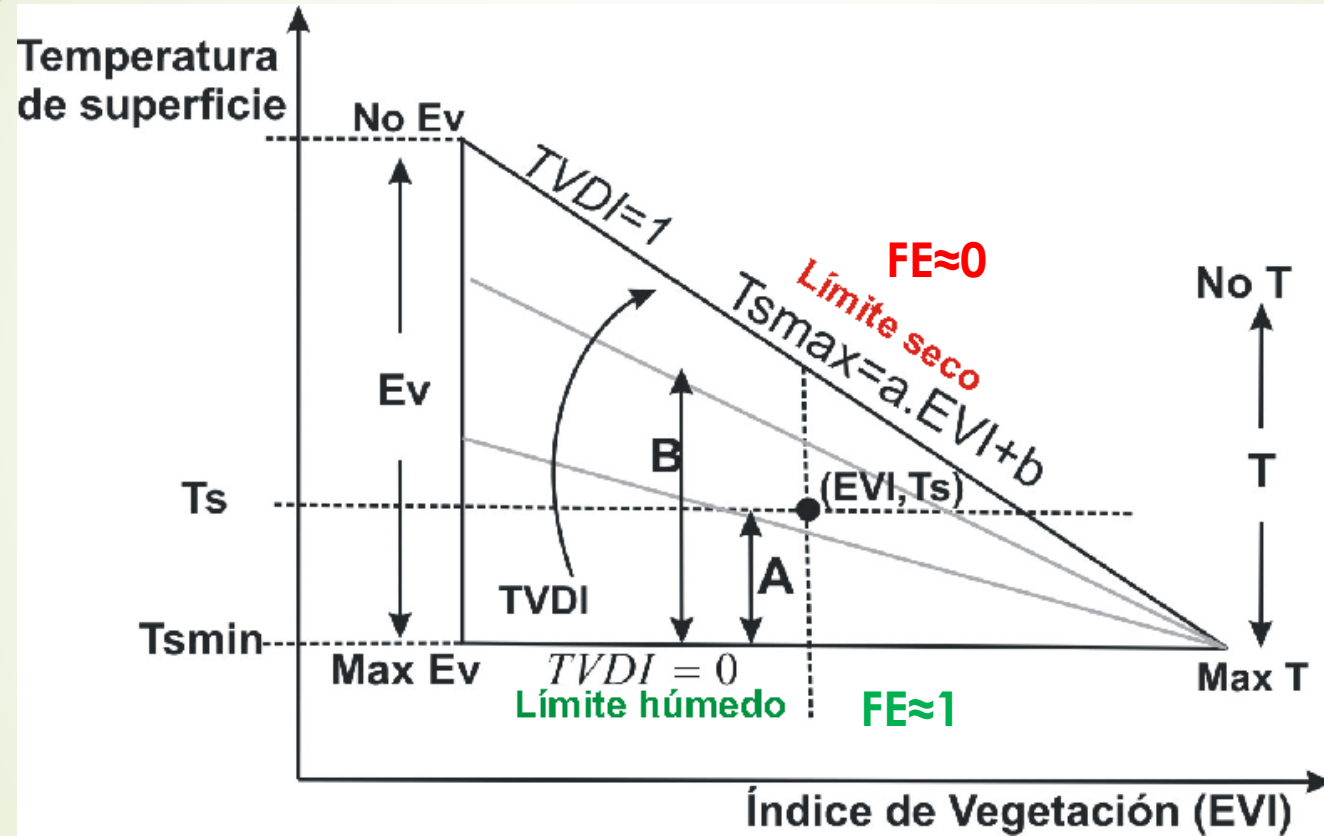


$$FE = \frac{LE}{R_n - G}$$

donde  $\lambda E$  es el flujo de calor latente,  $R_n$  es la radiación neta y  $G$  es el flujo de calor en el suelo. La FE es 1 en el caso de máxima evapotranspiración y 0 en mínima o nula evapotranspiración.

Hay diferentes métodos para estimar la FE desde satélite (ej: inercia térmica,  $T_{s_{\text{día}}} - T_{s_{\text{noche}}}$ ). Dada la buena correlación entre  $H_s$  y  $T_s/IV$ , el método puede brindar una estimación de la FE (ej.: Nutini et al., 2014).

$$FE = 1 - TVDI = 1 - \frac{T_s - T_{s_{\min}}}{a * EVI + b - T_{s_{\min}}}$$



## 2. Estimación de estrés hídrico en cultivos y pronóstico de rendimientos

60

- *Holzman, M.E., Rivas, R. y Piccolo, M.C., 2014. 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.*

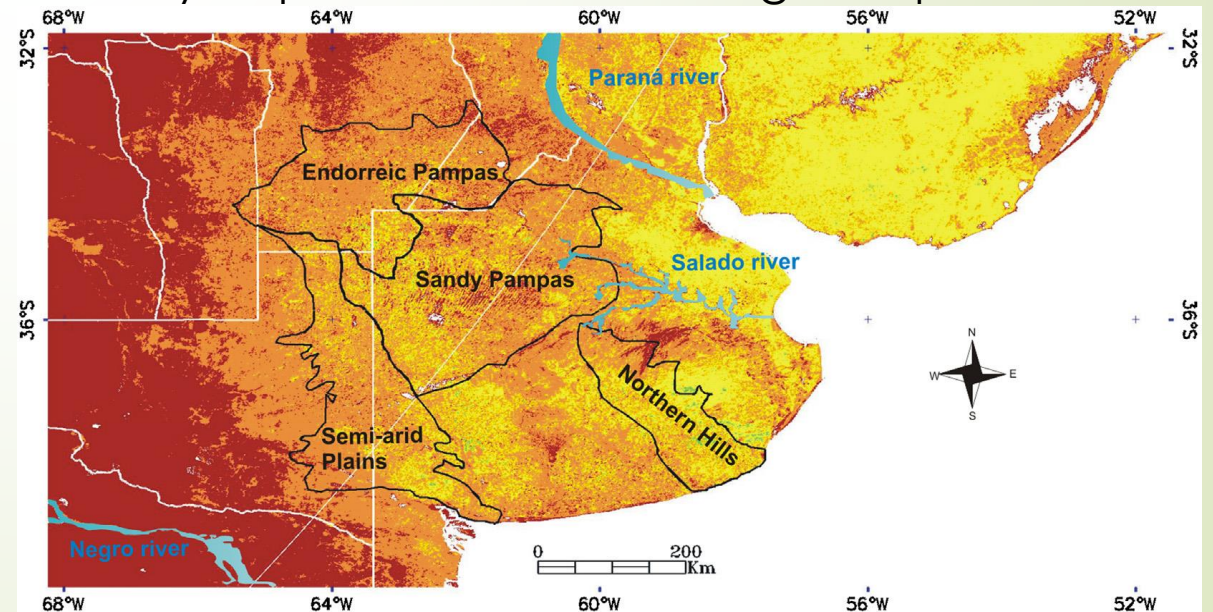
### Tratamiento de los datos

Se utilizaron imágenes MODIS/Aqua de 8 días de Ts (MYD11A25) y de índice de vegetación EVI de 16 días (MYD13A25 )

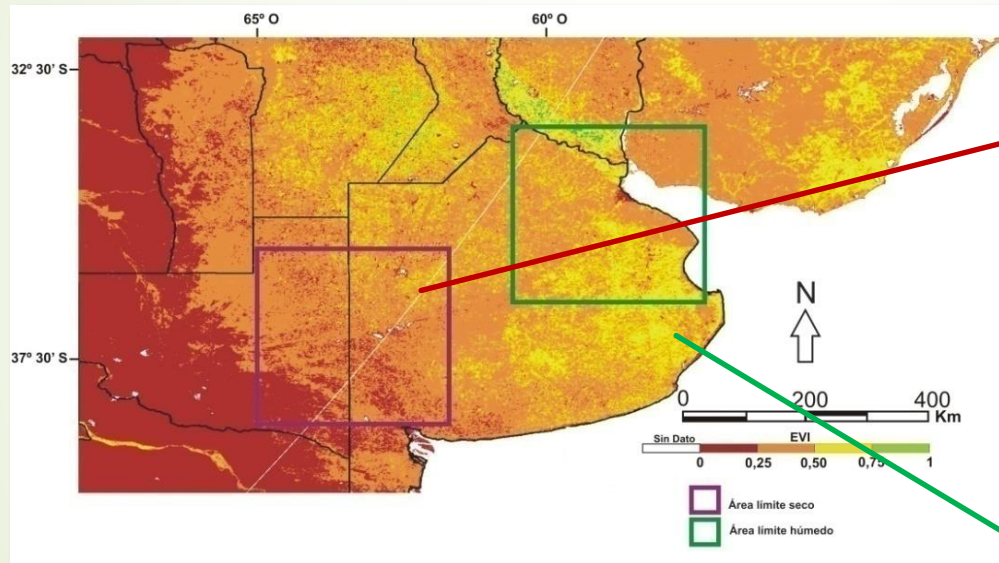
$$EVI = G \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{red})}{(NIR + C_1 \rho_{red} - C_2 \rho_{blue} + L)}$$

Se realizaron mosaicos del área de estudio y se promediaron las imágenes para obtener imágenes mensuales.

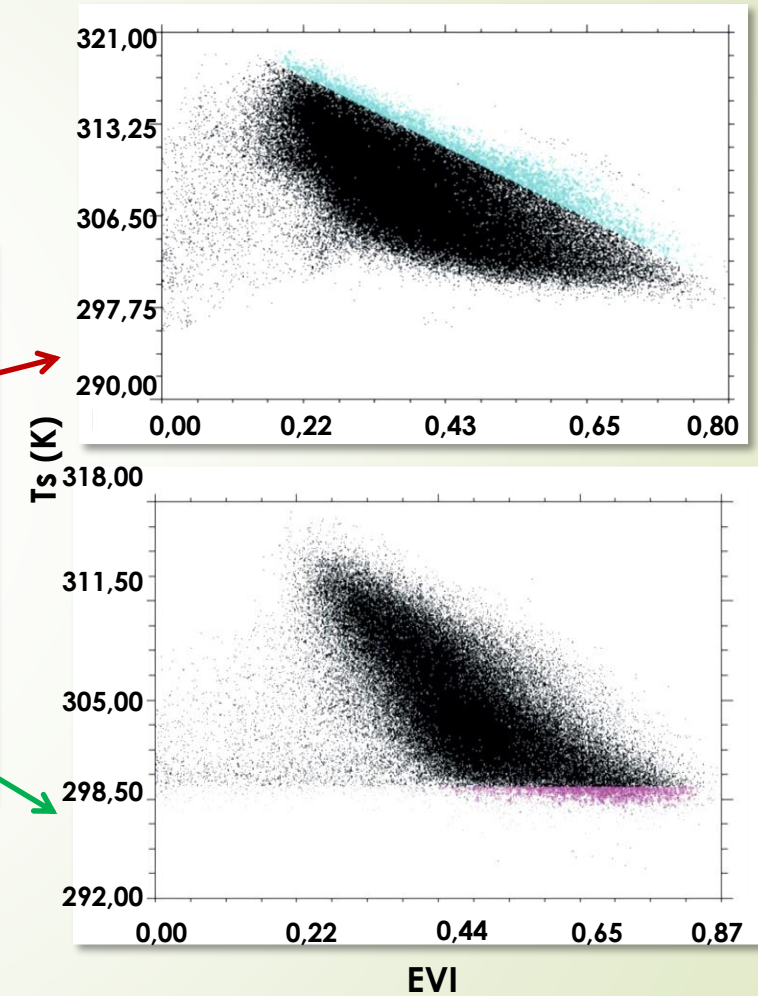
Regiones agroclimáticas analizadas



Se analizaron las dispersiones  $T_s$ /EVI y se calcularon la  $T_{smin}$  y  $T_{smáx}$  mensuales.



Ubicación de las subzonas utilizadas para la obtención de los límites húmedos y secos.



Se realizó un análisis temporal de los límites secos y húmedos mensuales

62

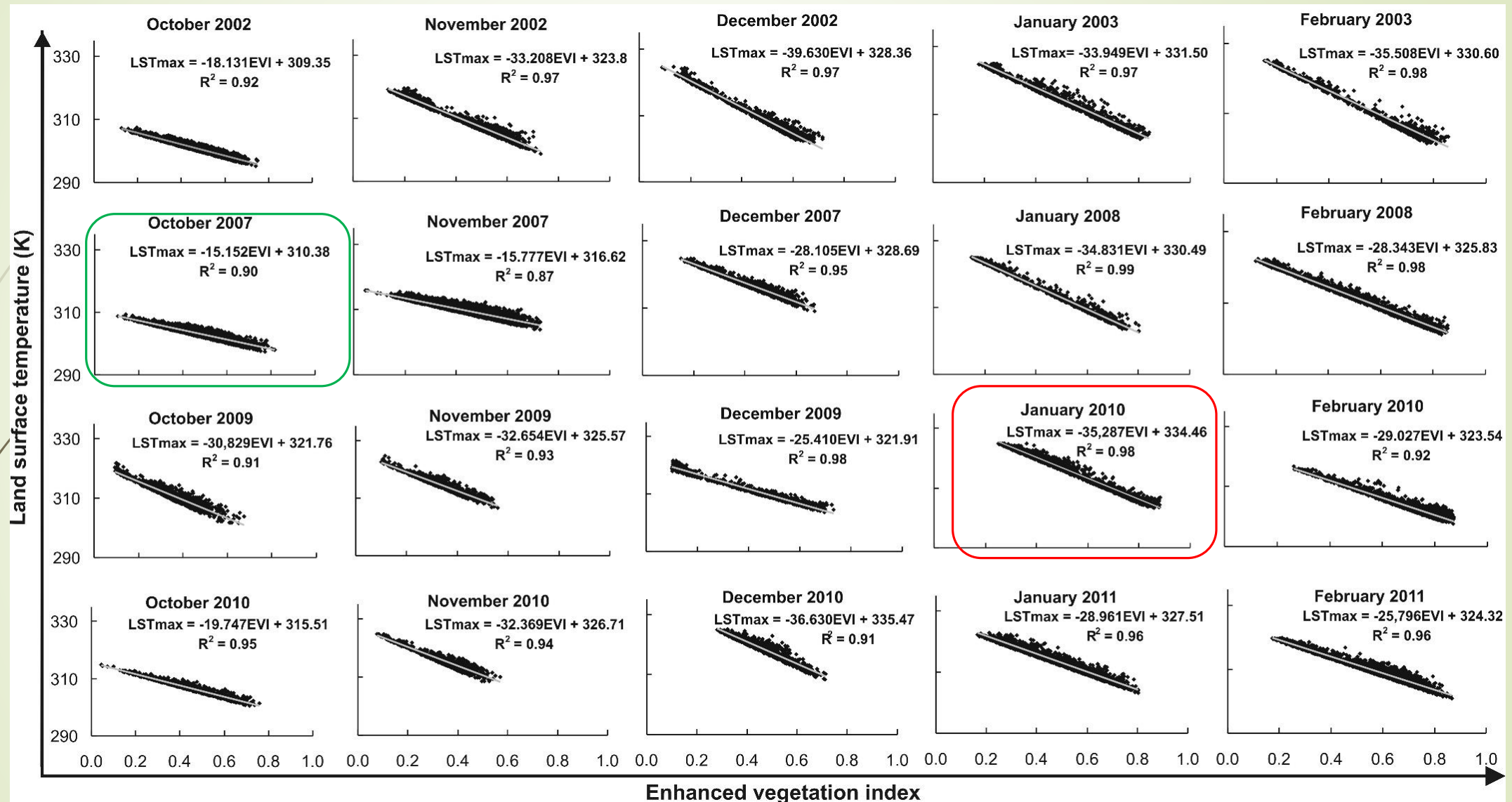
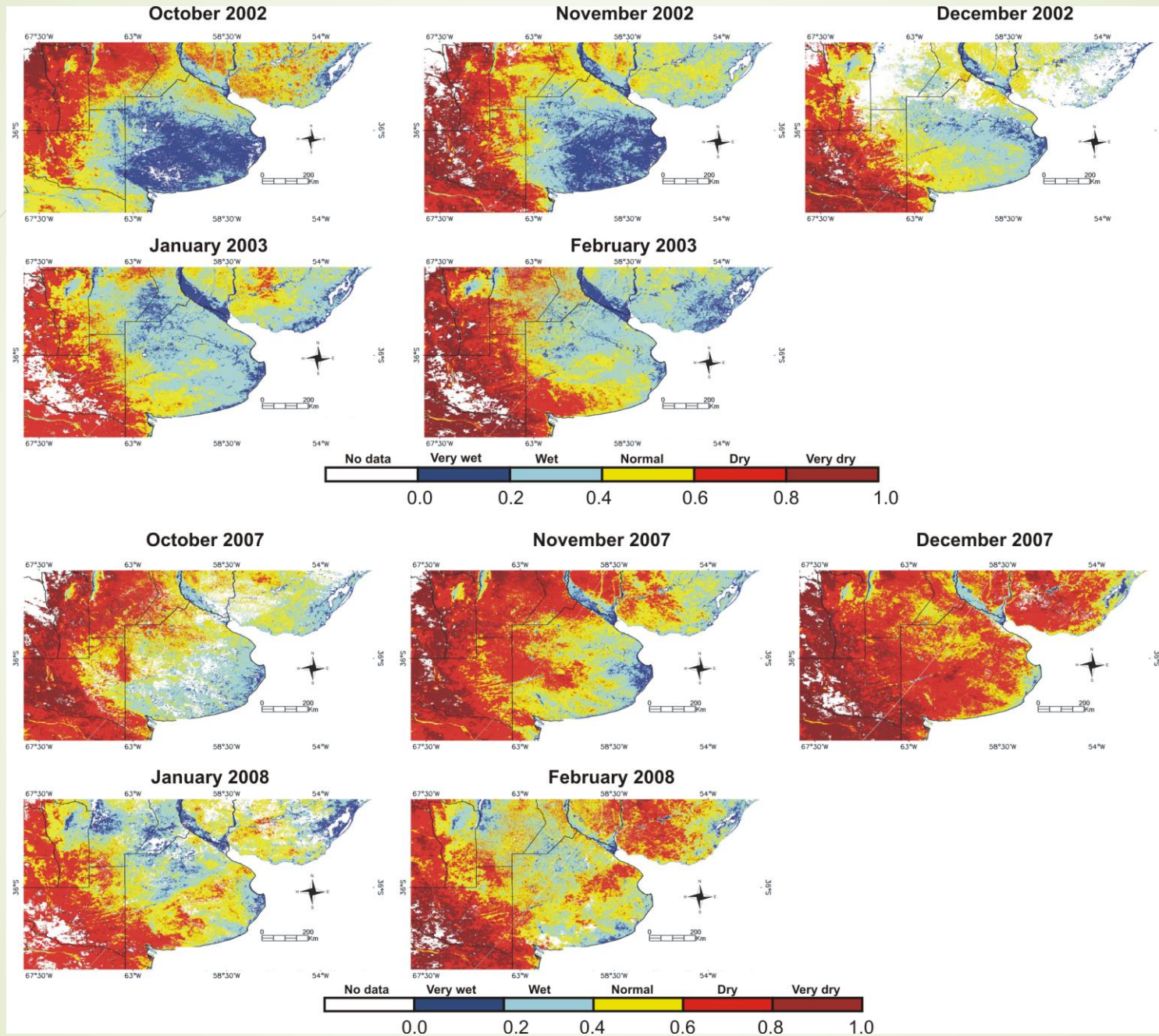


Fig. 3. Dry edges from MODIS AQUA over the four study periods.

# Se obtuvieron mapas mensuales de TVDI

63



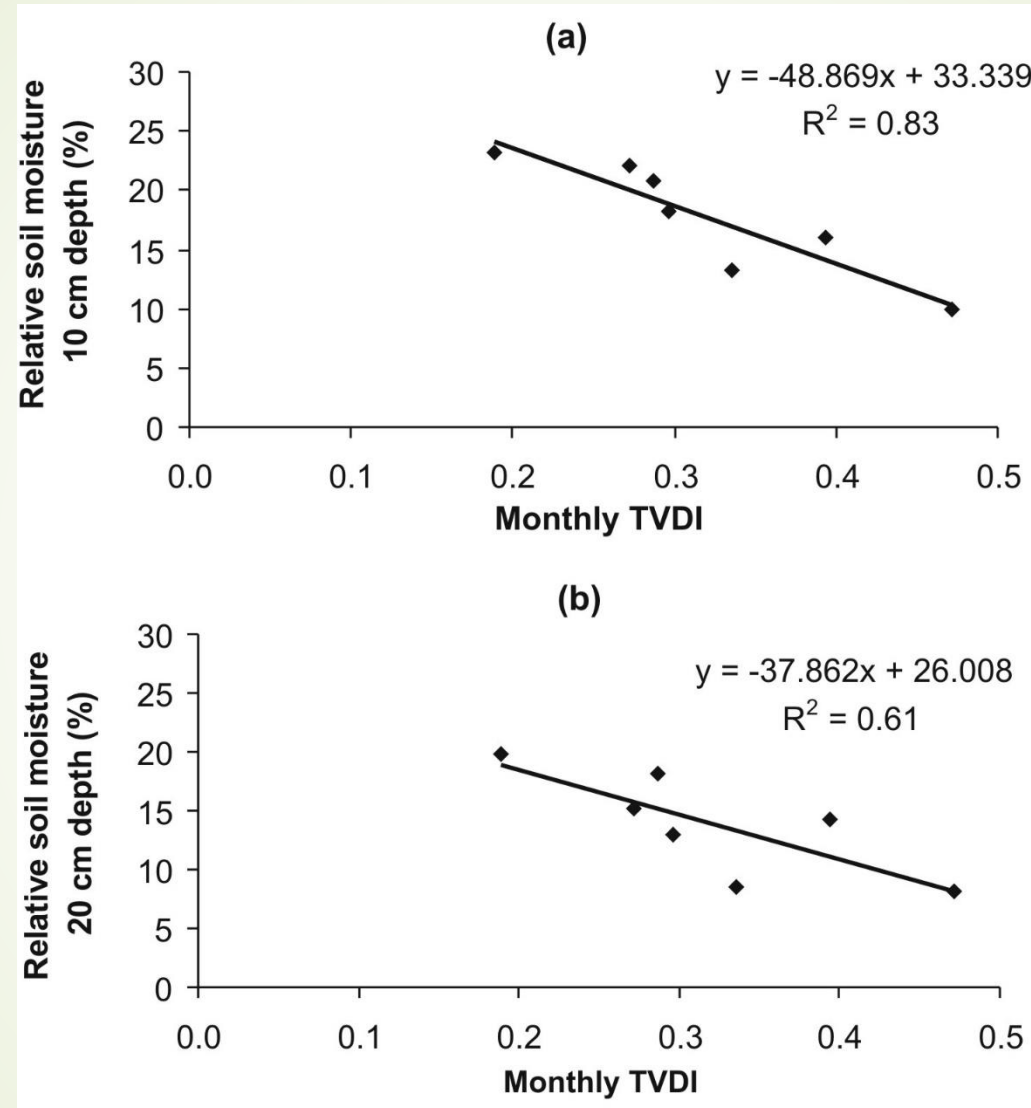


Fig. 5. Scatterplots of corresponding monthly TVDI and soil moisture measurements for Campus Tandil (Northern hills).



$$Y_r = f_1(ET_a)$$

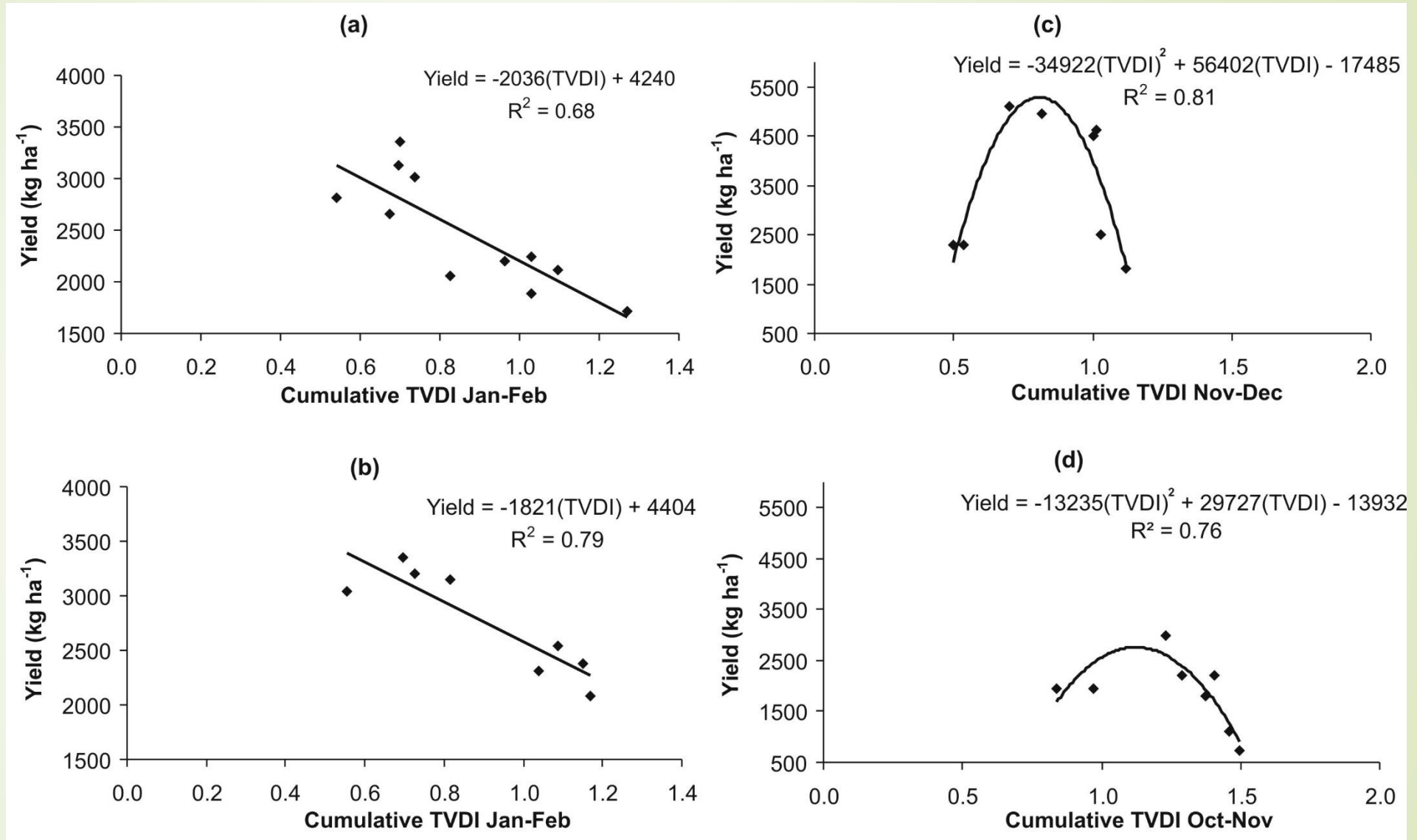


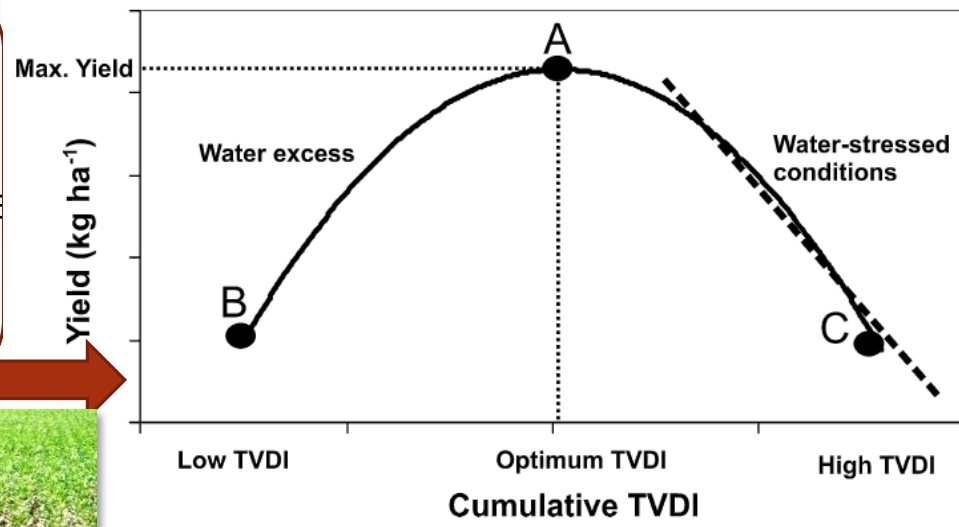
Fig. 7. Relationship between crop yield and cumulative TVDI of critical growth stage: (a) soybean in Sandy Pampas, (b) soybean in Endorreic Pampas, (c) wheat in Northern hills and (d) wheat in Semi-arid Plains.

**Rendimientos máximos**, condiciones ambientales ideales, sin limitantes por exceso o déficit hídrico. Tasa de transpiración muy cercana a su capacidad evaporativa.



**Exceso hídrico:**

- baja radiación absorbida por cobertura de nubes
- Anoxia en zona radical



**Déficits hídricos**

que limitan la transpiración del cultivo y la producción de biomasa.



$$Y_r = C_1(TVDI)_2 + C_2 TVDI + C_3$$

## Validación del método

Error statistics of satellite derived soybean and wheat yield estimates in the four analyzed agro-climatic zones.

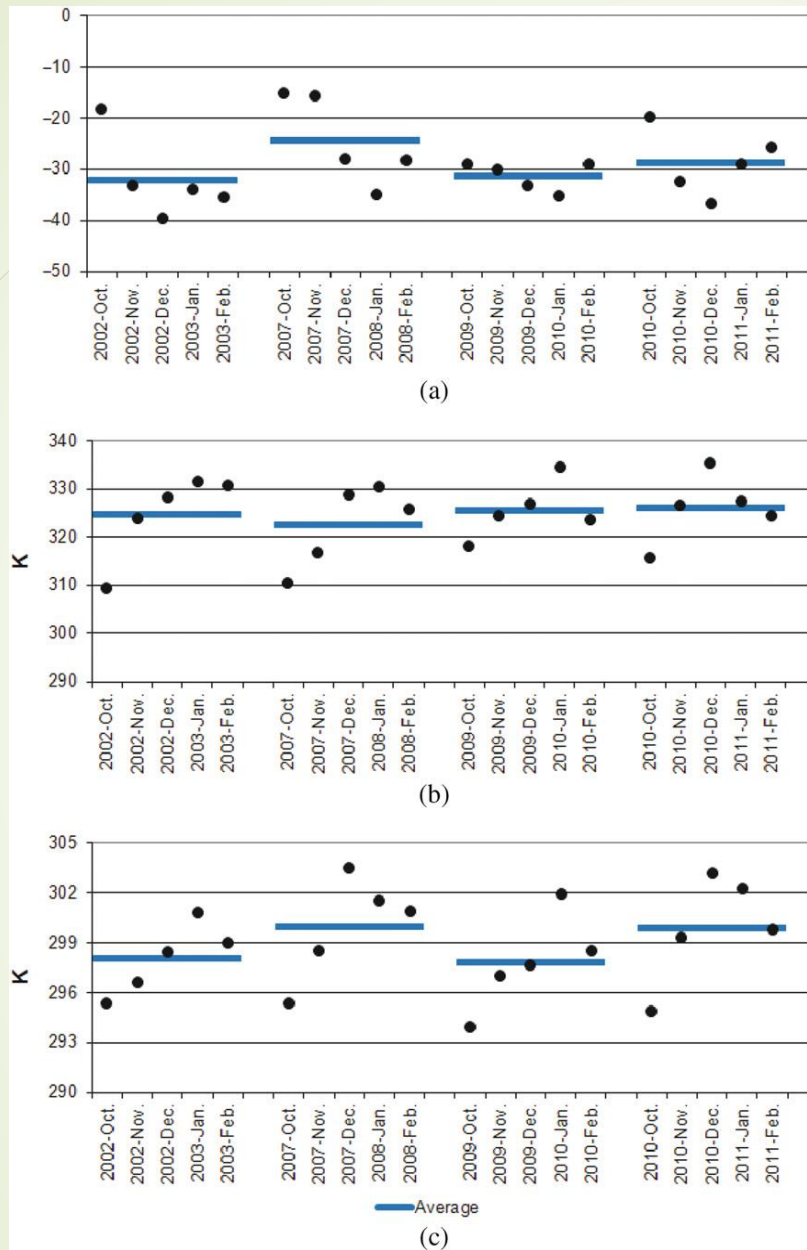
Agro-climatic zones (crop)	RMSE ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) <sup>a</sup>	Bias ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	<i>d</i>
Sandy Pampas (soybean)	376 (13)	216	0.88
Endorreic Pampas (soybean)	366 (12)	169	0.81
Northern hills (wheat)	556 (14)	99	0.97
Semi-arid Plains (wheat)	307 (22)	270	0.90

<sup>a</sup> Numbers in brackets are percentages of average yield.

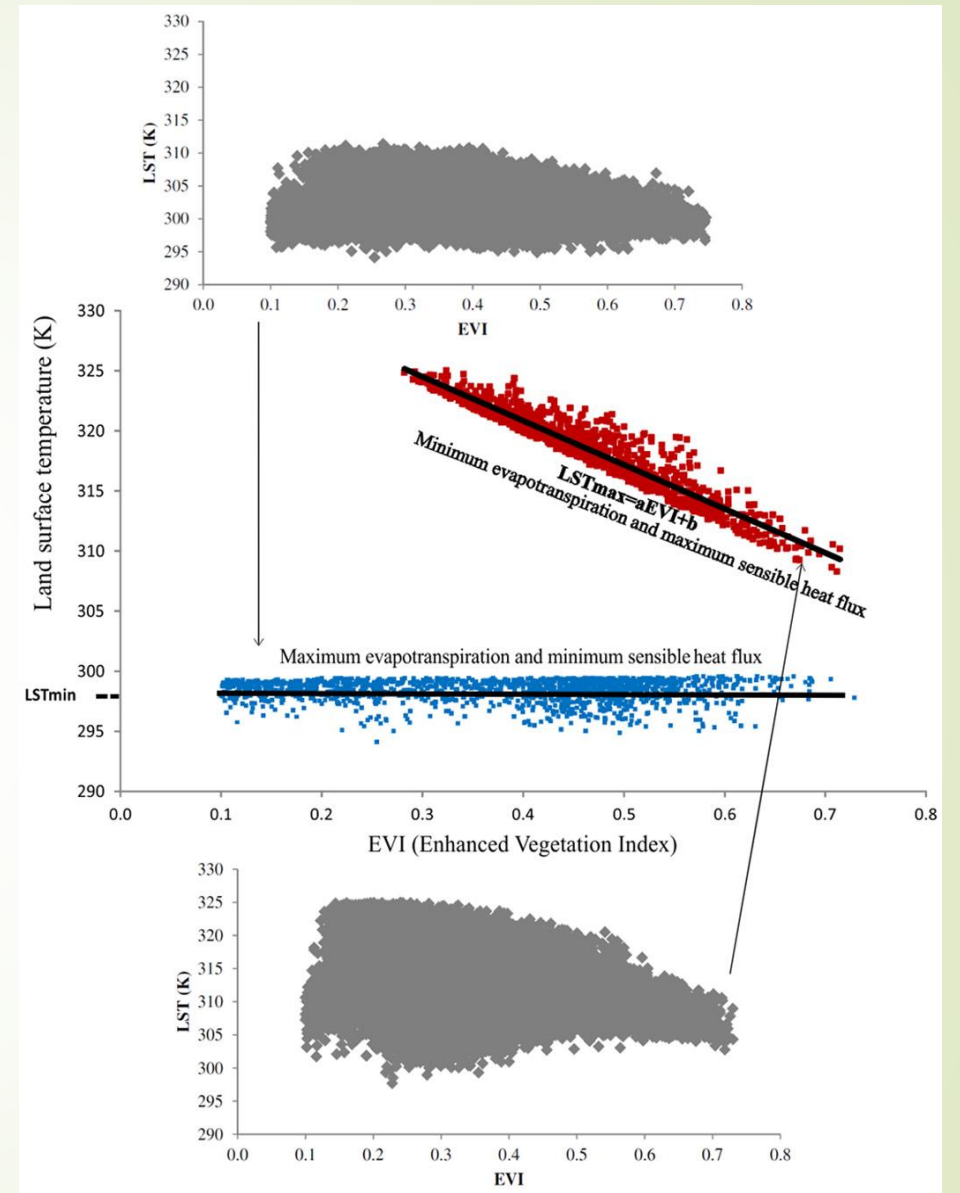
# Early Maize Yield Forecasting From Remotely Sensed Temperature/Vegetation Index Measurements

Mauro E. Holzman and Raúl E. Rivas

- Análisis temporal de los límites de la dispersión Ts/EVI



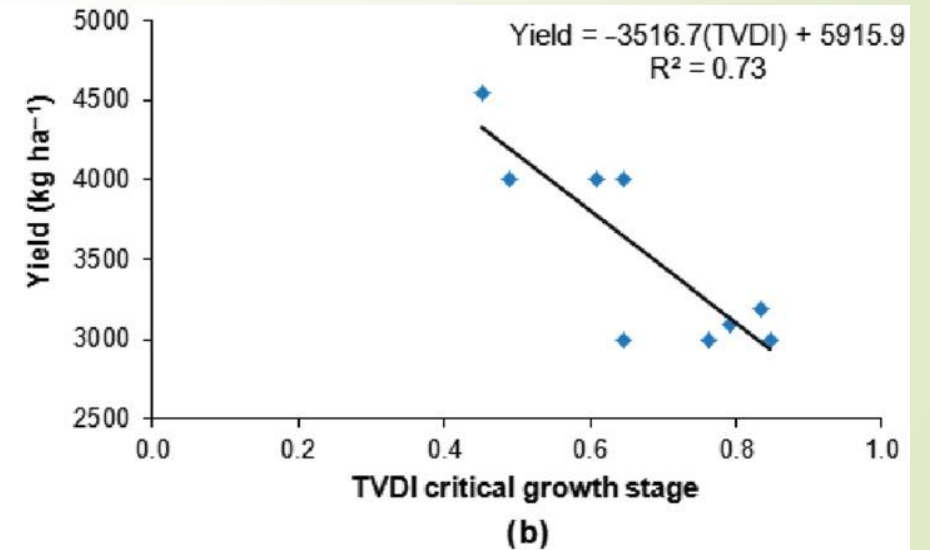
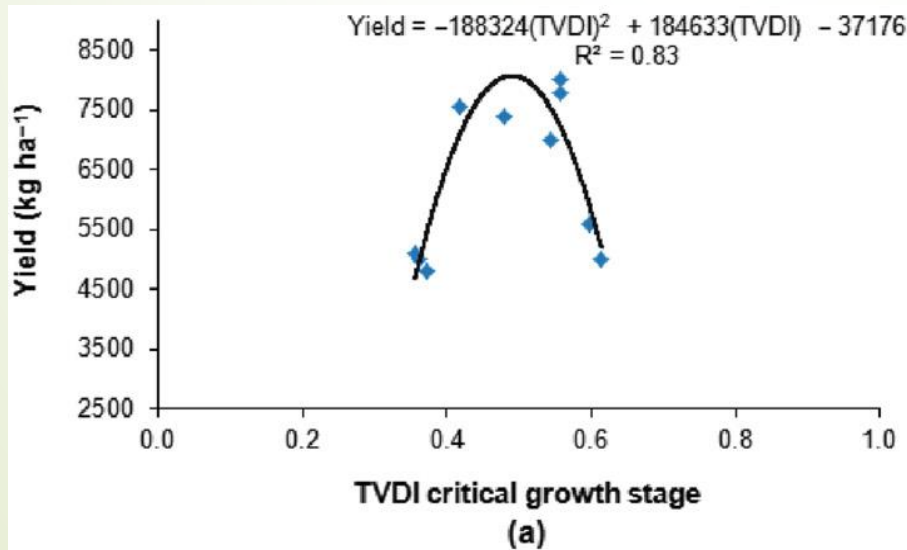
a) pendiente, b) ordenada al origen de  $T_{smax}$ , c)  $T_{smin}$



Límites extremos de la serie

- Determinación del mes de mayor correlación

Months	R <sup>2</sup> northern hills	R <sup>2</sup> semi-arid Pampas
Sep	0.10	0.26
Oct	0.18	0.37
Nov	0.01	0.57
Dec	0.83	0.73
Jan	0.06	0.19
Feb	0.19	0.03



- Validación del método

Agro-climatic zone	RMSE (kg ha <sup>-1</sup> )	Bias (kg ha <sup>-1</sup> )	<i>d</i>
Northern hills	900 (14)	110	0.85
Semi-arid Pampas	700 (19)	-180	0.98

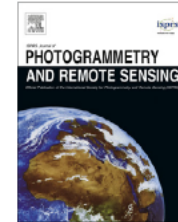
ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 145 (2018) 297–308



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/isprsjprs](http://www.elsevier.com/locate/isprsjprs)



Early assessment of crop yield from remotely sensed water stress and solar radiation data

Mauro E. Holzman<sup>a,\*</sup>, Facundo Carmona<sup>a</sup>, Raúl Rivas<sup>b</sup>, Raquel Niclòs<sup>c</sup>

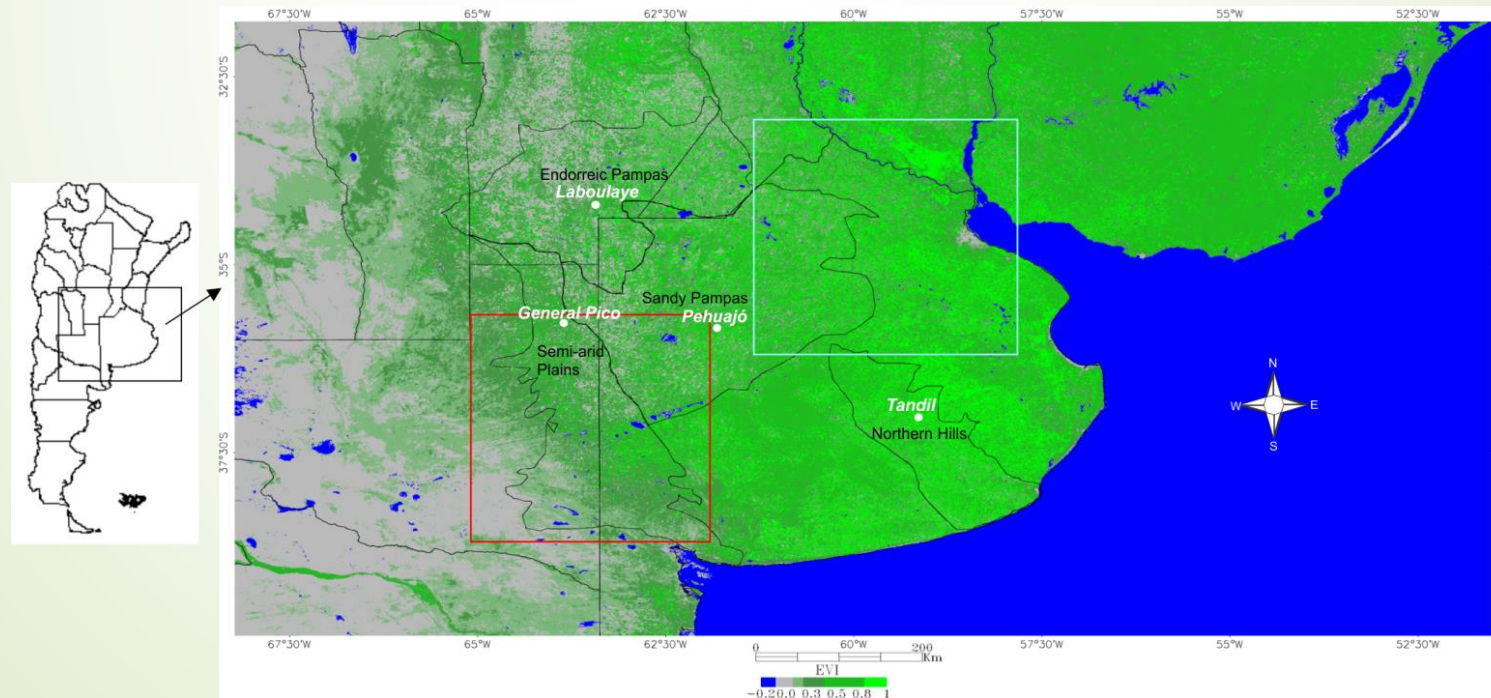


$$Y_r = f(ET_a) = f(SM \cdot ET_p)$$

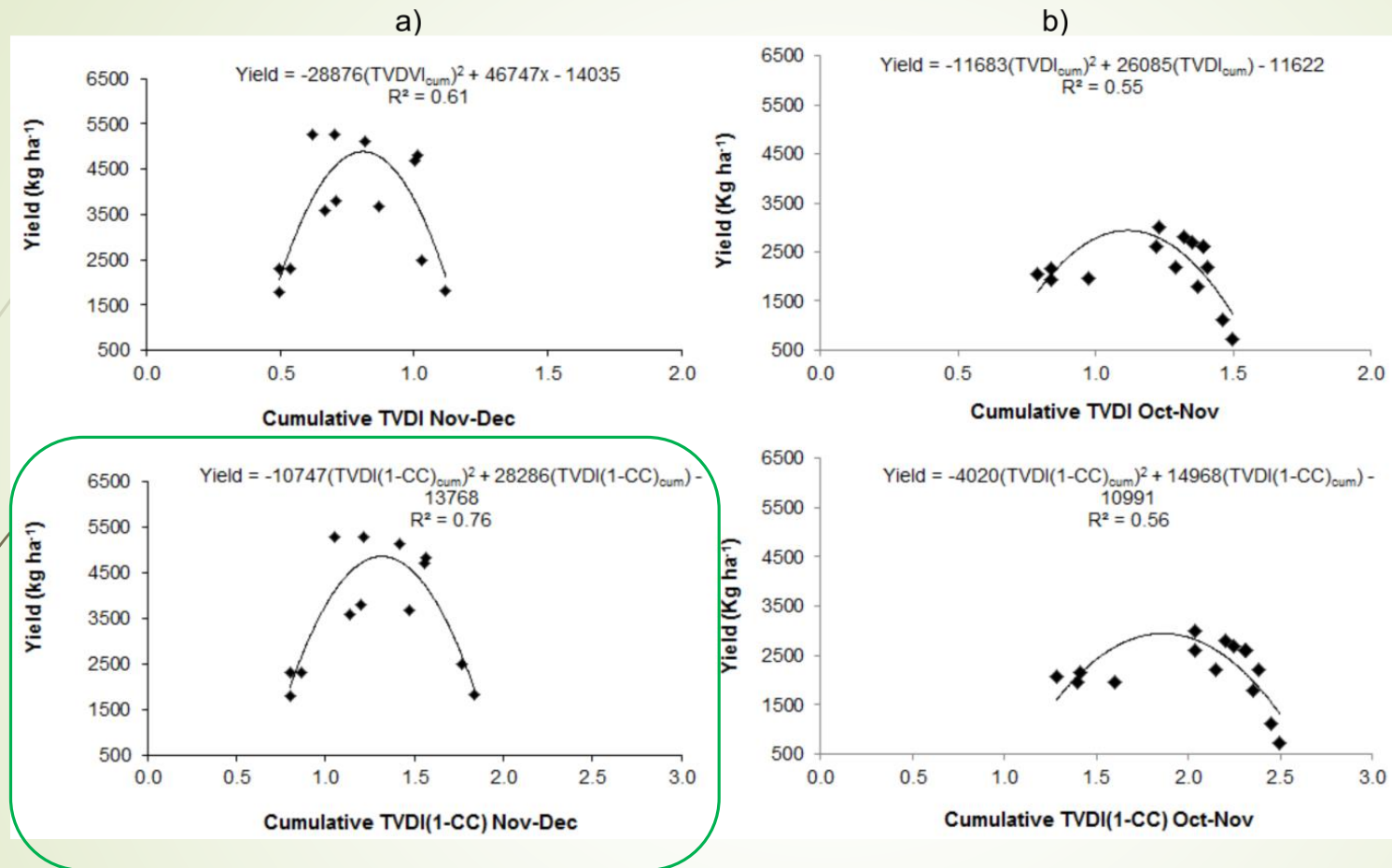
$ET_p$  es controlada fundamentalmente por la energía disponible:

$$ET_p \propto \frac{Rs_a}{Rs_{\max}}$$

$$Y_r = f \left[ (TVDI) \left( \frac{Rs_a}{Rs_{\max}} \right) \right] = f [(TVDI)(1 - CC)_{cum}]$$







La incorporación de radiación mejora la estimación (RMSE 650 kg/ha vs. 330 kg/ha)

Fig. 3. Adjustment models of wheat yield as a function of TVDI and TVDI-solar radiation in a) Northern Hills, b) Semi-arid Plains.

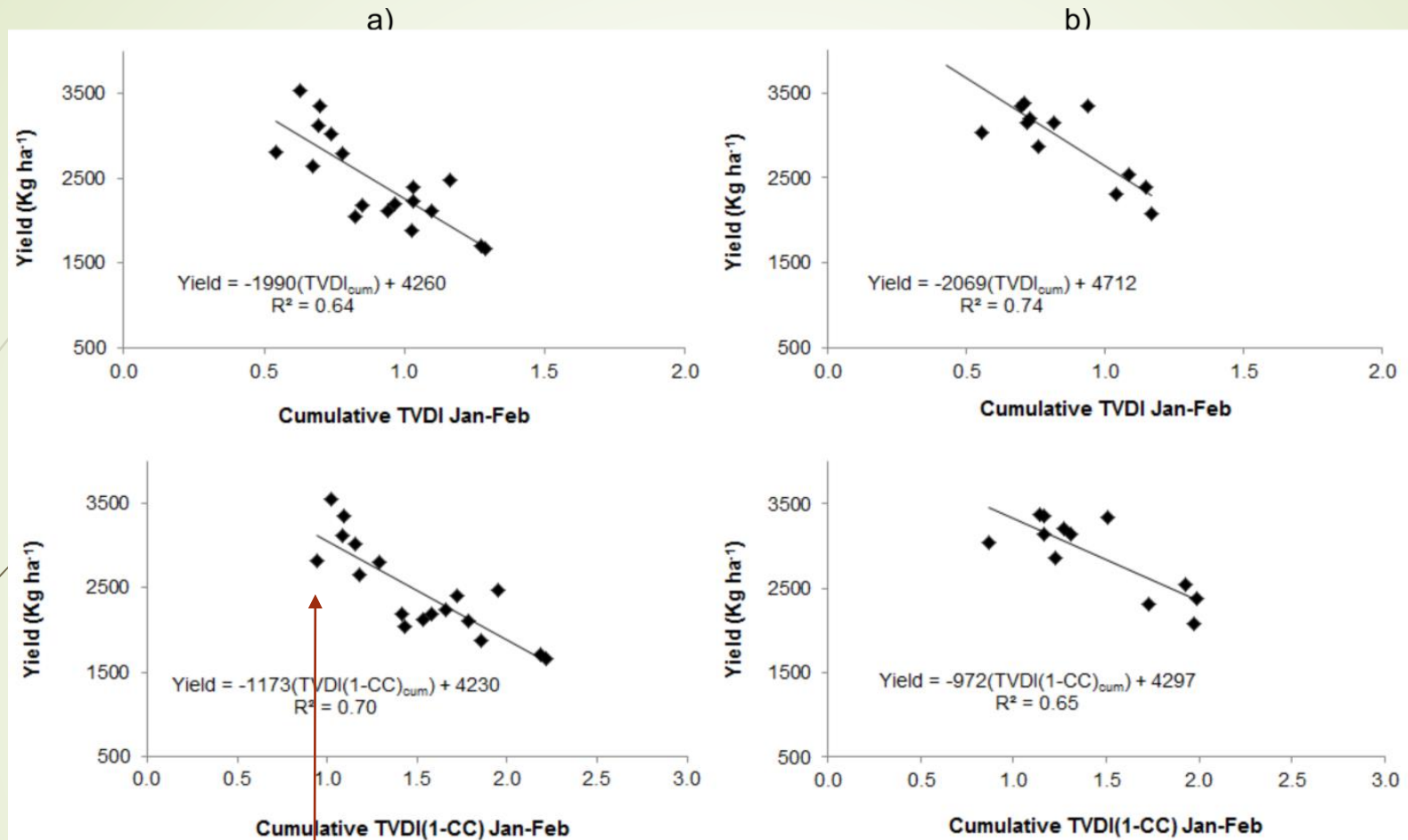
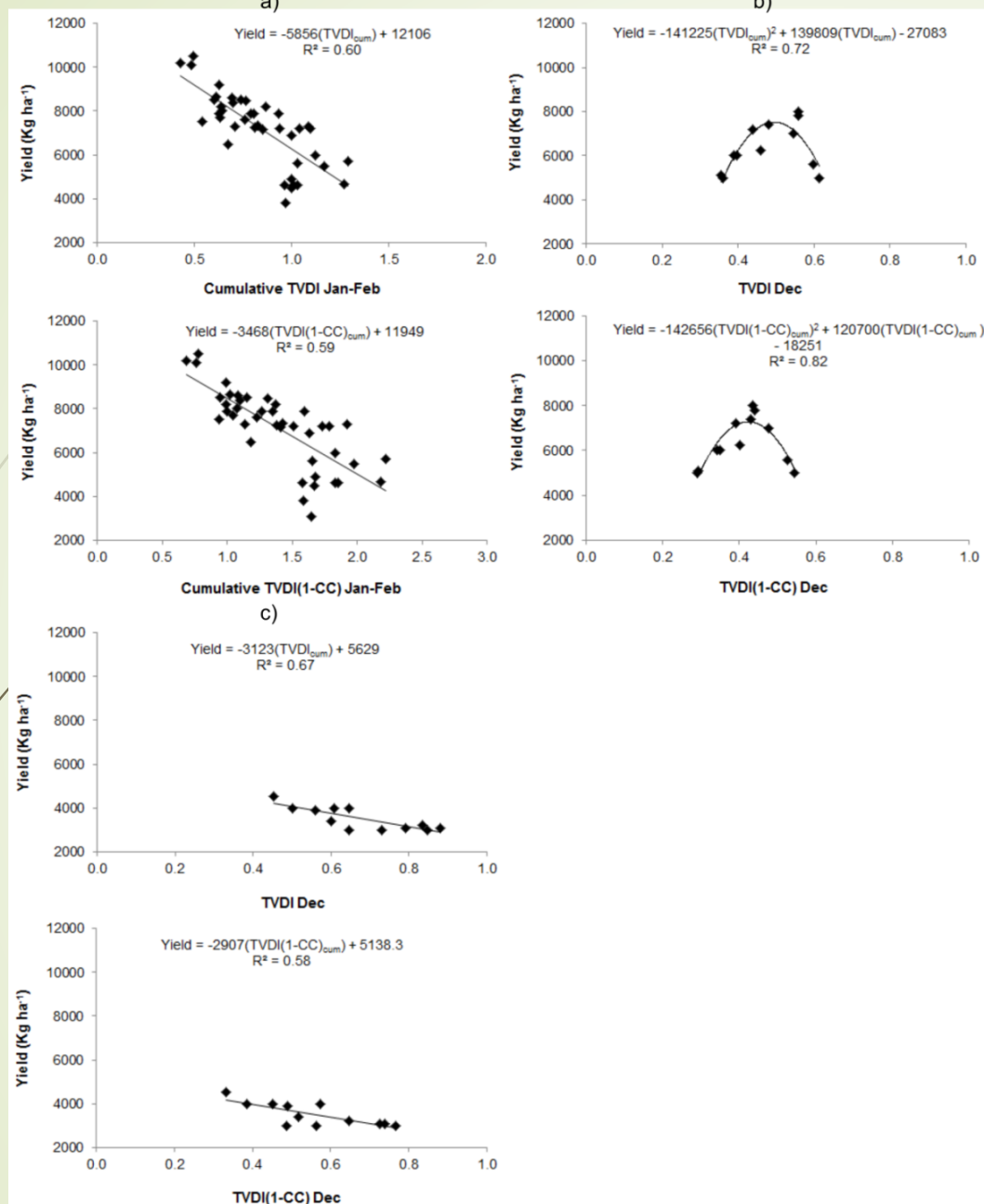


Fig. 4. Adjustment models of soybean yield as a function of TVDI and TVDI-solar radiation in a) Sandy Pampas, b) Endorreic Pampas.

(RMSE 460 kg/ha vs. 825 kg/ha)

(Poco aporte de la radiación)



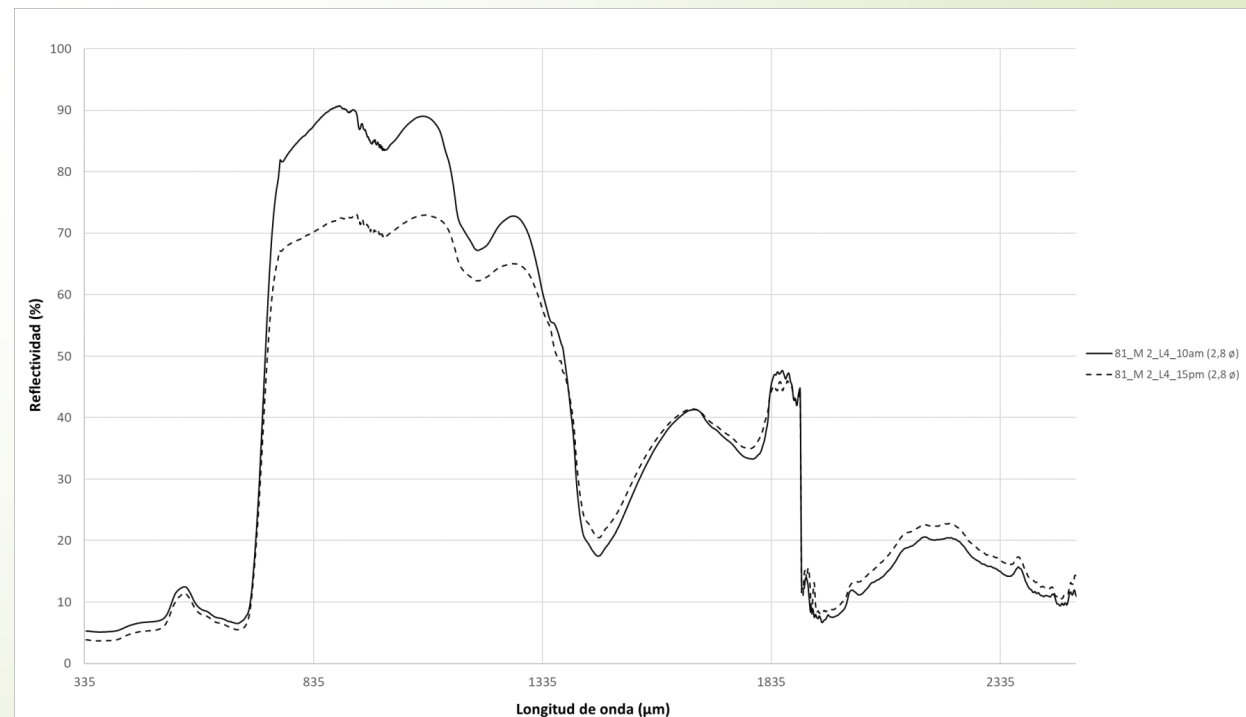
Esta mejora no se refleja en la validación

Fig. 5. Adjustment models of corn yield as a function of TVDI and TVDI-solar radiation in a) Sandy Pampas and Endorreic Pampas, b) Northern Hills, c) Semi-arid Plains.

Los resultados muestran que la radiación es importante en regiones húmedas y cultivos de invierno.

## Futuras líneas:

- Relación Ts-IRc-IRm, contenido de agua en la hoja
- Validación con Hs
- Testeo con rendimientos
- Integración a la estimación de huella hídrica y a medidas en lisímetros de pesada
- Modelos de rendimiento?



## Líneas de trabajo del GT-IHLLA

77

Tema general: Estudios de evapotranspiración y otras variables del sistema suelo-planta mediante imágenes de satélite y datos de campo

Integrantes: 3 investigadores (CIC-CONICET), 4 becarios, 3 profesionales de apoyo.

El GT-IHLLA cuenta con una experiencia de más de 15 años en la temática.

Principales áreas de investigación:

- **Cálculo de evapotranspiración a escala local y regional**
- **Espectro-radiometría**
- **Validación de productos satelitales de humedad de suelo**
- **Estimación espacial de radiación solar**
- **Estimación de humedad del suelo y rendimiento de cultivos con datos de satélites, huella hídrica**
- **Índices de vegetación y estrés hídrico**
- **Proyecto FONARSEC (2015-2018): IHLLA (CIC)-REDIMEC-ADA.**

# Ejemplos de Instrumental: lisímetro de pesada, sensores de humedad, estaciones meteorológicas y de balance de energía

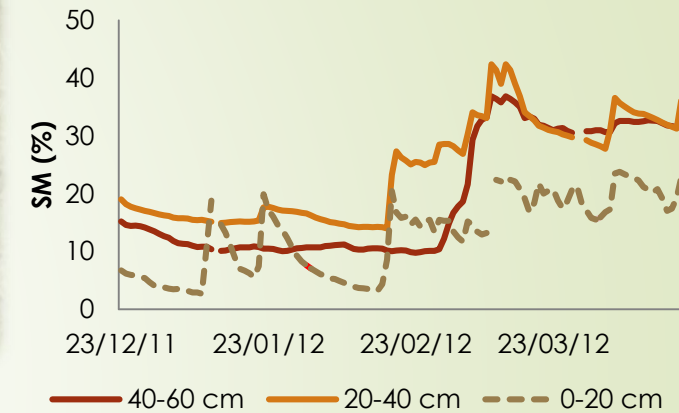
78

**Registrador de datos  
sensores de humedad**



**Disposición de sensores  
de humedad en cultivos  
(cultivos, pastura)**

**Lisímetro de pesada (vista de frente)**



**Estación de BE instalada sobre trigo**

**Espectro-radiómetro  
Spectra Vista  
Corporation HR 1024i**

