

*Ciclo de Seminarios Departamento de  
Hidráulica y CURIHAM*

# HIDROLOGÍA EN SISTEMAS DE LLANURA: ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD SUPERFICIAL MEDIANTE TELEDETECCIÓN. EL MÉTODO DEL TRIÁNGULO

Ing. Eugenia Chiarito

[eugechiarito@gmail.com](mailto:eugechiarito@gmail.com)

- Septiembre 2013 -

# CONTENIDO

- OBJETIVOS
- FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN
- MÉTODO DEL TRIÁNGULO
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

# OBJETIVOS

Explorar las posibilidades de la **TELEDETECCIÓN** para desarrollar una herramienta que permita estimar el **contenido de humedad** de la capa superficial de suelo, con adecuada

**FRECUENCIA**

**PRECISION**

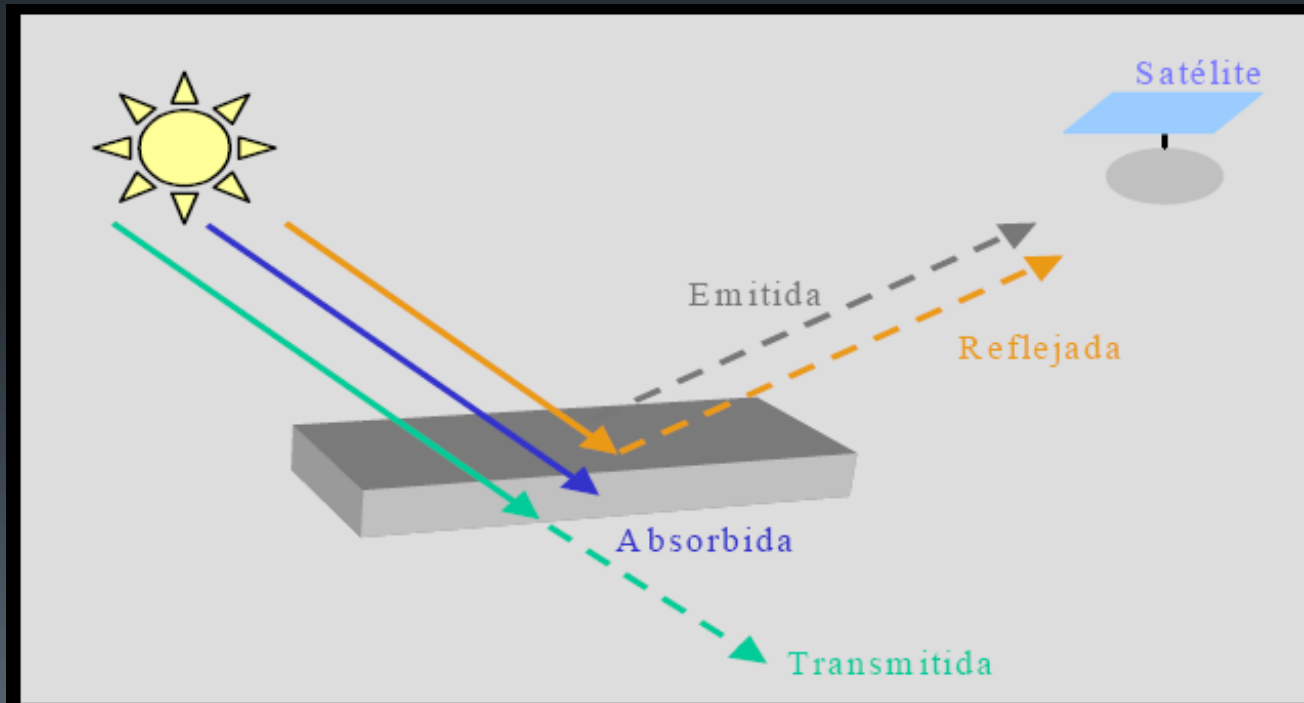
**SIMPLICIDAD**

# FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN

SISTEMAS IN SITU	SISTEMAS REMOTOS
Muestras puntuales (extrapolación de resultados)	Cobertura areal Completa
> Costos < Frecuencia	< Costos > Frecuencia
Escalas más reducidas	Escala Regional
SISTEMAS COMPLEMENTARIOS	

# FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN

TELEDETECCIÓN: Disciplina que comprende el conjunto de conocimientos y técnicas utilizadas para la obtención de información de objetos o fenómenos por medios remotos.



# FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN

## PLATAFORMAS SATELITALES Y SESORES

### LANDSAT 5 TM

RESOLUCIÓN	Nº BANDAS	FRECUENCIA	ÓRBITA
30m x 30m (TIR 120mx120m)	7	16 días	705Km

	Ch. 1	Ch. 2	Ch. 3	Ch. 4	Ch. 5	Ch. 6	Ch. 7
Rango espectral ( $\mu\text{m}$ )	0,45 – 0,52	0,52 – 0,60	0,63 – 0,69	0,76 – 0,90	1,55 – 1,75	10,40 – 12,50	2,08 – 2,35
	R	G	B	NIR	IRM	TIR	IRM

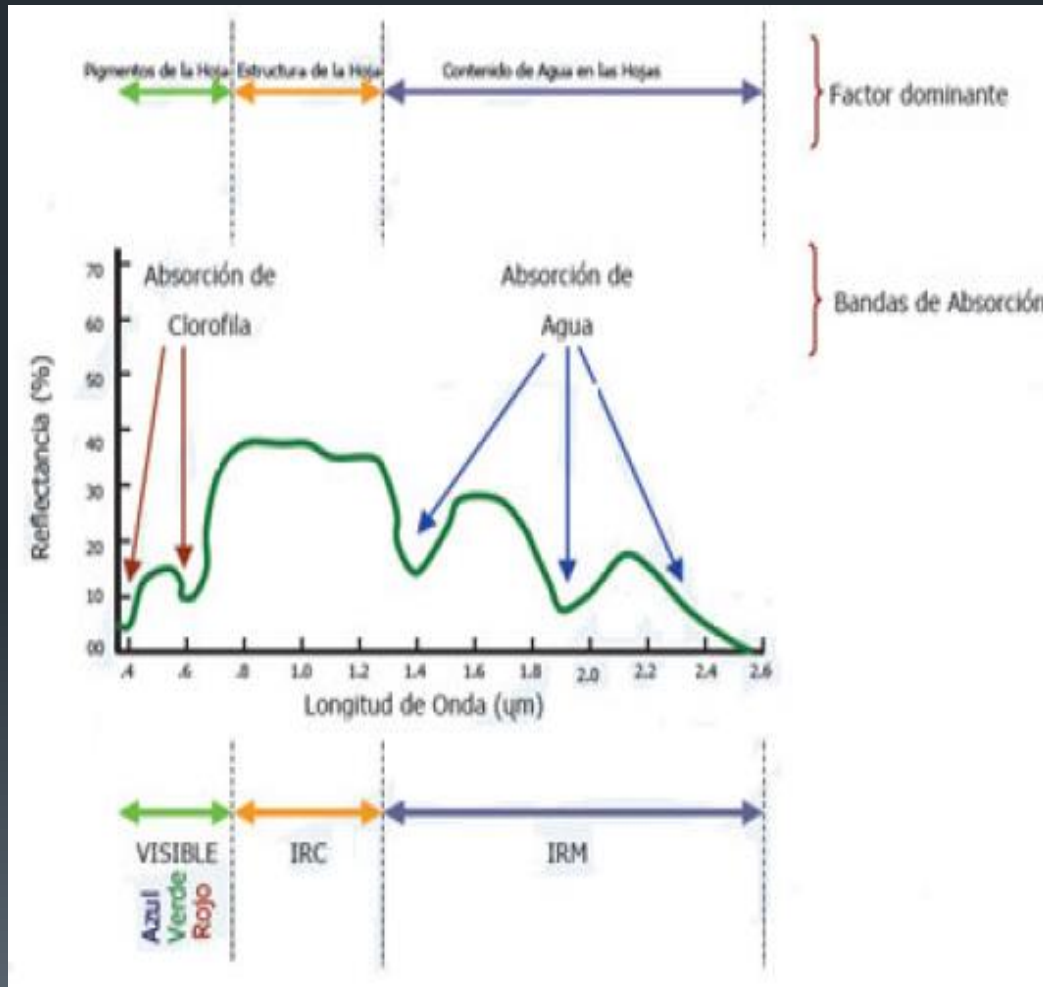
# FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN

## PRINCIPIOS (Nicholson, 1989)

- Todas las sustancias naturales varían en sus capacidades relativas de absorción, emisión y transmisión de radiación electromagnética;
- Estas capacidades varían en función de la longitud de onda de radiación incidente, tal que cada sustancia posee una firma espectral única; y
- La cantidad de radiación emitida para cualquier longitud de onda es función de la temperatura de la superficie radiante.

# FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN

## FIRMA ESPECTRAL





# FUNDAMENTOS FISICOS



## PROPIEDADES TÉRMICAS

- Albedo
- Amplitud térmica diurna

## PROPIEDADES DIELÉCTRICAS

- Radar
- Microondas

# FUNDAMENTOS FISICOS

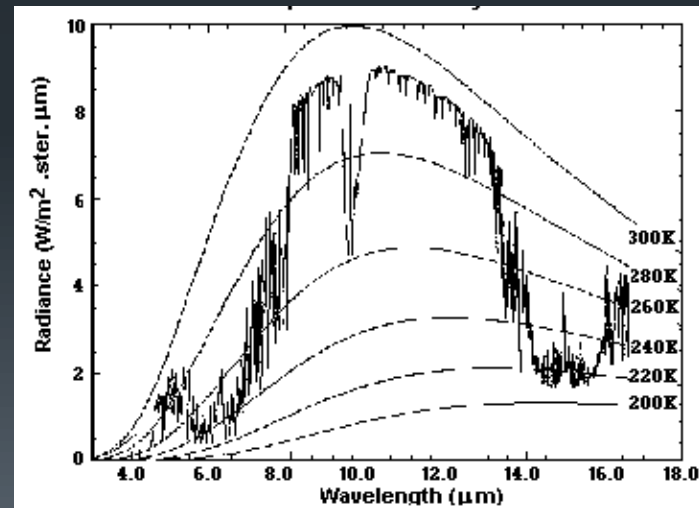
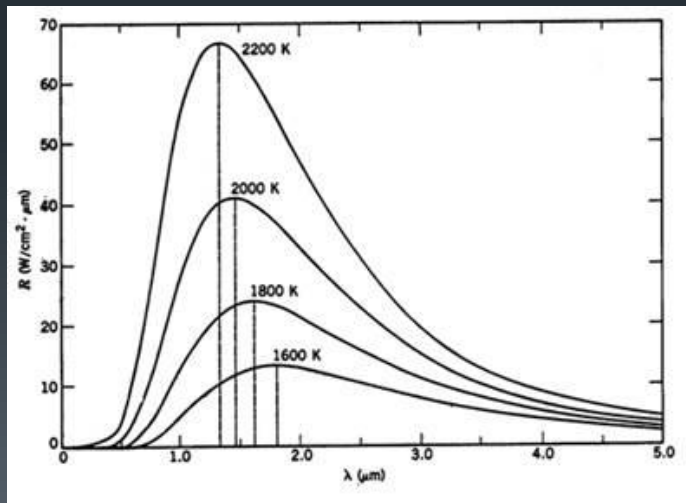
Dominio del espectro	Propiedad observada	Ventajas	Limitaciones
Optico	-Reflectancia del suelo	-Alta resolución espacial -Amplia Cobertura	-Limitada penetración dentro de la superficie -Introducción de “ruido” por cobertura de nubes
IR	-Temperatura de superficie	-Alta resolución espacial -Amplia Cobertura -Claro correlato con el fenómeno físico	-Limitada penetración dentro de la superficie -Introducción de “ruido” por cobertura de nubes, condiciones meteorológicas y cobertura vegetal
<b>Microondas</b> <b>ACTIVO</b>	-Temperatura de brillo -Propiedades dieléctricas -Temperatura de superficie	-Baja interferencia atmosférica -Moderada penetración en profundidad del suelo -Claro correlato con el fenómeno físico	-Baja resolución espacial -Sensible a perturbaciones por rugosidad de superficie y cobertura vegetal
<b>PASIVO</b>	-Coeficiente de retrodispersión -Propiedades dieléctricas	-Baja interferencia atmosférica -Moderada penetración en profundidad del suelo -Alta resolución espacial -Claro correlato con el fenómeno físico	-Ancho de barrido limitado -Sensible a perturbaciones por rugosidad de superficie y cobertura vegetal

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## FUNDAMENTOS FÍSICOS

### PROPIEDADES TÉRMICAS DEL AGUA

La cantidad de energía que emite una superficie varía en función de la longitud de onda y de su temperatura.



# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## TÉCNICAS MULTIESPECTRALES

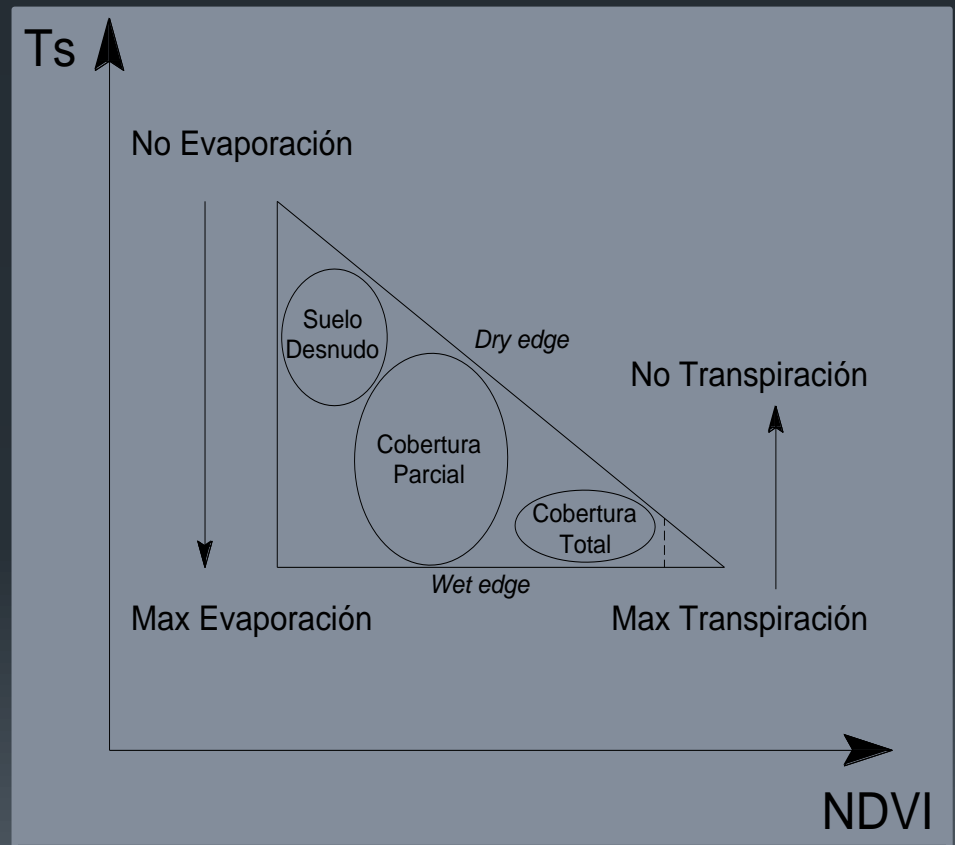


Combinación de información de varias bandas.

- Componentes principales
- Tasseled Cap
- NDWI
- Método del Triángulo
- (...)

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

- Rango de temperatura decrece conforme aumenta cobertura → Vértice filoso
- Base ancha con gran rango de temperaturas para suelo desnudo
- Límite bien definido sobre cara de temperaturas mayores: warm edge
- La posición del píxel en el triángulo define su condición de humedad



# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

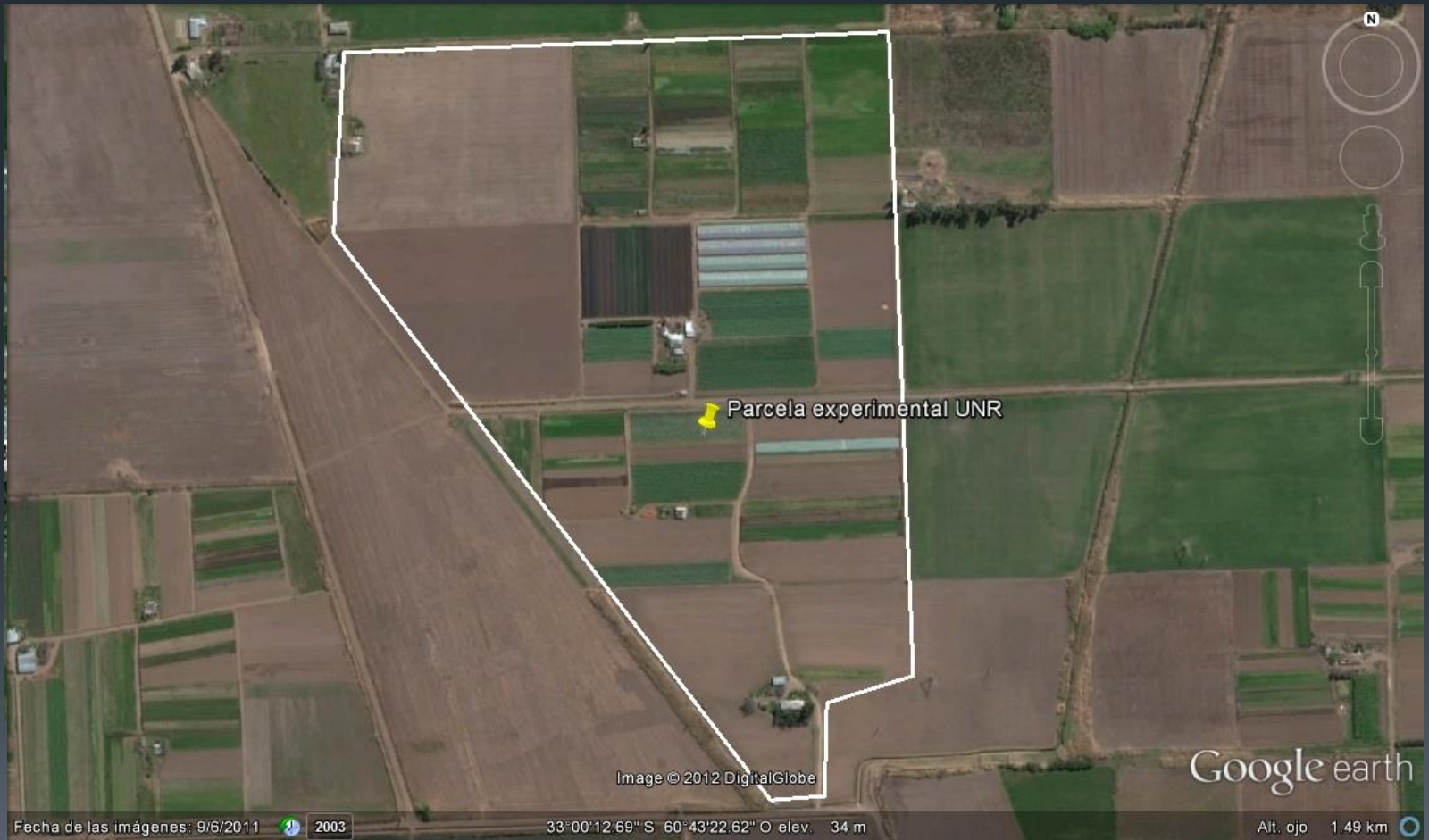


## OBSERVACIONES

- Relativa insensibilidad a condiciones atmosféricas y de superficie
- Demanda abarcar gran variabilidad de condiciones de humedad y cobertura para lograr formar el triángulo (condiciona escala de análisis)
- Sencilla interpretación física
- Ejecución simple
- Requiere condiciones de cielo despejado.

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PARCELA EXPERIMENTAL



# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PROCEDIMIENTO DE CAMPAÑA





# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PROCEDIMIENTO DE CAMPAÑA



Proyecto Tesis Parametrización de Modelos Matemáticos Hidrológicos Aplicados a Sistemas de Llanura Utilizando Imágenes Satelitales

### Toma de Muestras para Determinar Humedad en Campo

Lugar: Campo de Horticultura

Fecha: 06/12/2010

Responsable: AMSB

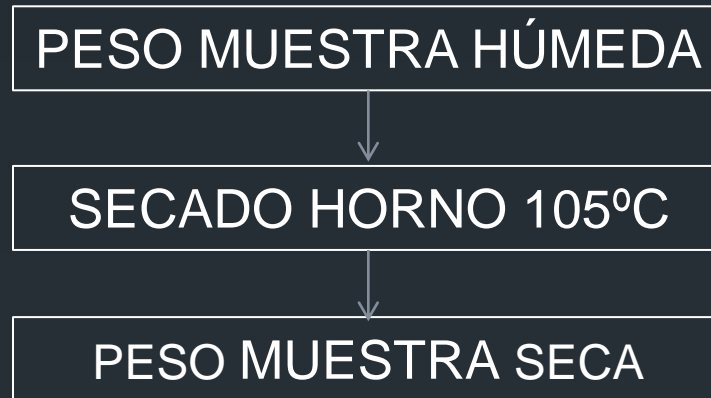
Hora de Inicio: 11:00 hs

Hora Finalización: 13:00 hs

# de muestra	Coordenada S	Coordenada O	temperatura Superior °C	temperatura Inferior °C	Observaciones Características del Suelo
1	33°00'10,7"	60°43'22,8"	29,6	28,8	cultivo de alcaudil
2	33° 00'10,5"8	60° 43'18,65"8	34,9	23,6	Suelo Desnudo
3	33° 00'10,1"	60° 43'15,0"	35,4	28,7	Suelo Desnudo
4	33° 00' 4,6"	60° 43' 15"	41,2	27,5	Suelo Desnudo
5	33° 00' 04"	60° 43' 18,4"	30	24,2	Suelo Desnudo
6	33° 00' 04,7"	60° 43' 22,7"	39,2	29,6	Suelo Desnudo
7	32° 59' 58,0"	60° 43' 22,4"	29,4	30,5	Toma en medio de vegetación: Rucula
8	32° 59' 58,0"	60° 43' 18,5"	43,4	30,4	Borde de Vegetación: Acelga
9	32° 59' 58,0"	60° 43' 14,9"	30	25,4	Cultivo Choclo y Acelga. Suelo regado
10	32° 59' 58,3"	60° 43' 25,4"	32,4	24,8	Cultivo Rucula. Suelo regado
11	32° 59' 58,2"	60° 43' 29,2"	35,2	29,2	Suelo Desnudo y Seco
12	33° 00' 00,6"	60° 43' 29,0"	25,4	22,2	Suelo Sembrado y regado
13	33° 00' 03,7"	60° 43' 28,9"	33	24,4	Plantación Acelga. Suelo seco
14	33° 00' 00,67"	60° 43' 23,3"	35,2	28,4	Cultivo Brocoli y Coliflor incipiente
15	33° 00' 18,3"	60° 43' 21,1"	39,2	30,4	Cultivo Brocoli y Coliflor incipiente
16	33° 00' 18,3"	60° 43' 19,0"	39,6	30,2	Cultivo Brocoli y Coliflor incipiente
17	33° 00' 18,2"	60° 43' 15,1"	40,8	32,2	Cultivo Brocoli y Coliflor incipiente
18	33° 00' 18,15"	60° 43' 22,3"	40,2	34,6	Cultivo de Zucchini. Suelo regado
19	33° 00' 18,5"	60° 43' 24,5"	33,4	30,4	Cultivo de Zucchini. Suelo regado
20	33° 00' 18,6"	60° 43' 27,2"	30,2	28,4	Cultivo de Zucchini. Suelo regado

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## TRABAJO DE LABORATORIO



## TRABAJO DE GABINETE

$$HS [gr / cm^3] = \frac{W_{agua} [gr]}{W_{muestra-seca} [gr]} \cdot \rho [gr / cm^3] = \frac{Vol_{agua} [cm^3]}{W_{muestra-seca} [gr]} \cdot \rho [gr / cm^3] = HS [cm^3 / cm^3]$$

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

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## TRABAJO DE GABINETE



### Proyecto Tesis Parametrización de Modelos Matemáticos Hidrológicos Aplicados a Sistemas de Llanura Utilizando Imágenes Satelitales

#### Toma de Muestras para Determinar Humedad en Campo

Lugar: campo experimental de Horticultura  
 Fecha: 06/12/2010  
 Responsable: AMSB

Hs. inicio toma muestr.: 11:00hs

Hora finalizacion Toma de muestras: 13:00hs

Fecha de secado: 07/12/2010  
 Hora inicio de secado: 18:30hs

Hora fin de secado: 18:30hs

# de recipiente	W recip vacio (gr)	W recip + muestra Humeda (gr)	W recip. + muestra seca (gr)	W muestra seca (gr)	Temperatura suelo in situ		Densidad Aparente (gr/cm3)	Contenido de Agua (gr)	Porcentaje HS (%)	Porcentaje HS en V	diferencia de T °C
					superficial °C	profunda °C					
1	24,15	109,07	95,10	70,94	29,60	28,80	0,81	13,97	19,69	16,02	0,80
2	25,37	98,48	86,04	60,67	34,90	23,60	0,70	12,44	20,50	14,27	11,30
3	28,35	91,19	85,25	56,91	35,40	28,70	0,65	5,93	10,43	6,81	6,70
4	27,41	98,10	91,54	64,13	41,20	27,50	0,74	6,56	10,23	7,53	13,70
5	26,69	104,32	96,02	69,33	30,00	24,20	0,80	8,30	11,97	9,52	5,80
6	26,23	94,09	87,09	60,86	39,20	29,60	0,70	7,00	11,50	8,03	9,60
7	25,45	94,04	87,29	61,84	29,40	30,50	0,71	6,75	10,92	7,75	-1,10
8	27,14	92,40	85,58	58,44	43,40	30,40	0,67	6,82	11,67	7,82	13,00
9	25,63	105,97	85,30	59,67	30,00	25,40	0,68	20,67	34,65	23,71	4,60
10	25,93	106,94	95,83	69,90	32,40	24,80	0,80	11,11	15,89	12,74	7,60
11	29,17	115,53	108,27	79,10	35,20	29,20	0,91	7,26	9,17	8,32	6,00
12	24,09	106,40	87,75	63,66	25,40	22,20	0,73	18,65	29,29	21,39	3,20
13	27,92	80,56	71,45	43,52	33,00	24,40	0,50	9,11	20,93	10,45	8,60
14	23,07	100,84	90,15	67,09	35,20	28,40	0,77	10,69	15,93	12,26	6,80
15	21,64	102,78	94,70	73,06	39,20	30,40	0,84	8,08	11,05	9,26	8,80
16	22,79	112,36	101,37	78,58	39,60	30,20	0,90	10,99	13,99	12,60	9,40
17	26,07	87,88	82,13	56,06	40,80	32,20	0,64	5,75	10,26	6,59	8,60
18	23,34	107,80	97,77	74,44	40,20	34,60	0,85	10,03	13,47	11,50	5,60
19	26,10	117,95	103,59	77,50	33,40	30,40	0,89	14,36	18,53	16,47	3,00
20	23,87	124,02	104,03	80,16	30,20	28,40	0,92	19,99	24,94	22,93	1,80
21	23,32	87,40	82,18	58,86	40,00	34,00	0,68	5,22	8,87	5,99	6,00
22	24,95	102,14	93,86	68,92	40,40	35,40	0,79	8,28	12,01	9,50	5,00
23	25,15	92,31	85,98	60,83	39,60	31,80	0,70	6,33	10,41	7,26	7,80
24	25,03	98,34	90,59	64,58	37,20	30,40	0,74	6,73	10,44	7,74	8,00

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO



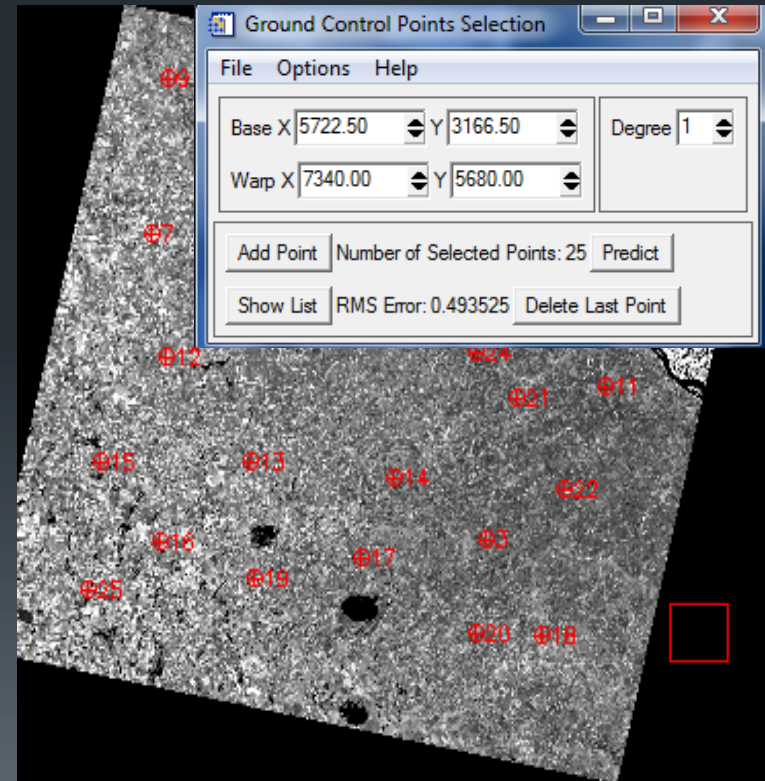
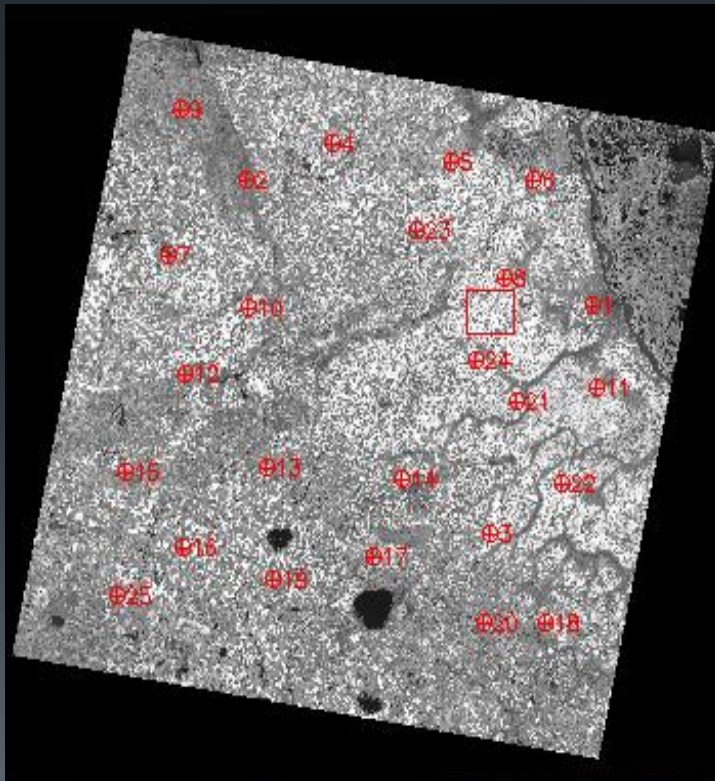
## PROCESAMIENTO IMAGENES SATELITALES

- ① GEOREFERENCIACIÓN
- ② DETERMINACIÓN NDVI – TEMPERATURA DE BRILLO
- ③ EXTRACCIÓN DE DATOS DEL ROI (Región de Interés)
  - ③.1 ROI PARA CONFECCIÓN DEL TRIÁNGULO ( > 250000 Píxeles)
  - ③.2 ROI PARA VALIDACIÓN CON MUESTRAS DE CAMPO (Máx. 25 Píxeles)
- ④ CONFECCIÓN DEL TRIÁNGULO → CÁLCULO M0
- ⑥ COMPARACIÓN RESULTADOS

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PROCESAMIENTO IMAGENES SATELITALES

### 1 GEOREFERENCIACIÓN



# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PROCESAMIENTO IMAGENES SATELITALES

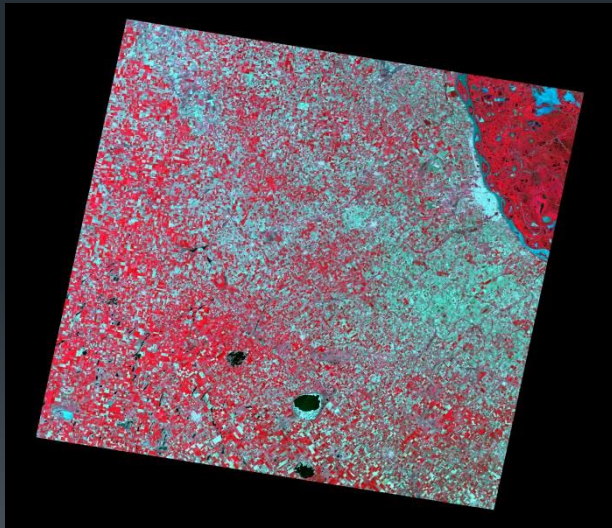
### ② DETERMINACIÓN NDVI – TEMPERATURA DE BRILLO



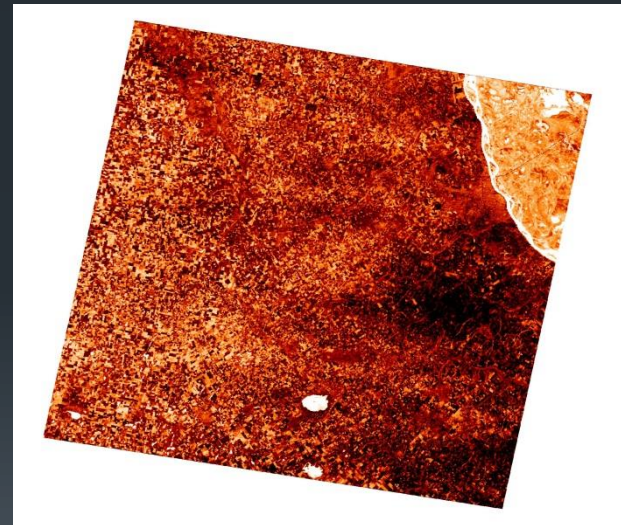
# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PROCESAMIENTO IMAGENES SATELITALES

### ② DETERMINACIÓN NDVI – TEMPERATURA DE BRILLO



Vegetación (B4-B3-B2)  
22/12/2010



Temperatura Brillo  
22/12/2010





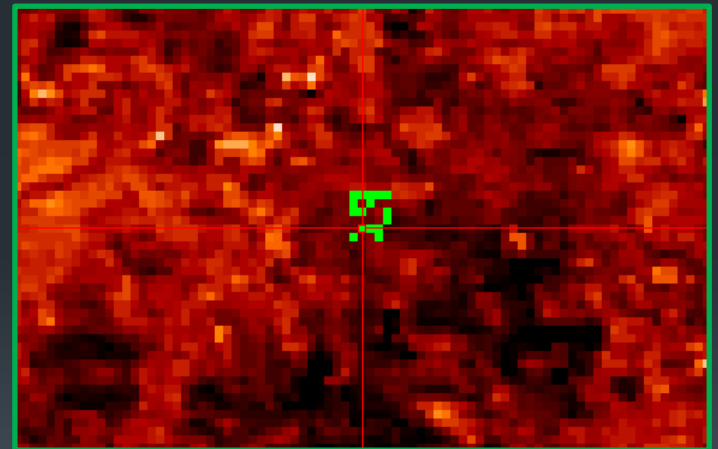
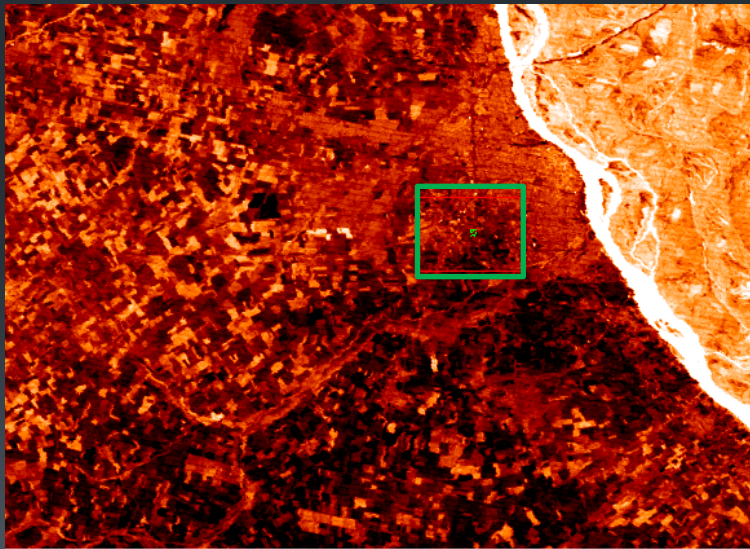
# MÉTODO DEL TRIÁNGULO



## PROCESAMIENTO IMAGENES SATELITALES

3 EXTRACCIÓN DE DATOS DEL ROI (Región de Interés)

3.2 ROI PARA VALIDACIÓN CON MUESTRAS DE CAMPO (Máx. 25 Puntos)

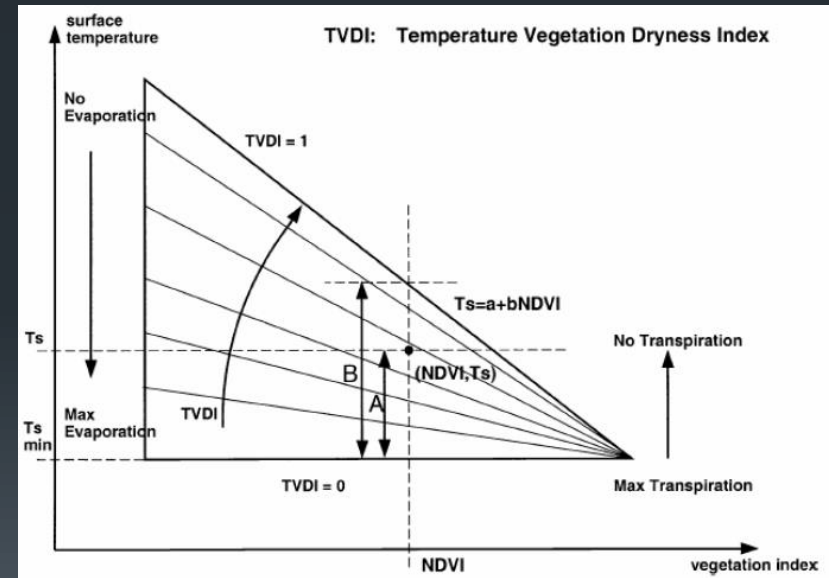
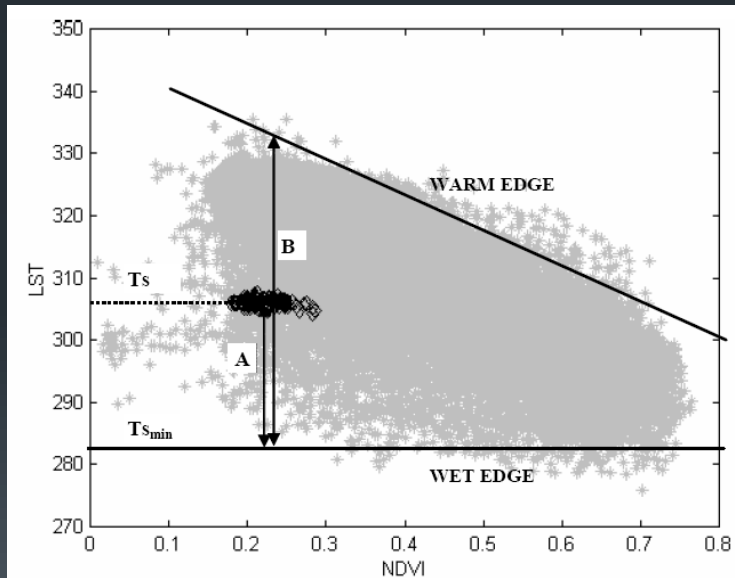


# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## ECUACIONES LINEALES

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

TEMPERATURA BRILLO (T)



$$TDVI = \frac{a}{b}$$

$$M_0 = 1 - TDVI$$

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PROCESAMIENTO IMAGENES SATELITALES

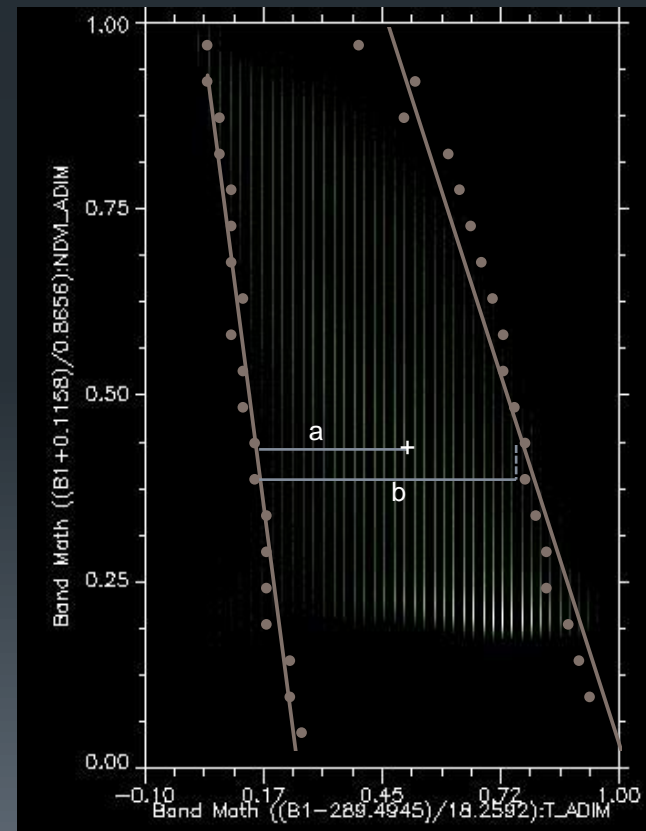
### 4 CONFECCIÓN DEL TRIÁNGULO: MÉTODO LINEAL

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

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

$$TDVI = a/b$$

$$M_{olineal} = 1 - TDVI$$

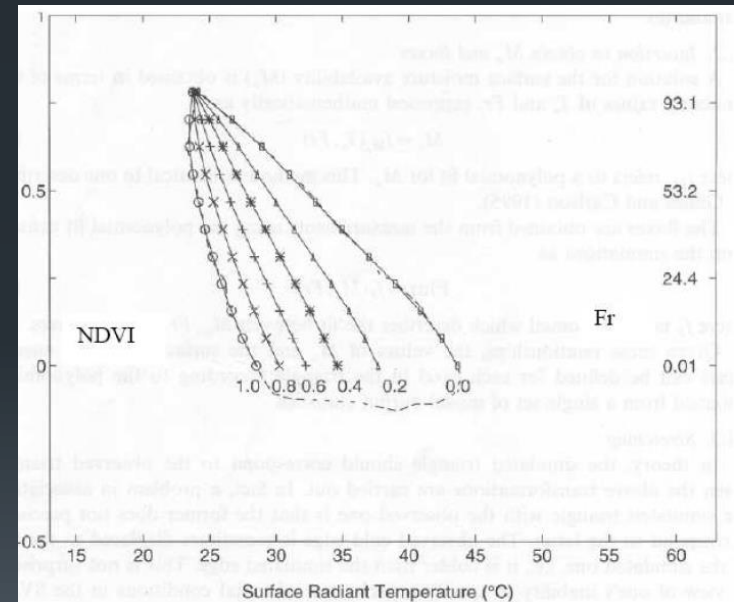
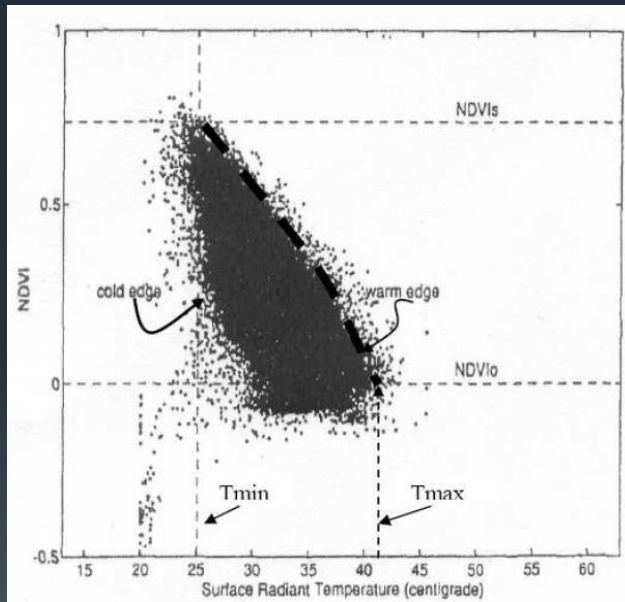


# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## ECUACIONES NO LINEALES

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

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



MODELO SVAT  $\longrightarrow$

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

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PROCESAMIENTO IMAGENES SATELITALES

### 4 CONFECCIÓN DEL TRIÁNGULO: MÉTODO CUADRÁTICO

$$Fr = (NDVI^*)^2$$

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

$$T^*_{Borde} = b + a_1 Fr + a_2 Fr^2 \leq 1.0$$

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PROCESAMIENTO IMAGENES SATELITALES

### 5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS



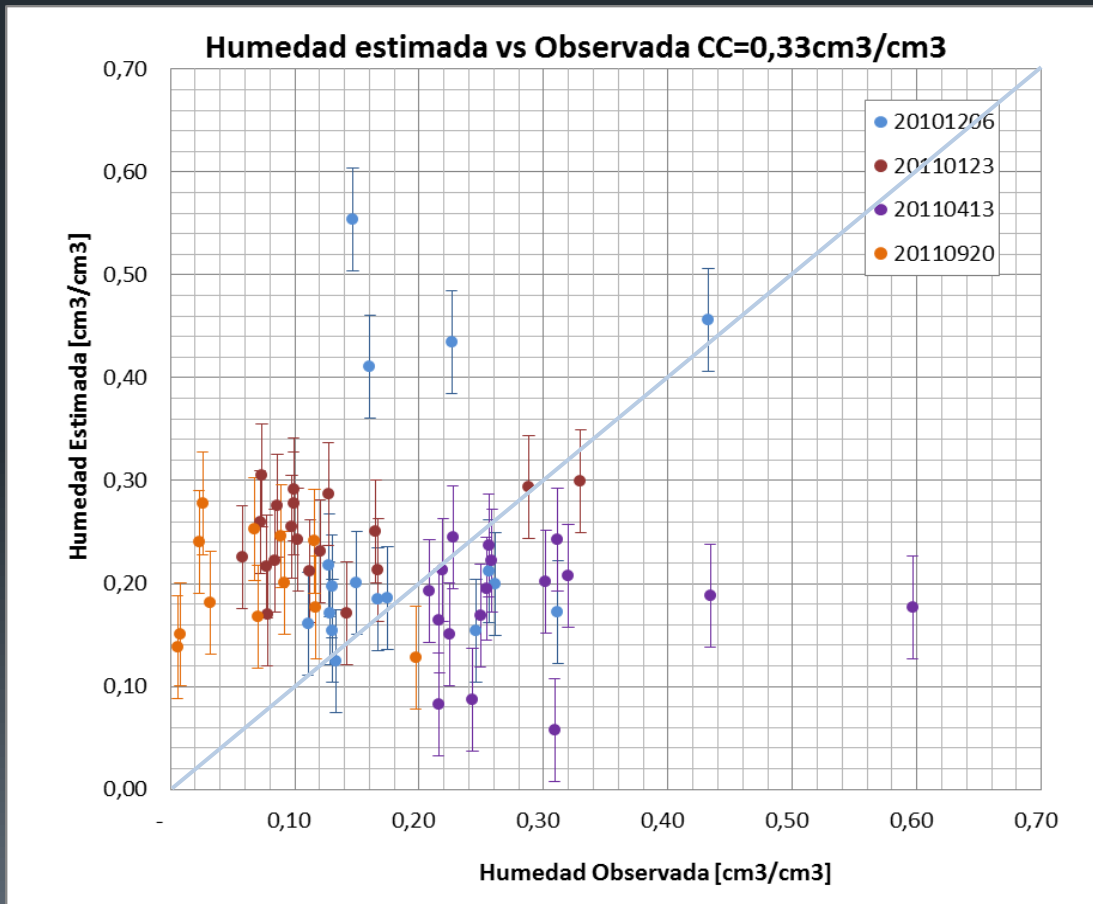
CC= Máx Maximorum=  $0,60\text{cm}^3/\text{cm}^3$   
=  $0,33\text{cm}^3/\text{cm}^3$   
=  $0,40\text{cm}^3/\text{cm}^3$   
=  $0,46\text{cm}^3/\text{cm}^3$

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

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PROCESAMIENTO IMAGENES SATELITALES

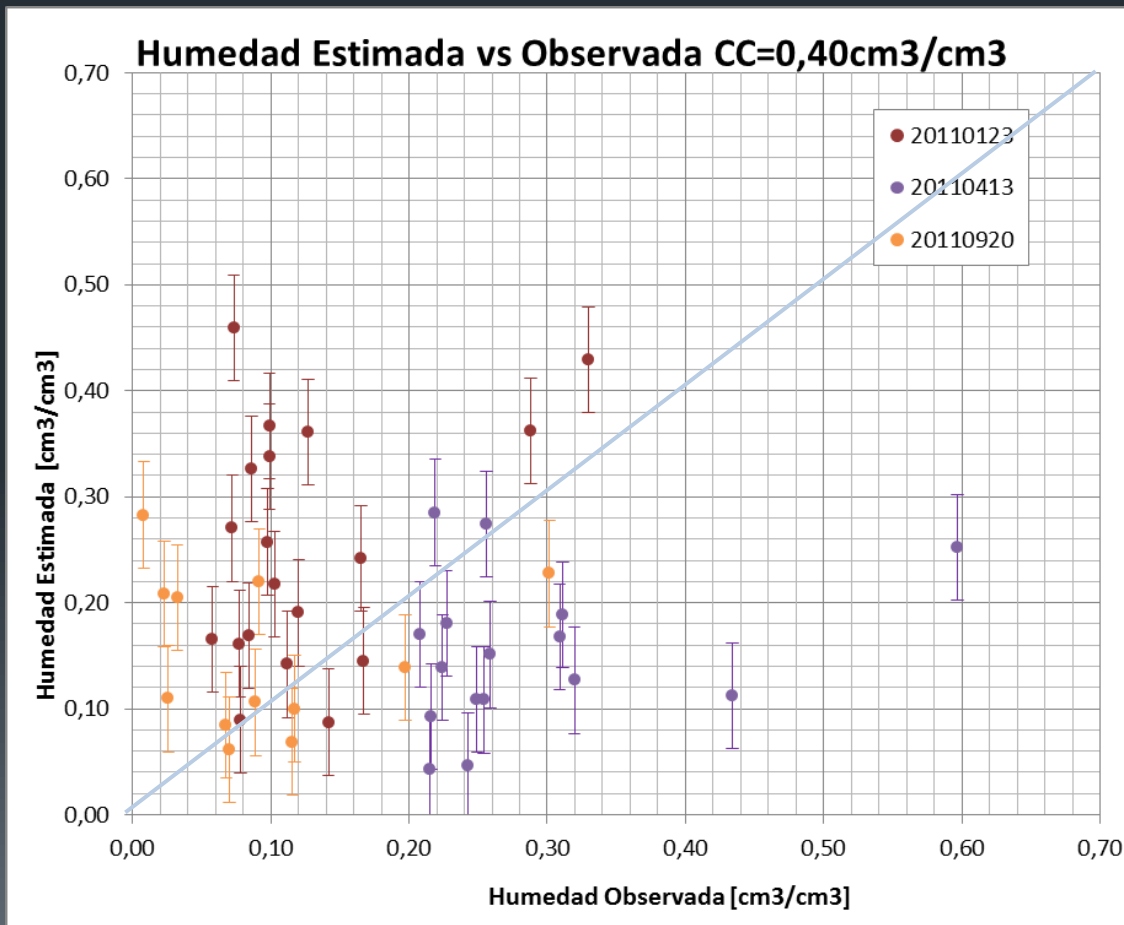
### 5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS: MÉTODO LINEAL



# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PROCESAMIENTO IMAGENES SATELITALES

### 5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS: MÉTODO CUADRÁTICO

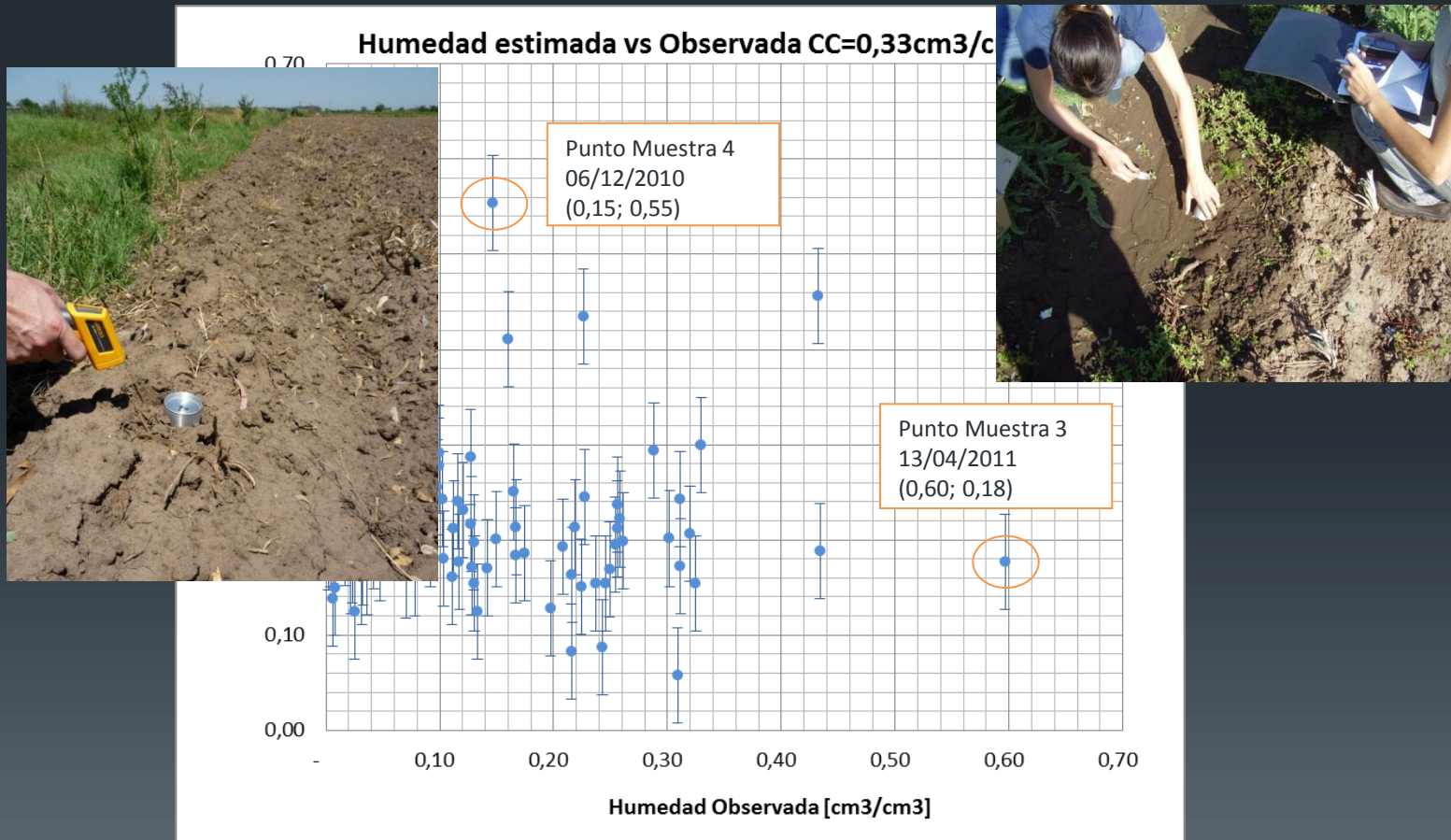




# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PROCESAMIENTO IMAGENES SATELITALES

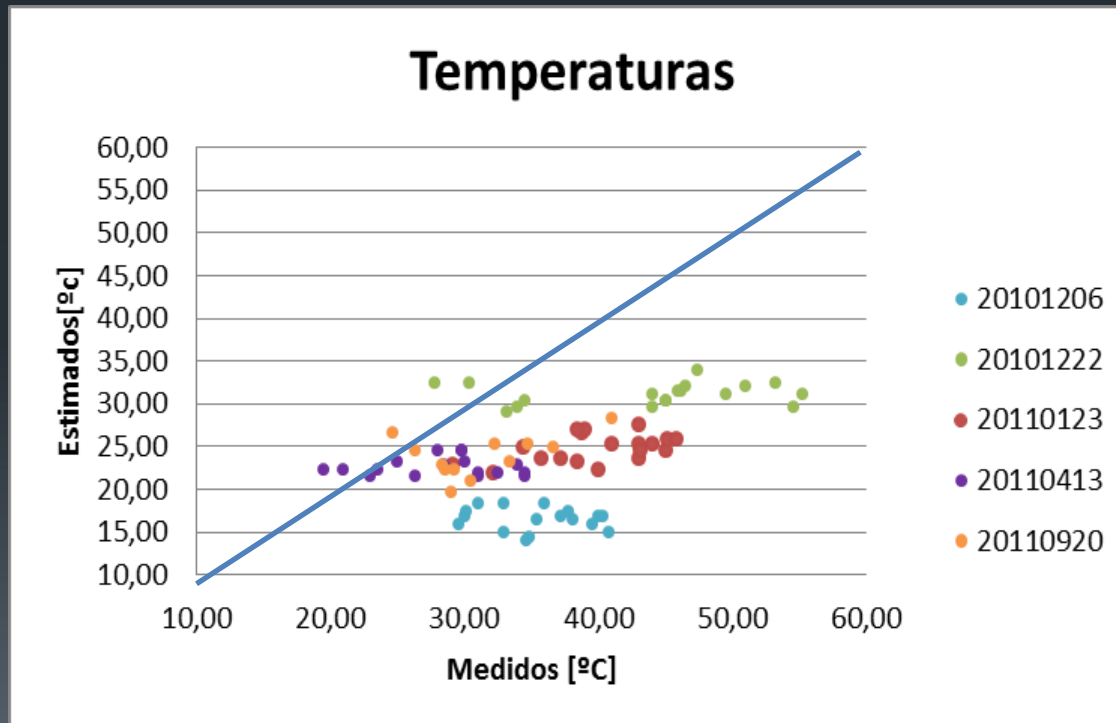
### 5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS



# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## PROCESAMIENTO IMAGENES SATELITALES

### 5) COMPARACIÓN DE RESULTADOS



# MÉTODO DEL TRIÁNGULO



## CONCLUSIONES: TELEDETECCIÓN

- Quedan ampliamente validadas las técnicas de teledetección basadas en mediciones dentro del dominio solar.
- Las imágenes satelitales constituyen una fuente muy importante de información sobre los recursos naturales y del ambiente permitiendo una mejor comprensión de la organización espacial, a un reducido costo por unidad de superficie.

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO

## CONCLUSIONES: MÉTODO DEL TRIÁNGULO

- 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.

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO



## CONCLUSIONES: MÉTODO DEL TRIÁNGULO

- Resta determinar si verdaderamente las correcciones de lecturas del satélite no son necesarias.
- 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.
- Cabe destacar no obstante que la presente es sólo una de las técnicas de medición de humedad propuestas a partir de aplicaciones de los sistemas remotos, y que explorar otras alternativas sería de gran utilidad. 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.

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO



## CONCLUSIONES: MÉTODO DEL TRIÁNGULO

- 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.

# MÉTODO DEL TRIÁNGULO



MUCHAS GRACIAS!!!

¿PREGUNTAS – DUDAS?

# FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN

## PLATAFORMAS SATELITALES Y SESORES

### LANDSAT 5 TM

#### CARACTERÍSTICAS

- Resolución Espacial
- Resolución Espectral
- Resolución Radiométrica
- Resolución Temporal



Alcalá de Henares:  
Resolución espacial (izq.) 15m  
(der.) 30m



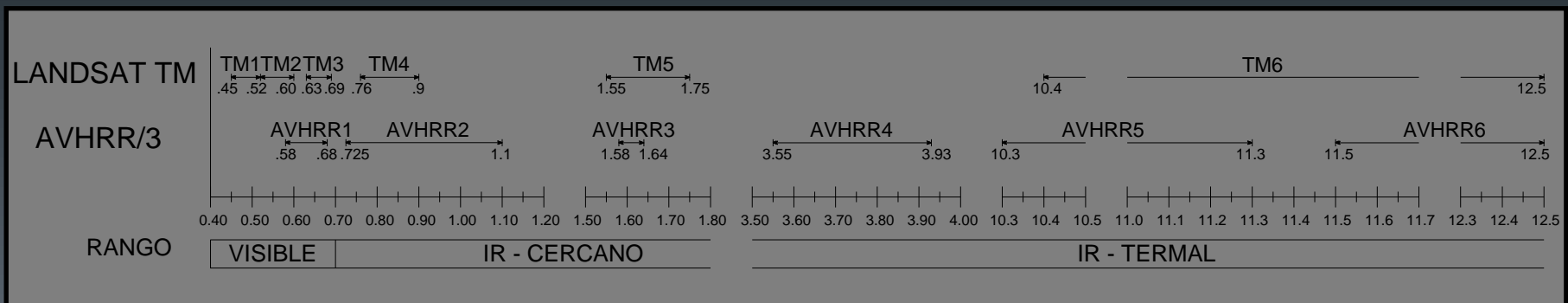
# FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN

## PLATAFORMAS SATELITALES Y SESORES

### LANDSAT 5 TM

#### CARACTERÍSTICAS

- Resolución Espacial
- Resolución Espectral
- Resolución Radiométrica
- Resolución Temporal



# FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN

## PLATAFORMAS SATELITALES Y SESORES

### LANDSAT 5 TM

#### CARACTERÍSTICAS

- Resolución Espacial
- Resolución Espectral
- Resolución Radiométrica
- Resolución Temporal



# FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN

## PLATAFORMAS SATELITALES Y SESORES

### LANDSAT 5 TM

#### CARACTERÍSTICAS

- Resolución Espacial
- Resolución Espectral
- Resolución Radiométrica
- Resolución Temporal

