



ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DIARIA EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES

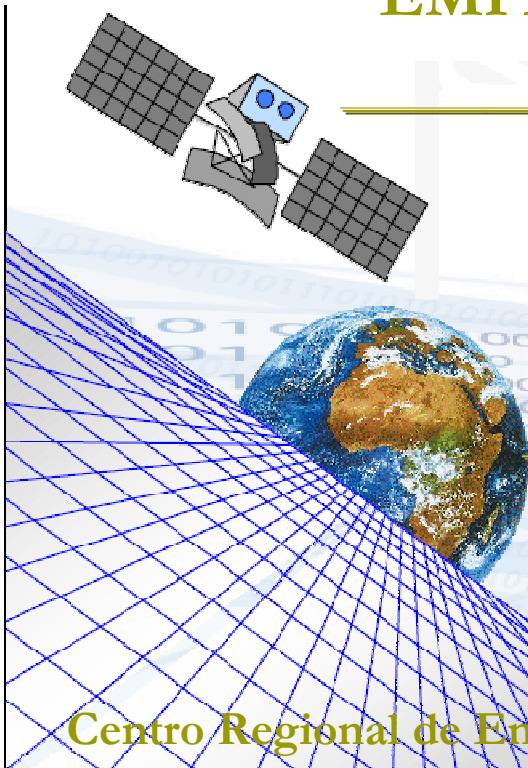
Por:

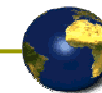
Rebeca Yuly Sanabria B.

Agosto, 2010

Sta. Maria Tonanzintla-Puebla-México

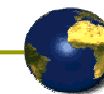
Centro Regional de Enseñanza en Ciencia y Tecnología para America Latina y el Caribe





SECUENCIA DE PRESENTACIÓN:

1. **Introducción**
2. **Objetivos y Metas**
3. **Metodología - Modelo SEBAL**
 - 3.1. **Área de Aplicación**
 - 3.2. **Información Requerida**
 - 3.3. **Pre-Procesamiento Digital**
 - 3.4. **Procesamiento Digital**
4. **Análisis y Resultados**
5. **Aplicaciones**
6. **Conclusiones**
7. **Recomendaciones**

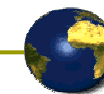


1. INTRODUCCIÓN

Planteamiento del Problema:

- ❑ Baja densidad de estaciones meteorológicas.
- ❑ Datos puntuales, la incertidumbre aumenta si es que se quiere modelar (interpolación y extrapolación) un nivel regional un parámetros.
- ❑ En este contexto, se considera oportuno recurrir a las técnicas de teledetección que nos permitan disponer de una observación regular de un territorio extenso.





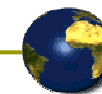
1. INTRODUCCIÓN

Importancia del estudio de la ET:

- ❑ El seguimiento de la evapotranspiración tiene importantes implicaciones en la modelización global y regional del clima. El proceso del ciclo hidrológico.
- ❑ Desarrollo de los cultivos.
- ❑ Evaluación y el uso del recurso hídrico, para una adecuada planificación.

Importancia como generación de data:

- ❑ Nuevas formas de obtener parámetros atmosféricos y de la superficie terrestre importantes en diferentes aplicaciones.
- ❑ Independencia de data meteorológica puntual.
- ❑ Observación regular de un territorio extenso (regional y global).



EVAPOTRANSPIRACIÓN

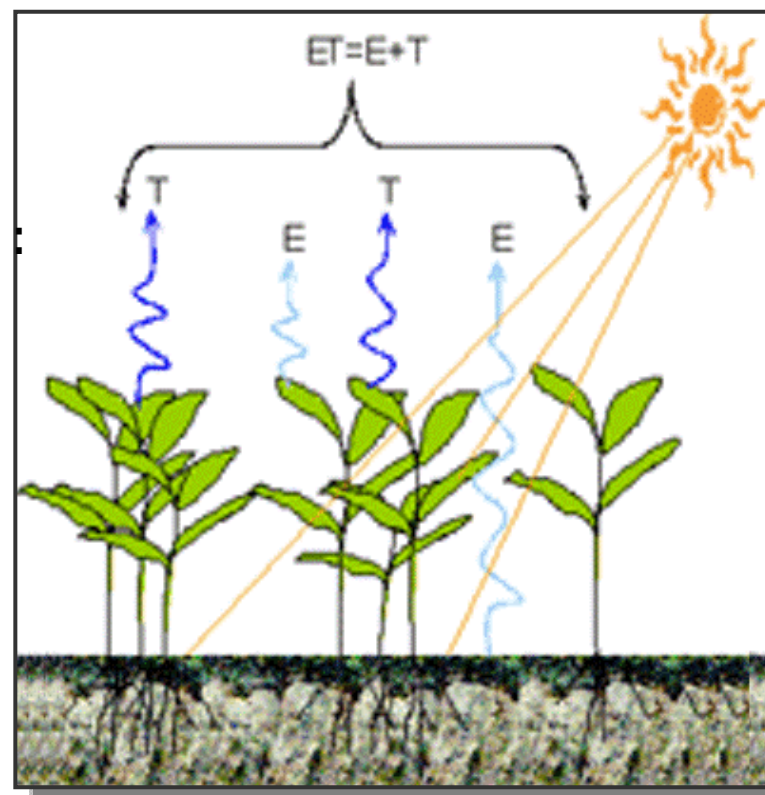
Es la ocurrencia de dos procesos importantes : la evaporación y la transpiración.

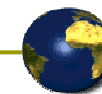
Por lo tanto si ocurren simultáneamente :

$$E + T = ET$$

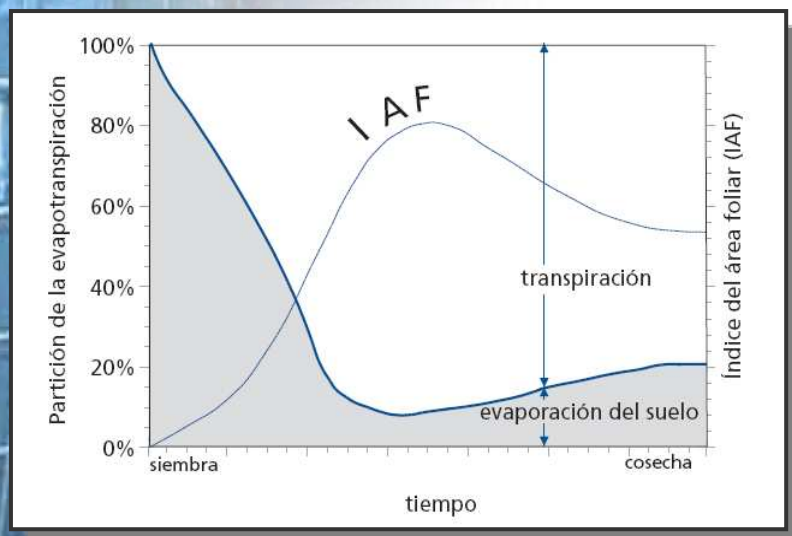
E – del Suelo

T – de la vegetación

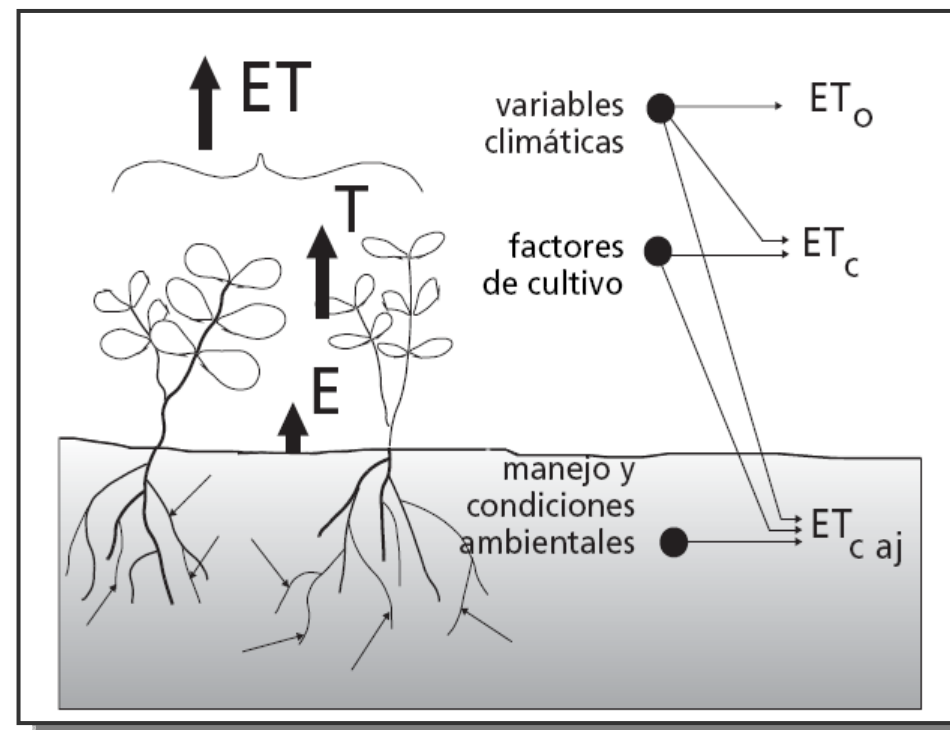


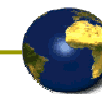


Repartición de la Evaporación y la transpiración durante el desarrollo del cultivo:



Factores que afectan la evapotranspiración :





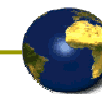
2. OBJETIVOS

General:

Estimar la Evapotranspiración real diaria (ET_{rd}) a escala regional, mediante técnicas de teledetección aplicando el modelo **SEBAL** (Surface Energy Balance Algorithm for Land) en la región central de México.

Específicos:

- ❑ Demostrar el potencial uso de los datos satelitales para obtener información relevante de la atmosfera y de la superficie terrestre.
- ❑ Generar un modelo raster de evapotranspiración (ET_d), temperatura de la superficie (T_s), temperatura de aire (T_a) y de los parámetros requeridos para la estimación del balance.
- ❑ Comparar los resultados de ET_{rd} obtenidos mediante el modelo SEBAL con respecto a los datos generados según el método empírico Penman Monteith obtenidos por el INIFAP.
- ❑ Generar un informe técnico sobre la metodología aplicada que sirva como guía para aplicaciones futuras.



3. METODOLOGIA

Modelo SEBAL- Surface Energy Balance Algorithm for Land

Se considera el balance total de energía correspondiente a la interrelación de la superficie terrestre que contiene vegetación y la atmosfera circundante.

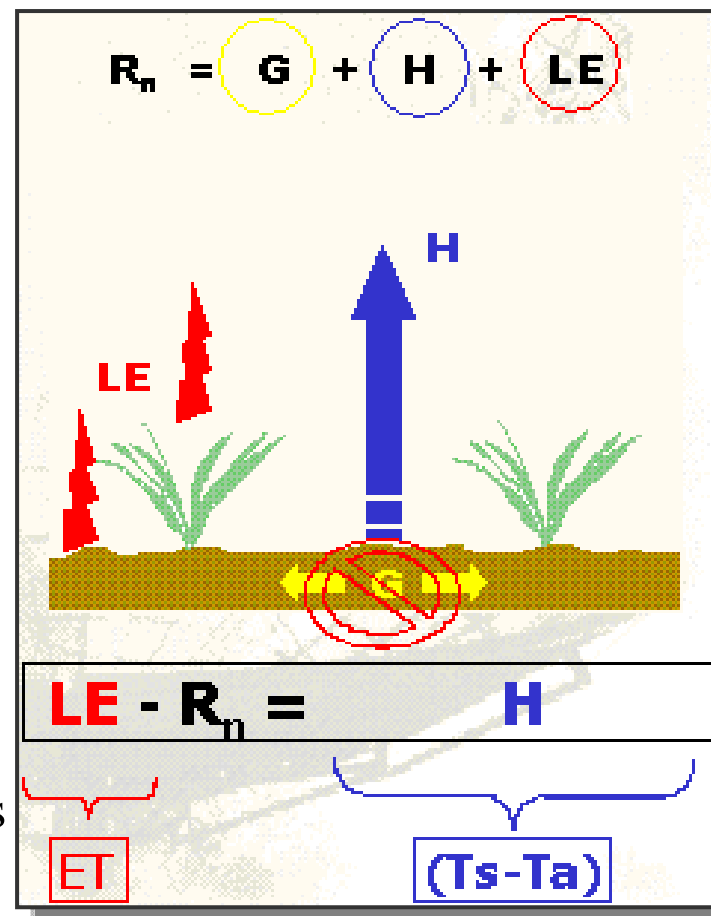
Donde:

R_n : Flujo de radiación neta.

G : Flujo de calor almacenado en el suelo.

H : Flujo de calor sensible (calor que es emitido desde la superficie hacia la atmosfera (T_s-T_a).

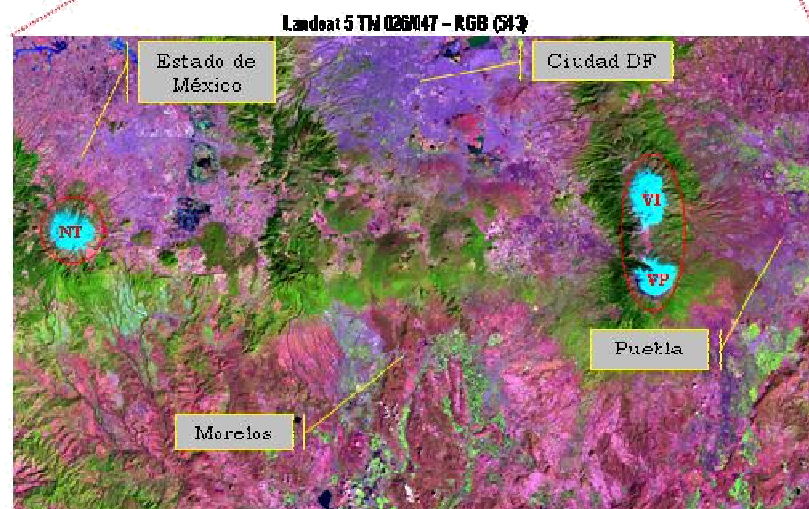
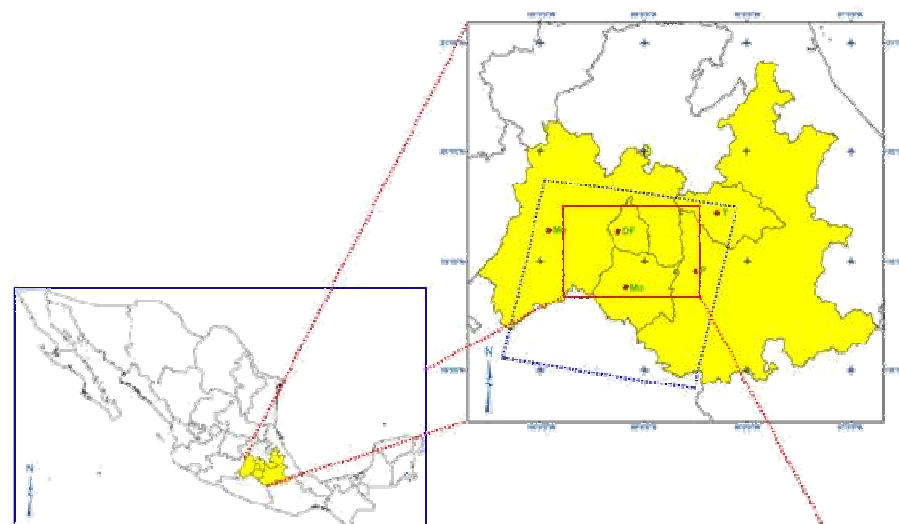
LE : Flujo de calor latente que corresponde a la cantidad de agua evaporada expresada en unidades de energía.





3.1. Área de Aplicación:

ESTADOS	
P	– Puebla
DF	– Distrito Federal
T	– Tlaxcala
Me	– Estado de México
Mo	– Morelos
NT	– Nevado Toluca
VP	– Volcán Popocatepelt
VI	– Volcán Iztaccihualt

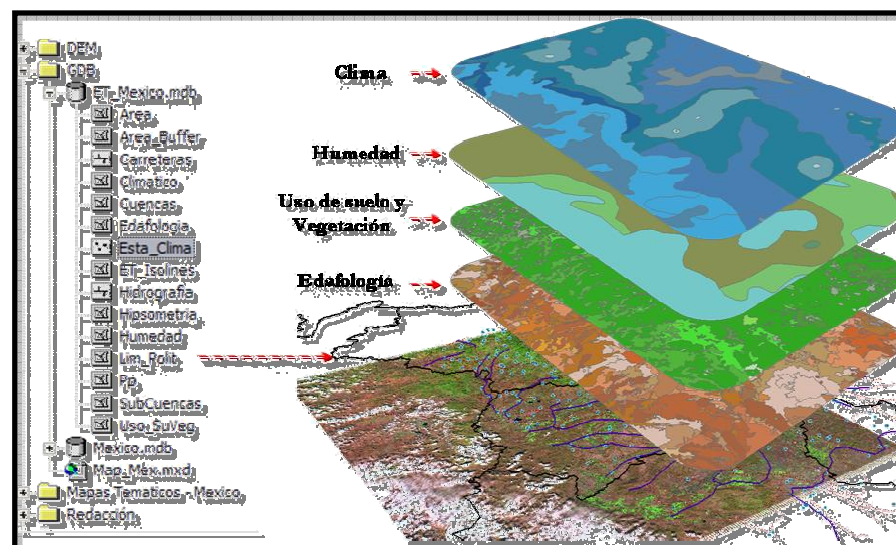




3.2. Información Requerida:

Información Cartográfica:

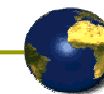
- **Fuente:** Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (**CONABIO**).
- Información vectorial del área de interés (shp)
- Mapas Temáticos (Capacidad de uso de suelo, Forestal, clima)



Información Satelital:

Sensor	Fecha	Path/Row	Nivel	Tipo	Resolución Espectral	Resolución Espacial
Landsat 5 TM	05/02/2010	026/047	S/R	GeoTiff	6 Bandas VIS&IR 1 Bandas IRT	30.00 mt. 120.00 mt.
DEM	-	026/047	Ortho	GeoTiff	1 Banda	90 mt

***Fuente:** Estación para la Recepción de Imágenes Satelitales - Chetumal, GLCF.



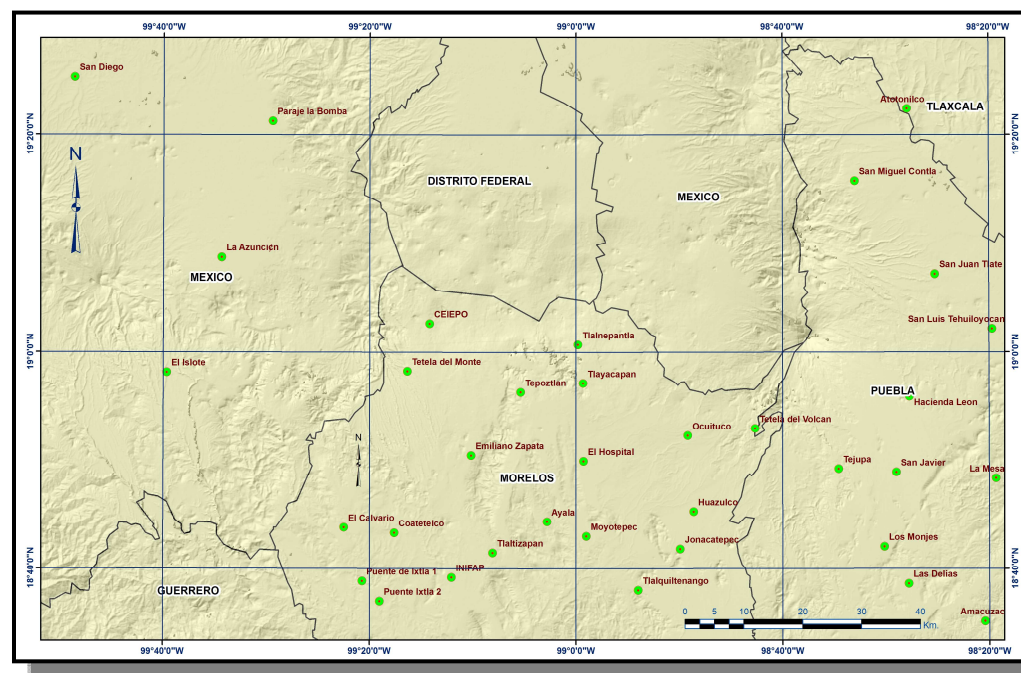
3.2. Información Requerida:

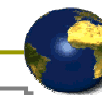
Información Meteorológica:

- **Fuente:** Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP).
- 34 Estaciones Agrometeorológicas.
- Datos: Temperatura del Aire, ET de Referencia.

Software:

- ENVI versión 4.4 y 4.6
- ArcGis Desktop versión 9.3



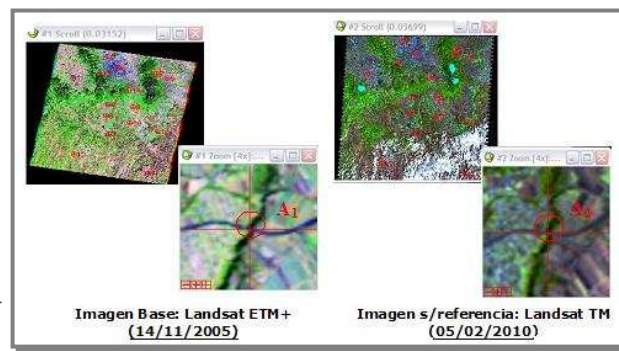


3.3. Pre-Procesamiento de Imágenes Satelitales:

0. Data Cruda

1. Preparación de Bandas espectrales

2. Corrección Geométrica
(Georeferenciación de bandas: 1, 2, 3, 4, 5 y 7)



3. Calibración Radiométrica en el Espectro Solar

3.1. Niveles Digitales (ND) a Radiancias.

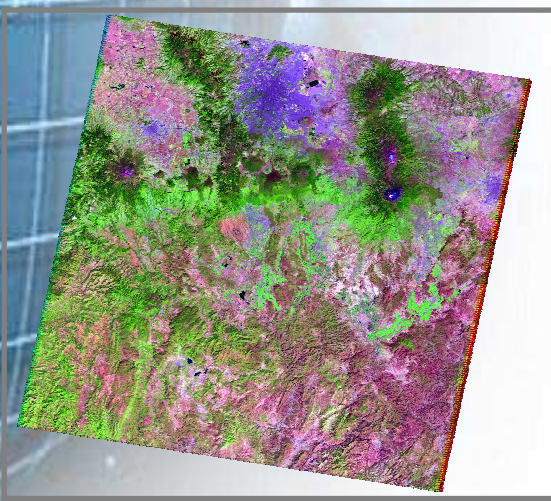
$$L_{\lambda} = G_{\lambda} \cdot ND_{\lambda} + B_{\lambda}$$

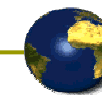
3.2. Radiancias a Reflectividades TOA (Top Off Atmosphere)

4. Calibración Atmosférica en el Espectro Solar

4.1. Reflectividades TOA a Reflectividades de superficie.

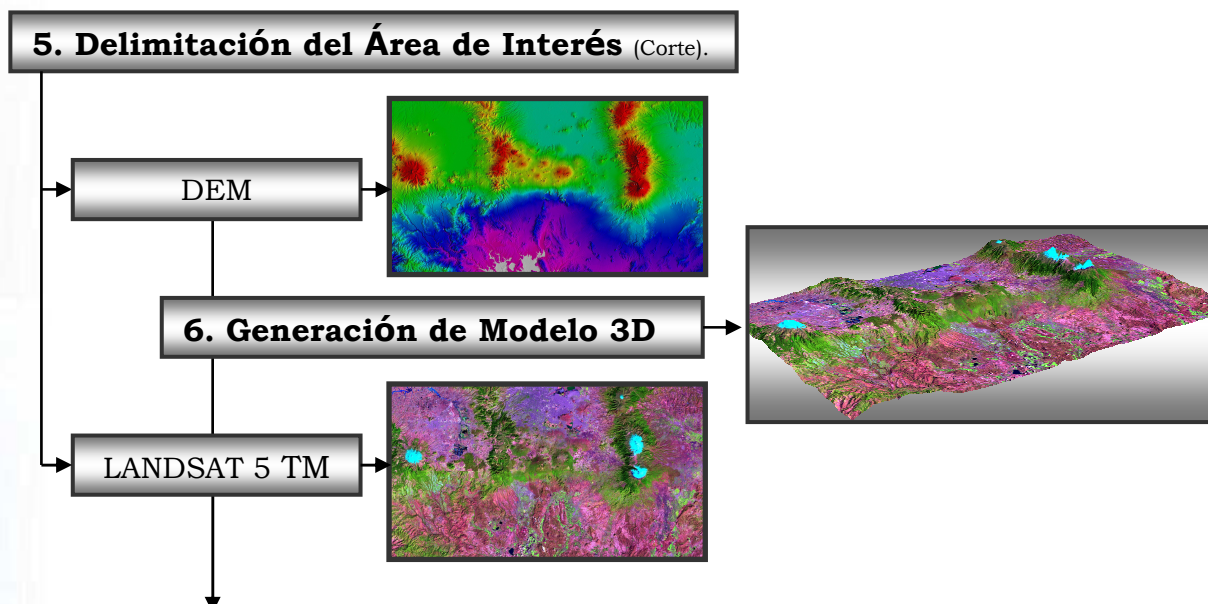
$$\rho_{\lambda \text{ sup}} = \frac{d^2 \pi (L_{\lambda}^{\text{sensor}} - L_{\lambda}^{\text{camino}})}{\tau_{\lambda} ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_z}$$



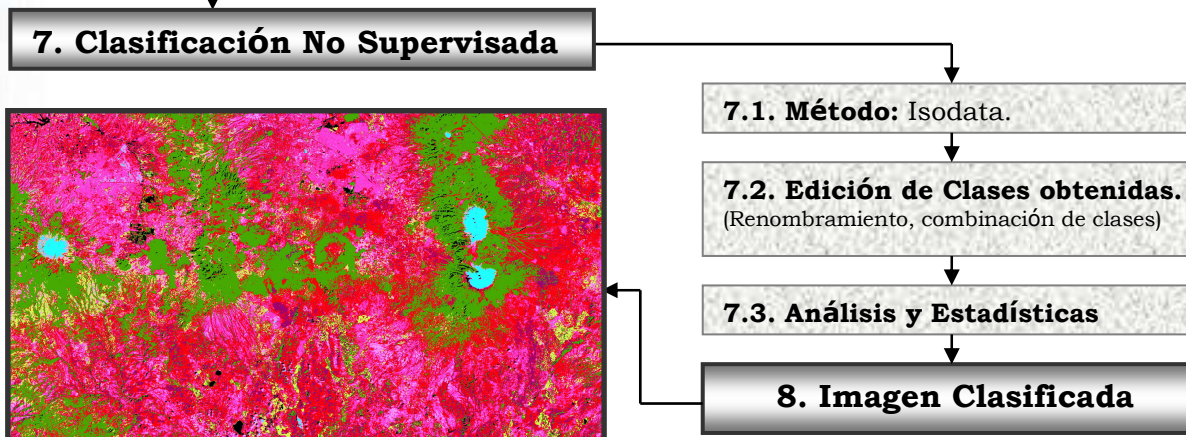


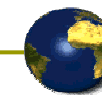
3.4. Procesamiento Digital

I.



II.





3.4. Procesamiento Digital

III.

V
a
r
i
a
b
l
e
s

L
a
t
i
t
u
d
,
L
o
n
g
i
t
u
d
,
A
l
t
i
t
u
d

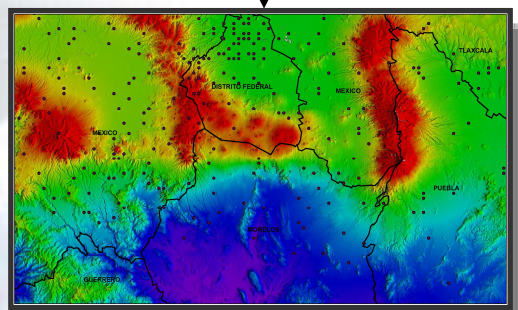
y

T
a

0. Preparación de datos de temperatura del Aire (Ta)

1. Análisis Estadístico: Correlación Múltiple Lineal

Variables: Latitud, Longitud,
Altitud y Ta.
 $Y = c + (x_d \cdot x) + (y_d \cdot y) + (z_d \cdot z)$

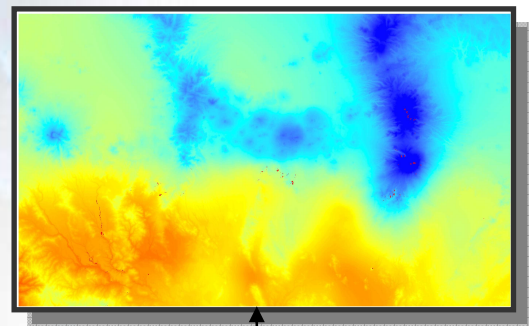


2. Diferencia entre datos de: Ta y Y (estadística).

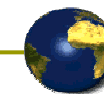
3. Interpolación de Variables (Método Spline)

4. Algebra de Mapas (Raster Calculation)

$$Y = Ta_{ajuste}^{raster} = c + (Latitud_{raster} \cdot x) + (Longitud_{raster} \cdot y) + (DEM \cdot z)$$



5. Obtención de Modelo de Ta.



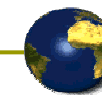
ALGORITMO - SEBAL

$$ET = R_n - G - H$$

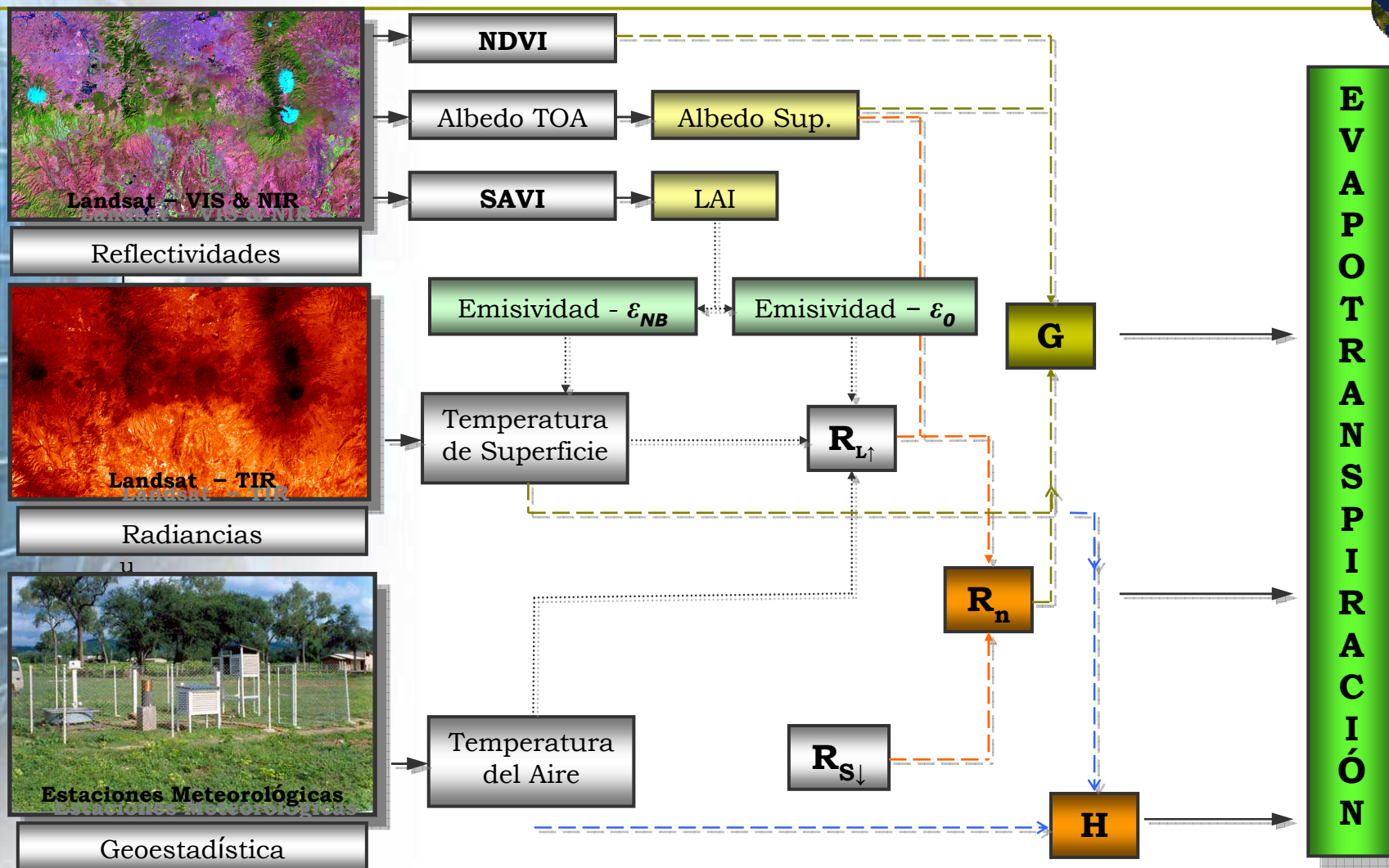
$$H = \rho_a \cdot cp \cdot r_a (T_s - T_a)$$

$$G = \left[T_n (0.0038 + 0.0074 \cdot \alpha_s) \cdot (1 - 0.98 \cdot NDVI^4) \right] R_n$$

$$R_n = R_{S\downarrow} (1 - \alpha) - R_{L\uparrow} - \varepsilon_s - R_{L\downarrow}$$

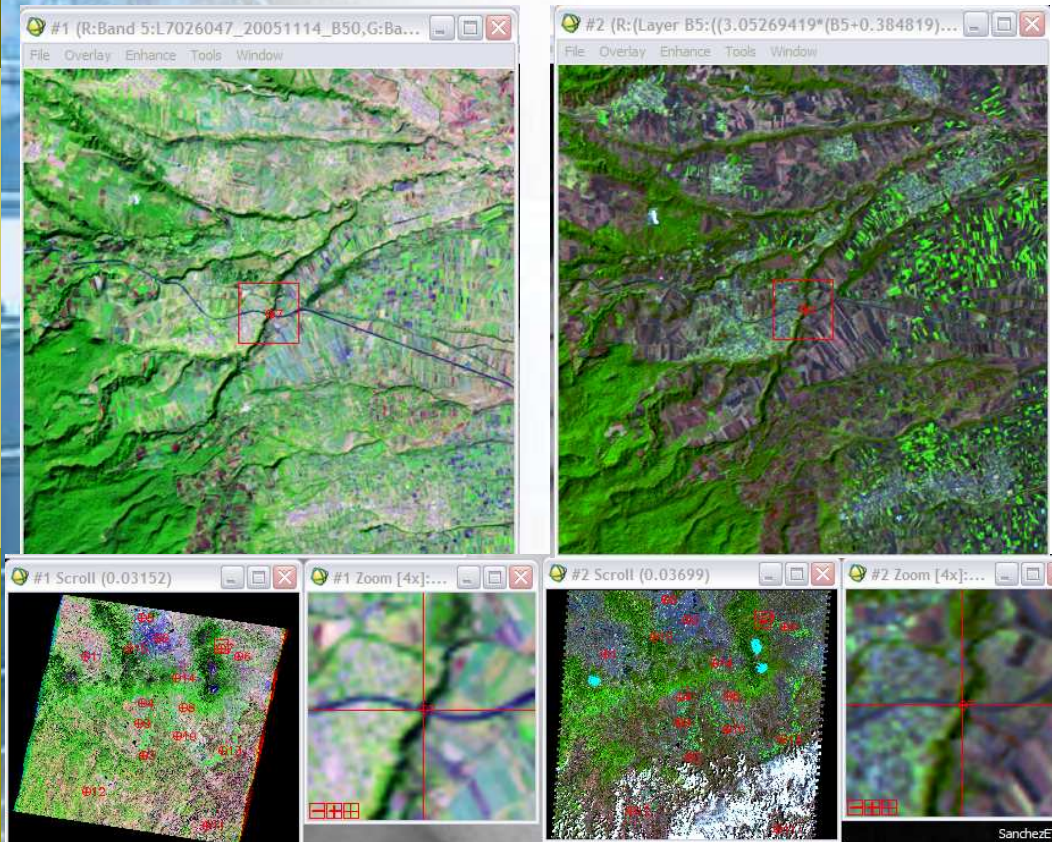
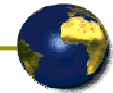


3.4. Parametros Biofísicos - SEBAL



5. ANALISIS Y RESULTADOS

Corrección Geométrica:



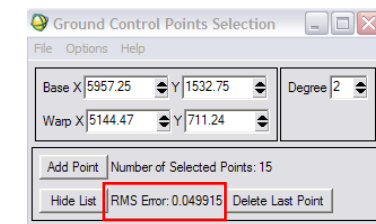
**Imagen Base
14-11-2005**

**Imagen S/Referencia
05-02-2010**

Puntos de Control

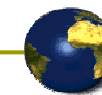
Image to Image GCP List

	Base X	Base Y	Warp X	Warp Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	2136.00	1762.25	1386.75	1519.50	1386.7687	1519.4781	0.0187	-0.0219	0.0288
#2+	4178.25	1266.75	3338.75	718.75	3338.8037	718.7741	0.0537	0.0241	0.0589
#3+	3746.50	4514.00	3404.00	3994.50	3403.9715	3994.4684	-0.0285	-0.0316	0.0426
#4+	3735.25	3064.50	3172.50	2563.50	3172.4464	2563.5380	-0.0536	0.0380	0.0657
#5+	3737.00	696.75	2814.00	222.50	2813.9878	222.4881	-0.0122	-0.0119	0.0170
#6+	6436.75	1766.25	5655.00	868.75	5655.0147	868.8275	0.0147	0.0775	0.0789
#7+	5957.25	1532.75	5144.50	711.33	5144.4682	711.2413	-0.0318	-0.0887	0.0942
#8+	4860.25	3201.50	4308.25	2528.00	4308.2489	2527.9624	-0.0011	-0.0376	0.0376
#9+	3624.75	3648.75	3151.75	3157.75	3151.7897	3157.7416	0.0397	-0.0084	0.0406
#10+	4708.00	3970.50	4273.69	3311.25	4273.7189	3311.3006	0.0289	0.0506	0.0583
#11+	5549.75	6497.00	5488.50	5680.50	5488.5037	5680.5059	0.0037	0.0059	0.0070
#12+	2180.75	5545.00	2011.75	5251.25	2011.7526	5251.2537	0.0026	0.0037	0.0045
#13+	5985.00	4407.75	5604.00	3548.25	5603.9860	3548.2311	-0.0140	-0.0189	0.0236
#14+	4676.50	2373.50	4000.86	1737.39	4000.8871	1737.3745	0.0271	-0.0155	0.0312
#15+	3356.25	1536.25	2563.80	1110.50	2563.7521	1110.5349	-0.0479	0.0349	0.0592



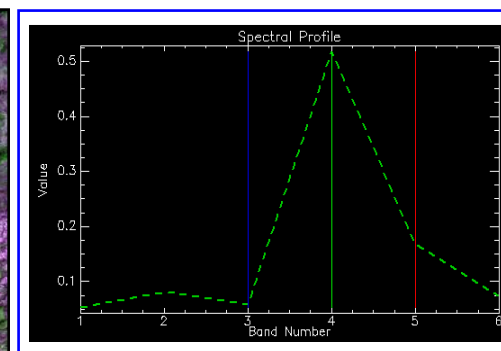
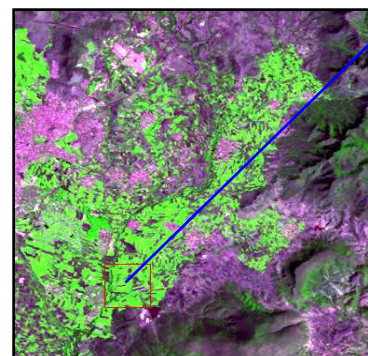
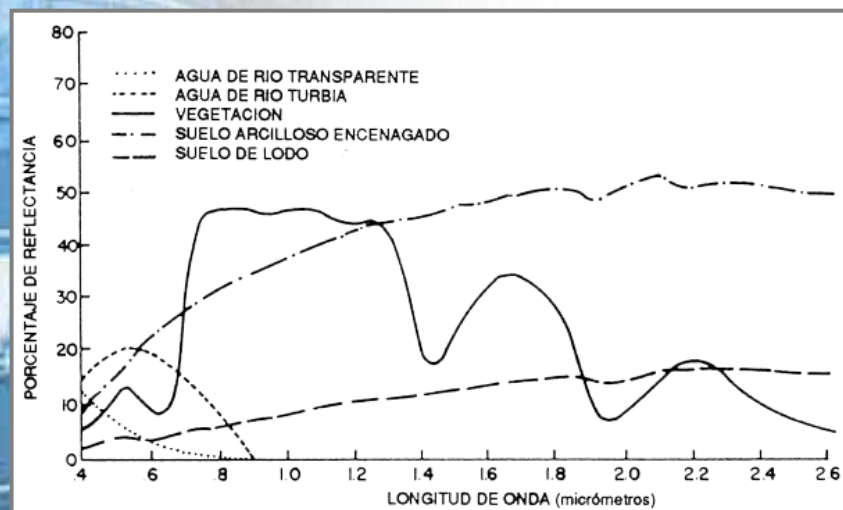
UTM, Datum WGS84, Zona 14N



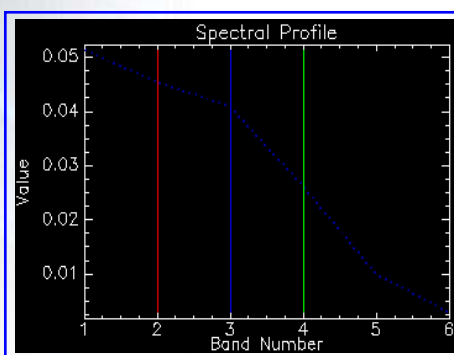
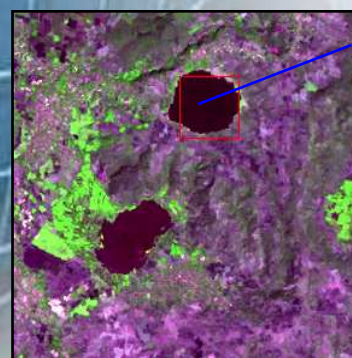


5. ANALISIS Y RESULTADOS

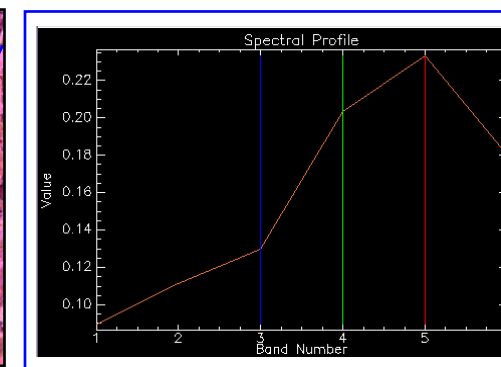
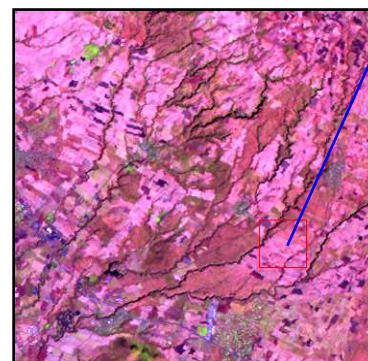
Corrección Radiométrica-Atmosférica:



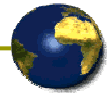
Firma Espectral Vegetación



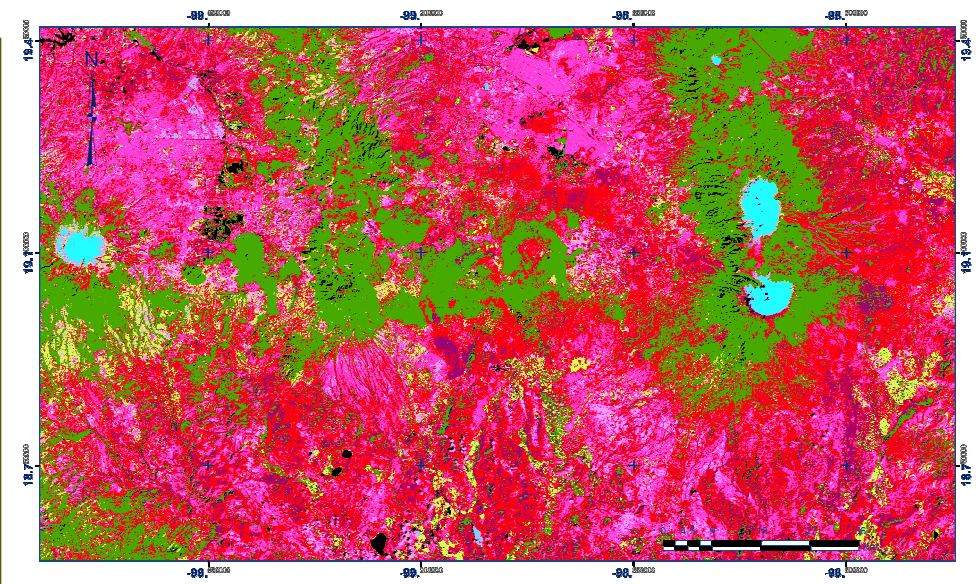
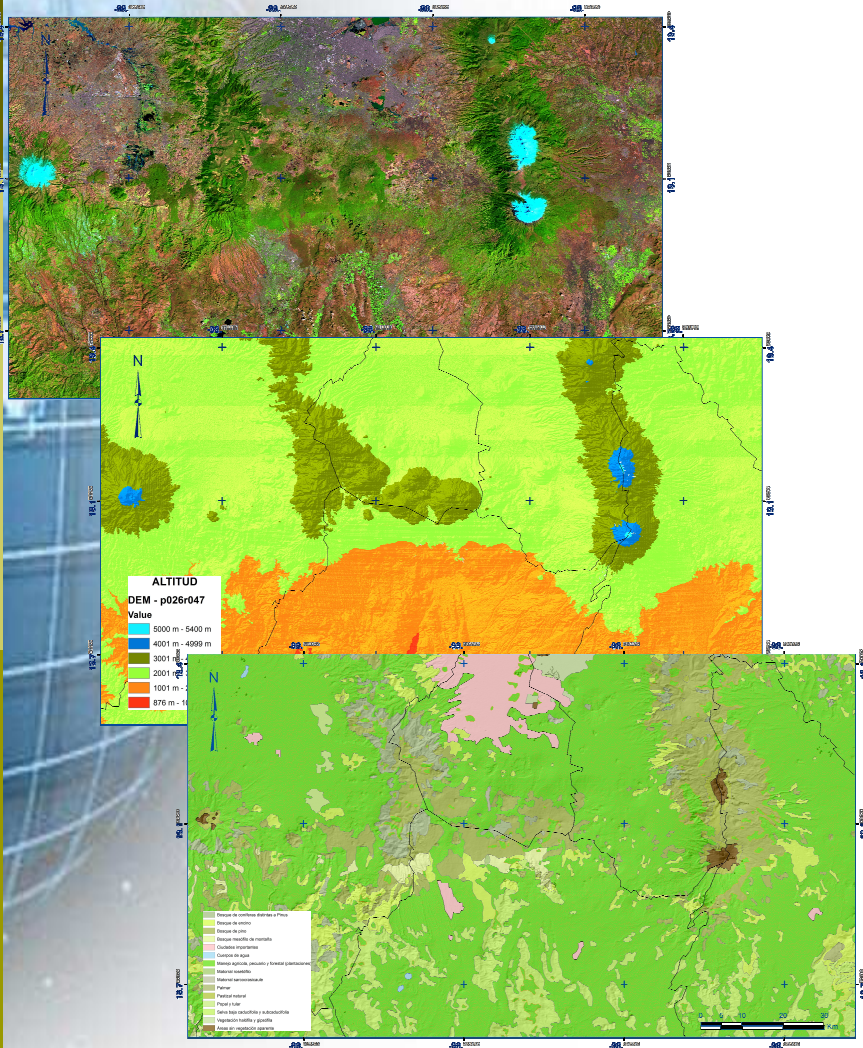
Firma Espectral Agua



Firma Espectral Suelo



5. ANALISIS Y RESULTADOS



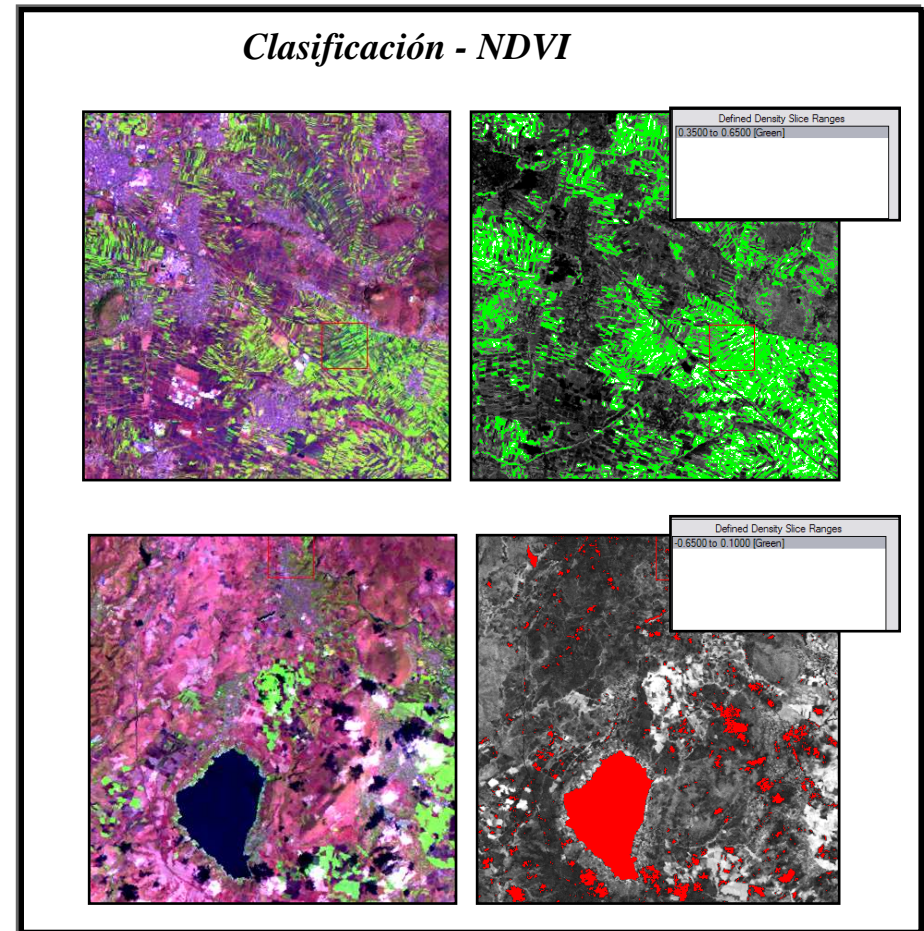
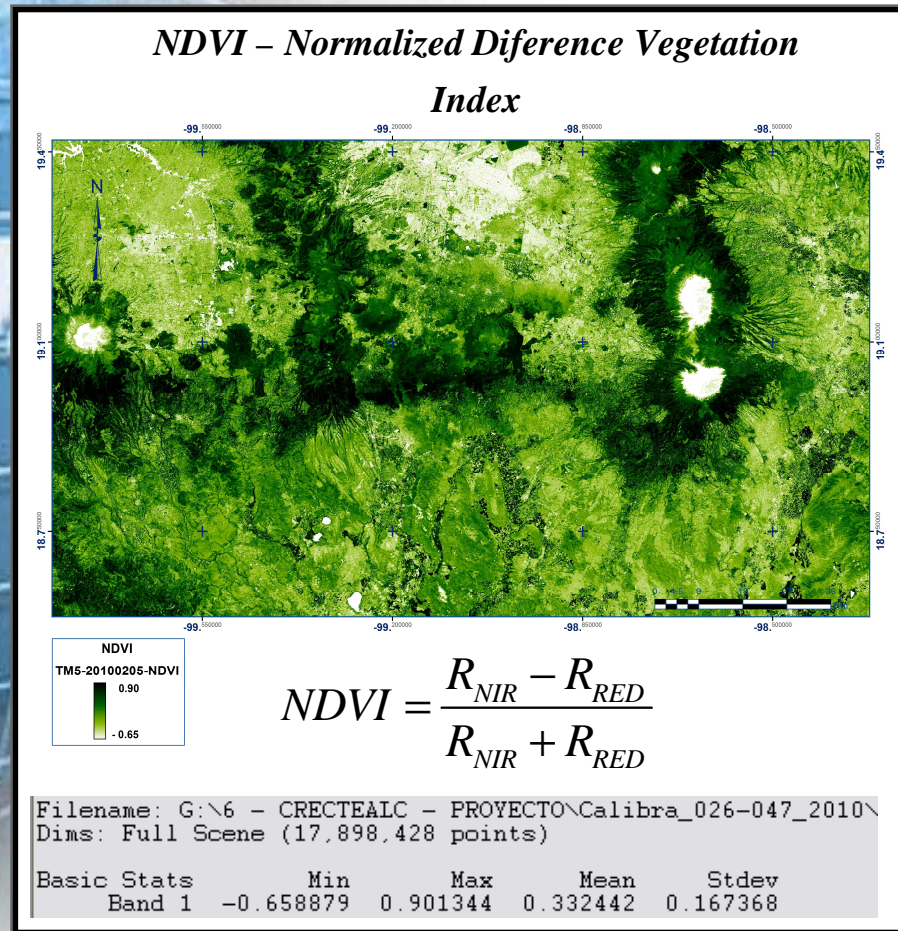
CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS

- No clasificado
- Cuerpos de Agua
- Bosque
- Suelo en barbecho
- Suelo con Vegetación
- Ciudad
- Suelo&Ciudad
- Cultivos
- Suelo Descubierta de vegetación
- Hielo

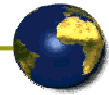
5. ANALISIS Y RESULTADOS



Parámetros Biofísicos:

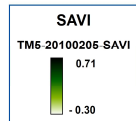
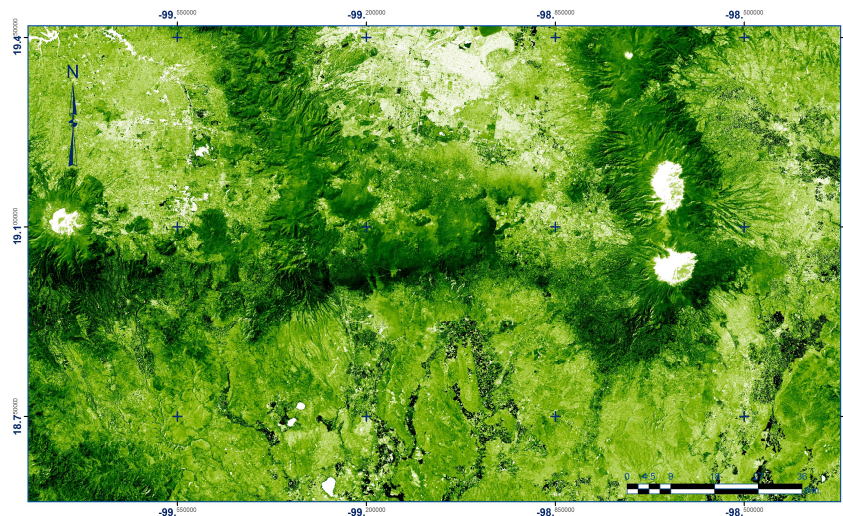


5. ANALISIS Y RESULTADOS



Parámetros Biofísicos:

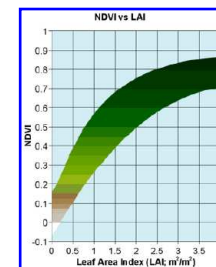
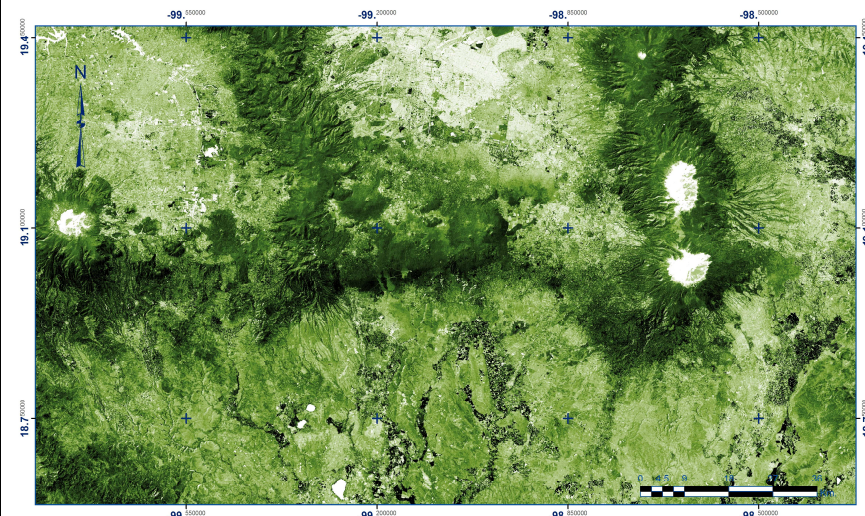
SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index



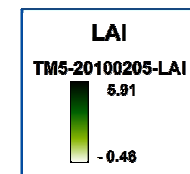
$$SAVI = \frac{(1 + L)(R_{NIR} - R_{RED})}{(L + R_{NIR} + R_{RED})}$$

$$L = 0.5$$

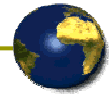
LAI – Leaf Area Index



$$LAI = \frac{-\ln\left(\frac{0.69 - SAVI}{0.59}\right)}{0.91}$$

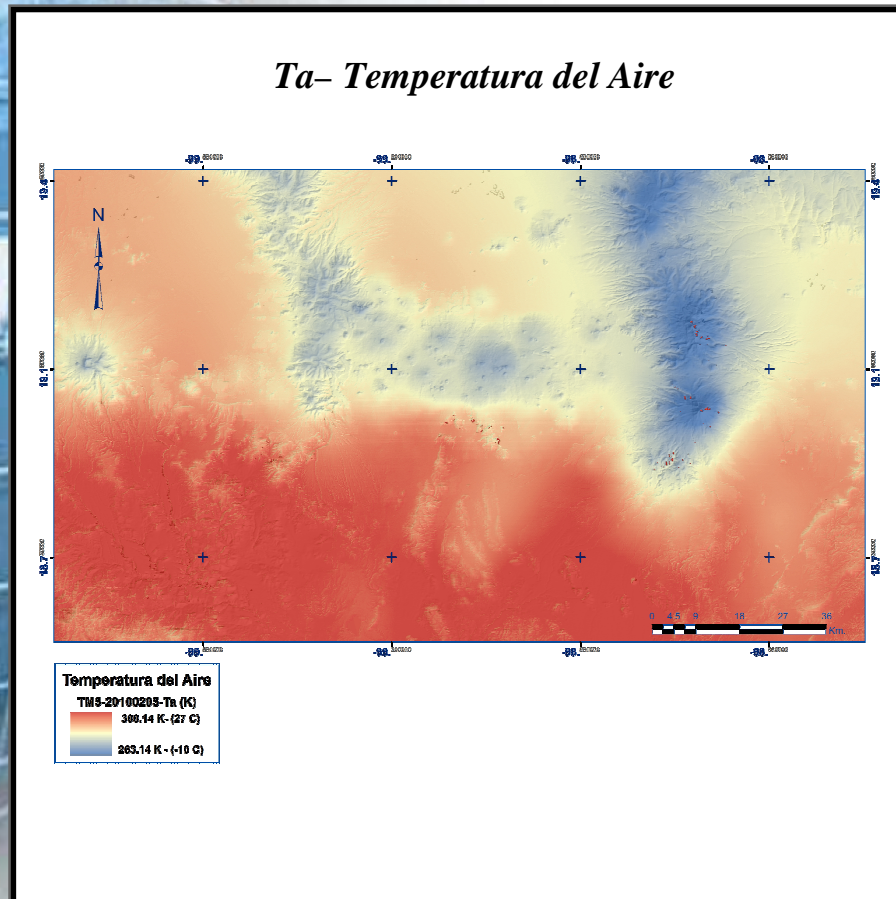


5. ANALISIS Y RESULTADOS

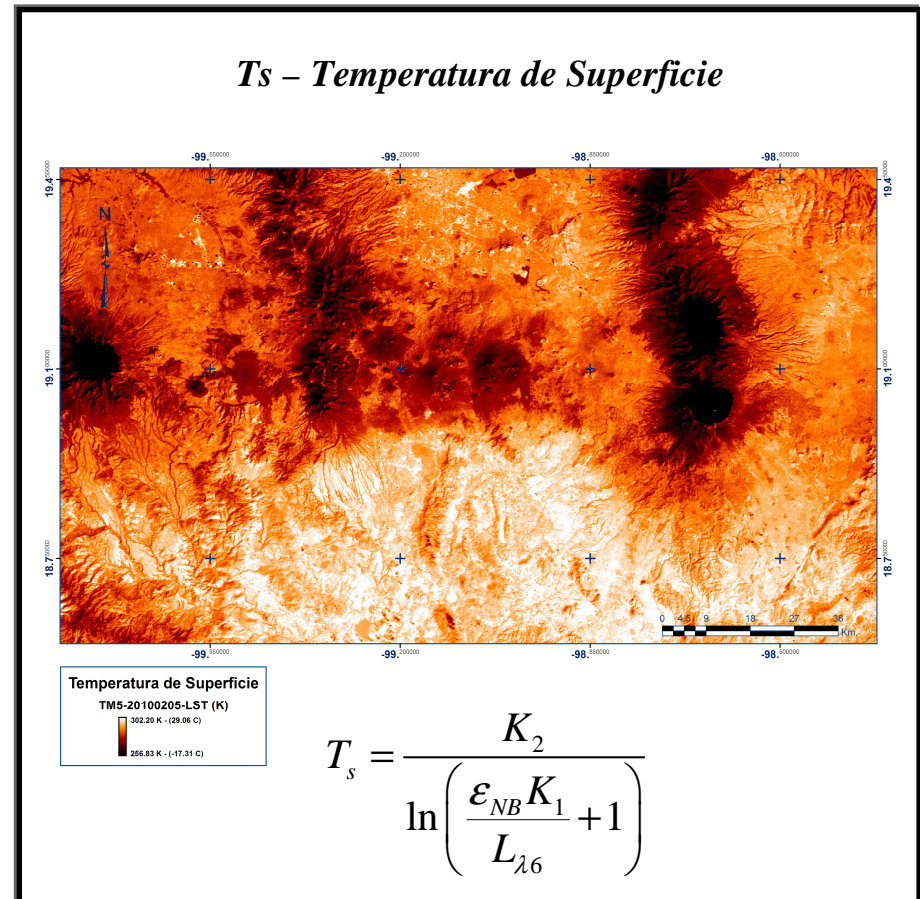


Parámetros Biofísicos:

T_a – Temperatura del Aire



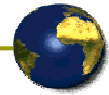
T_s – Temperatura de Superficie



$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda 6}} + 1\right)}$$

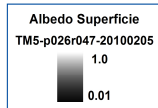
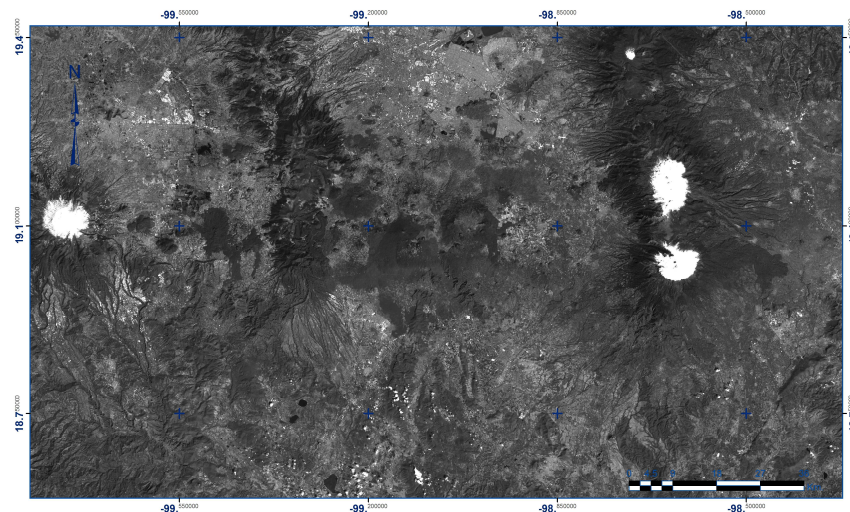


5. ANALISIS Y RESULTADOS



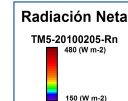
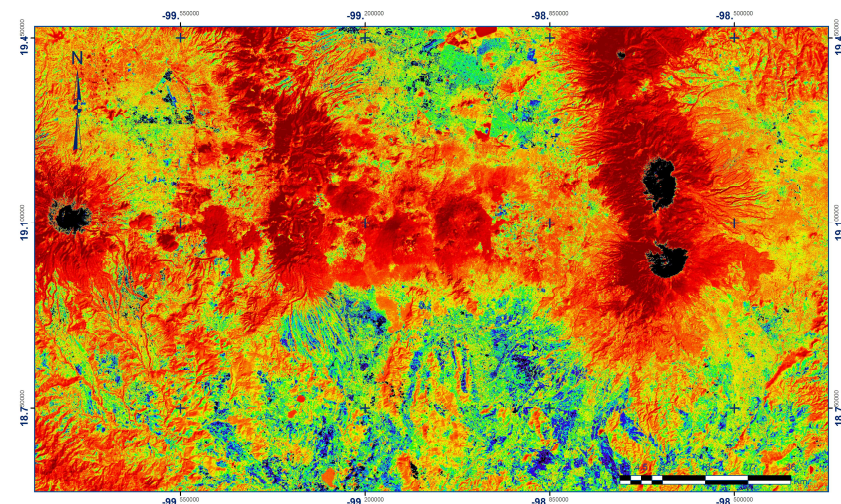
Parámetros Biofísicos:

Albedo de la Superficie



$$\alpha = 0.221 \rho_{b1} + 0.162 \rho_{b2} + 0.102 \rho_{b3} + 0.354 \rho_{b4} + 0.059 \rho_{b5} + 0.0195 \rho_{b7}$$

Radiación Neta



$$R_n = R_{S\downarrow}(1 - \alpha) - R_{L\uparrow} - \epsilon_s - R_{L\downarrow}$$

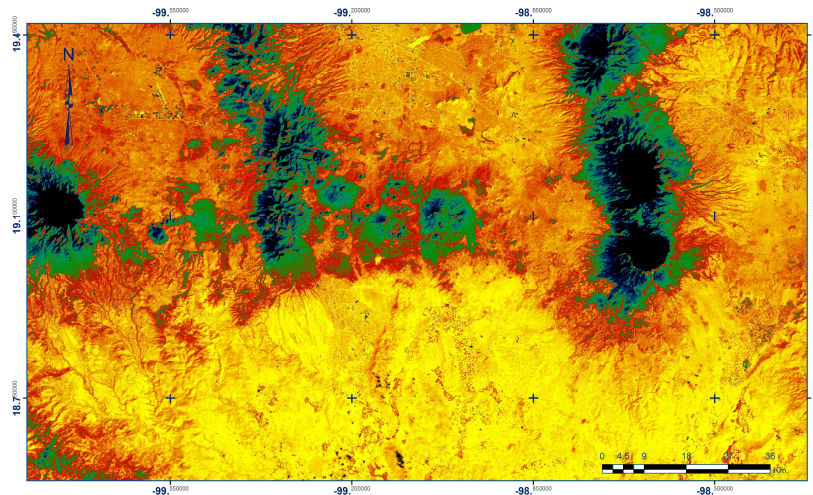


5. ANALISIS Y RESULTADOS



Parámetros Biofísicos:

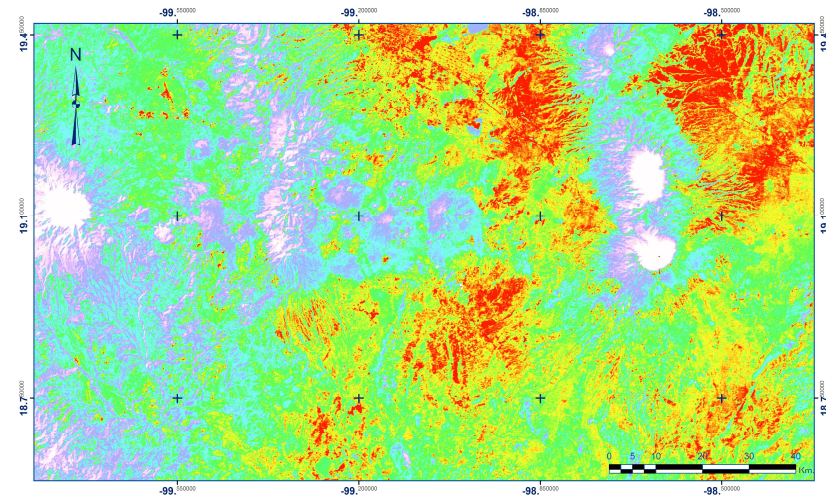
Flujo de Calor del Suelo



Flujo de Calor del Suelo (H)
TMS-20100205-G
110 (W m-2)
20 (W m-2)

$$G = [T_s(0.0038 + 0.0074 \cdot \alpha_s) \cdot (1 - 0.98 \cdot NDVI^4)] R_n$$

Flujo de Calor Sensible

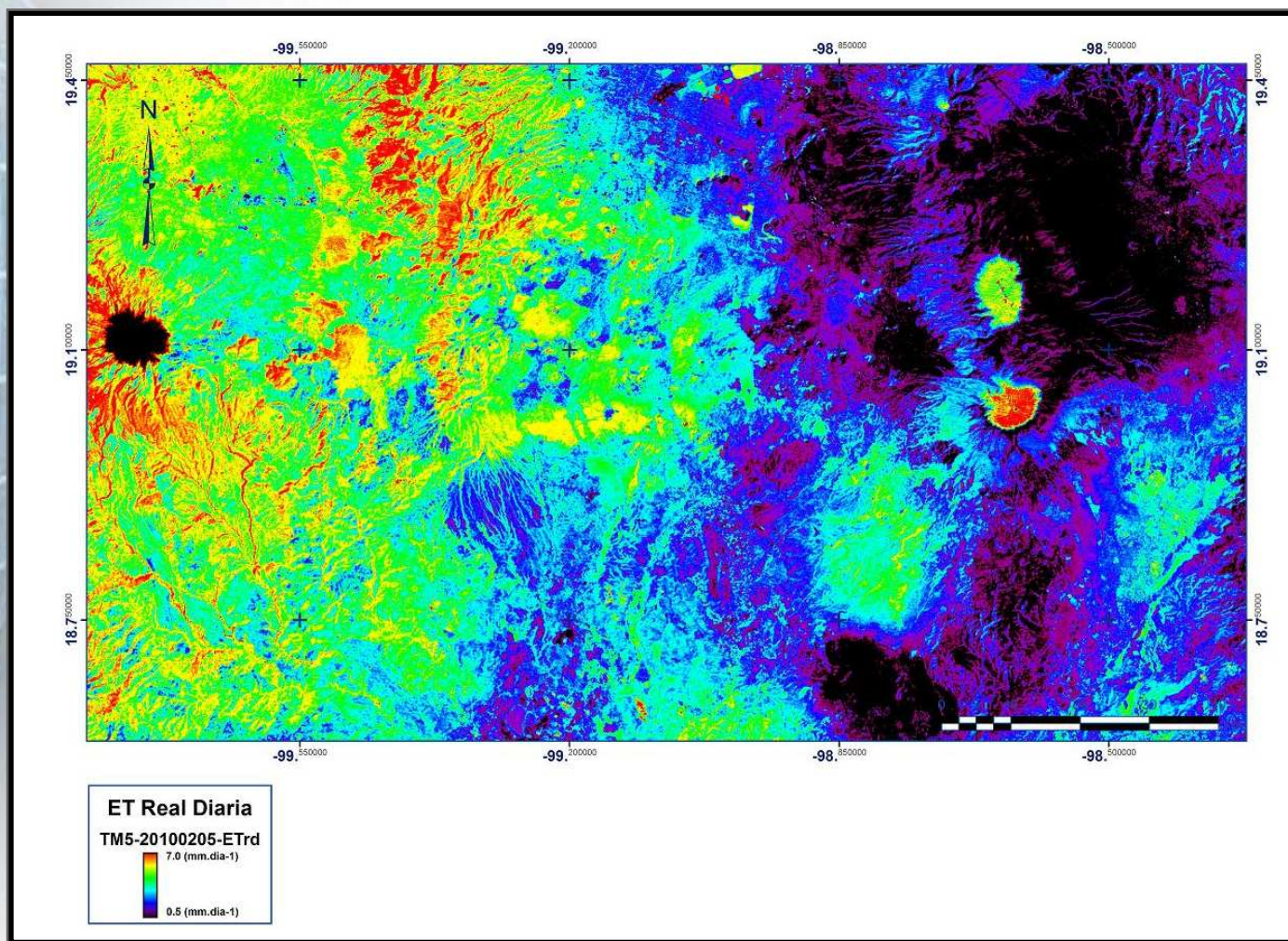
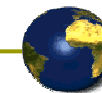


Flujo de Calor del Sensible (H)
TMS-20100205-H
100 (W m-2)
500 (W m-2)

$$H = \rho_a \cdot cp \cdot r_a (T_s - T_a)$$



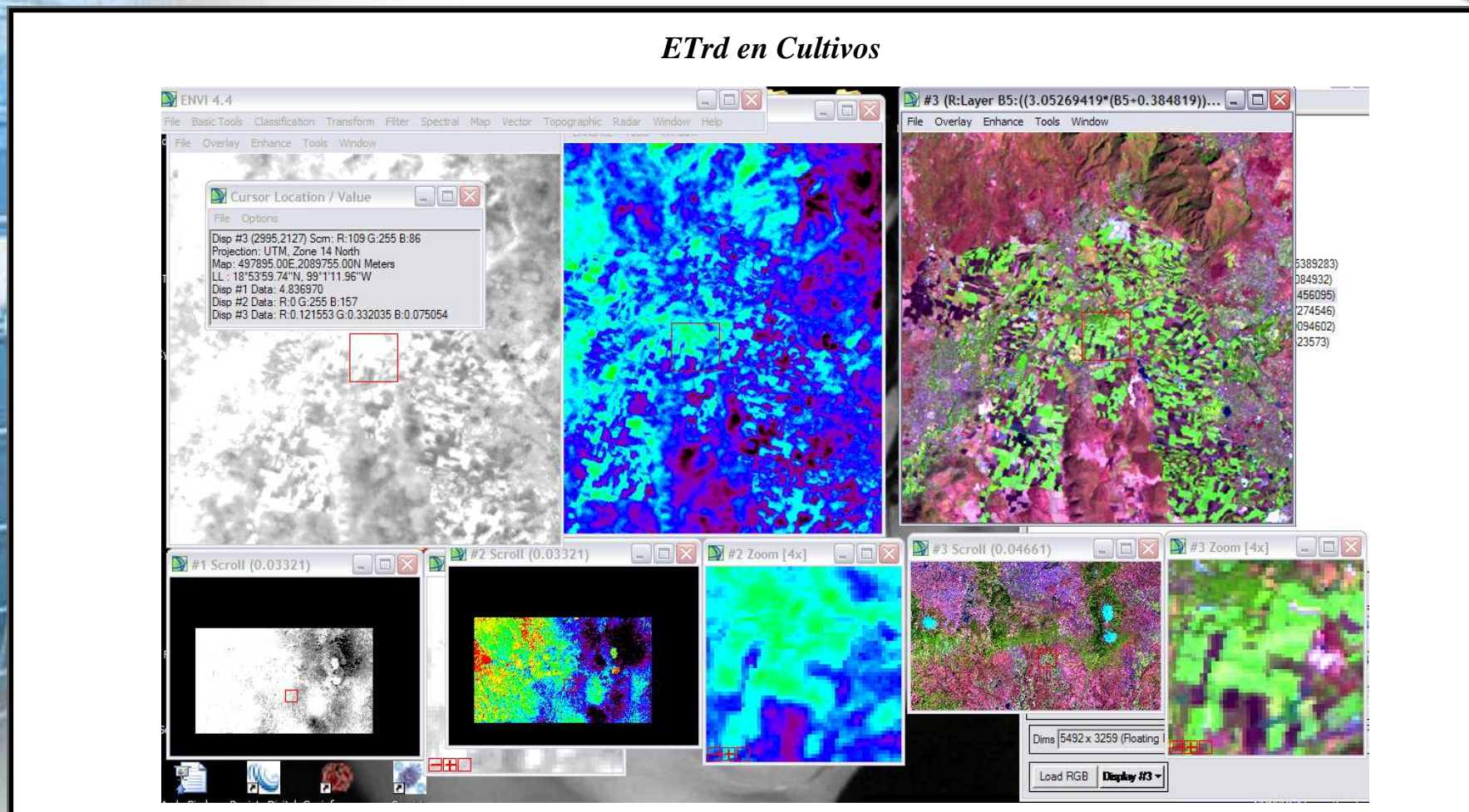
EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DIARIA – IMAGEN LANDSAT 5 TM – 05/02/2010



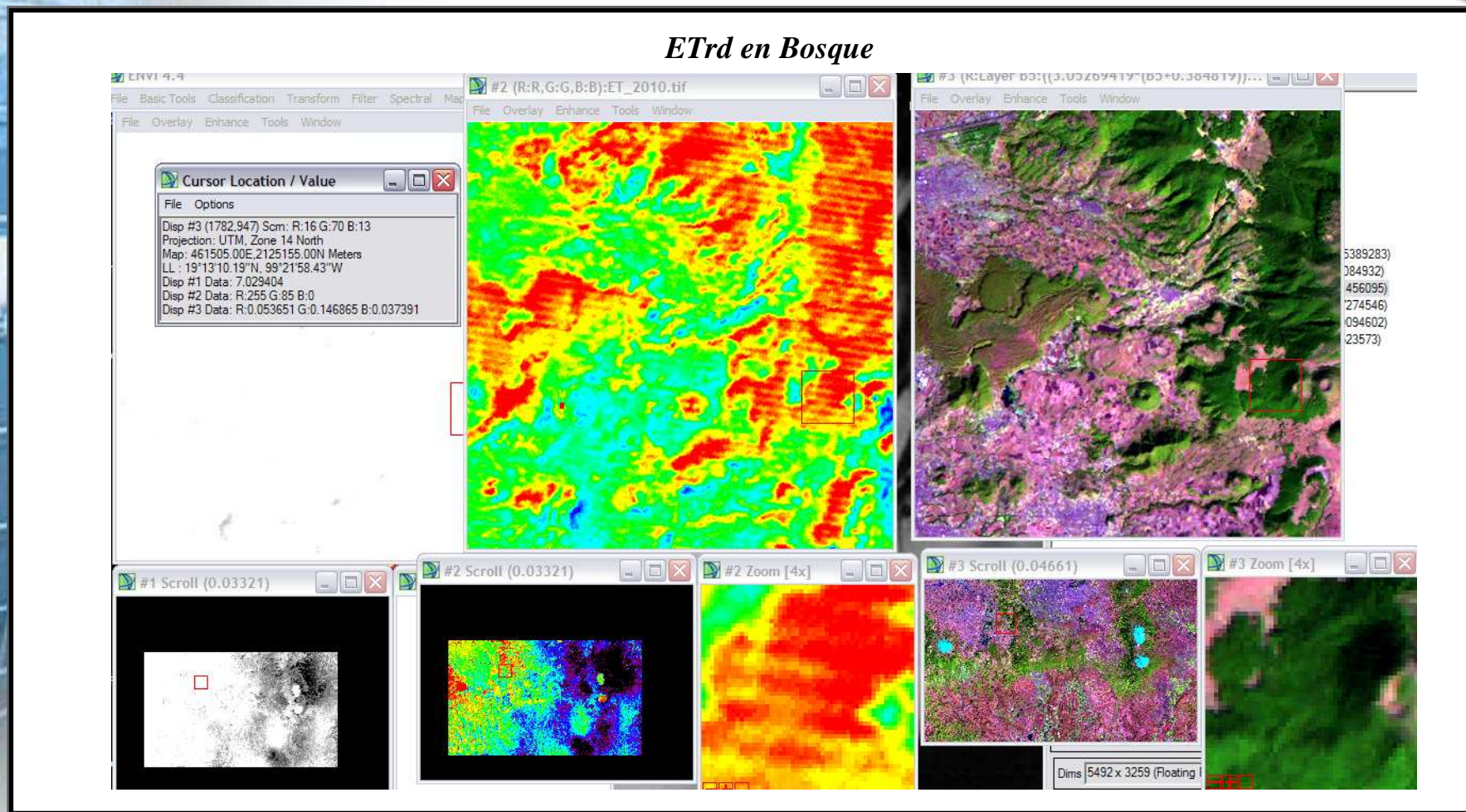
EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DIARIA – IMAGEN LANDSAT 5 TM – 05/02/2010



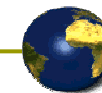
ETrd en Cultivos



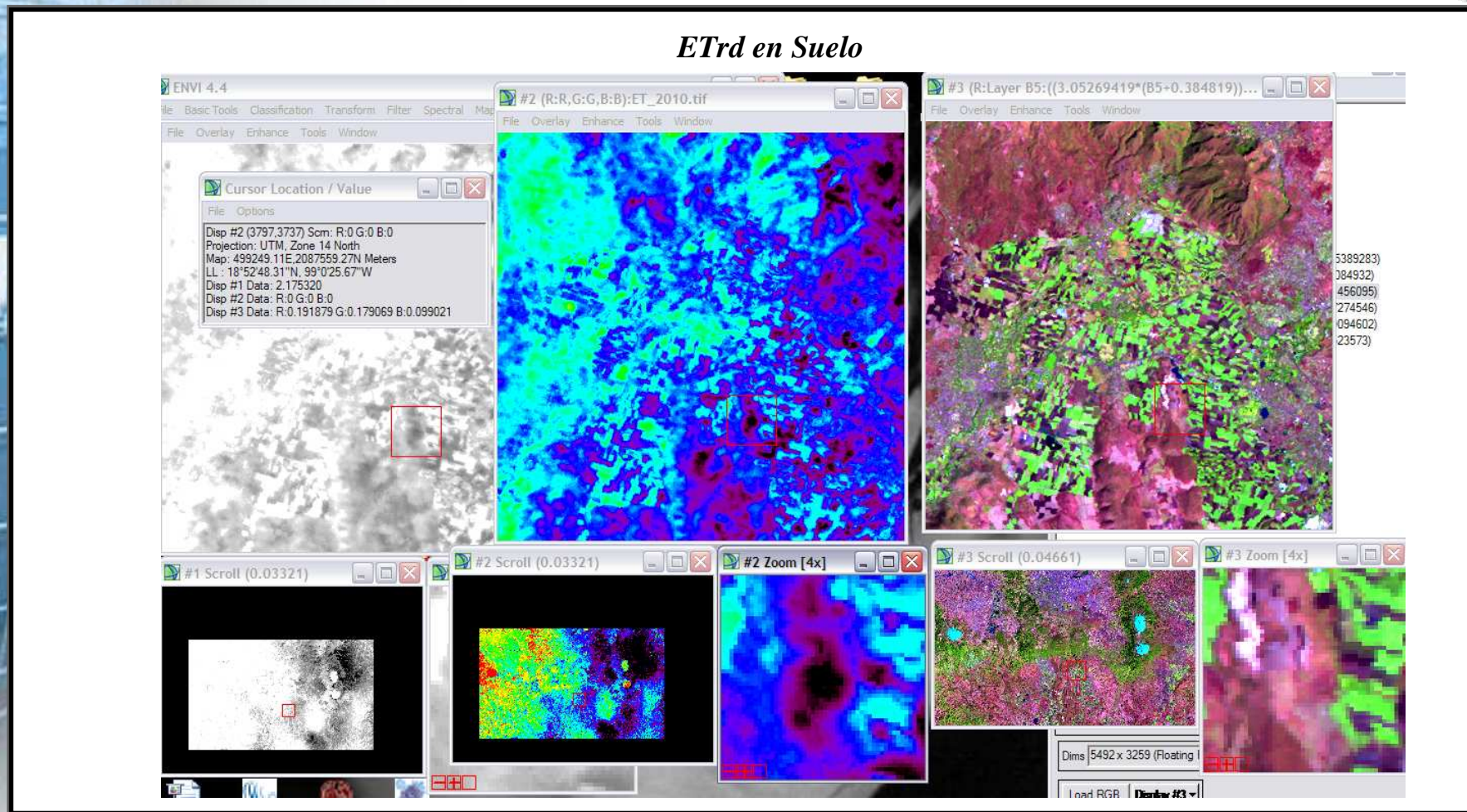
EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DIARIA – IMAGEN LANDSAT 5 TM – 05/02/2010



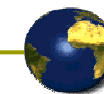
EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DIARIA – IMAGEN LANDSAT 5 TM – 05/02/2010



ETrd en Suelo



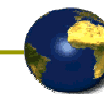
EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DIARIA – IMAGEN LANDSAT 5 TM – 05/02/2010



ETo (INIFAP) Vs. ETrd (SEBAL)

Nº	Estación	Altitud	ETo - INIFAP	ETrd - SEBAL
1	Atotonilco	2318	2.90	3.10
9	La Mesa	1832	2.00	2.05
10	Tejupa	1807	2.10	2.16
11	San Javier	1708	4.40	4.46
12	San Miguel Contla	2596	1.10	1.19
13	San Luis Tehuiloyocan	2149	3.90	3.98
14	Las Delias	1356	4.70	4.75
15	Hacienda Leon	1944	4.00	4.07
17	Tlalquitenango	1188	4.10	4.22
18	Jonacatepec	1365	0.80	0.83
20	El Hospital	1286	4.30	3.91
21	INIFAP	914	4.00	4.03
22	El Calvario	1066	4.20	4.23
23	Coatetelco	1072	4.00	4.04
24	Ayala	1204	4.10	4.14
25	Tepoztlan	1346	4.70	4.75
26	Emiliano Zapata	1272	3.90	3.94
27	Tlayacapan	1656	3.80	3.85
28	Puente de Ixtla 1	1013	4.00	4.23
29	Tetela del Monte	1942	4.20	4.26
30	Tetela del Volcan	2153	4.00	4.07
31	Tlaltizapan	959	4.00	4.03
33	Huazulco	1501	4.40	4.61
34	Tlalnepantla	2092	4.00	4.07
35	Ocuituco	1742	4.40	4.45
36	Moyotepec	1135	4.10	4.15
37	Puente Ixtla 2	929	3.90	3.94

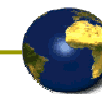




5. APLICACIONES

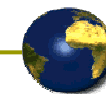
La cuantificación de la ET con un nivel suficiente de precisión es fundamental en:

- ❑ Modelos de cambio climático, en los cuales la energía utilizada para el paso de líquido a vapor en la superficie es elevado.
- ❑ En estudios hidrológicos regionales, la diferencia entre precipitación y evapotranspiración da como resultado la disponibilidad de agua directa existente. Así es posible una planificación y gestión más racional de los recursos hídricos disponibles.
- ❑ Modelos climáticos, la mayor parte del agua perdida por evapotranspiración es usada para el crecimiento de las plantas, que forman la base de los ecosistemas. La comprensión de la relación existente entre tipo de ecosistemas y evapotranspiración es un requerimiento básico para comprender las respuesta al cambio climático.
- ❑ Las grandes zonas productoras de alimentos del mundo, en éstas suplen las necesidades hídricas de los cultivos por medio del riego (complementario o suplementario). El conocimiento de la transpiración de los cultivos permite lograr un riego más eficiente, y por ende un ahorro de agua.
- ❑ Los modelos de producción primaria, éstos requieren una estimación adecuada de la evapotranspiración, a partir de la cual estiman la producción esperada de una determinada región.



6. CONCLUSIONES

- El uso de información satelital nos permite obtener información de parámetros medioambientales importantes para entender el comportamiento de la evapotranspiración en diferentes coberturas.
- Con la aplicación de la metodología nos damos cuenta que se podrían realizar estimaciones de la ETr en zonas donde no existe información de la red meteorológica, con ello dejamos de ser dependientes de esta información para desarrollar otras aplicaciones.
- La imagen Landsat ETM+ tiene una escala aceptable en la estimación de los parámetros atmosféricos, sabiendo que la mayoría de estos datos solo existen a escalas mayores a 1 Km - sensores Meteorológicos.
- El tratamiento inicial (pre-procesamiento) de los datos satelitales, es un proceso básico si es que se requiere trabajar con parámetros físicos como: la Temperatura del suelo, emisividad, radiación neta, NDVI y proporción vegetal.
- Los procedimientos realizados para la estimación de la Etrd pueden ser replicados para diferentes zonas, pero se debe tomar en cuenta la calibración y la validación.



7. RECOMENDACIONES

- En el futuro se espera mejorar los resultados y trabajar con nuevos sensores si es posible, obtener datos de campo de los diversos parámetros implicados en el cálculo de la evapotranspiración para el mismo día del paso del sensor para poder verificar los resultados.
- Es posible hacer estudios multitemporales aprovechando las imágenes de archivo Landsat, como por ejemplo, el Estudio del Impacto del Fenómeno del Niño, Sequías en Campo de la Agricultura.



Gracias!!!



Rebeca Yuly Sanabria B.