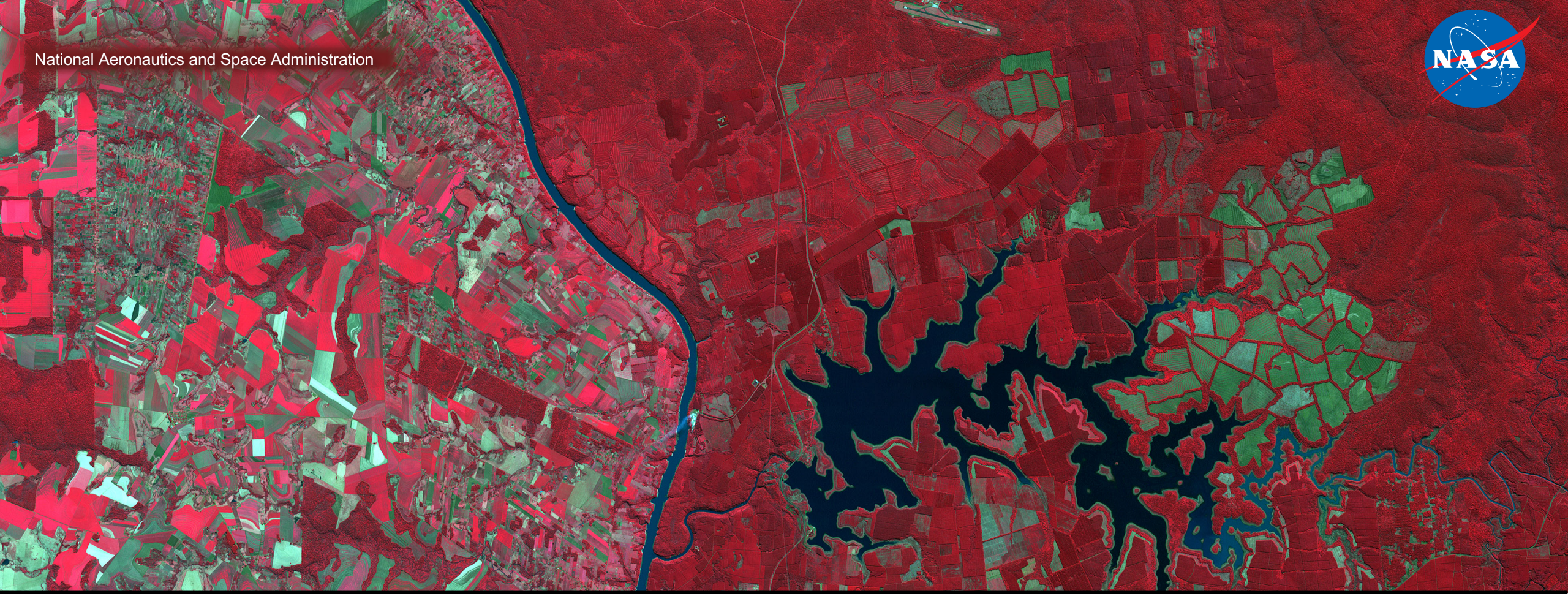


Resumen General de la Evapotranspiración

Amita Mehta, Ana Prados, Erika Podest

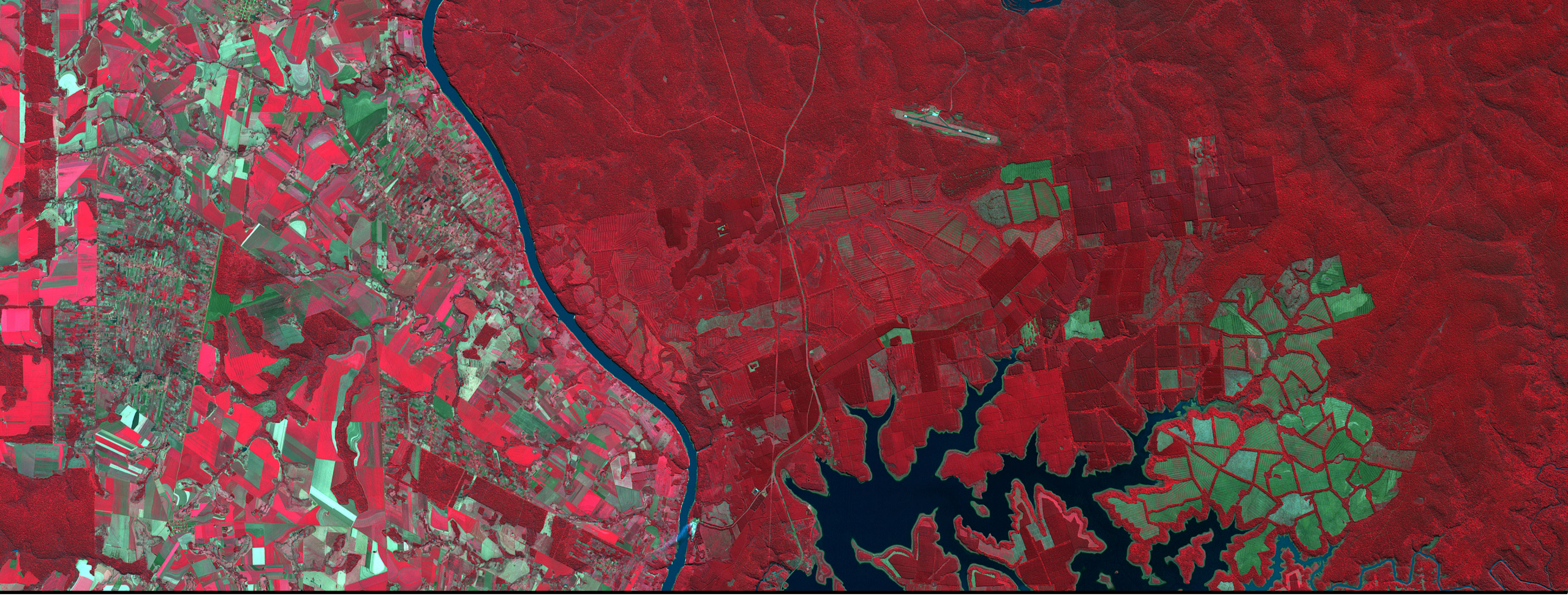
1 de Diciembre 2017

Objetivos de Aprendizaje

- Entender los métodos de estimación de la evapotranspiración (ET) usando la teledetección
  - Identificar los satélites y sensores de la NASA utilizados en la estimación de la ET
  - Poder acceder a datos de la ET

Reseña de la Presentación

- La Importancia de Estimar la ET y los desafíos relacionados
- Métodos de Estimar la ET en Base a la Teledetección
- Resumen de los Productos de los Datos de la ET
- Aplicaciones de los Datos de la ET
- METRIC: **M**apping **E**vapo**T**ranspiration at high-**R**esolution with **I**nternalized **C**alibration (Mapeo de la Evapotranspiración de Resolución Alta con Calibración Internalizada)



La Importancia de Estimar la ET y Desafíos

¿Qué es la Evapotranspiración (ET)?

- La suma de la evaporación de la superficie terrestre más la transpiración de las plantas
- La ET transfiere agua de la superficie a la atmósfera en forma de vapor
- Se requiere energía para que la ET suceda (para convertir agua líquida en vapor)

La Importancia de la ET

- Componente crítico del balance hidrológico y energético de las interacciones clima-suelo-vegetación
- Útil para:
  - determinar el consumo agrícola del agua
  - evaluar condiciones de sequía
  - el desarrollo de balances hidrológicos
  - el monitoreo del agotamiento de acuíferos
  - el monitoreo de cultivos y presupuestos de carbono

Desafíos al Medir la ET

- La ET depende de muchas variables:
  - radiación solar en la superficie
  - temperaturas del suelo y del aire
  - humedad
  - vientos superficiales
  - condiciones del suelo
  - la cubierta vegetal y qué tipo
- Sumamente variable a través del espacio y del tiempo

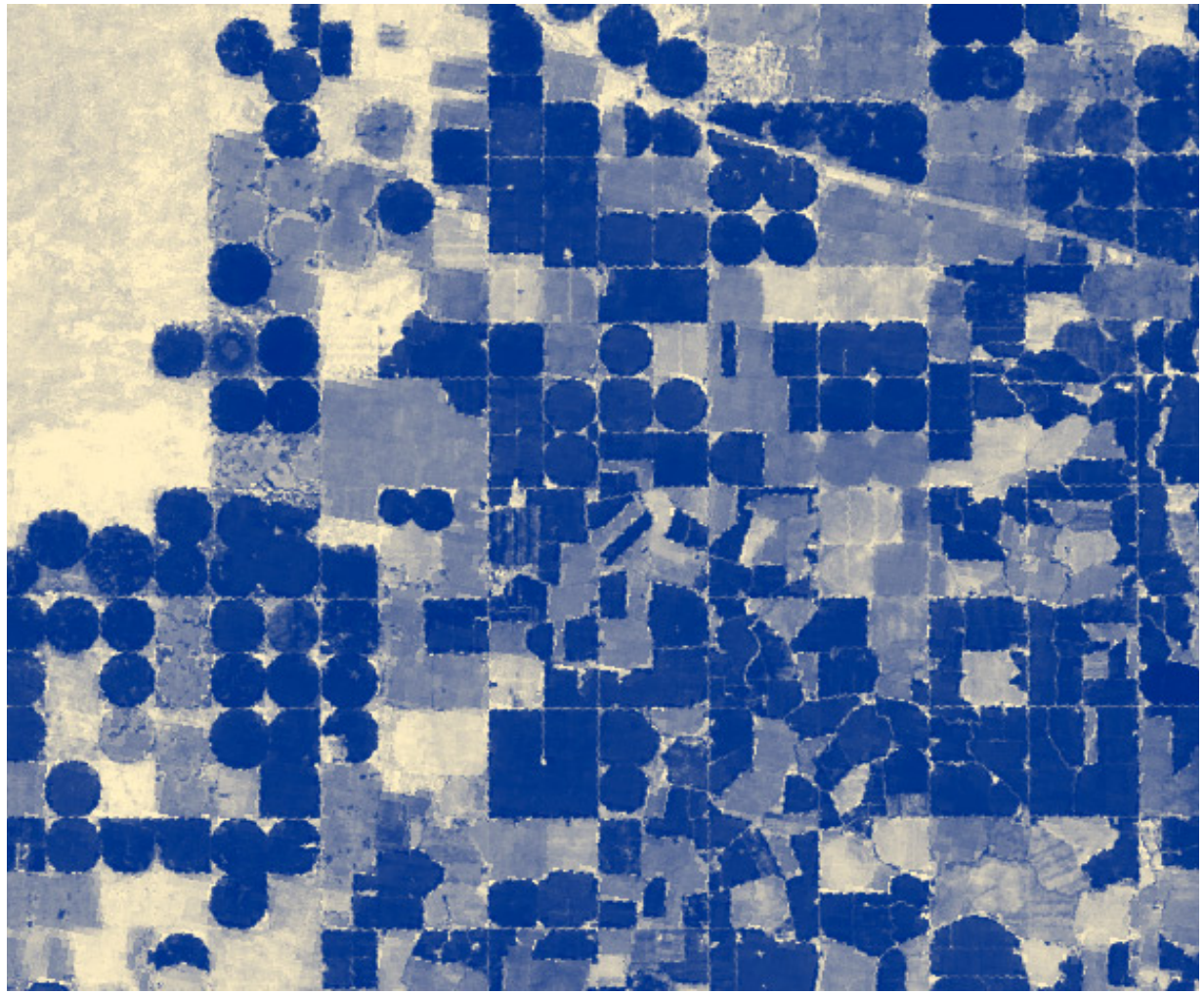


Image Credit: NASA Earth Observatory, Robert Simmon, based on data from the Idaho Department of Water Resources

Mediciones de la ET a Nivel del Suelo

- Limitación
  - Son mediciones puntuales y no pueden capturar la variabilidad espacial

Sistema de Covarianza de Flujos Turbulentos

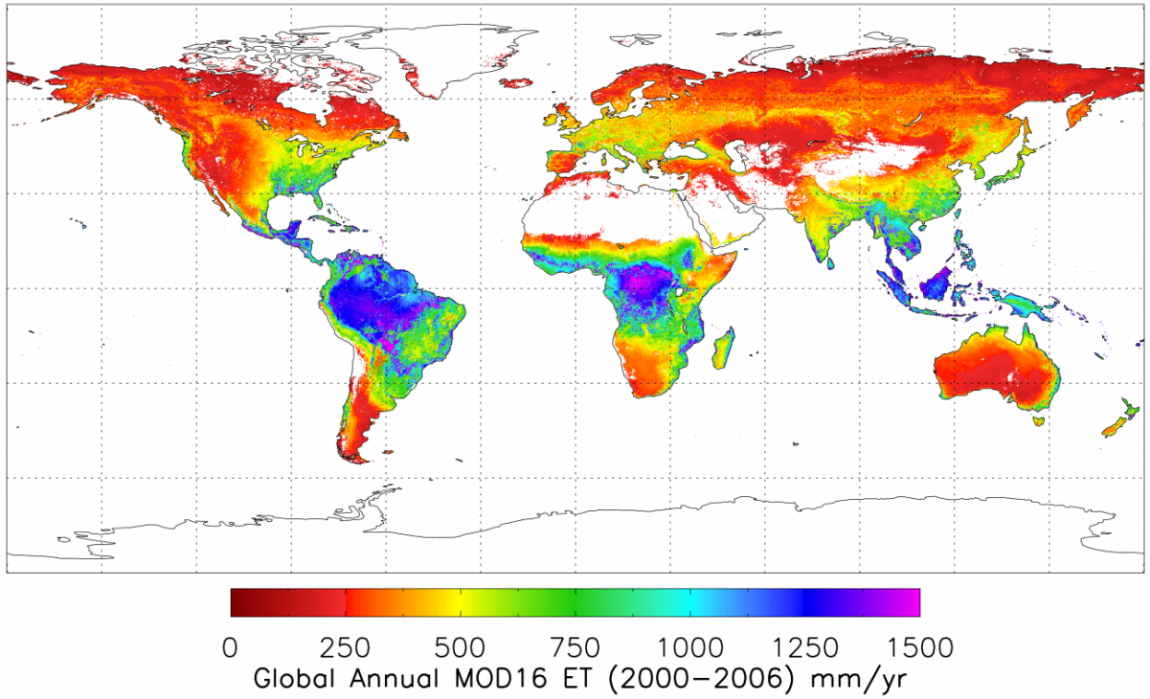
Lisímetros

Fuente de la imagen: (izq.) AmeriFlux, Dept of Energy; (der.) USGS

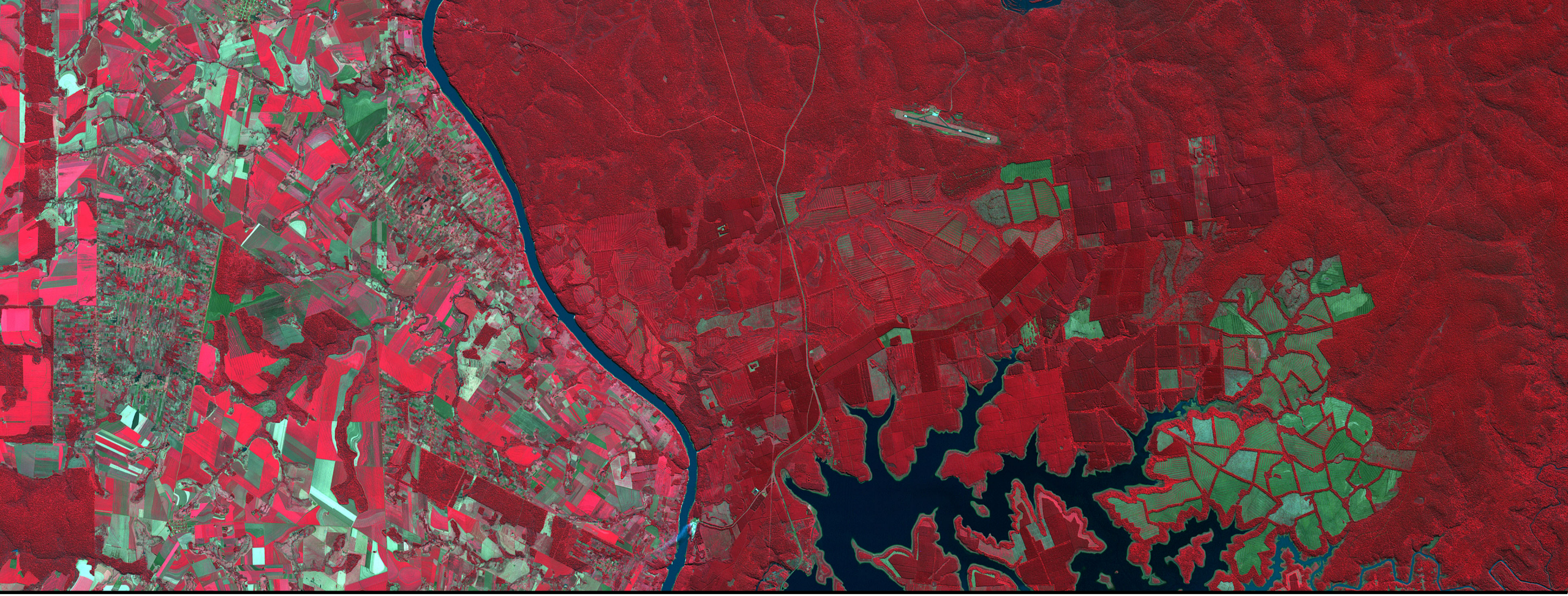
Los Beneficios de Estimar la ET con Datos de la Teledetección

- Proporcionan medidas relativamente frecuentes y espacialmente continuas de variables biofísicas utilizadas en la estimación de la ET a diferentes escalas espaciales incluso:
  - radiación
  - temperaturas superficiales terrestres
  - cubierta vegetal y densidad
  - precipitación
  - Humedad del suelo
  - variables meteorológicas y climáticas

ET Global en Base a MODIS, Promediada sobre 2000-2006



Source: University of Montana, Numerical Terradynamic Simulation Group



Métodos de Estimar la ET en Base a la Teledetección

Sensores Satelitales y Observaciones para la ET

Satélite	Sensor	Característica
Terra y Aqua	MODIS	• Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) • Índice de Área Foliar (LAI por sus siglas en inglés) • Albedo (fracción de la radiación solar en la superficie reflejada)
Landsat	OLI, ETM+, TIRS	• Reflectancia espectral • Emisión Térmica

Importancia de Landsat para ET

- Permite observar la ET a nivel de parcela (30 m de resolución) – resolución mucho más alta que la ET basada en MODIS (1 km)
- Tiene una banda térmica que es importante para algunos métodos de calcular la ET

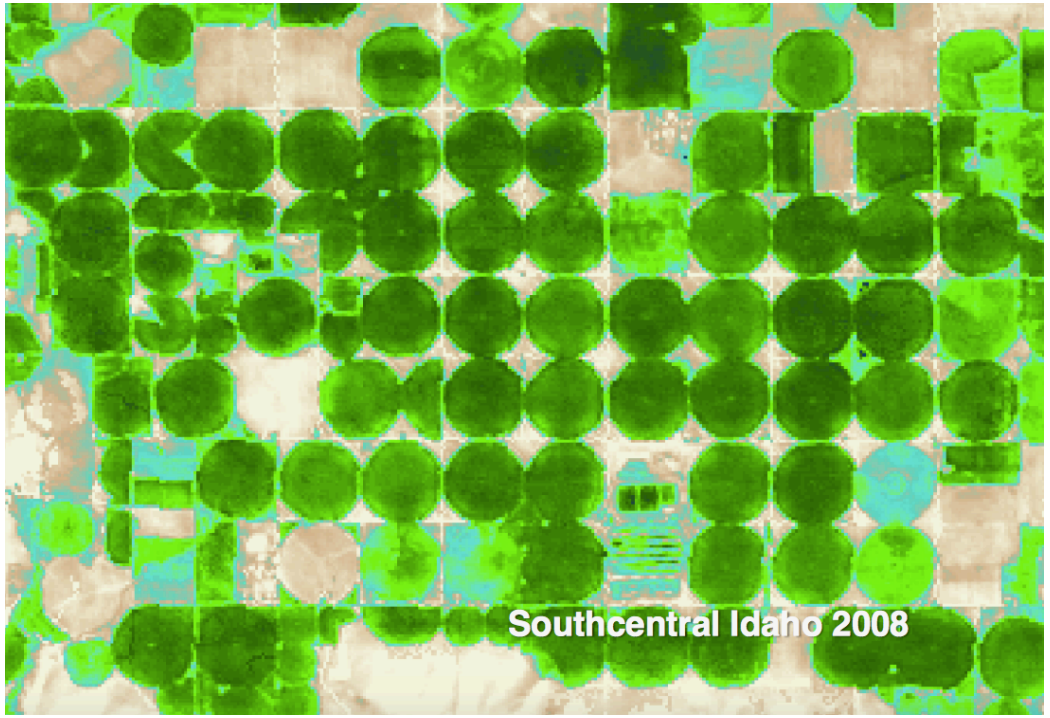


Image Credit: Richard Allen, University of Idaho

Estimación de la ET – ¡no es fácil!

- La ET se puede derivar principalmente de:
  - El Balance Hidrológico Superficial
    - ET = Precipitación + Irrigación – Escorrentía – Aguas Subterráneas + Transporte Vertical del Agua ± Flujo Subsuperficial ± Contenido Húmedo del Suelo
  - El Balance Energético Superficial
    - ET (Flujo Térmico Latente) = Radiación Neta en la Superficie – Flujo Térmico al Suelo – Flujo Térmico Sensible
  - Datos Meteorológicos y de la Vegetación/Cultivos (Ecuación Penman-Monteith)

Reference: http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e04.htm#determining%20evapotranspiration

Estimación de la ET con Modelos de la Superficie Terrestre

Se integran observaciones por satélite y en el suelo dentro de modelos numéricos sofisticados basados en métodos de balance hidrológico y energético

Entradas de la Teledetección

- Radiación Solar en la Superficie
  - de modelos atmosféricos con la asimilación de datos satelitales
- Precipitación (TRMM y Multi-Satélite)
- Clasificación de la Vegetación e Índice de Área Foliar (MODIS &y AVHRR)
- Topografía (Landsat)

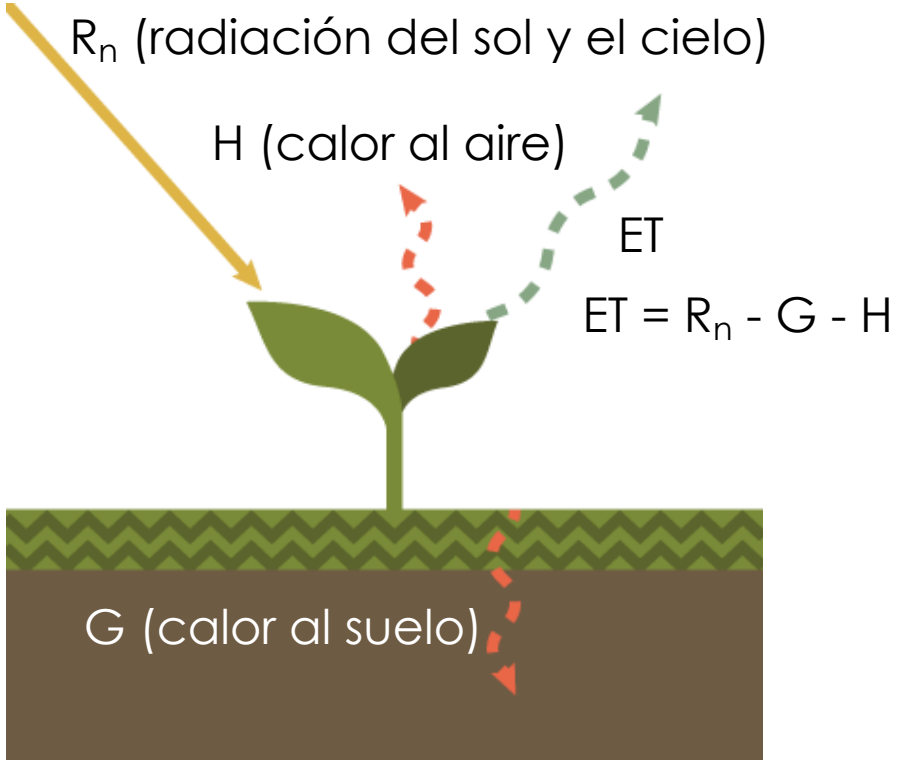
Productos Integrados

- Humedad del Suelo
- Evapotranspiración
  - Escorrentía Superficial/Sub-Superficial
  - Equivalente en Agua de la Nieve

Global Land Data Assimilation System (GLDAS): http://ldas.gsfc.nasa.gov

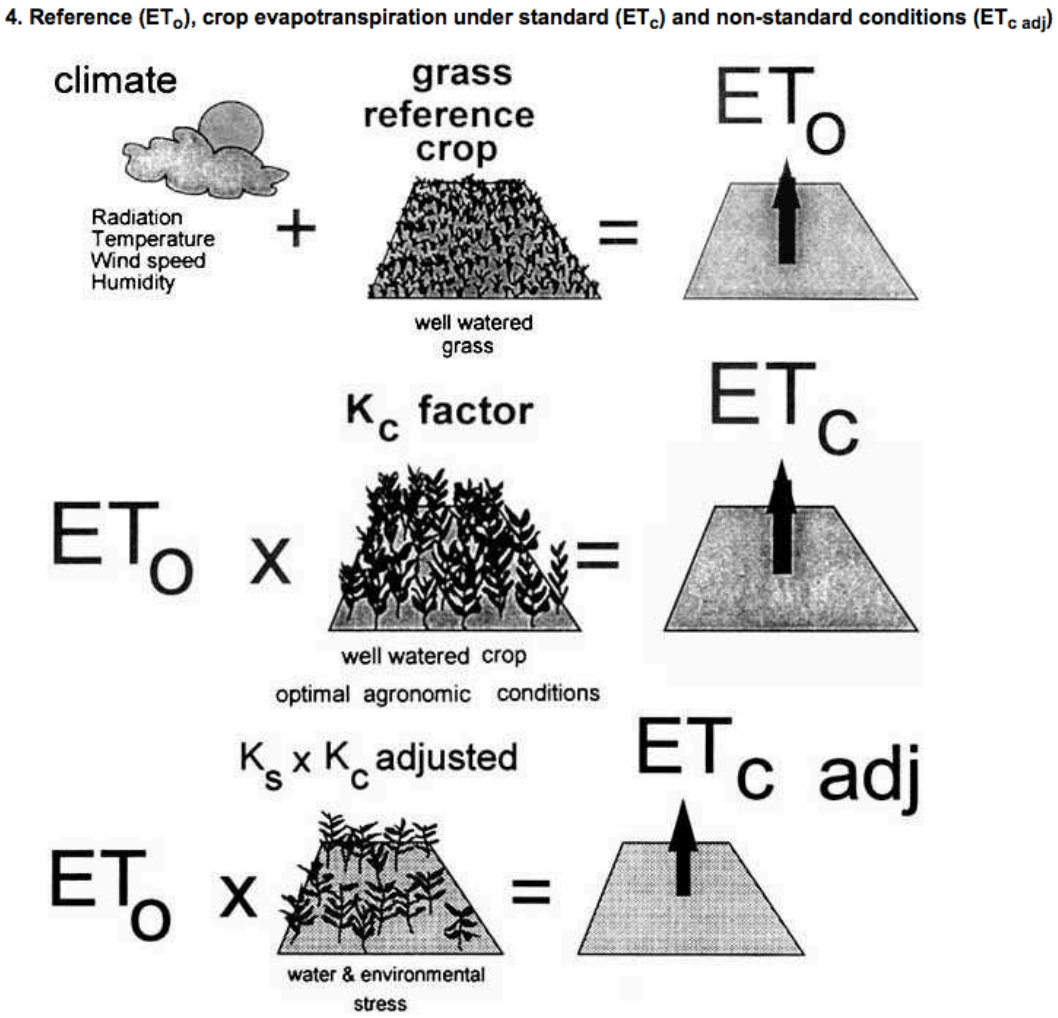
Estimación de la ET Según el Balance Energético Superficial

- Varios grupos utilizan este método para desarrollar productos de la ET
- Utiliza MODIS y Landsat
  - temperaturas superficiales terrestres
  - cubierta terrestre
- Se calcula usando un "residual" del balance energético – impulsado por la **energía térmica**



Based on imagery from Rick Allen, *Additional ET Observation Platforms: Towards an Integrated Observation Capability*

Estimación de la ET con Información sobre la Vegetación y Cultivos



- ET_o: ET de referencia para hierba bien irrigada (Ecuación Penman-Moneith)
- ET_c: ET de cultivo para condiciones estándar de cultivo:
  - libre de enfermedades, bien fertilizados, cultivados en campos grandes, condiciones de humedad del suelo óptimas, logrando una producción completa dadas las condiciones climáticas
- $ET_{c\ adj}$: ajustada para condiciones de cultivo no estándar
- K_c: coeficiente de cultivo

Image Credit: http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e04.htm#determining%20evapotranspiration

Ecuación Penman-Monteith para ET_o

$$\lambda ET = [\Delta(R_n - G) + \rho_a C_p(e_s - e_a)/r_a]/[\Delta + Y(1 + r_s/r_a)]$$

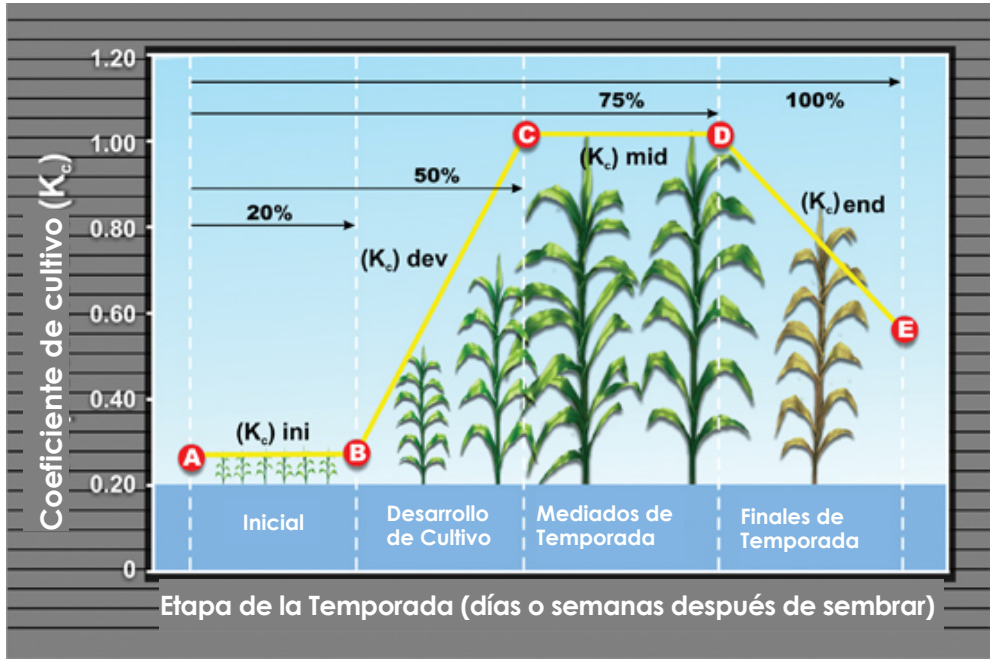
- Δ: pendiente de la presión del vapor de saturación
- R_n: radiación neta en la superficie
- G: flujo de calor del suelo
- $(e_s - e_a)$: déficit de presión de vapor
- r_a & r_s: resistencia aerodinámica y superficial
- γ: constante psicométrica
- λ: constante de calor latente
- c_p: constante de calor específico
- ρ_a: densidad del aire

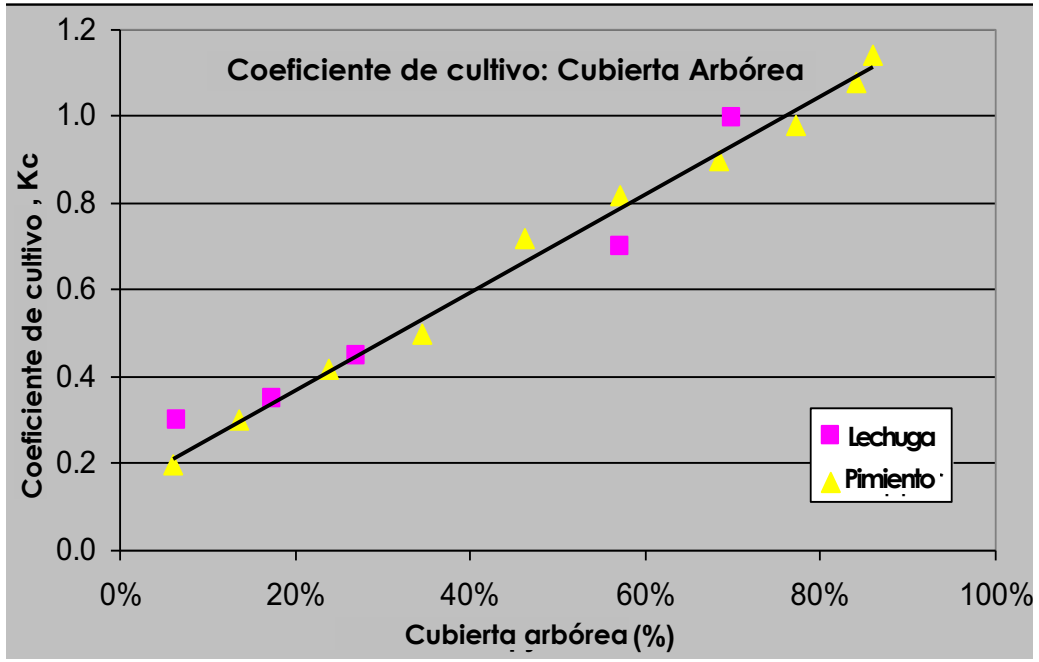
- Requiere información sobre el clima y los cultivos
- r_a y r_s dependen de la altura de la vegetación y del Índice de Área Foliar (LAI)
- R_n depende de la fracción de radiación solar reflejada de la superficie (albedo)
- Tanto el LAI como el albedo están disponibles de MODIS

Reference: http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e06.htm#penman%20monteith%20equation

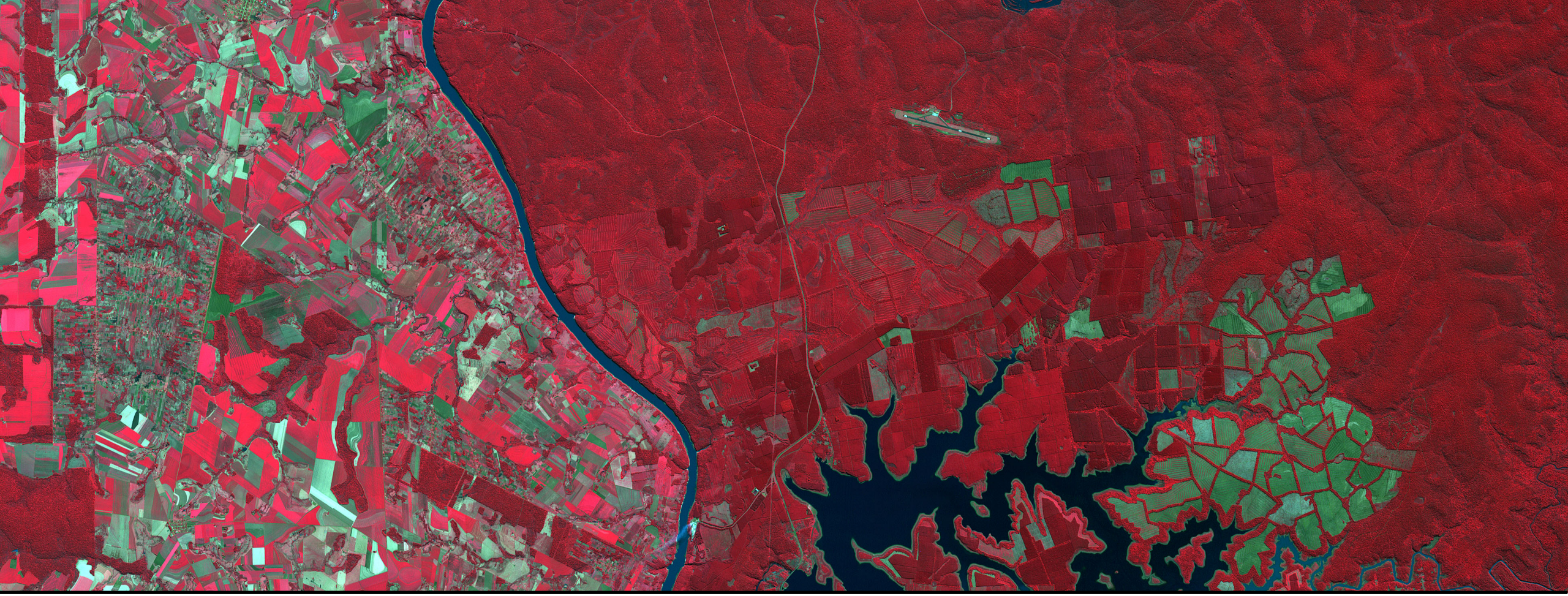
Coeficiente de Cultivo (K_c) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

- K_c está relacionada con la intercepción de la luz (cubierta terrestre)
- Existe una relación directa entre K_c y el NDVI
  - disponible de MODIS





* Fuente Imágenes: Tom Trout, USDA



Productos de la ET Basados en la Teledetección

Productos de la ET en Base a Observaciones de la Teledetección

Productos a Nivel Mundial

- :**M**apping **E**vapo**T**ranspiration at high-**R**esolution with **I**nternalized **C**alibration (Mapeo de la Evapotranspiración de Resolución Alta Con Calibración Internalizada)
  https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S1-3_Allen.pdf
  – https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S2-5_Kilic.pdf
  – https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S3-3_Allen.pdf
- ALEXI: Atmosphere-Land Exchange Inverse Model (Modelo Invertido del Intercambio Atmósfera Tierra)
  – https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S1-4_Anderson.pdf
  – http://www.ospo.noaa.gov/Products/land/getd/index.html
- GLDAS: Global Land Data Assimilation System (Sistema Global de Asimilación de Datos de la Tierra)
  – http://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas/

Productos de la ET en Base a Observaciones de la Teledetección

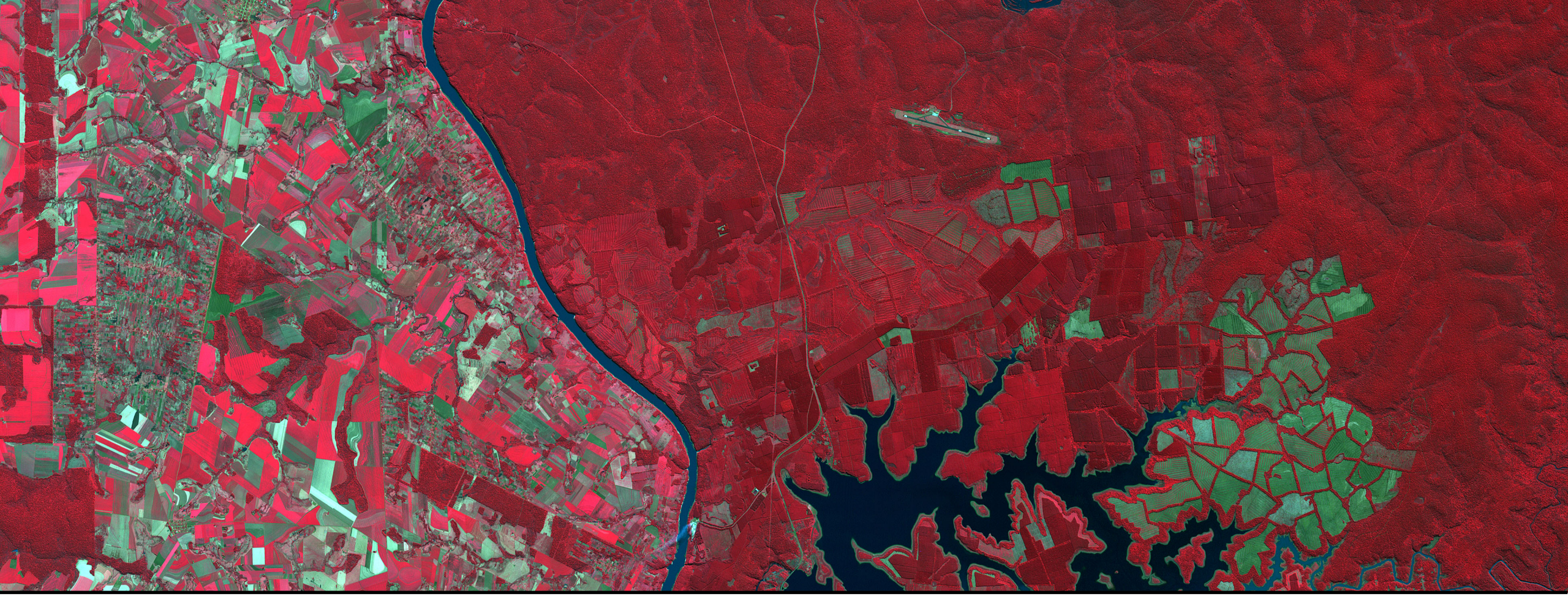
Productos Regionales (pueden adaptarse para otras regiones)

- SIMS: Satellite Irrigation Management Support (California) (Apoyo Satelital a la Gestión del Riego)
  - https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S2-2_Melton.pdf
- NLDAS: North American Land Data Assimilation System (Norteamérica) (Sistema Norteamericano de Asimilación de Datos de la Tierra)
  - http://ldas.gsfc.nasa.gov/nldas
- SSEBop: Operational Simplified Surface Energy Balance (EEUU y África) (Balance Energético Superficial Simplificado Operativo)
  - http://www2.usgs.gov/climate_landuse/lcs/projects/wsmartet.asp
- ETWatch: Multi-Satellite Based Energy Balance Model (China) (Modelo del Balance Energético en Base a Múltiples Satélites)
  - https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day2_S1-4_Wu_2.pdf

Resumen: Productos Mundiales de la ET Disponibles al Público

Fuente de ET	Métodos	Observaciones de la Teledetección
GLDAS	• Modelos de la Superficie Terrestre • Balance Hídrico y Energético	• TRMM y Precipitación Multi-Satélite • MODIS y Cubierta Terrestre AVHRR • Topografía Landsat
METRIC	• Balance Energético	• Landsat
ALEXI	• Balance Energético	• MODIS • Landsat • GOES

Fuente de ET	Resolución Espacial/Temporal	Fuente de Datos	Disponibilidad
METRIC	• 30 m (Global) • 2011 – marzo 2016	Google Earth Engine Evapotranspiration Flux (EEFlux)	http://eeflux-level1.appspot.com/

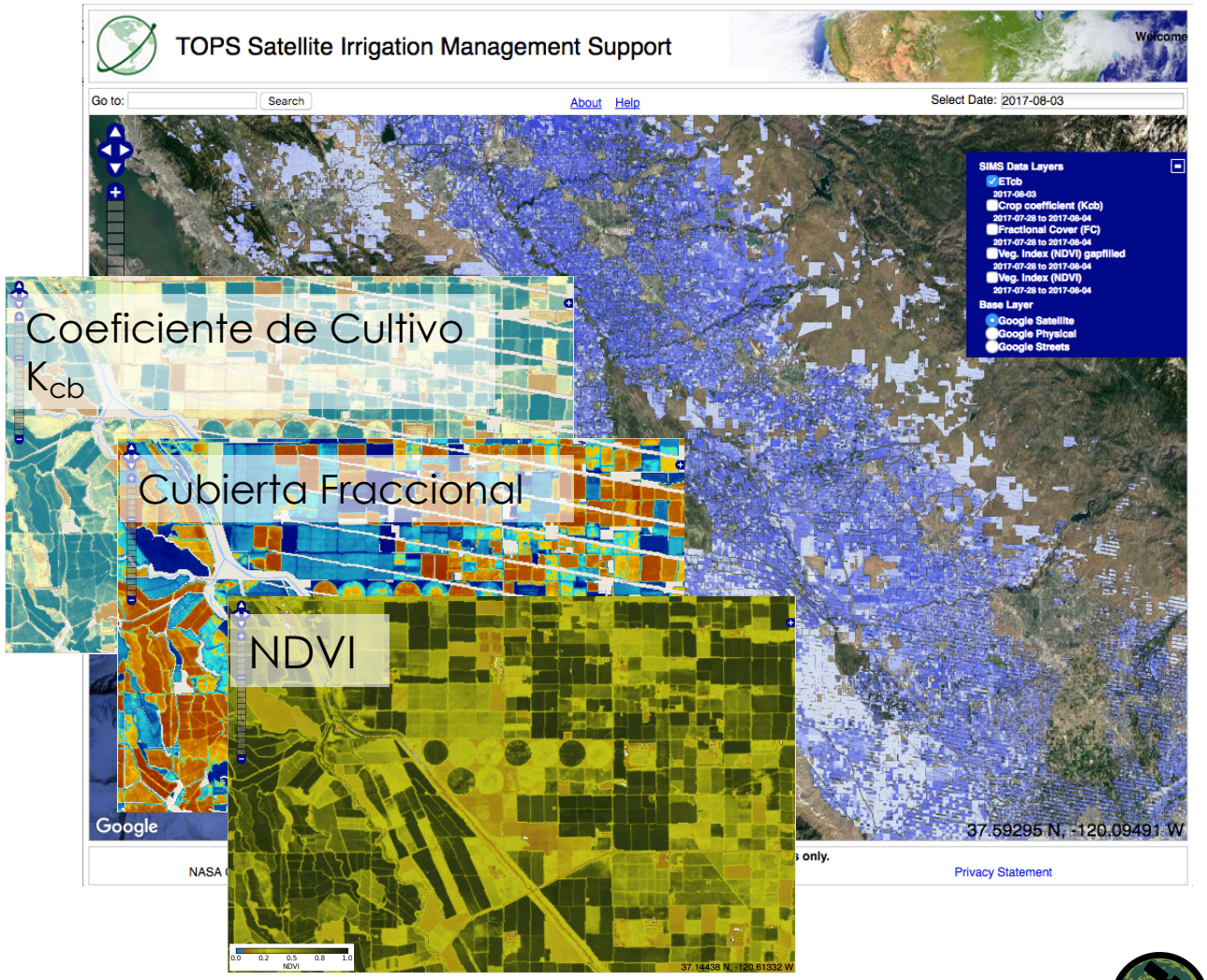


Aplicaciones de la ET

ET para la Gestión del Riego

http://ec2-54-196-147-232.compute-1.amazonaws.com/dgw/sims/

- Interfaz en línea Beta completa
- Herramienta en línea disponible al público
- Varios agricultores la están probando
- Integrada con la herramienta para la gestión del riego UCCE CropManage
- Se ha completado la métrica del prototipo del calculador de consumo de agua en cultivos

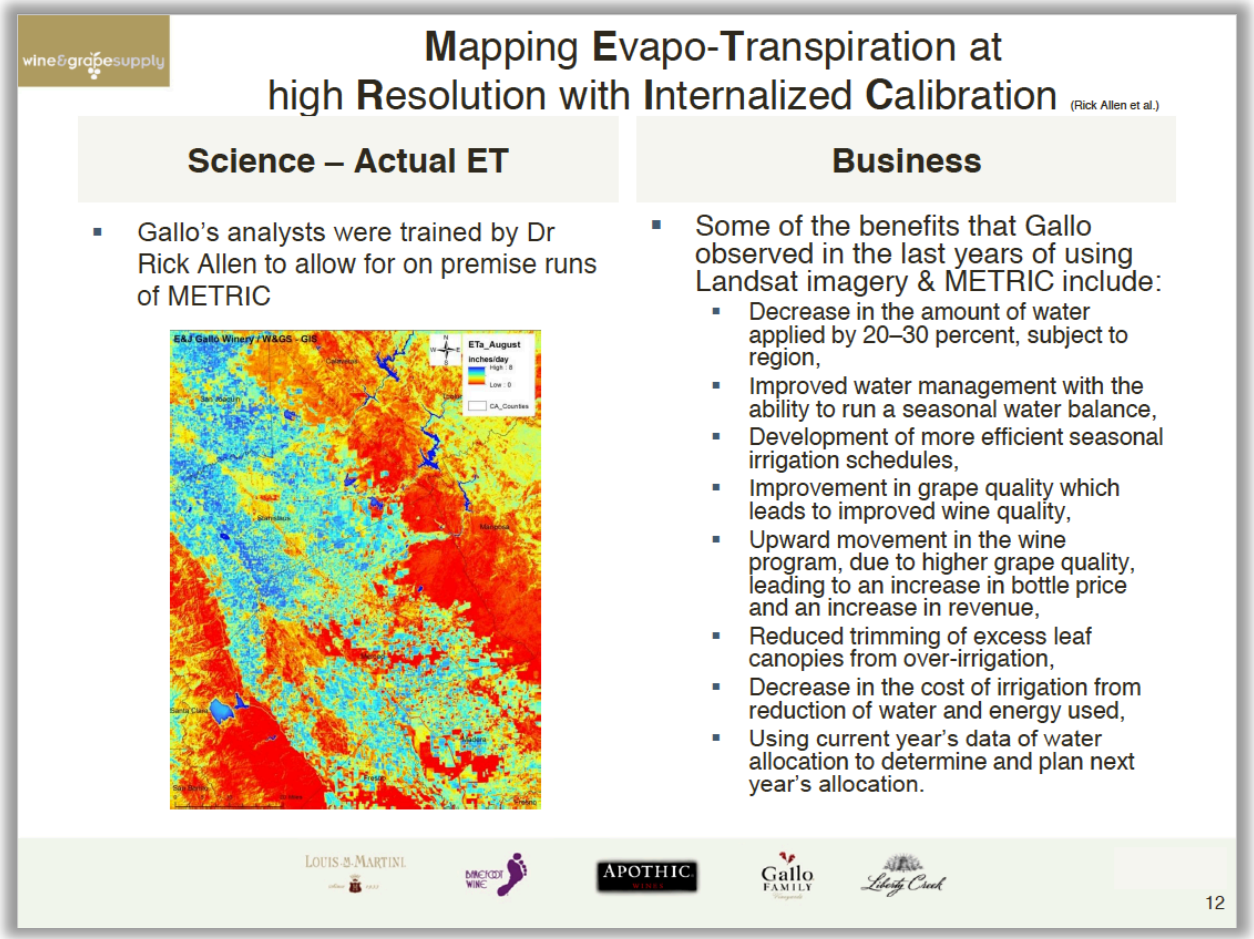


Reference: https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S2-3_Mendez.pdf

ET para la Gestión del Riego

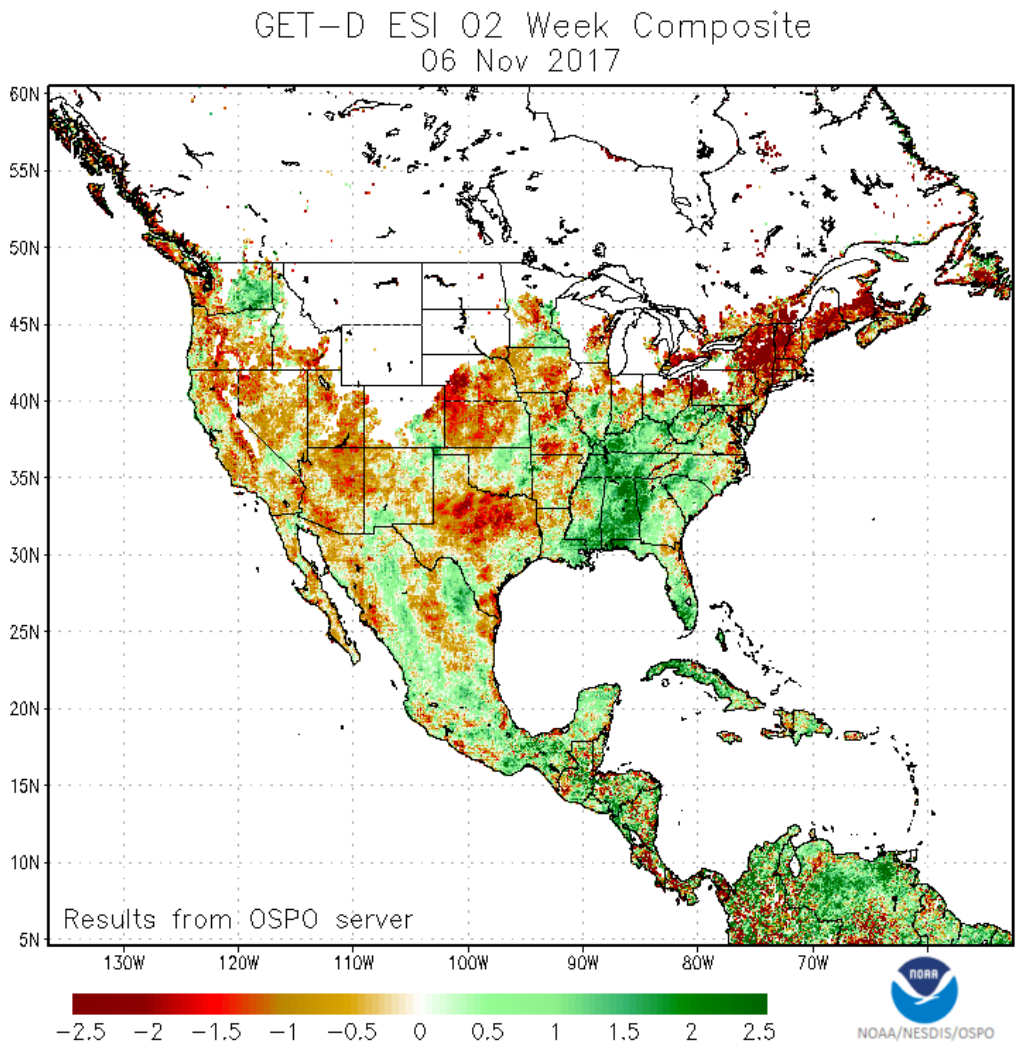
http://ec2-54-196-147-232.compute-1.amazonaws.com/dgw/sims/

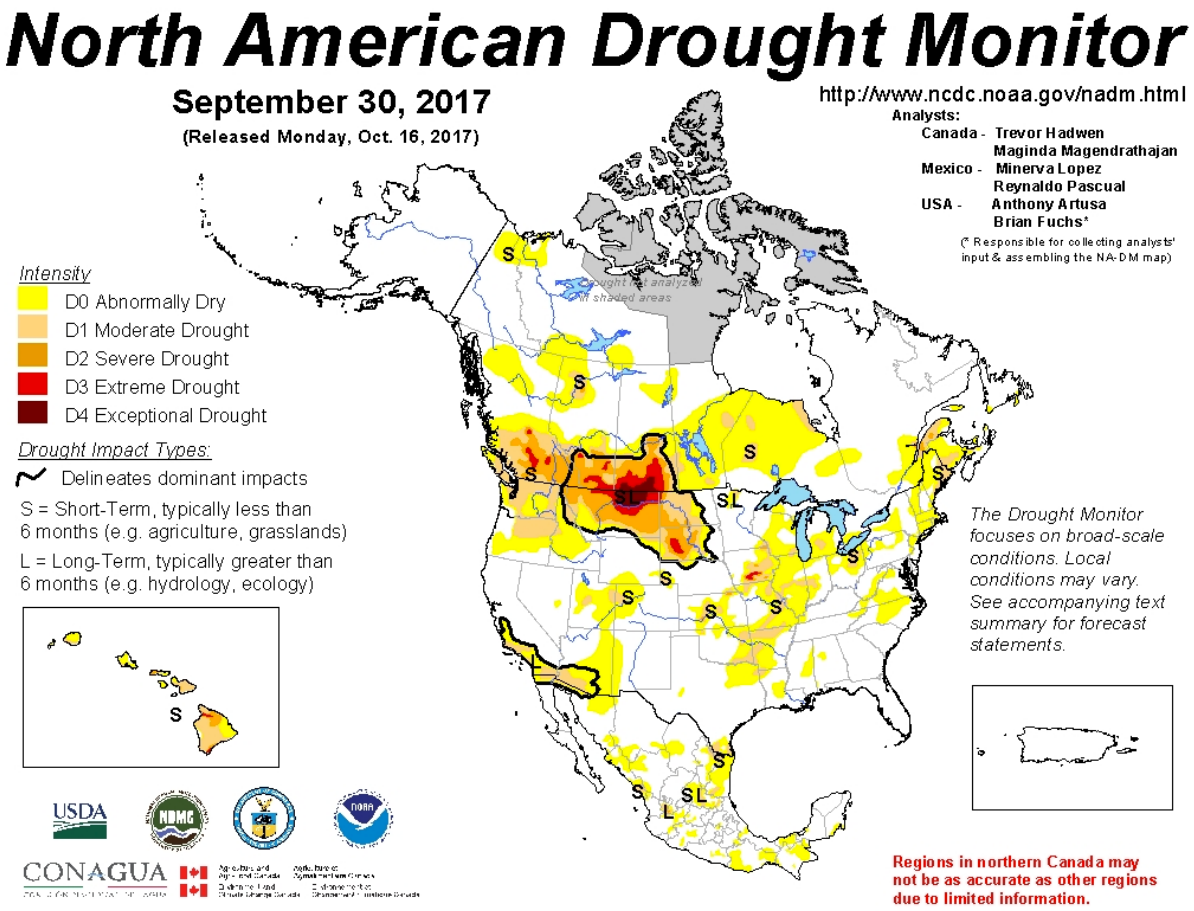
- La ET en base a Landsat ayuda a los enólogos y viticultores en California a planificar su coordinación y regadío



Reference: https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S2-3_Mendez.pdf

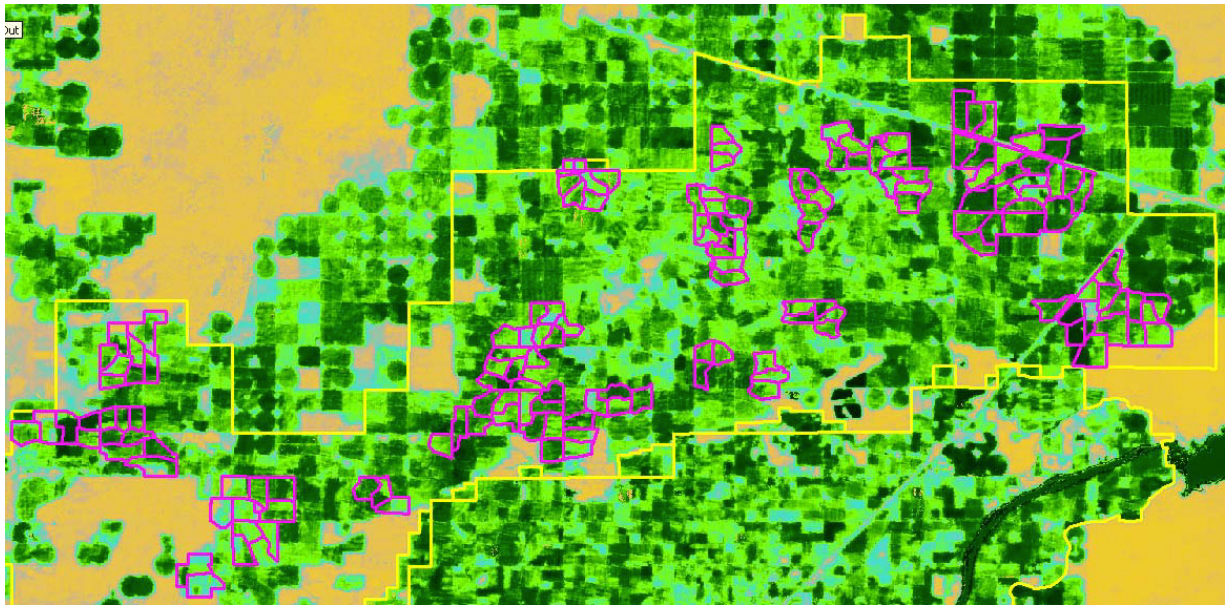
ET para el Monitoreo de Sequías sobre Norteamérica





ET para la Asignación del Agua

- La ET de METRIC ET se usa para determinar el déficit hidrológico
- Ejemplo
  - basado en el análisis de la ET y del NDVI, El Departamento de Recursos Hídricos del Estado de Idaho (EEUU) verificó que ciertos campos que se alegaba sufrían de un déficit de agua en realidad no lo hacían

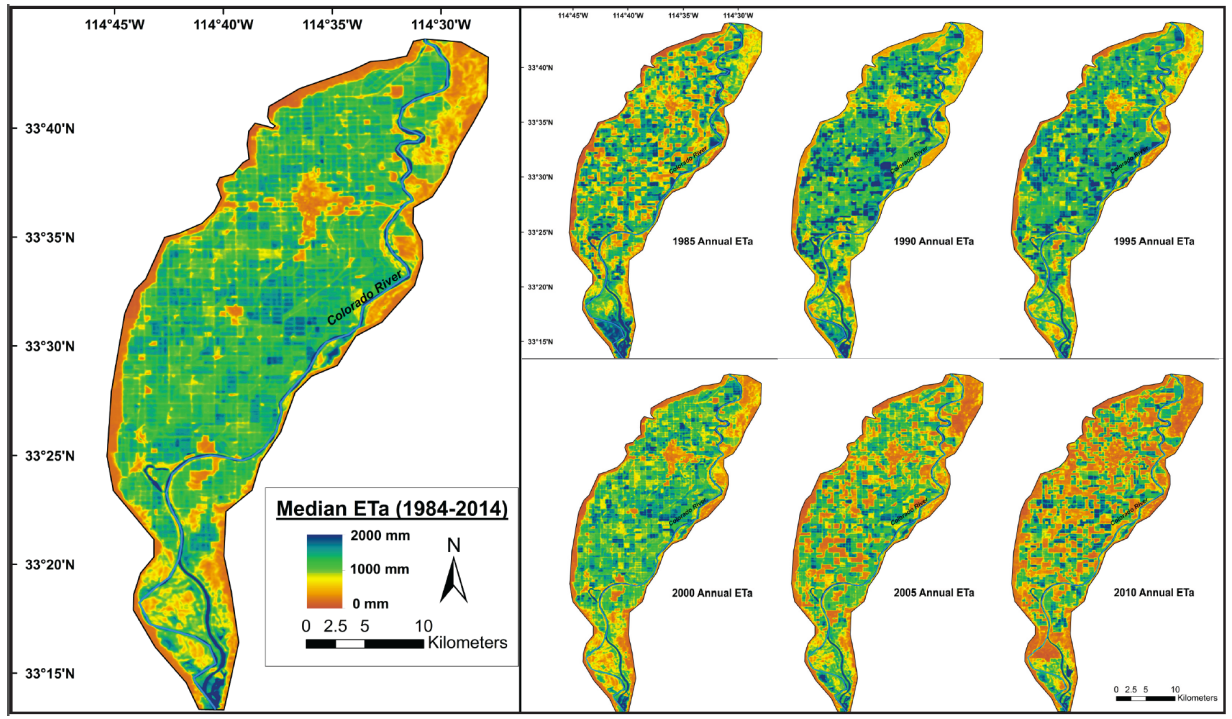


Los polígonos morados son los campos que supuestamente tenían un déficit de agua en 2006

Reference: https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S1-3_Allen.pdf

ET para la Asignación del Agua

- El impacto de las decisiones sobre la asignación del agua fue más visible que los factores climáticos en cuanto a cambios en el consumo de agua en los cultivos (evapotranspiración)a través del tiempo
- El método de modelado SSEBop fue estable al procesar 3,396 imágenes de Landsat y al generar estimaciones confiables para el análisis de tendencias
- La asociación cuantificada entre programas de seguimiento de cultivos y el ahorro del agua



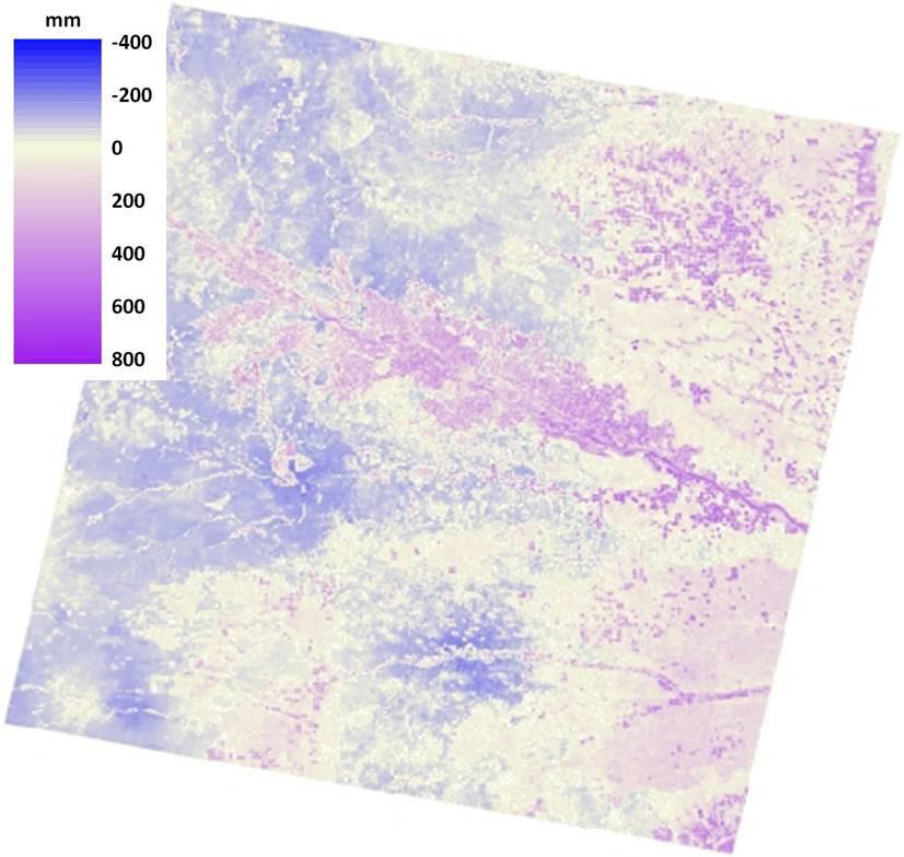
Estimaciones medias de ET anuales para el distrito de irrigación Palo Verde (PVID) obtenidas del modelo SSEBop entre 1984-2014. También se muestran imágenes selectas de series temporales de la ET para cada cinco años a partir de 1985.
Fuente de la Imagen: Senay et al.

Reference: Senay, G., et al. Landsat based historical (1984-2014) crop water use estimates and trends in the Southwestern United States. AGU 2016.
https://landsat.gsfc.nasa.gov/watching-water-use-in-the-southwest/

Utilización de la ET para Planificar la Gestión de Acuíferos

La ET de METRIC, junto con la precipitación, ayudó a estimar la recarga del acuífero de Ogalalla

Nebraska



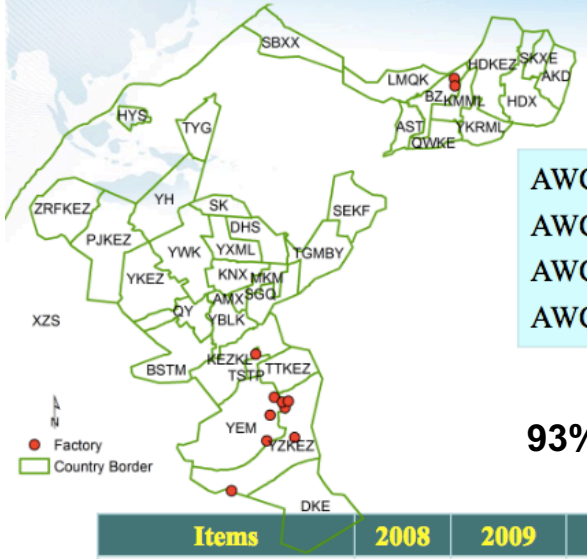
Evapotranspiración menos precipitación para el 1ro de abril al 31 de octubre de 1997, Ruta 33, Fila 31

Reference: https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S1-3_Allen.pdf

Utilización de la ET en el Consumo Agrícola de Agua en la China

- En base a la ET de ETWATCH y datos pluviales se detectó un consume excesivo de agua para la agricultura en 2008-2013
- Sumamente útil para planificar la asignación de recursos hídricos

Consumo Agrícola del Agua Real en Ertanggou



$$AWC_{AG} = AWC_{Total} - AWC_{RAIN}$$

AWC_{AG} : Consumo del agua de riego

AWC_{Total} : Consumo total del agua de una plantación

AWC_{RAIN} : Consumo de agua pluvial

93% más de lo permitido

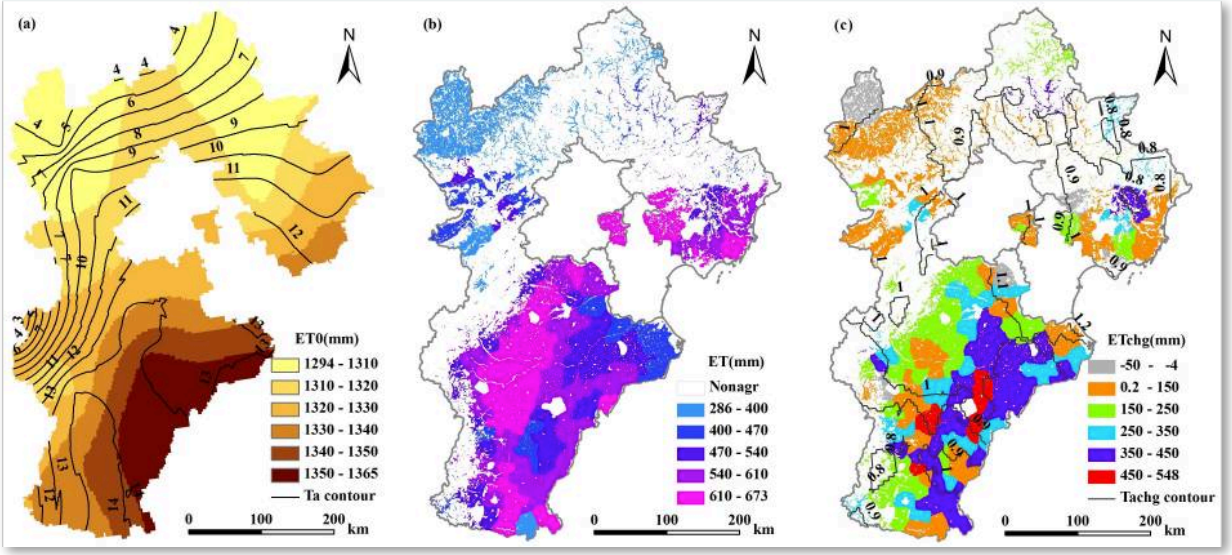
Items	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Promedio
$AWC_{Total}(10^6 m^3)$	166.7	157.6	142.5	165.6	162.7	192.8	164.6
$AWC_{RAIN}(10^6 m^3)$	9.9	3.2	11.9	4.4	6.6	6.3	7.0
$AWC_{AG}(10^6 m^3)$	157	154	131	161.2	156	187	158

www.radi.cas.cn

Reference: https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S1-3_Allen.pdf

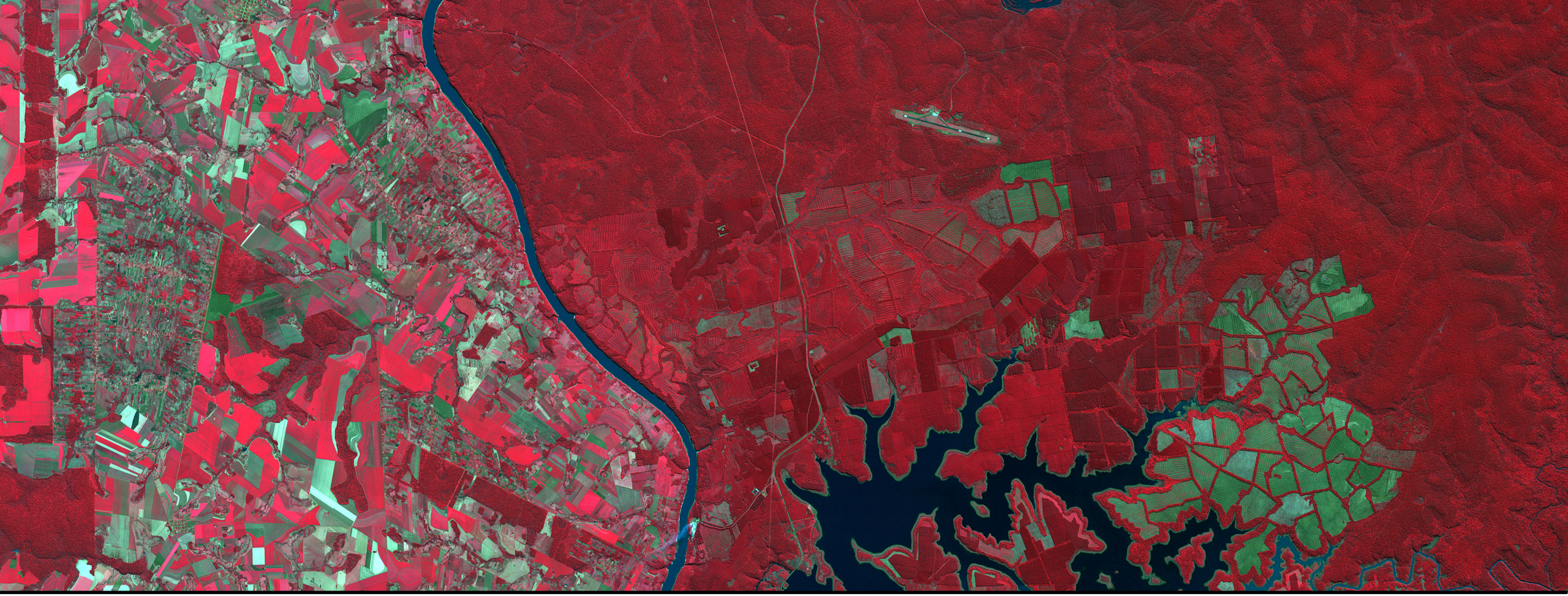
Utilización de la ET para Controlar el Consumo Agrícola del Agua

- El consumo de agua agrícola (agricultural water consumption o AWC) está basado en datos de diferentes estaciones de medición (1984-2008) y del ET MODIS
- Se encontró que el AWC aumentó de manera significante en los últimos 25 años con la excepción de unos cuantos países
- La integración de datos meteorológicos y satelitales permiten la estimación de la ET real más allá del historial disponible de los datos satelitales



Distribución de la ET_0 anual media (a) y ET actual (b)y cambios en la ET promediada para el período de 1984–1993 a 1999–2008 (c).

Reference: Yuan, Z., & Shen, Y. (2013). Estimation of Agricultural Water Consumption from Meteorological and Yield Data: A Case Study of Hebei, North China. PLoS ONE, 8(3). doi:10.1371/journal.pone.0058685



METRIC: Mapping EvapoTranspiration at high-Resolution with Internalized Calibration

(Mapeo de la Evapotranspiración de Resolución Alta Con Calibración Internalizada)

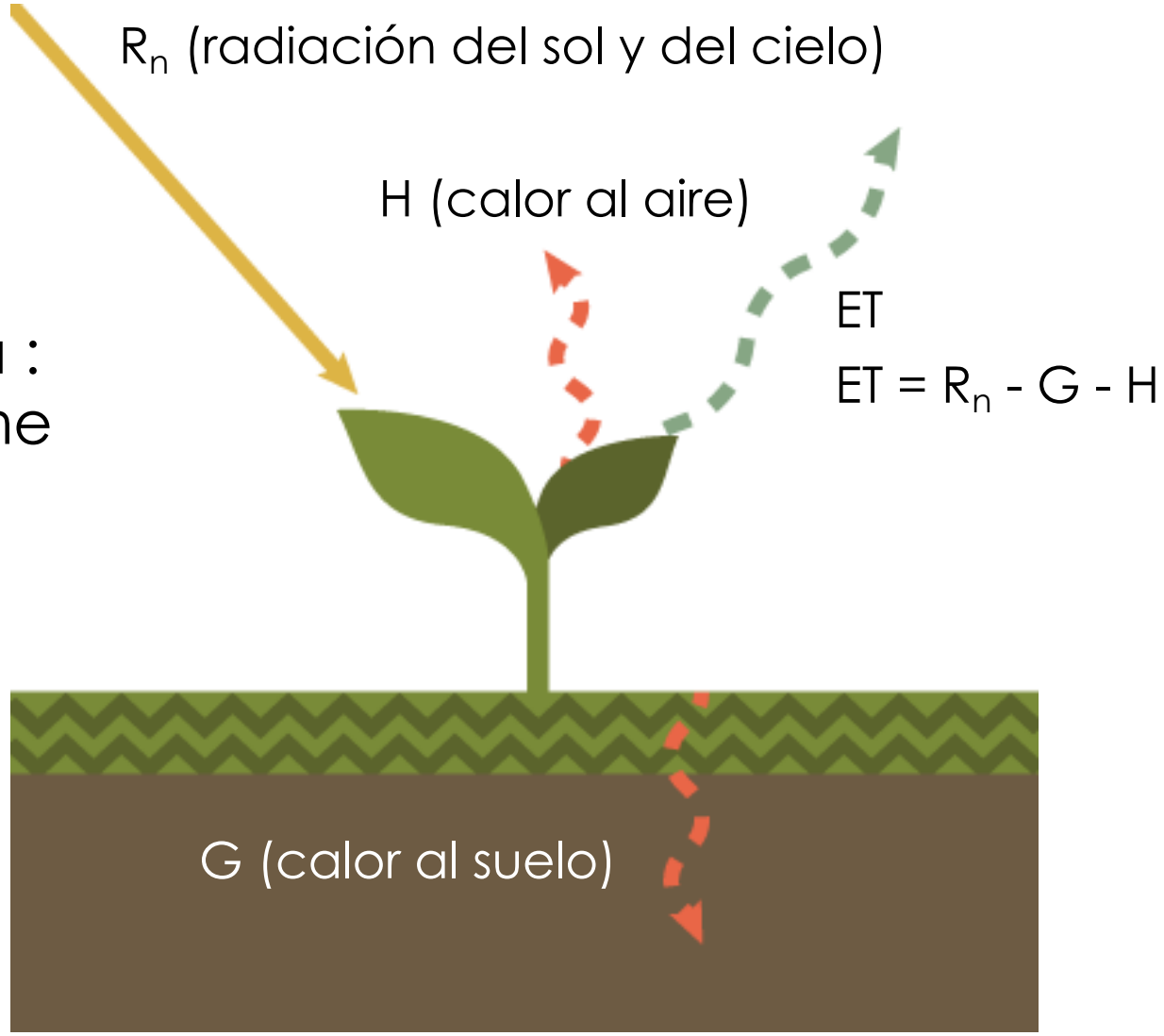
Courtesy of Rick Allen, Univ. Idaho, Member, USGS/NASA Landsat Science Team

METRIC: Basado en el Balance Energético

- Balance Energético (Energy Balance o EB)
  - Recuerde: La ET es el agua que cambia de líquido en vapor
  - La conversión de un líquido en vapor requiere energía
  - "Buscamos" la energía consumida para producir la evaporación
  - Se puede derivar los componentes del EB de la temperatura de la superficie

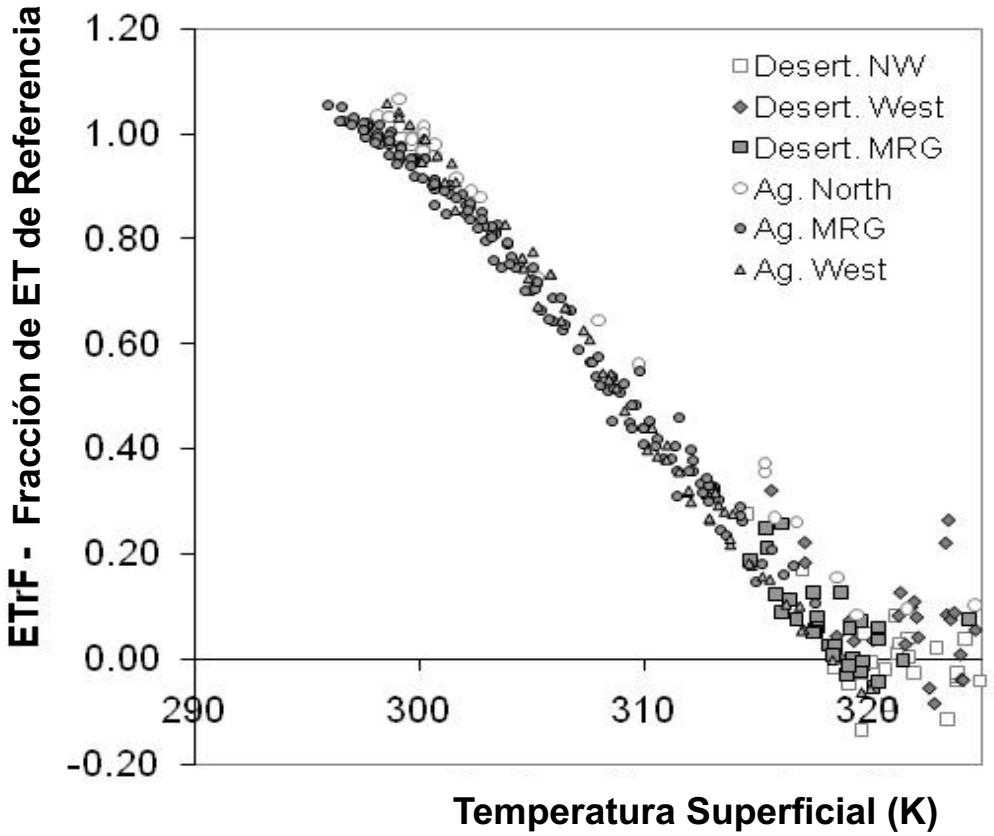
La ET se Calcula como un Residuo del Balance Energético Balance

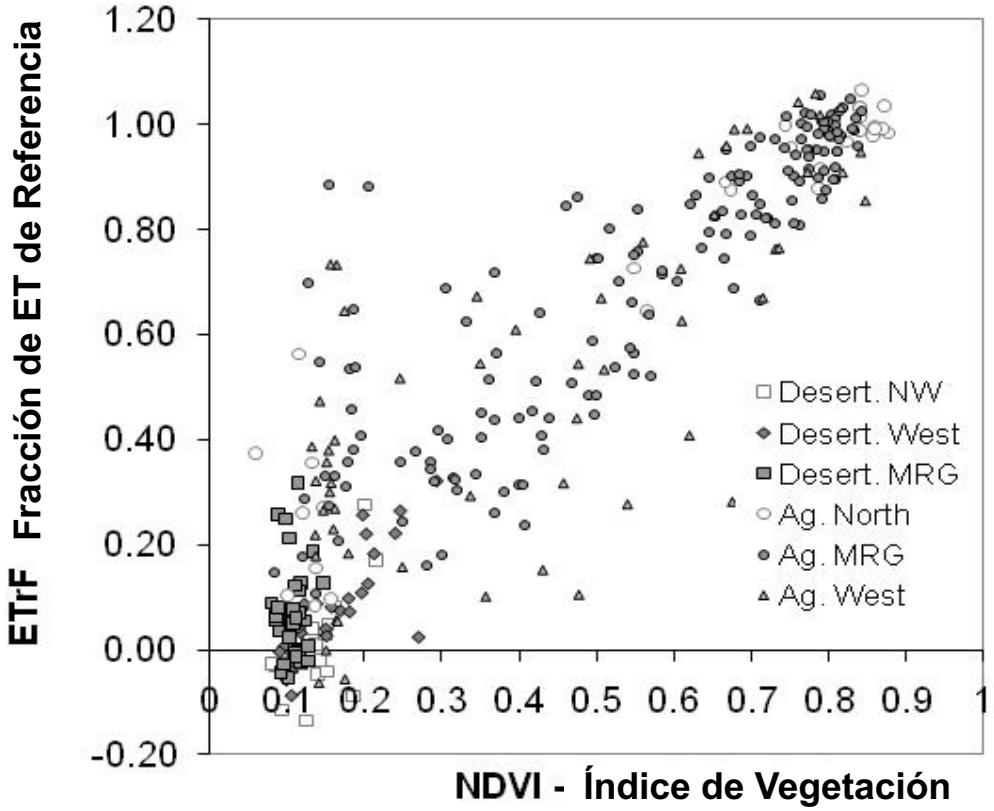
Verdad elemental: la : evaporación consume energía



La ET Es Más Influenciada por la Temperatura Superficial que por la Vegetación

Rio Grande Medio, Nuevo Mexico (EEUU)





Componentes Generales del EB en METRIC

METRIC usa las reflectancias de las bandas de Landsat y datos meteorológicos para obtener los componentes del EB

- Radiación Neta (R_n)
  - Onda corta reflejada de satélite
  - Onda corta entrante de teoría
  - Onda larga emitida de satélite
  - Onda larga entrante de la transmisividad emitida y atmosférica
- Flujo Térmico del Suelo (G)
  - Función de H para suelo casi descubierto y función de Rn para vegetación
- $\lambda E = R_n - G - H$

Reference: Allen, R. G., et al. (2007). Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Applications. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133(4), 395-406. doi:10.1061/(asce)0733-9437(2007)133:4(395)

Componentes Generales del EB en METRIC

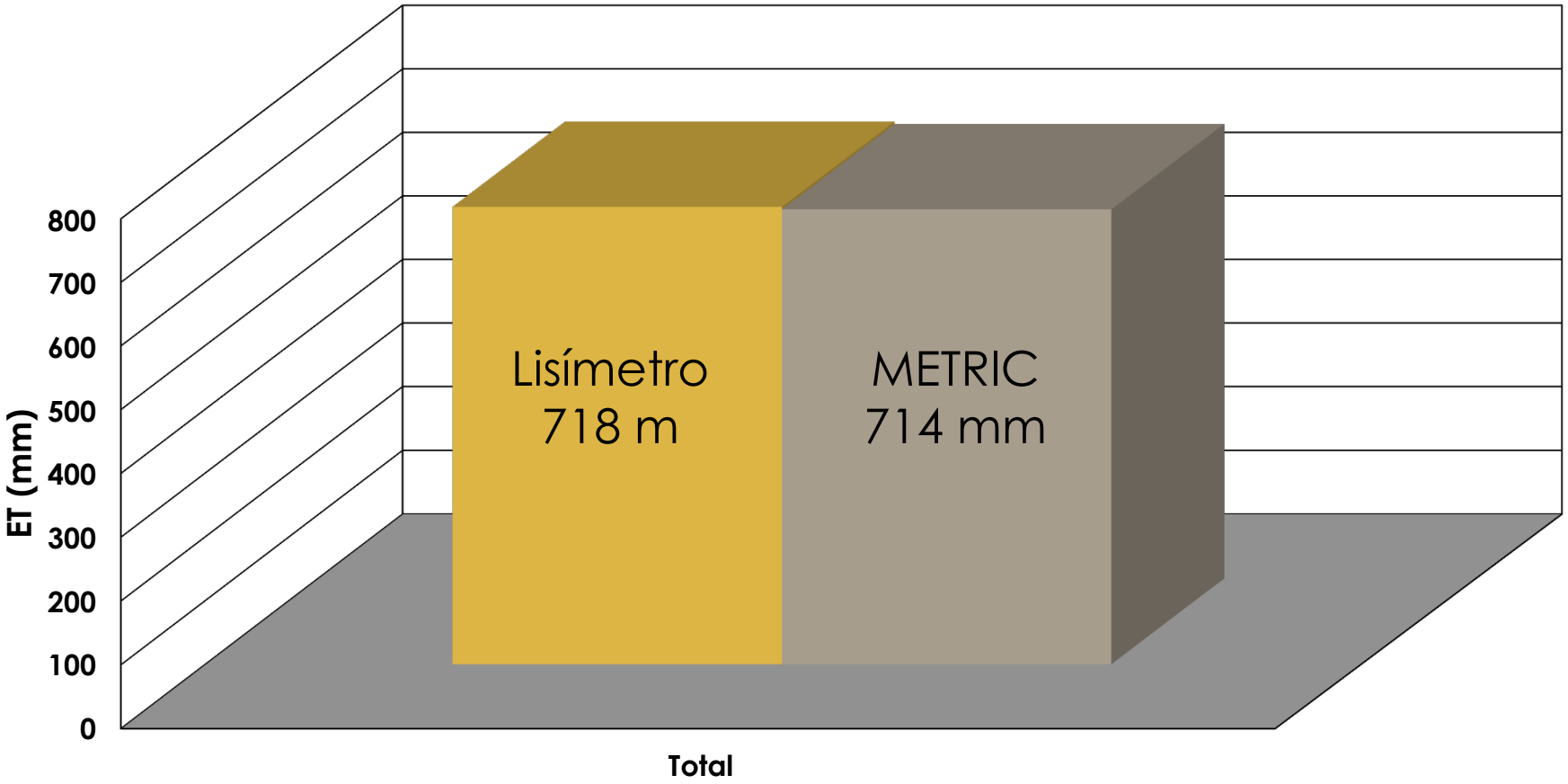
METRIC usa las reflectancias de las bandas de Landsat y datos meteorológicos para obtener los componentes del EB

- Flujo Térmico Sensible Flux (H)
- Gradiente vertical de la temperatura cerca de la superficie (dT) calculado a partir de la temperatura superficial (T_s) – calibrado a la fecha de cada imagen ($dT = a + b\ T_s$)
- Resistencia aerodinámica de
  - La velocidad del viento a la altitud de mezcla (de la meteorología en local o en cuadrícula)
  - Turbulencia aerodinámica de índices de vegetación y tipo de uso del suelo
  - Efectos de flotabilidad de soluciones iterativas

Reference: Allen, R. G., et al. (2007). Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Applications. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133(4), 395-406. doi:10.1061/(asce)0733-9437(2007)133:4(395)

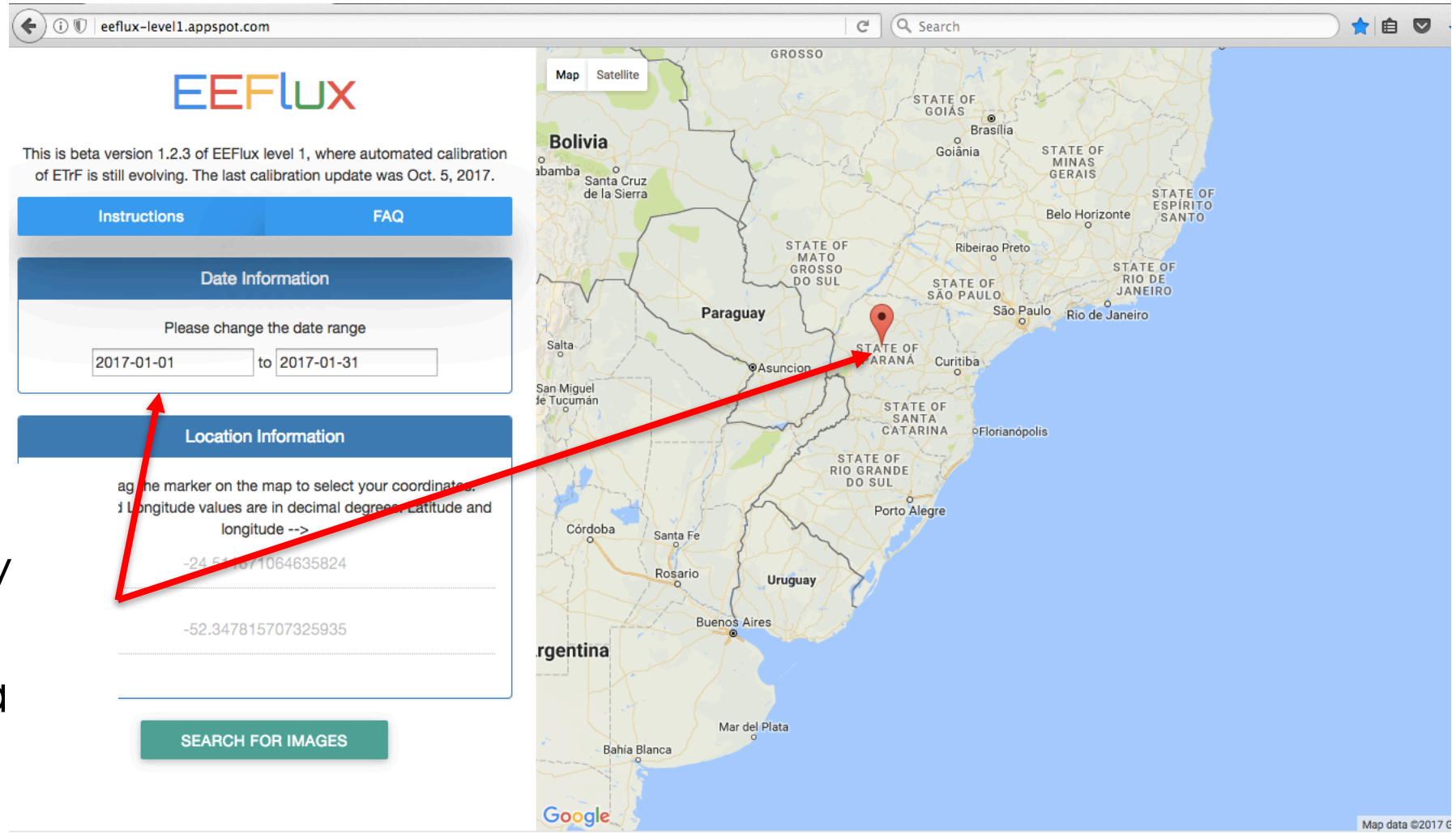
Comparación de ET Estacional ET de METRIC con un Lisímetro

Remolacha Azucarera
Abril – Sept 1989, Kimberly, Idaho (EEUU)



EEFlux: Acceso a los datos de METRIC en Google Earth Engine

http://eeflux-level1.appspot.com/



Búsqueda temporal y espacial interactiva

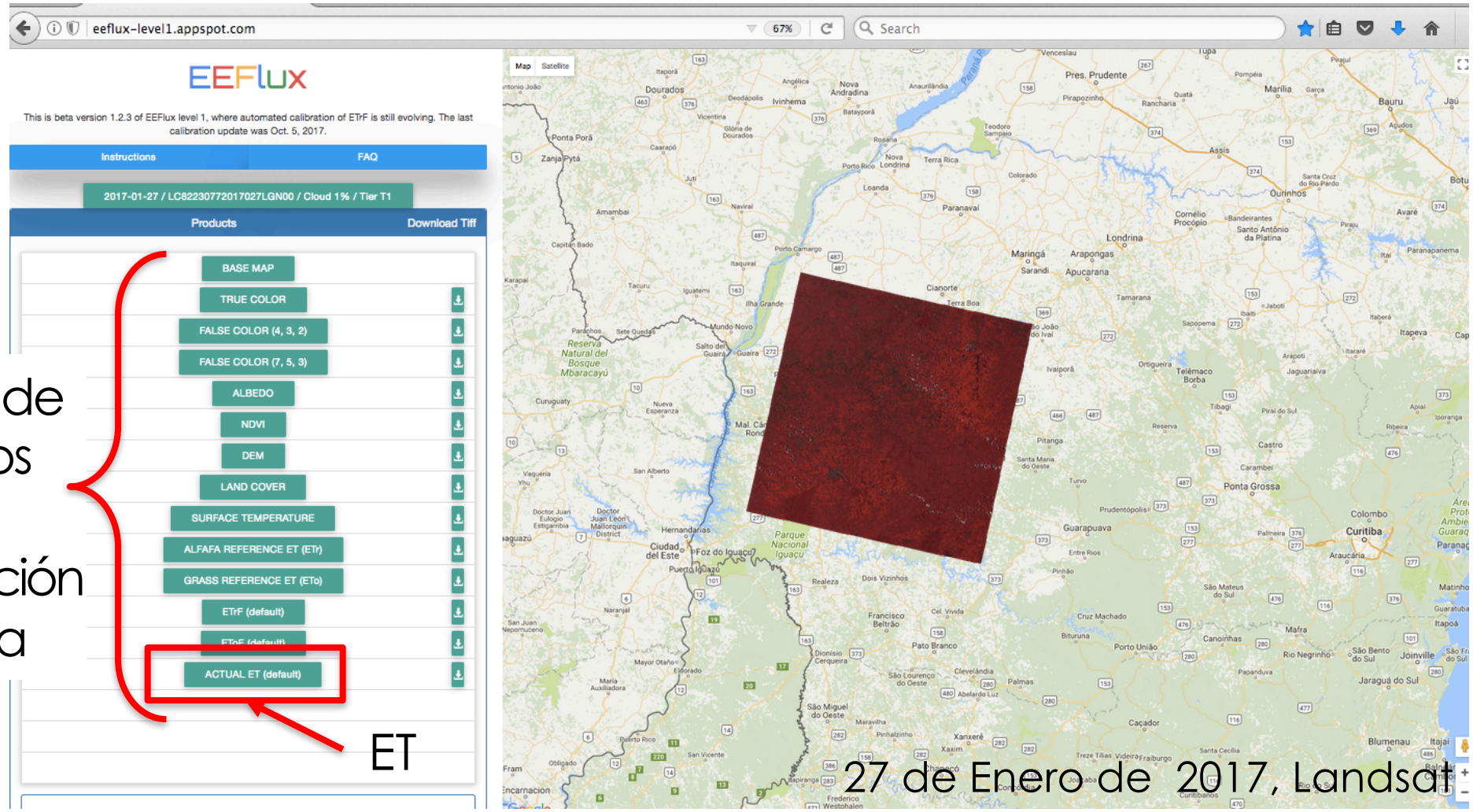
EEFlux: ET de METRIC en base a Google Earth Engine

http://eeflux-level1.appspot.com/

Selección de imágenes de Landsat del intervalo temporal especificado con selección de porcentaje de cubierta nubosa

EEFlux: ET de METRIC en base a Google Earth Engine

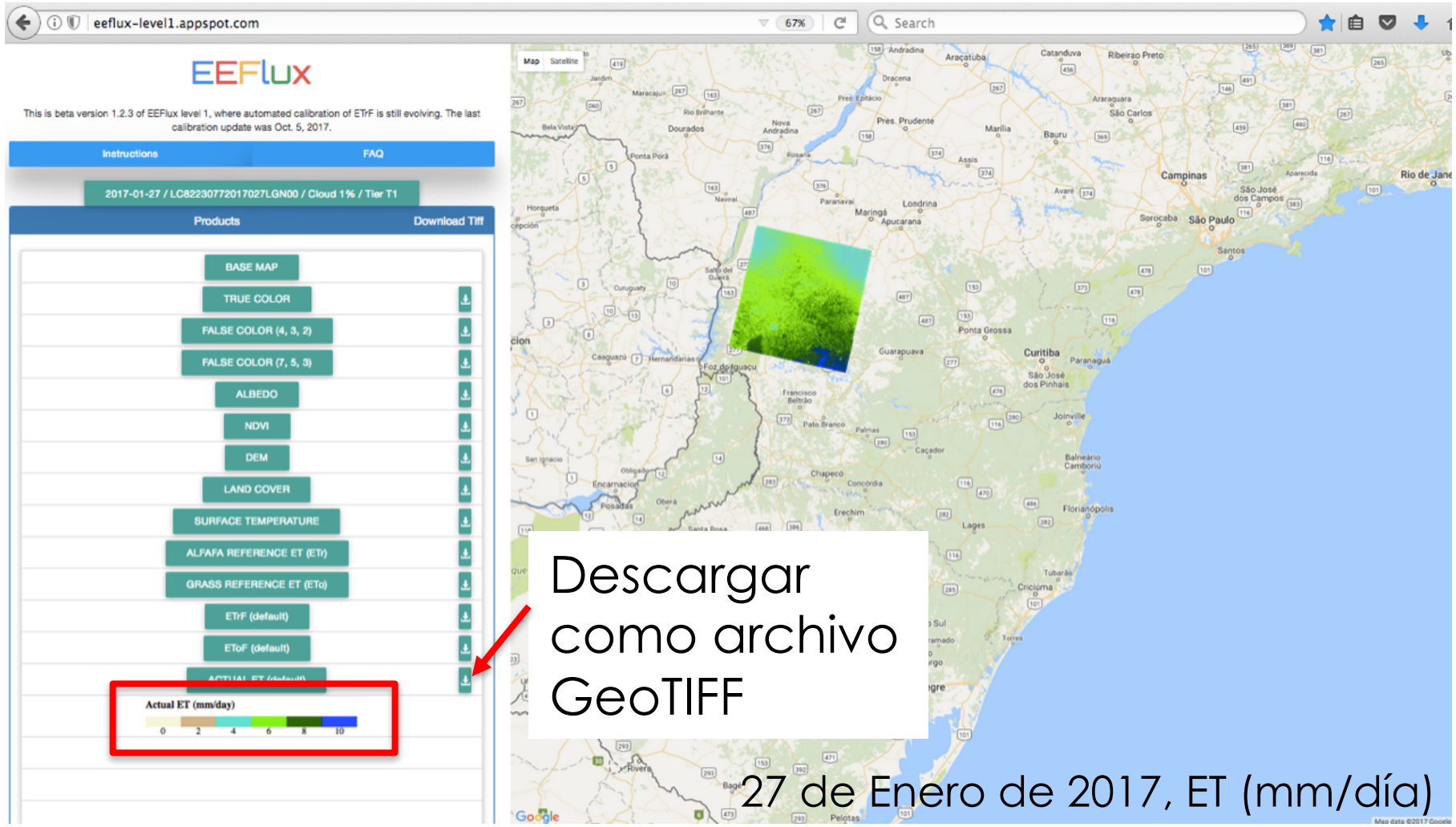
http://eeflux-level1.appspot.com/



Selección de parámetros para diagramación y descarga

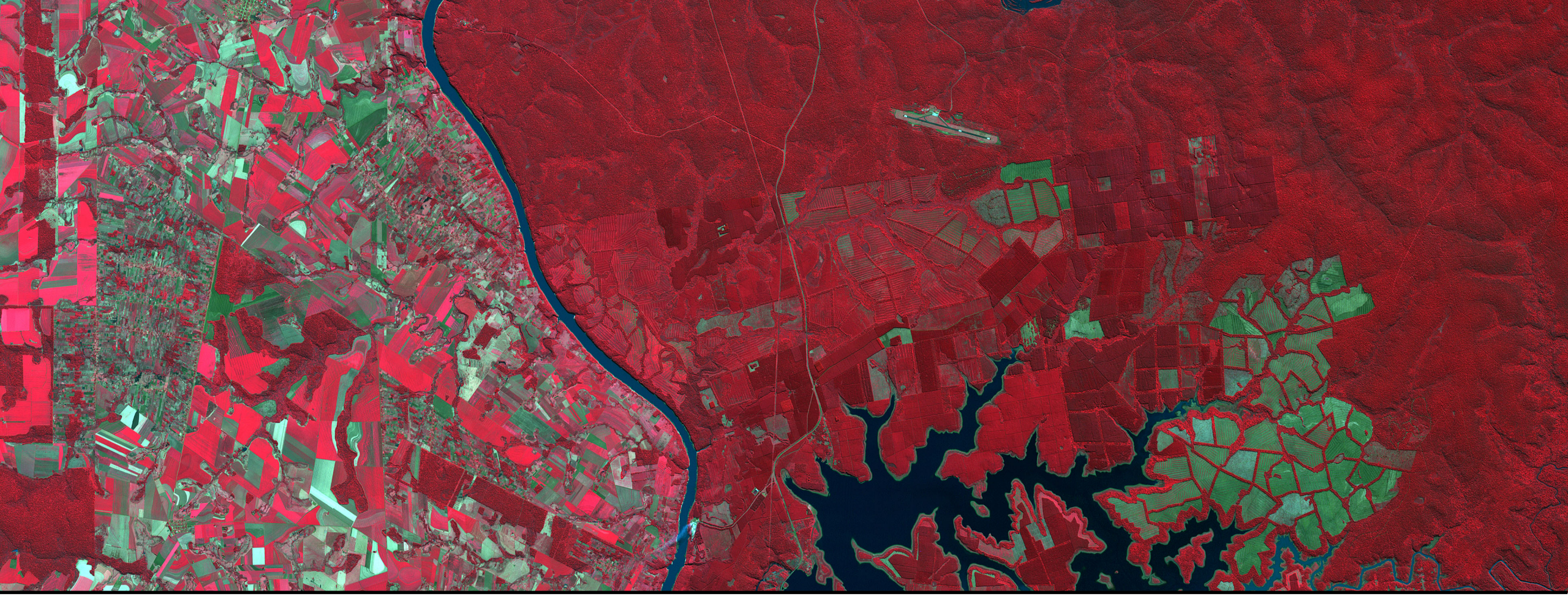
EEFlux: ET de METRIC en base a Google Earth Engine

http://eeflux-level1.appspot.com/



Resumen

- La evapotranspiración no se mide, sino se calcula por medio de métodos del balance hidrológico y/o energético
- Requiere algoritmos complejos y una variedad de datos sobre el clima y la superficie terrestre
- Hay varios algoritmos para estimar la ET disponibles – se recomienda validar e inter-comparar para uso regional
- Los datos de la Teledetección de Landsat y MODIS (temperatura superficial terrestre, cubierta terrestre, índice de vegetación, índice de área foliar) son útiles en la estimación de la ET
- Para más detalles consulte la capacitación en línea ARSET sobre la ET:
  – https://arset.gsfc.nasa.gov/water/webinars/apps-et-smap



Lo Siguiente:
Ejercicio Práctico: Descarga de Datos de la ET para la Cuenca de San Francisco