National Aeronautics and
Space Administration

ARSET

Applied Remote Sensing Training

http://arset.gsfc.nasa.gov

@NASAARSET

Productos y aplicaciones de datos de la evapotranspiración de la NASA

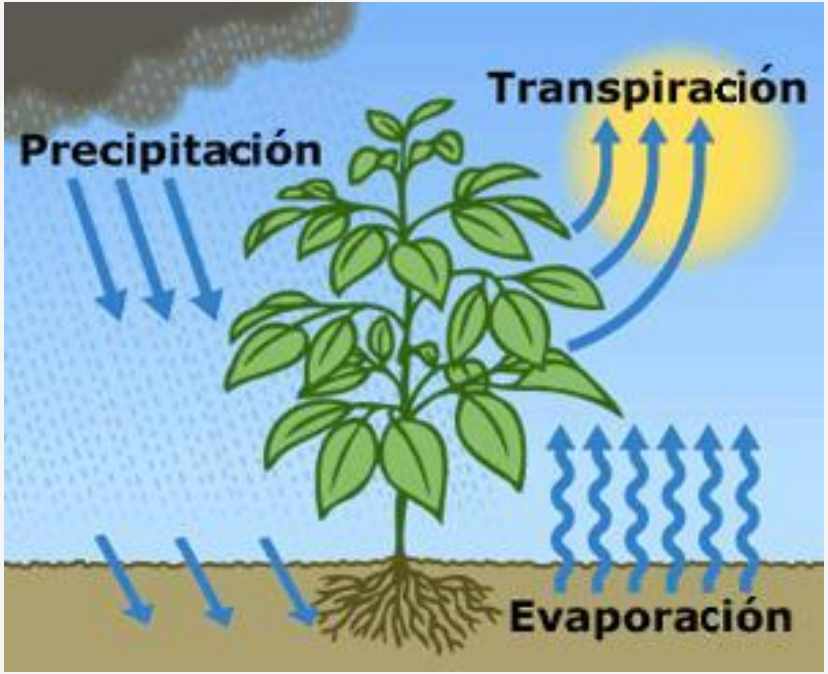
Esquema

- Acerca de la evapotranspiración (ET)
- Métodos de estimar ET basados en la percepción remota
- Productos de datos de ET basados en la percepción remota
- Aplicaciones de datos de ET
- Demostración de una herramienta en línea para acceder a la ET basada en Landsat

Acerca de la evapotranspiración

¿Qué es la evapotranspiración (ET)?

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



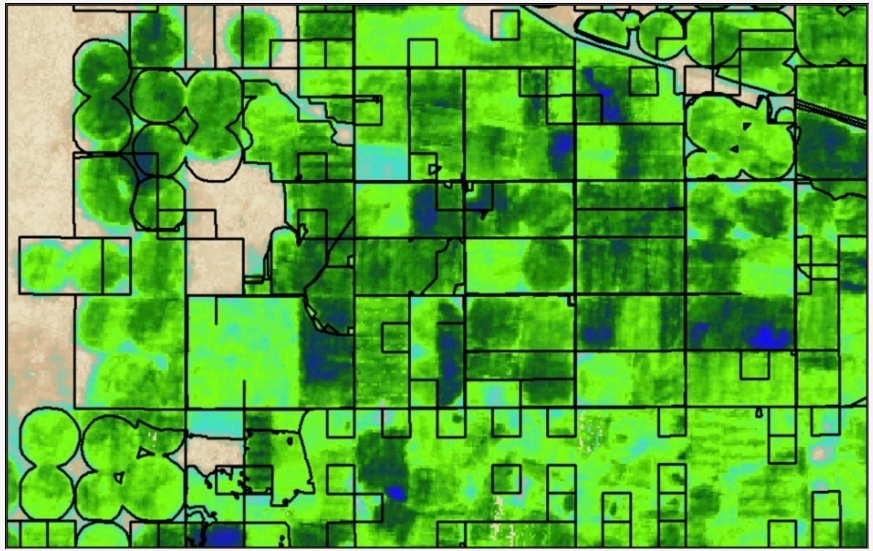
Source: USGS

La importancia de la ET

- Componente crítico del equilibrio de agua y energía de las interacciones clima-suelo-vegetación
- Útil para:
  - determinar el consumo agrícola del agua
  - asesorar condiciones de sequía
  - formular presupuestos hídricos
  - monitorear el agotamiento de acuíferos
  - monitorear cultivos y el balance de carbono

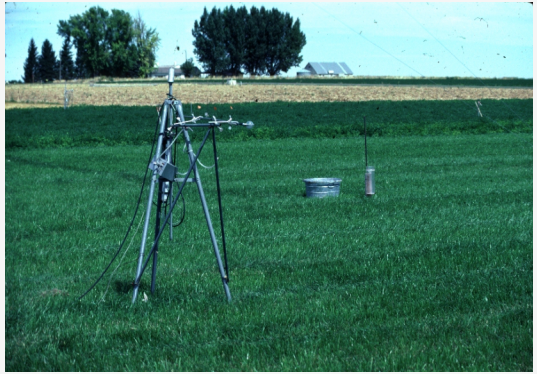
Las dificultades de medir la ET

- La ET depende de muchas variables:
  - radiación solar en la superficie
  - temperaturas de la tierra y del aire
  - humedad
  - vientos de superficie
  - condiciones del suelo
  - manto y tipos de vegetación
- Sumamente variable a través del espacio y el tiempo



Limitaciones principales de la medición de la ET a nivel del suelo

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



Torres de flujo turbulento

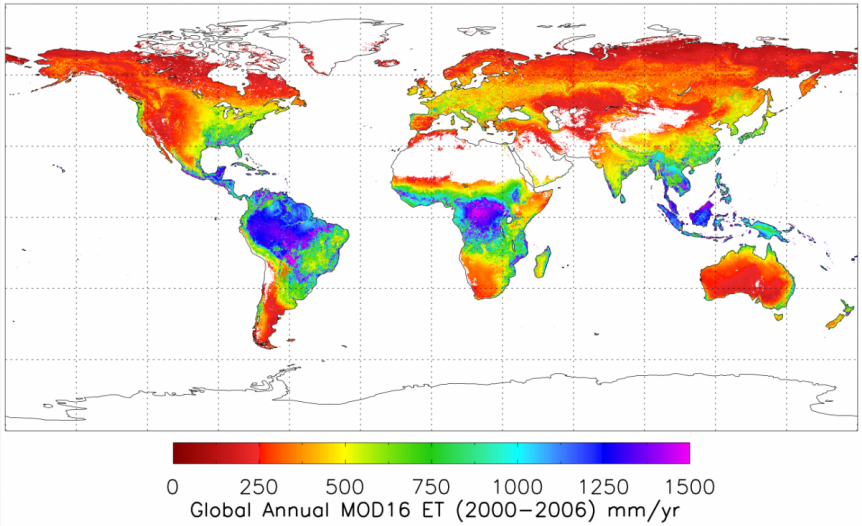
Lisímetros

Image Credit: Rick Allen, University of Idaho

Beneficios de estimar la ET de los datos de la percepción remota

- Proporcionan medidas relativamente frecuentes y espacialmente continuas de variables biofísicas que se usan para estimar la ET a diferentes escalas espaciales incluyendo:
  - radiación
  - temperaturas superficiales terrestres
  - manto de vegetación y densidad
  - precipitación
  - humedad del suelo
  - variables meteorológicas y climáticas

ET global basada en el MODIS Promediada durante 2000-2006



http://ntsg.umt.edu/project/mod16

Métodos de estimar ET basados en la percepción remota

Sensores remotos y observaciones para ET

Satélite	Sensor	Parámetro
Terra y Aqua	MODIS	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Índice normalizado de diferencia de vegetación) Leaf Area Index (LAI) (Índice de área del follaje) Albedo (fracción de radiación solar superficial reflejada de vuelta)
Landsat	OLI, ETM+	Reflectancia espectral

MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

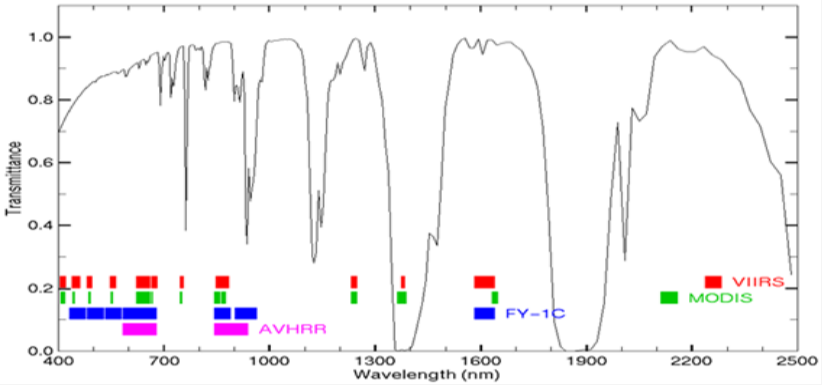
Espectrorradiómedro de imágenes de resolución moderada

http://modis.gsfc.nasa.gov

- Abordo de Terra y Aqua
- Diseñado para observaciones de a tierra, atmósfera, el océano y la criósfera
- Cobertura y resolución espacial:
  - Global, barrido: 2,330km
  - Resolución espacial: Varía: 250m, 500m, 1km
- Cobertura y resolución temporal:
  - 2000-presente, 2 veces por día

Bandas espectrales

- 36 bandas (roja, azul, IR, casi IR, IR media)
  - Bandas 1-2: 250m
  - Bandas 3-7: 500m
  - Bandas 8-16: 1000m



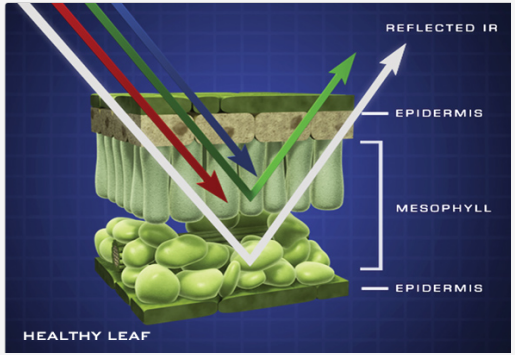
cimss.ssec.wisc.edu

MODIS Normalized Vegetation Index

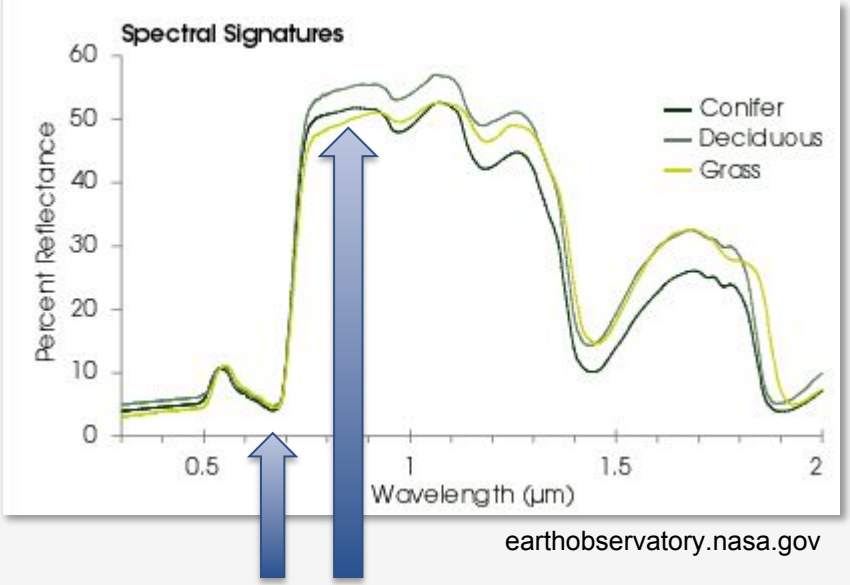
Índice normalizado de diferencia de vegetación

http://arset.gsfc.nasa.gov/land/webinars/advancedNDVI

- Basado en la relación entre las longitudes de onda infrarrojas y casi infrarrojas
  - La clorofila absorbe fuertemente la visible (roja)
  - La estructura de las plantas refleja la casi infrarroja en su mayor parte



missionscience.hq.nasa.gov; Credit: Jeff Carns



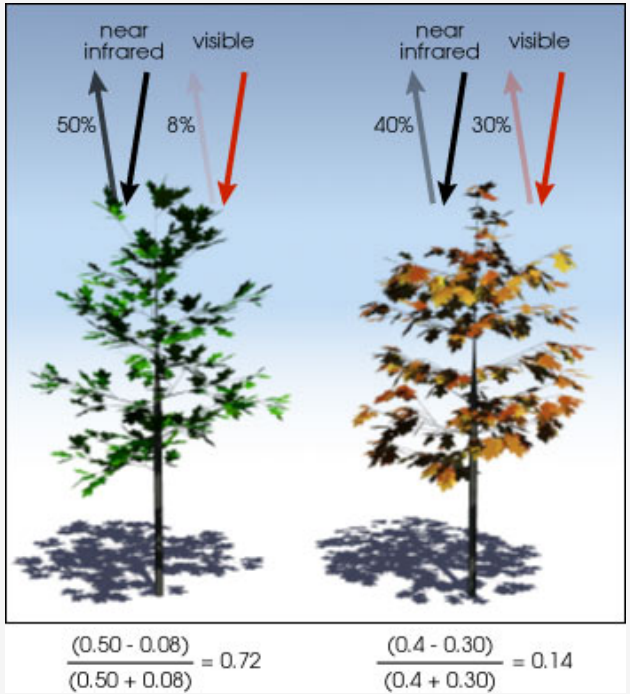
earthobservatory.nasa.gov

Roja Casi infrarroja

NDVI- Fórmula

http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation

- $\text{NDVI} = \dfrac{\text{Casi-infrarrofa - roja}}{\text{Casi-infrarroja + roja}}$
- Valores entre -1.0 y 1.0
  - Valores negativos hasta 0 significan que no hay hojas verdes
  - Valores cerca de 1 indican la mayor densidad posible de hojas verdes
- Otros productos relevantes del MODIS:
  - Índice de área del follaje
  - Manto terrestre
  - Albedo
  - Más información: http://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table



earthobservatory.nasa.gov

Enhanced Thematic Mapper (ETM+)

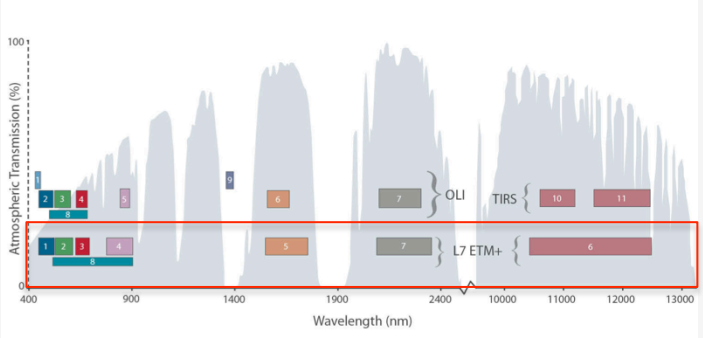
Mapeador temático mejorado

http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/l7.html

- Abordo de Landsat-7
- Satélite de órbita polar
- Cobertura y resolución espacial:
  - Global, barrido: 185km
  - Resolución espacial: 15m, **30m**, 60m
- Cobertura y resolución temporal:
  - 15 de abril de 1999-presente
  - Tiempo de revisita de 16 días

Bandas espectrales

- 8 bandas (azul-verde, verde, roja, IR reflejada y termal, pancromática)
  - Bandas 1-5, 7: 30m
  - Banda 6: 60m
  - Banda 8:15m



NASA

Operational Land Imager (OLI)

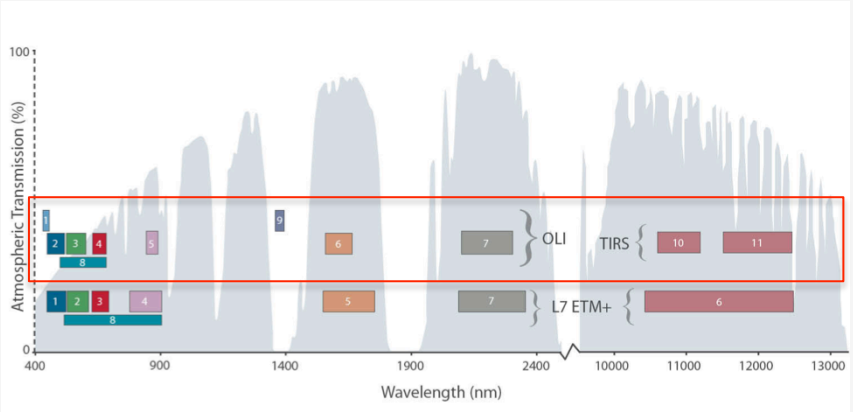
Captador de imágenes terrestres operacional

http://landsat.usgs.gov/landsat8.php ; http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=5779

- Abordo de Landsat-8
- Satélite de órbita polar
- Cobertura y resolución espacial:
  - Global, barrido: 185km
  - Resolución espacial: 15m, **30m**
- Cobertura y resolución temporal:
  - 11 de feb. de 2013 – presente
  - Tiempo de revisita de 16 días

Bandas espectrales

- 9 bandas (azul-verde, verde, roja, casi IR,IR de onda corta y termal)
  - Bandas 1-7, 9: 30m
  - Banda 8:15m



Importancia del Landsat para la ET

- Landsat permite ET a nivel de campo (30m de resolución), resolución mucho más alta que la ET basada en el MODIS (1 km)
- Landsat tiene una banda térmica que es importante para algunos métodos de ET

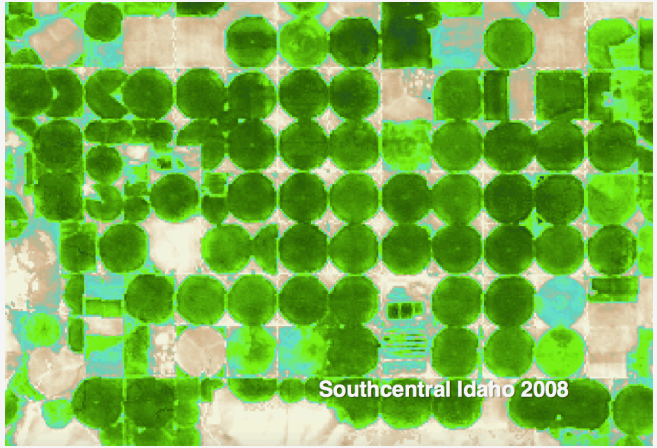
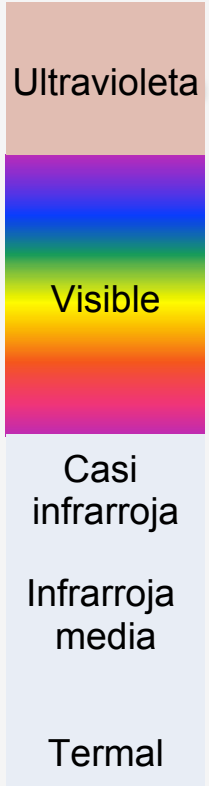


Image Credit: Richard Allen, University of Idaho

Bandas de Landsat

¿Qué es importante para la ET?



- Banda 3: Roja
  - Banda de absorción de clorofila para discriminación de vegetación
  - Reflectancia de caroteno y xantófilas (follaje muerto)
- Banda 4: Casi-infrarroja
  - Tejido interno de las hojas refleja gran parte (se reduce según se aumenta el estrés)
  - Differenciación entre vegetación perenifolia y decidua
- Bandas 5 & 7: Infrarrojas media
  - Contenido de humedad del suelo y de la vegetación
  - Contraste entre tipos de vegetación
- Banda 8: Térmica
  - Reflectancia solar
  - Calor emitido

Estimación de la ET – ¡nada fácil!

- La ET puede derivarse principalmente de:
  - Equilibrio hidrológico superficial
    ET=Precipitación + Irrigación – Escorrentía – Aguas subterráneas + Transporte vertical del agua ± Flujo subterráneo ± Contenido hídrico del suelo

  - Equilibrio enérgico superficial
    ET (Flujo de calor latente) = Radiación superficial neta – Flujo de calor del suelo – Flujo de calentamiento sensible

  - Datos meteorológicos y de la vegetación/cultivos (EcuaciónPenman-Monteith)

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

Estimación de ET por modelos terrrestres superficiales

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

- Integra observaciones satelitales y terrestres dentro de modelos numéricos sofisticados basados en métodos del equilibrio hídrico y enérgico

Insumos de la percepción remota

- Radiación solar en la superficie
  - De modelos atmosféricos con asimilación de datos satelitales
- Precipitación (TRMM y Multi-satélite)
- Clasificación de vegetación e índice de área del follaje (MODIS & AVHRR)
- Topografía (Landsat)

Integración de productos

- Humedad del suelo
- Evapotranspiración
  - Escorrentía superficial/subterránea
  - Equivalente en agua de la nieve

Estimación de la ET por el equilibrio enérgico en la superficie

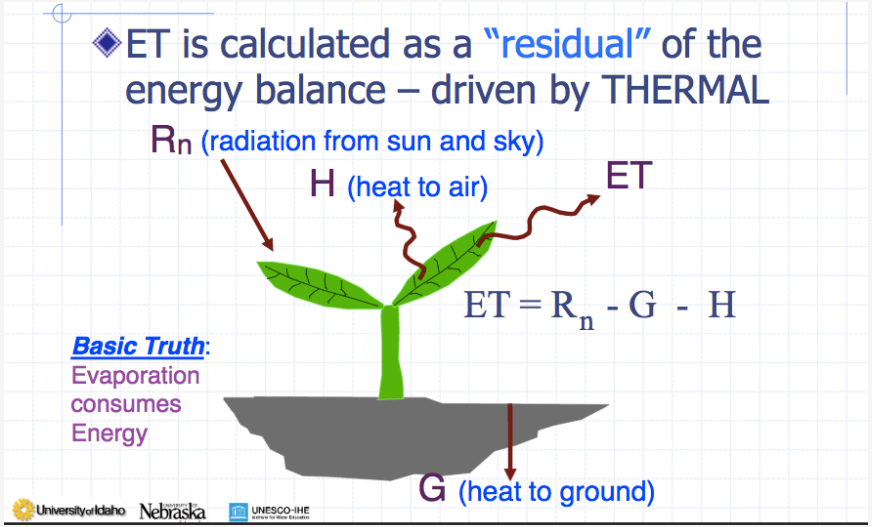
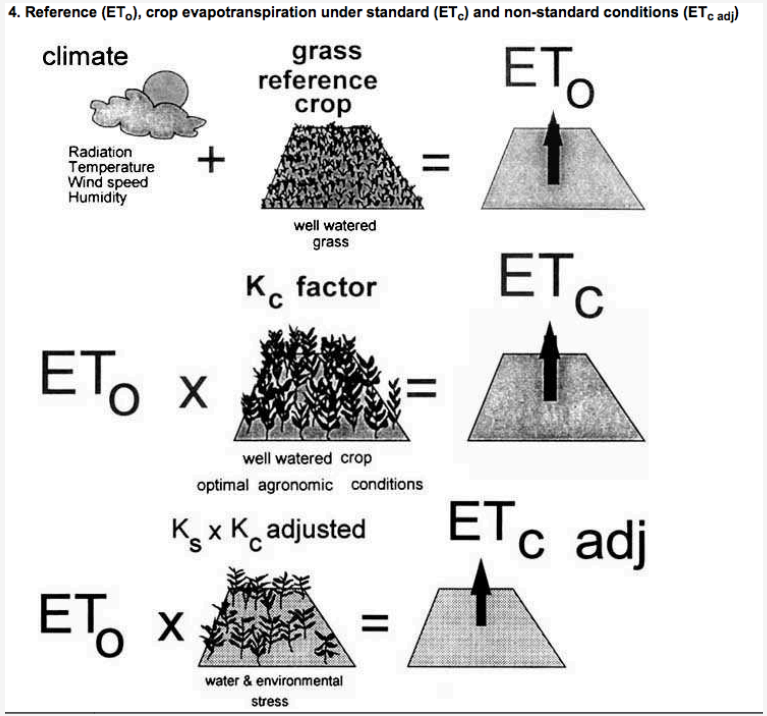


Image Credit:
https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S3-3_Allen.pdf

- Utilizado por multiples grupos para desarrollar productos de la ET
- Usa MODIS y Landsat
  - Temperaturas superficiales terrestres
  - Manto terrestre

Estimación de la ET a partir de información de la vegetación y de cultivos



- ET_o: ET de referencia para grama bien irrigada (Ecuación Penman-Moneith)
- ET_c: ET de cultivos para cultivos en condiciónes estándares:
  - Libres de enfermedad, bien fertilizados, cultivados en campos grandes, condiciones de agua del suelo ideales, alcanzando producción máxima bajo dadas condiciones climátcias
- $ET_{c\ adj}$: ajustada para condiciones de cultivos no estándares
- K_c: coeficiente de cultivo

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

Ecuación Penman-Monteith para ET_o

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma\left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

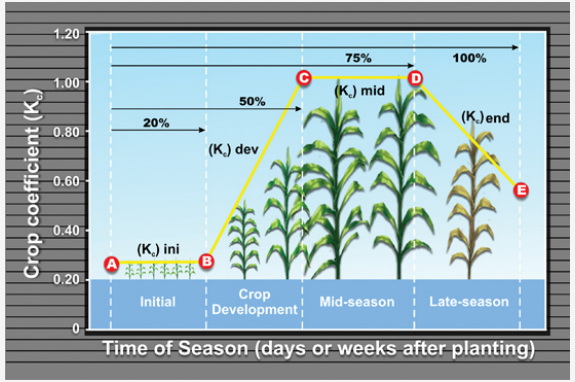
- R_n: radiación superficial neta
- G: flujo de calor del suelo
- $(e_s - e_a)$: déficit de presión de vapor
- r_a & r_s: Resistencia aerodinámica y superficial
- γ: constante psicométrico
- λ: constante de calor latente
- c_p: constante de calor específico

- Requiere información del clima y los cultivos
- r_a y r_s dependen de la altura de la vegetación y el índice de área del follaje (LAI)
- R_n depende de la radiación solar fraccional reflejada de vuelta por la superficie (albedo)
- LAI y albedo ambos disponibles del MODIS

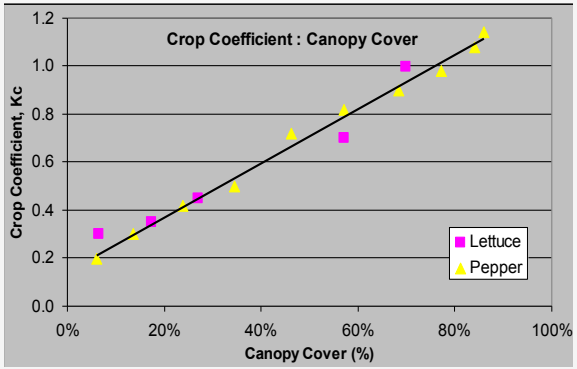
*Reference: http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e06.htm#penman%20monteith%20equation

El coeficiente de cultivo (K_c) y el Índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI)

- K_c está relacionado con la intercepción de la luz (manto terrestre)
- Existe una relación directa entre el K_c y el NDVI
  - Disponibles del MODIS



Credit: Tom Trout, USDA



Productos de datos de la ET basados en la percepción remota

Productos de datos de la ET basados en la percepción remota

Productos globales

- MOD16: MODIS Global Evapotranspiration Project
  - http://ntsg.umt.edu/project/mod16
- METRIC: Mapping EvapoTranspiration with high-Resolution and Internalized Calibration (Mapeo de evapotranspiración con alta resolución y calibración internalizada)
  - https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S1-3_Anderson.pdf
  - http://eeflux-level1.appspot.com
- ALEXI: Atmosphere-Land Exchange Inverse Model (Modelo inverso 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 terrestres)
  - http://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas/

Productos de datos de la ET basados en la percepción remota

Productos regionales: pueden ser adaptados para otras regiones

- SIMS: Satellite Irrigation Management Support (California)
  - https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S2-2_Melton.pdf
- NLDAS: North American Land Data Assimilation System (North America)
  - http://ldas.gsfc.nasa.gov/nldas
- SSEBop: Operational Simplified Surface Energy Balance (US & Africa)
  - http://www2.usgs.gov/climate_landuse/lcs/projects/wsmartet.asp
- ETWatch: Multi-Satellite Based Energy Balance Model (China)
  - https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day2_S1-4_Wu_2.pdf

Resumiendo: Productos de la ET disponibles al público

Fuente de ET	Método	Observaciones de la percepción remotaObservations
GLDAS	Modelo de superficie terrestre Equilibrio hídrico y enérgico	Precipitación del TRMM y multi-satélite Manto terrestre de MODIS y AVHRR Topografía del Landsat
MOD16	Modelo basado en el Índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI)	MODIS
METRIC	Equilibrio enérgico	Landsat
ALEXI	Equilibrio enérgico	MODIS, Landsat, GOES

Resumen: Productos globales de la ET disponibles al público

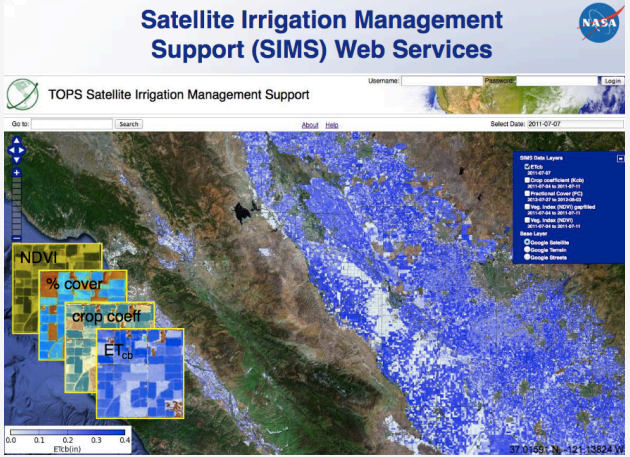
Fuentes de la ET	Resoluciones especial/ temporal	Fuente de datos	Disponibilidad
GLDAS	• 1/8vo-1 grado (Global) • 3-horas, mensual • 1979 – mayo de 2016 • 1979 – 2010	• NASA/NOAA • Mirador • Giovanni	• http://mirador.gsfc.nasa.gov • http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni
MOD16	• 1km (Global) • 8-días, mensual • 2000 – 2014 (se extenderá hasta el presente)	• University of Montana	• http://ntsg.umt.edu/project/mod16
METRIC	• 30m (Global) • 2011 – marzo de 2016	• Google Earth Engine Evapotranspiration Flux (EEFlux)	• http://eeflux-level1.appspot.com
ALEXI (GOES)	• 8km (estará disponible globalmente del MODIS) • Diaria, conjuntos de datos de 2-12 semanas	• NOAA	• http://www.ospo.noaa.gov/Products/land/getd/index.html

Aplicaciones de la ET

ET para la gestión de la irrigación

http://ecocast.arc.nasa.gov/simsi/

- Interfaz en línea beta completada
- Herramienta en línea accesible al público
- Siendo probado por múltiples agricultores
- Integrada con la herramienta de gestión de la irrigación UCCE CropManage
- Prototipo de calculador para métrica eficiente de la utilización del agua por sembradió completado



*Referencia: https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S2-2_Melton.pdf

ET para la gestión de la irrigación

http://ecocast.arc.nasa.gov/simsi/

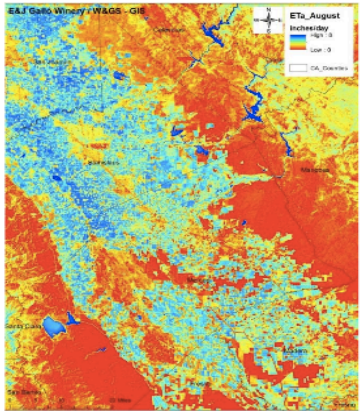
- La ET basada en el Landsat ayuda a los productores de vino y a los viticultores en California a planificar el plazo y la cantidad de irrigación

wine&grapesupply

Mapping Evapo-Transpiration at high Resolution with Internalized Calibration (Rick Allen et al.)

Science – Actual ET

- Gallo's analysts were trained by Dr Rick Allen to allow for on premise runs of METRIC



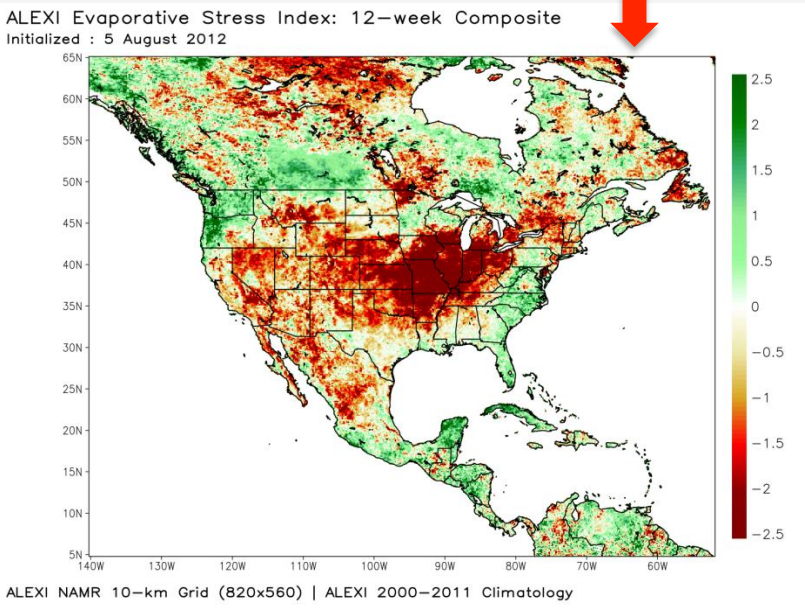
Business

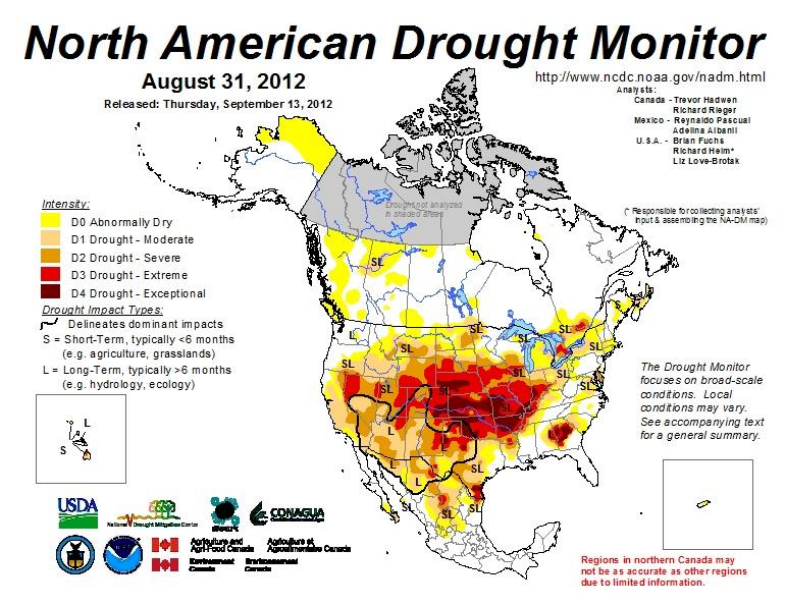
- Some of the benefits that Gallo observed in the last years of using Landsat imagery & METRIC include:
  - Decrease in the amount of water applied by 20–30 percent, subject to region,
  - Improved water management with the ability to run a seasonal water balance,
  - Development of more efficient seasonal irrigation schedules,
  - Improvement in grape quality which leads to improved wine quality,
  - Upward movement in the wine program, due to higher grape quality, leading to an increase in bottle price and an increase in revenue,
  - Reduced trimming of excess leaf canopies from over-irrigation,
  - Decrease in the cost of irrigation from reduction of water and energy used,
  - Using current year's data of water allocation to determine and plan next year's allocation.

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

ET para el monitoreo de sequías sobre Norteamérica

- Índice de estrés evaporativo de ALEXI mostrando condición de sequía

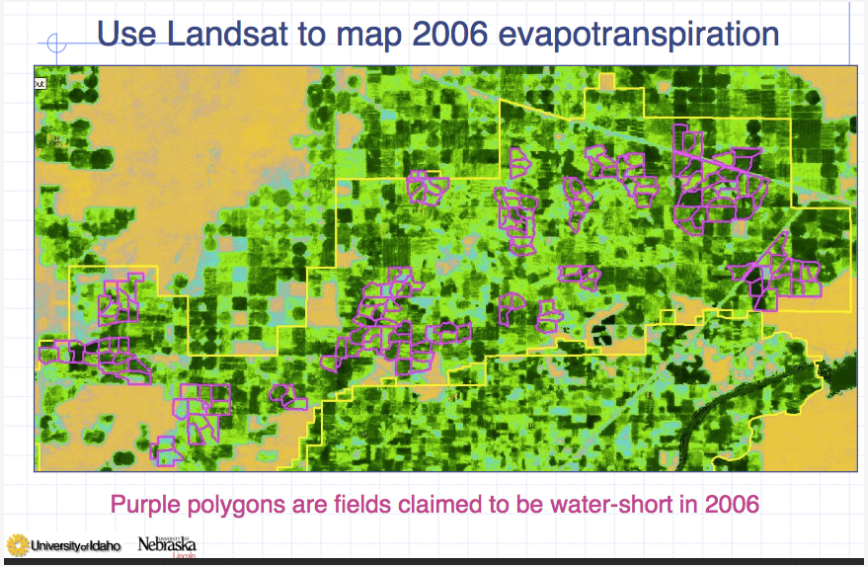




*Reference: https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day2_S1-7_Hain.pdf

ET para la asignación del agua

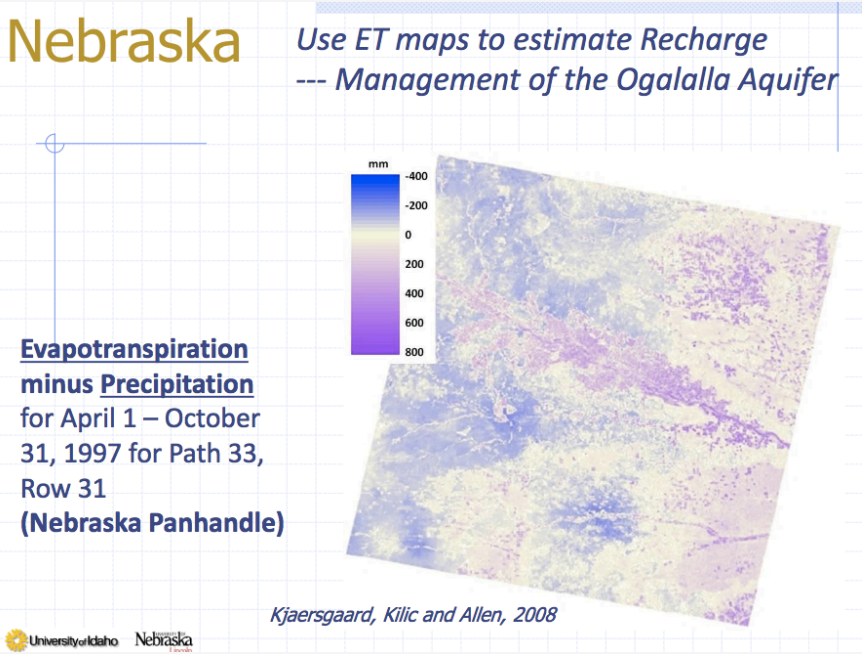
- ET de METRIC se utiliza para determinar déficit de agua
- Ejemplo
  - Basándose en el análisis de la ET y el NDVI, El Idaho Department of Water Resources verificó que ciertos campos que alegaban estar deficientes de agua no lo estaban



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

ET utilizada en la planificación para la gestión de acuíferos

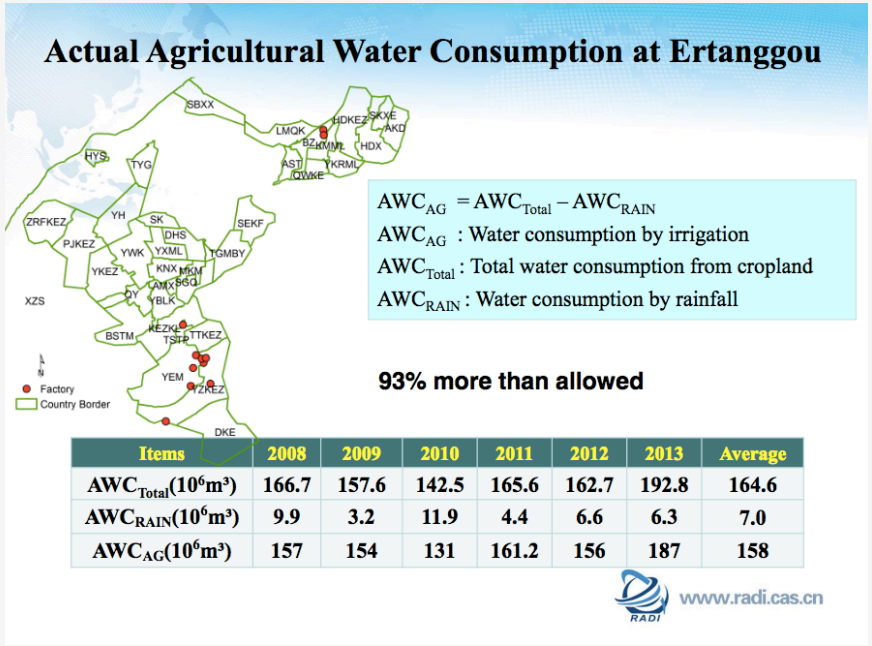
- ET de METRIC, junto con la precipitación ayudaron a estimar la recarga del acuífero Ogalalla



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

ET utilizada en la utilización agrícola de agua en la China

- A base de la ET de ETWATCH y datos pluviales, se descubrió la utilización excesiva de agua entre 2008-2013
- Muy útil para planificar la asignación de recursos hídricos



Items	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Average
$AWC_{Total}(10^6 m^3)$	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

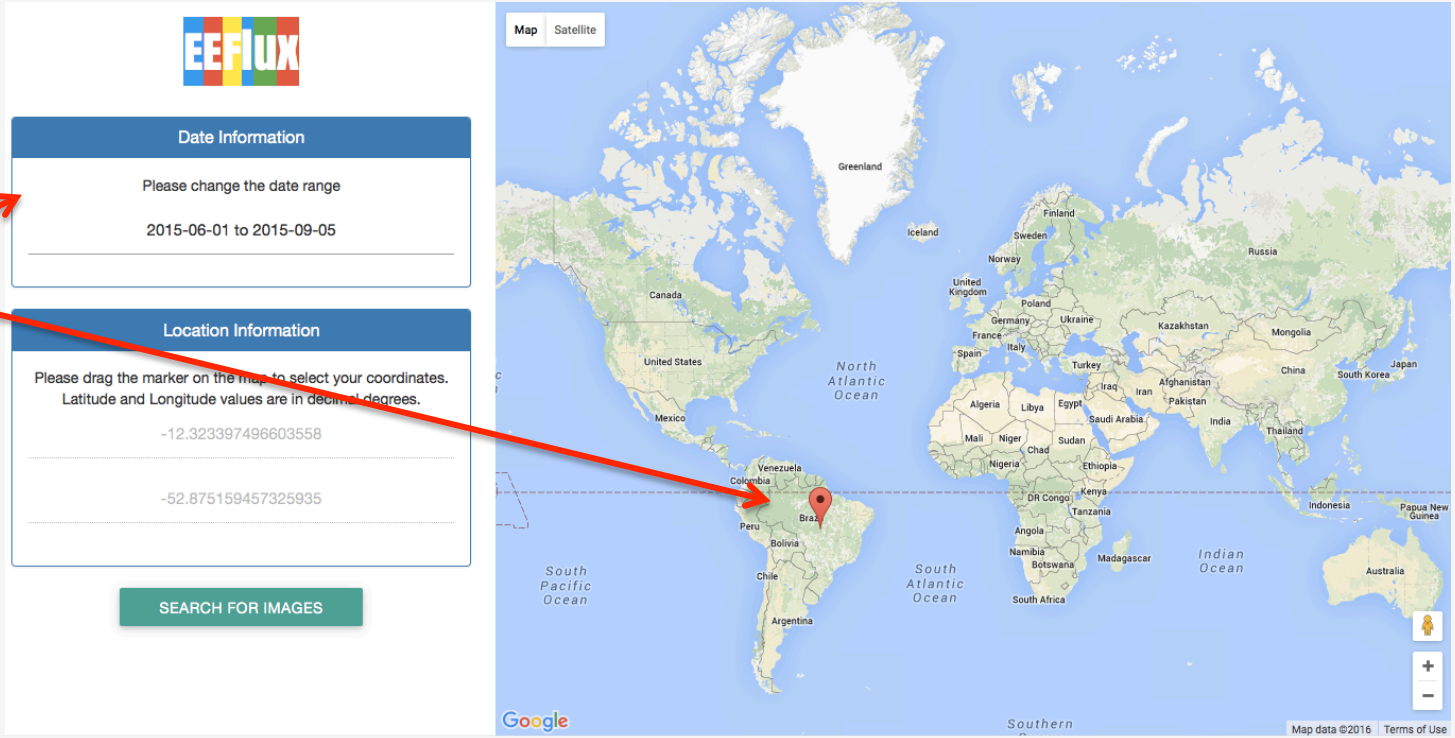
*Reference: https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S1-3_Allen.pdf

Demostración de una herramienta en línea para el acceso a datos de la ET basadas en Landsat

EEFlux: ET de METRIC basada en Google Earth Engine

http://eeflux-level1.appspot.com

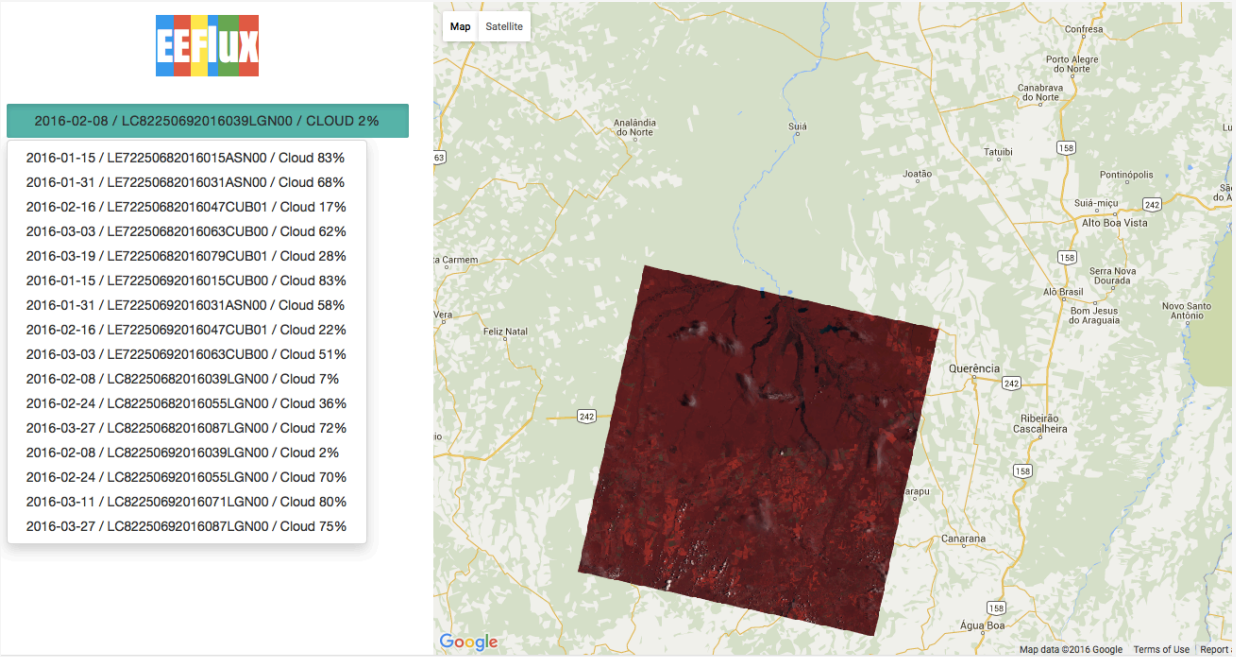
Búsqueda temporal y espacial interactiva



EEFlux : ET de METRIC basada en Google Earth Engine

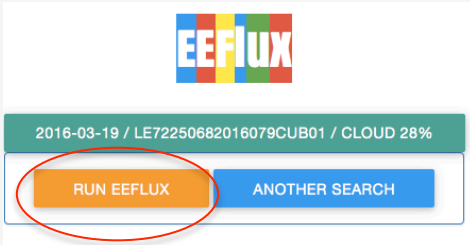
http://eeflux-level1.appspot.com

Selección de imágenes de Landsat de intérvalo de tiempo específicado con selección de porcentaje de nubosidad



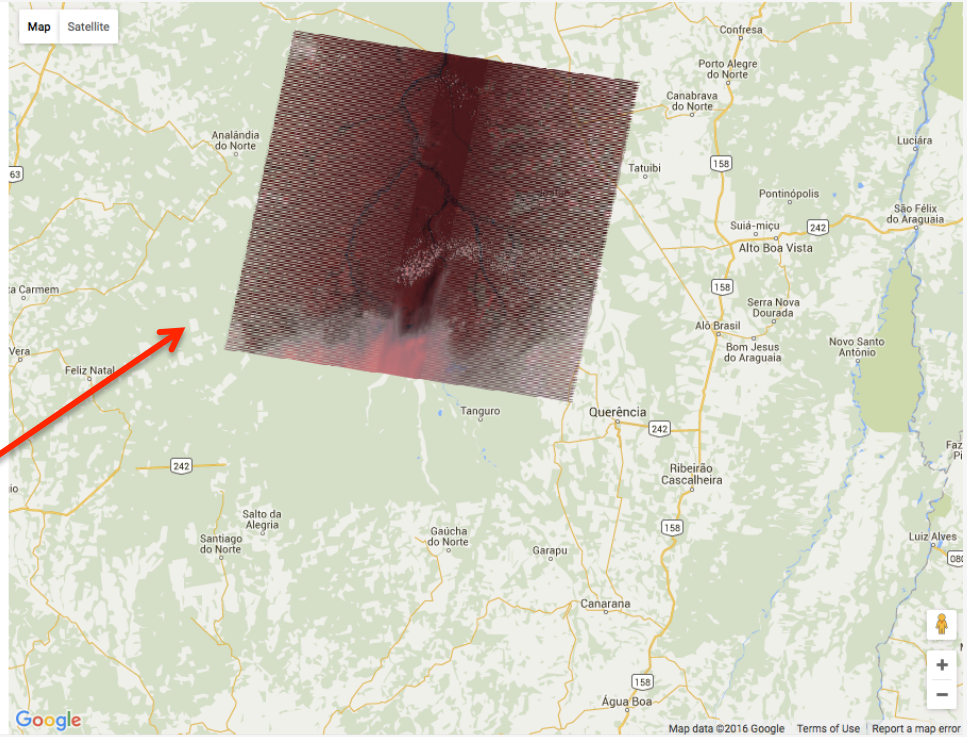
EEFlux : ET de METRIC basada en Google Earth Engine

http://eeflux-level1.appspot.com



Ejecutar algoritmo EEFlux

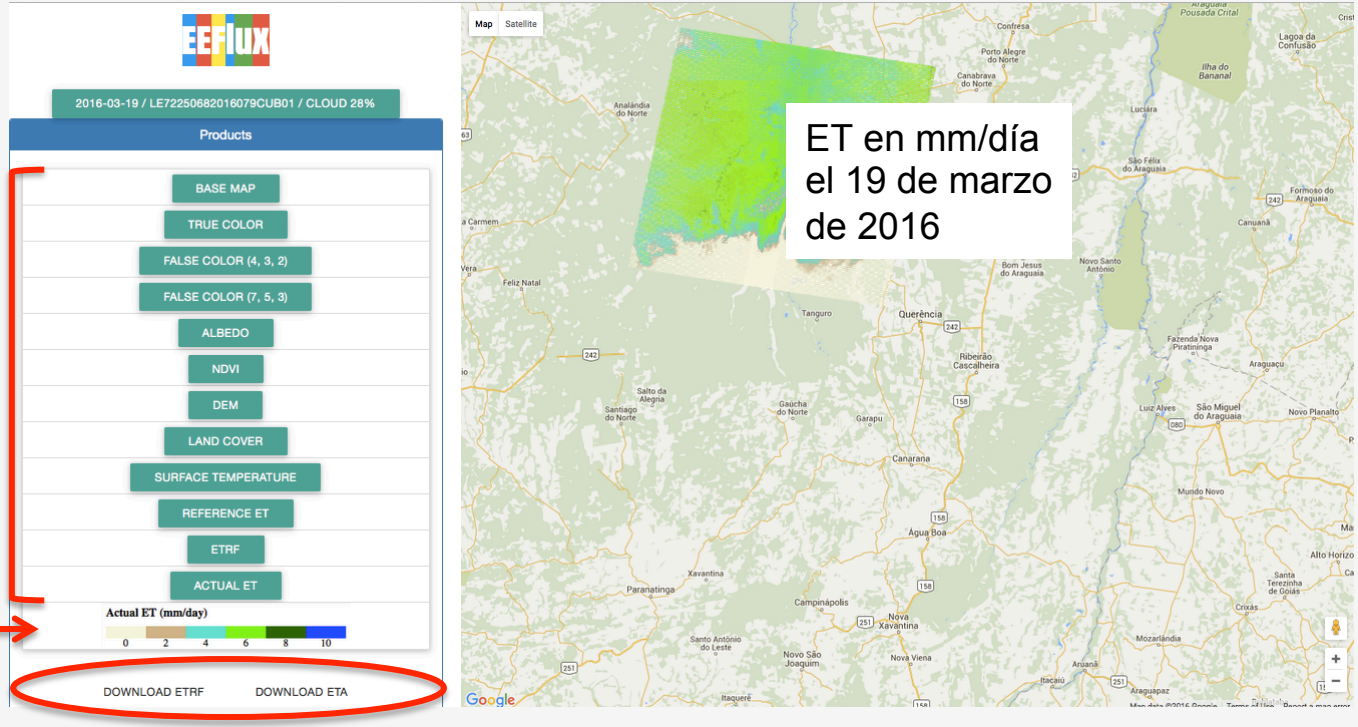
Imagen de Landsat del 19 de marzo de 2016



EEFlux : ET de METRIC basada en Google Earth Engine

http://eeflux-level1.appspot.com

Seleccionar parámetro para representar en un gráfico y descargar



Preguntas

1. Nombre dos métodos para calcular ET

2. Nombre dos productos de ET basados en Landsat y MODIS

3. Landsat y MODIS se pueden utilizar para calcular ET – ¿ es uno mejor que otro ? ¿ porque ?

4. ¿ Porque es la radiación en la superficie importante para los procesos de ET ?

Resumiendo

- La evapotranspiración no se mide sino se calcula a través de métodos de equilibrio hídrico y/o enérgico
- Requiere algoritmos complejos y una variedad de datos climáticos terrestres superficiales
- Múltiples algoritmos para estimar la ET disponibles – se recomienda la validación e intercomparación para uso regional
- Datos de la percepción remota de Landsat y MODIS (temperatura superficial terrestre, manto terrestre, índice de vegetación, índice de área del follaje, albedo) son muy útiles para estimar la ET
- Para más información, vea recursos sobre las metodologías y aplicaciones de la ET basada en la percepción remota, presentados durante un taller internacional organizado por la NASA y el Banco Mundial en el 2013: https://c3.nasa.gov/water/resources/10/