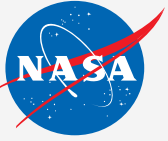





National Aeronautics and  
Space Administration



# ARSET

Applied Remote Sensing Training

<http://arset.gsfc.nasa.gov>

 @NASAARSET

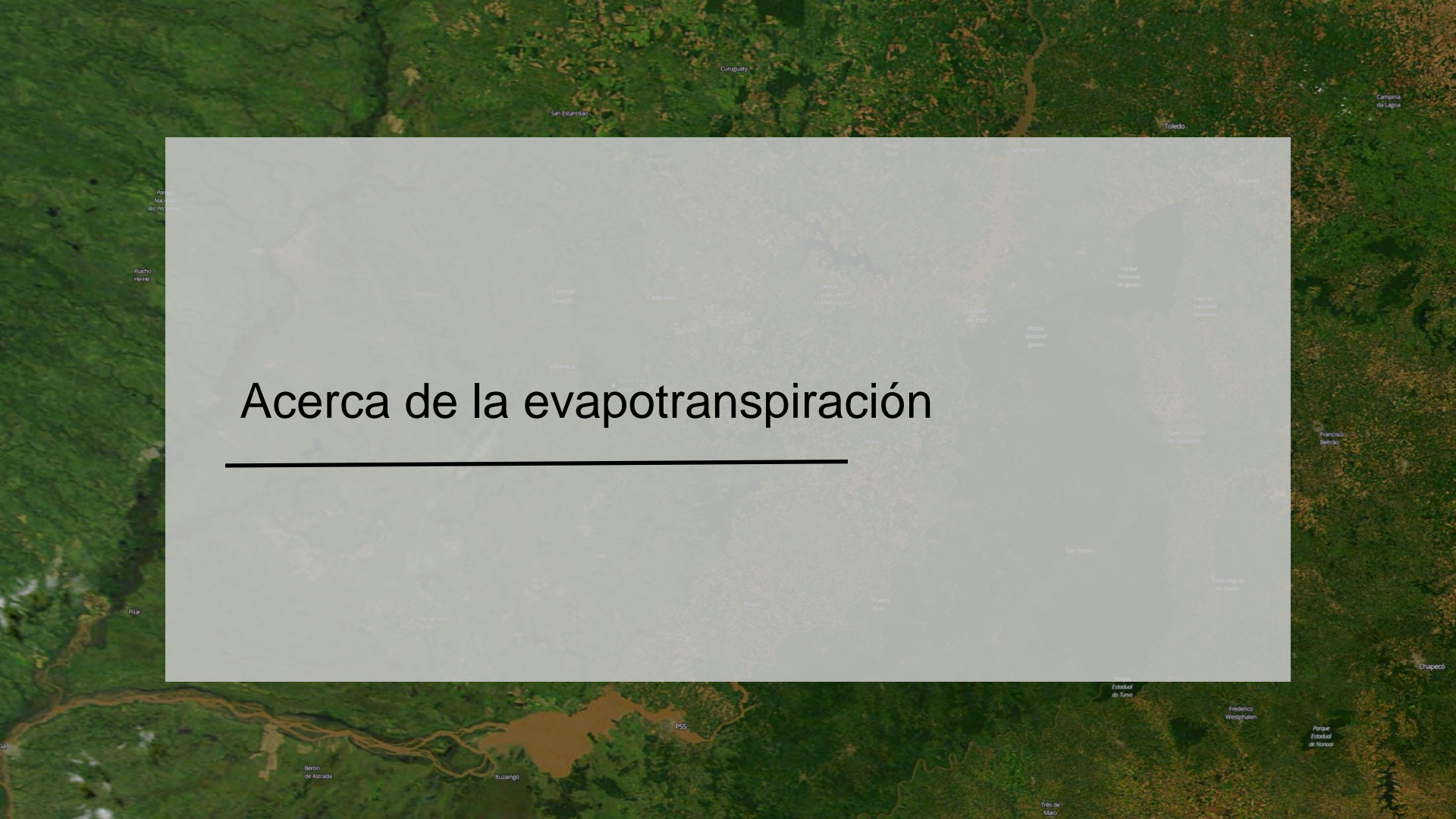
---

## 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

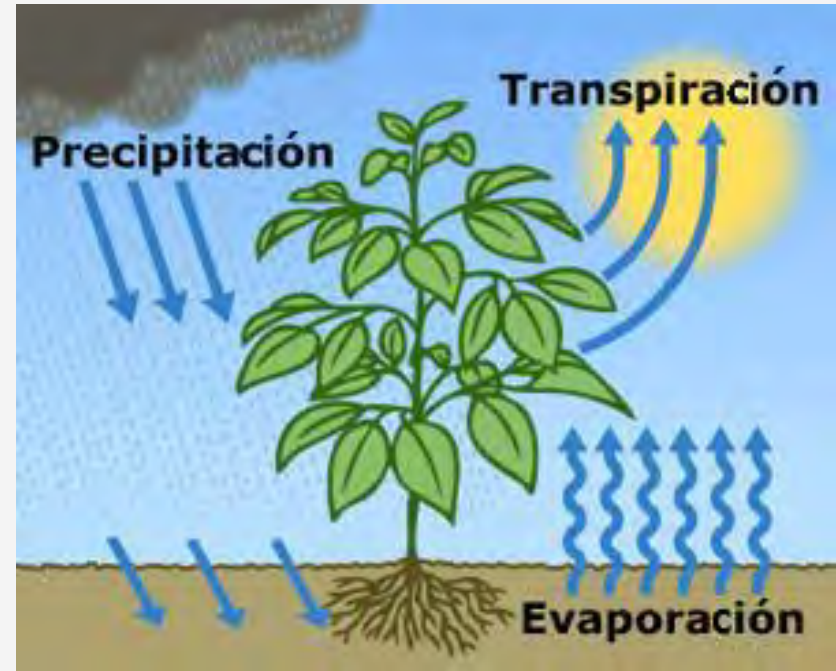


# Acerca de la evapotranspiración

---

# ¿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)



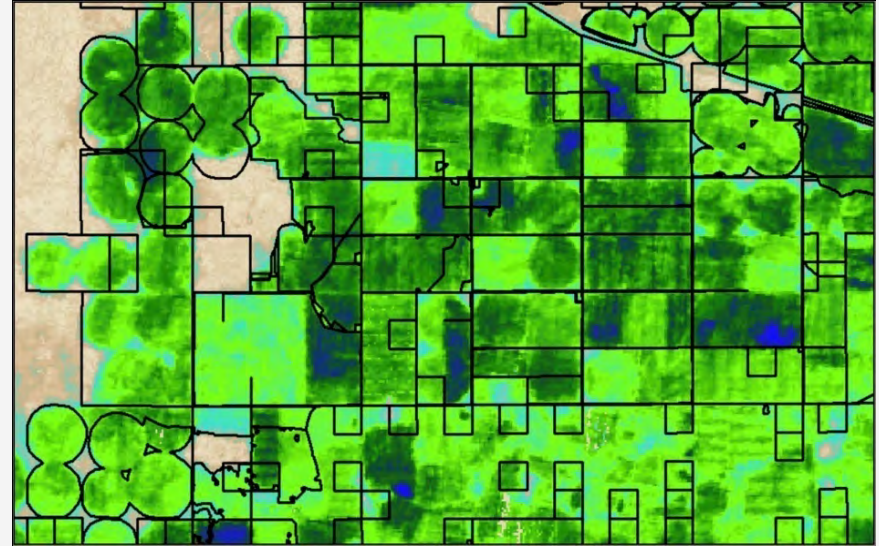
Source: USGS

# 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



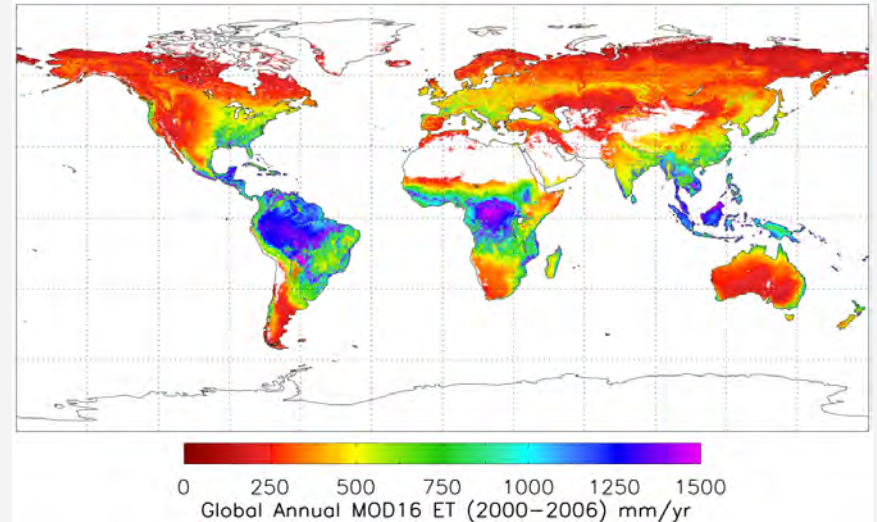
Lisímetros

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.umd.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)

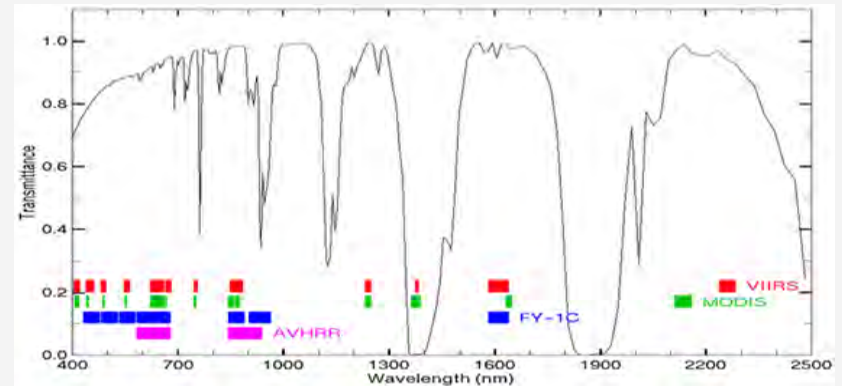
Espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada

<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



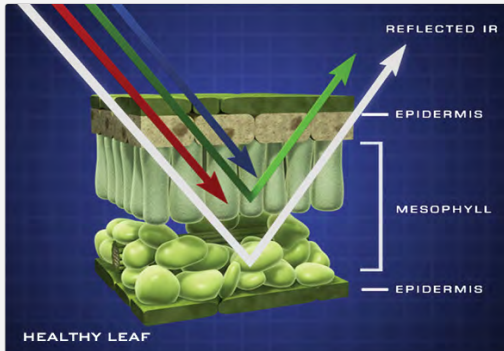
[cimss.ssec.wisc.edu](http://cimss.ssec.wisc.edu)

# MODIS Normalized Vegetation Index

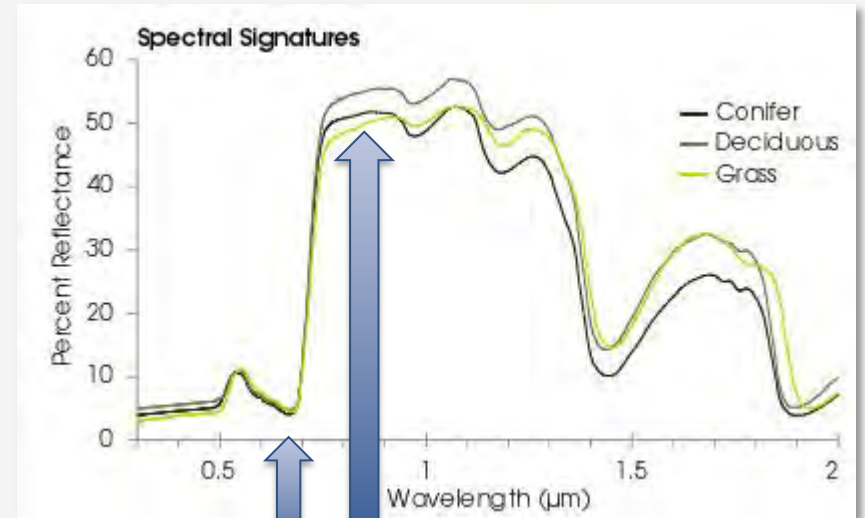
Índice normalizado de diferencia de vegetación

<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



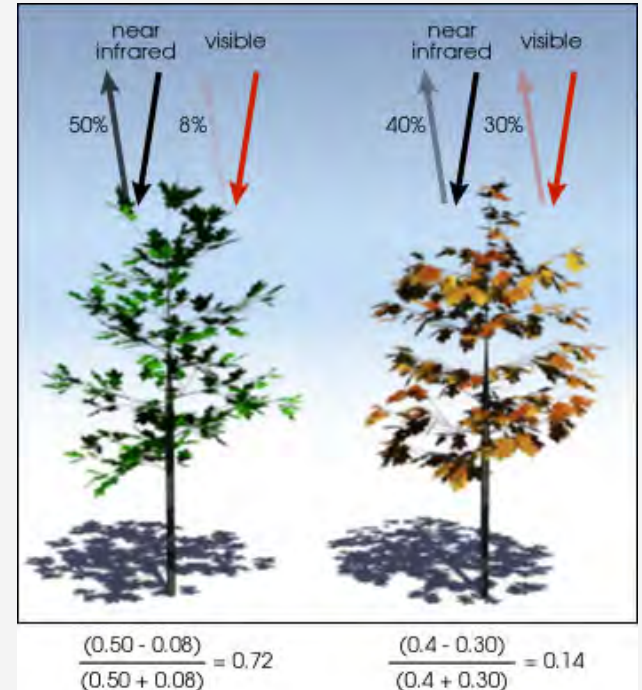
earthobservatory.nasa.gov

Roja Casi infrarroja

# NDVI- Fórmula

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

- $NDVI = \frac{\text{Casi-infrarrojo} - \text{rojo}}{\text{Casi-infrarrojo} + \text{rojo}}$
- 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](http://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table)



earthobservatory.nasa.gov

# Enhanced Thematic Mapper (ETM+)

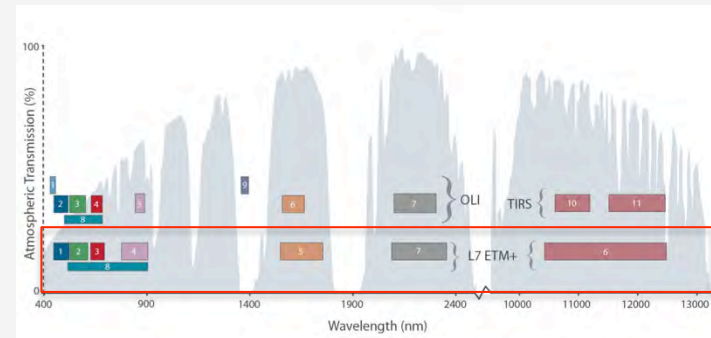
Mapeador temático mejorado

<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)

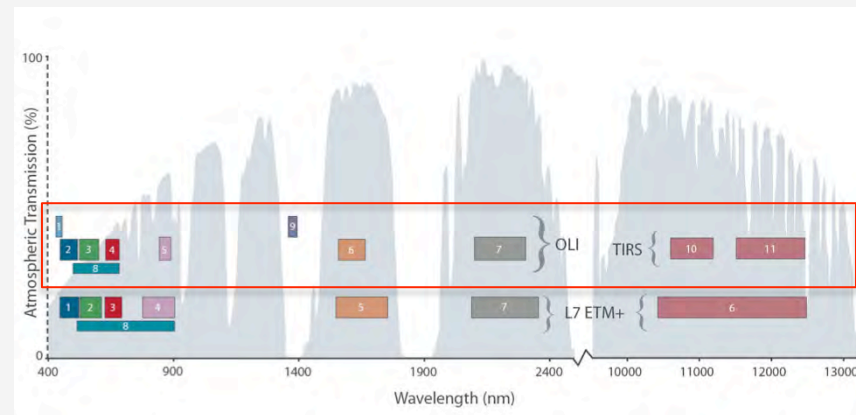
Captador de imágenes terrestres operacional

<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

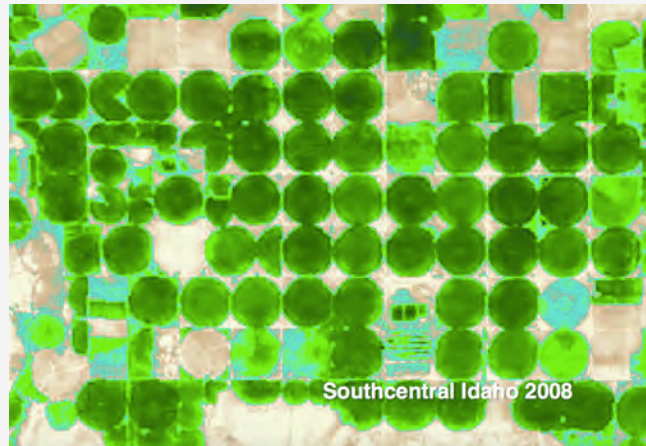


Image Credit: Richard Allen, University of Idaho



# 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)
  - Diferenciación 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  
 $ET = \text{Precipitación} + \text{Irrigación} - \text{Escorrentía} - \text{Aguas subterráneas} + \text{Transporte vertical del agua} \pm \text{Flujo subterráneo} \pm \text{Contenido hídrico del suelo}$
  - Equilibrio energético superficial  
 $ET (\text{Flujo de calor latente}) = \text{Radiación superficial neta} - \text{Flujo de calor del suelo} - \text{Flujo de calentamiento sensible}$
  - Datos meteorológicos y de la vegetación/cultivos (Ecuación Penman-Monteith)

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

# Estimación de ET por modelos terrestres 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 energético

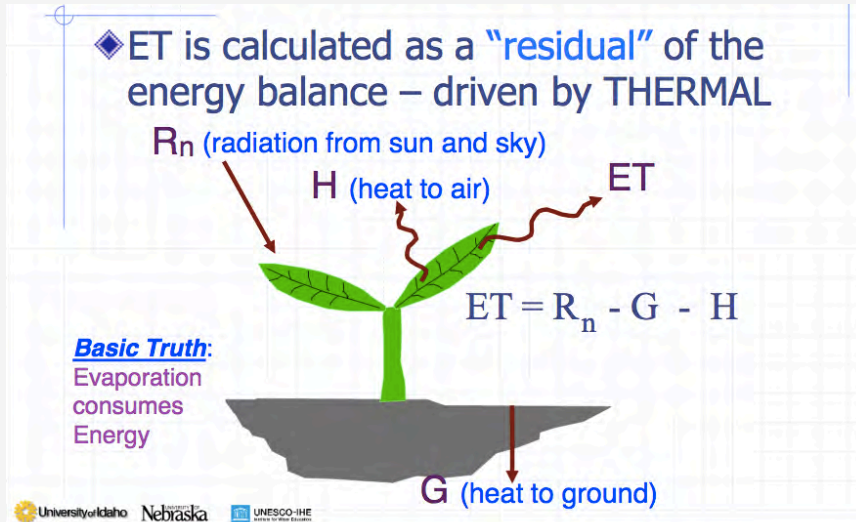
## Insumos de la percepción remota

- 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 energético en la superficie



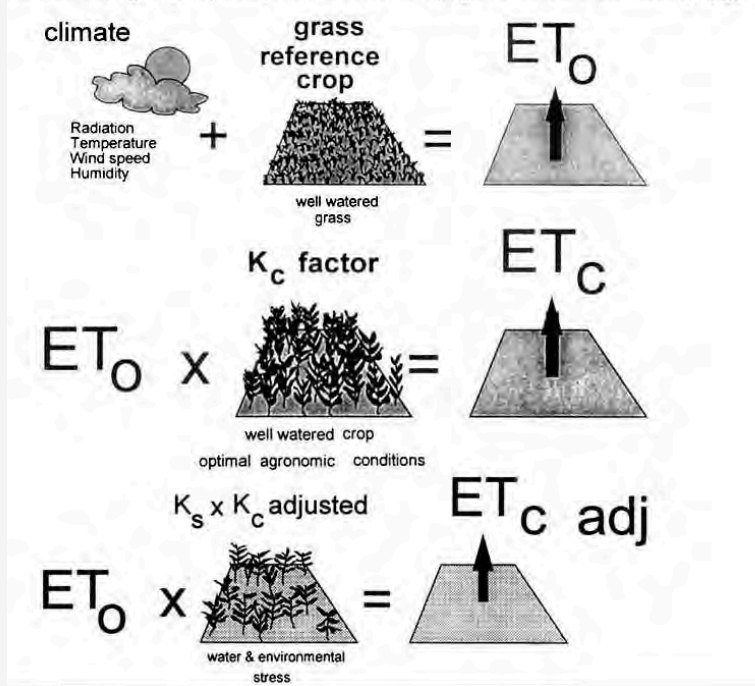
- Utilizado por multiples grupos para desarrollar productos de la ET
- Usa MODIS y Landsat
  - Temperaturas superficiales terrestres
  - Manto terrestre

Image Credit:

[https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1\\_S3-3\\_Allen.pdf](https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S3-3_Allen.pdf)

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

4. Reference ( $ET_0$ ), crop evapotranspiration under standard ( $ET_c$ ) and non-standard conditions ( $ET_{c\text{adj}}$ )



- $ET_0$ : ET de referencia para grama bien irrigada (Ecuación Penman-Moneith)
- $ET_c$ : ET de cultivos para cultivos en condiciones estándares:
  - Libres de enfermedad, bien fertilizados, cultivados en campos grandes, condiciones de agua del suelo ideales, alcanzando producción máxima bajo dadas condiciones climáticas
- $ET_{c\text{adj}}$ : 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 $ET_o$

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

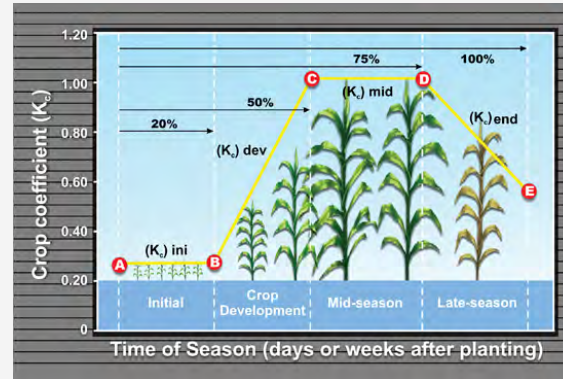
- $R_n$ : radiación superficial neta
- $G$ : flujo de calor del suelo
- $(e_s - e_a)$ : déficit de presión de vapor
- $r_a$  &  $r_s$ : Resistencia aerodinámica y superficial
- $\gamma$ : constante psicométrico
- $\lambda$ : constante de calor latente
- $c_p$ : constante de calor específico

- 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

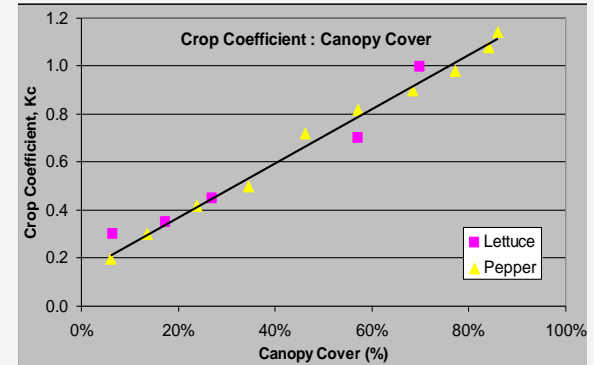
\*Reference: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e06.htm#penman%20monteith%20equation>

# 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



The background is an aerial satellite image of a lush green landscape with a river winding through it. A semi-transparent map overlay is centered on the image, showing a network of roads and geographical features. The map overlay is a light gray color, and the text is in a bold, black, sans-serif font. A horizontal line is positioned below the text.

# 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.umd.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](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](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](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](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](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 remota Observations
GLDAS	Modelo de superficie terrestre Equilibrio hídrico y energético	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 energético	Landsat
ALEXI	Equilibrio energético	MODIS, Landsat, GOES

## Resumen: Productos globales de la ET disponibles al público

Fuentes de la ET	Resoluciones especial/ temporal	Fuente de datos	Disponibilidad
GLDAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/8<sup>vo</sup>-1 grado (Global)</li> <li>• 3-horas, mensual</li> <li>• 1979 – mayo de 2016</li> <li>• 1979 – 2010</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NASA/NOAA</li> <li>• Mirador</li> <li>• Giovanni</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="http://mirador.gsfc.nasa.gov">http://mirador.gsfc.nasa.gov</a></li> <li>• <a href="http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni">http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni</a></li> </ul>
MOD16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1km (Global)</li> <li>• 8-días, mensual</li> <li>• 2000 – 2014 (se extenderá hasta el presente)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• University of Montana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="http://ntsg.umd.edu/project/mod16">http://ntsg.umd.edu/project/mod16</a></li> </ul>
METRIC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30m (Global)</li> <li>• 2011 – marzo de 2016</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Google Earth Engine Evapotranspiration Flux (EEFlux)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="http://eeflux-level1.appspot.com">http://eeflux-level1.appspot.com</a></li> </ul>
ALEXI (GOES)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8km (estará disponible globalmente del MODIS)</li> <li>• Diaria, conjuntos de datos de 2-12 semanas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NOAA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="http://www.ospo.noaa.gov/Products/land/getd/index.html">http://www.ospo.noaa.gov/Products/land/getd/index.html</a></li> </ul>

An aerial photograph of a lush green landscape with a winding river. A semi-transparent map overlay is centered on the image, showing a network of roads and geographical features. The map overlay is light gray and contains various labels for locations. The text 'Aplicaciones de la ET' is prominently displayed in the center of the map overlay, with a horizontal line underneath it.

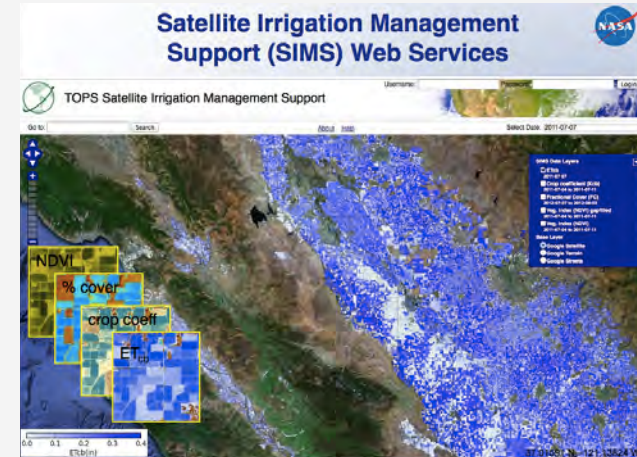
# Aplicaciones de la ET

---

# 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](https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S2-2_Melton.pdf)

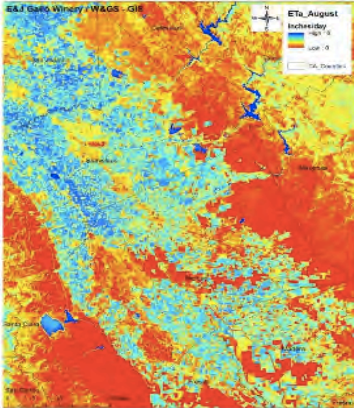
# ET para la gestión de la irrigación

<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@grovesupply

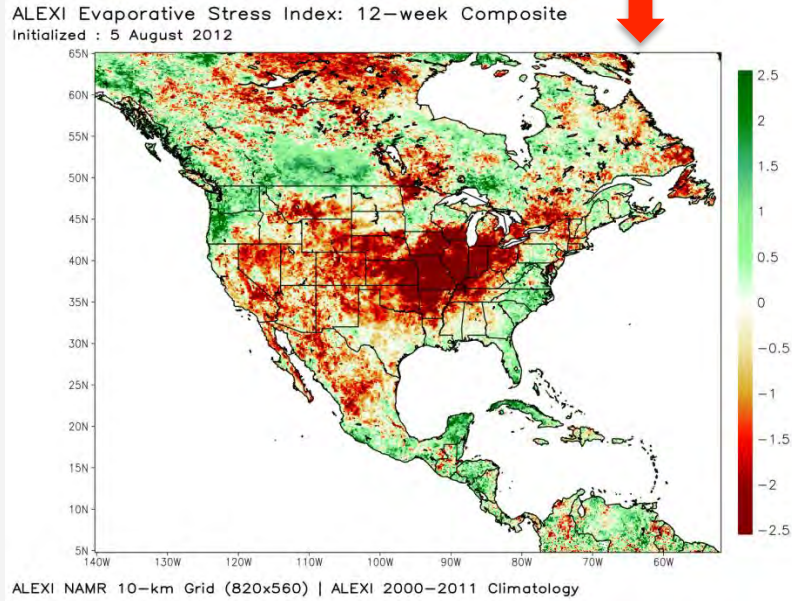
## Mapping Evapo-Transpiration at high Resolution with Internalized Calibration (Rick Allen et al.)

Science – Actual ET	Business
<ul style="list-style-type: none"><li>Gallo's analysts were trained by Dr Rick Allen to allow for on premise runs of METRIC</li></ul> 	<ul style="list-style-type: none"><li>Some of the benefits that Gallo observed in the last years of using Landsat imagery &amp; METRIC include:<ul style="list-style-type: none"><li>Decrease in the amount of water applied by 20–30 percent, subject to region,</li><li>Improved water management with the ability to run a seasonal water balance,</li><li>Development of more efficient seasonal irrigation schedules,</li><li>Improvement in grape quality which leads to improved wine quality,</li><li>Upward movement in the wine program, due to higher grape quality, leading to an increase in bottle price and an increase in revenue,</li><li>Reduced trimming of excess leaf canopies from over-irrigation,</li><li>Decrease in the cost of irrigation from reduction of water and energy used,</li><li>Using current year's data of water allocation to determine and plan next year's allocation.</li></ul></li></ul>

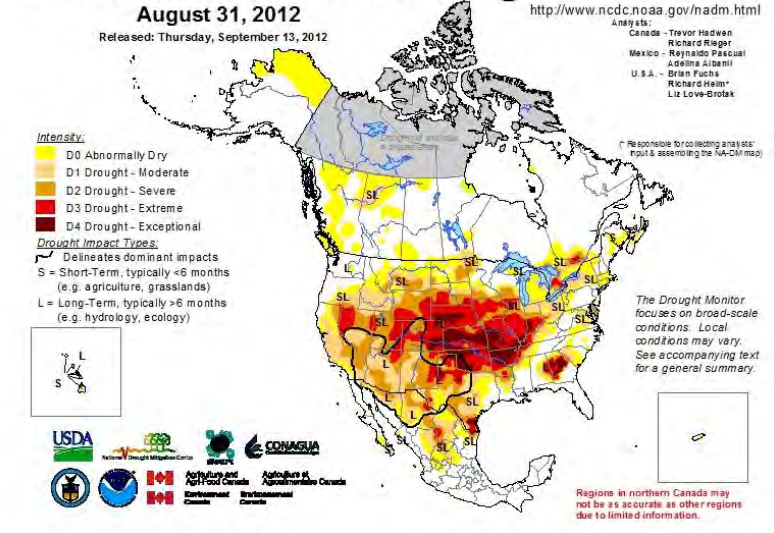
\*Reference: [https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1\\_S2-3\\_Mendez.pdf](https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S2-3_Mendez.pdf)

# ET para el monitoreo de sequías sobre Norteamérica

- Índice de estrés evaporativo de ALEXI mostrando condición de sequía



## North American Drought Monitor

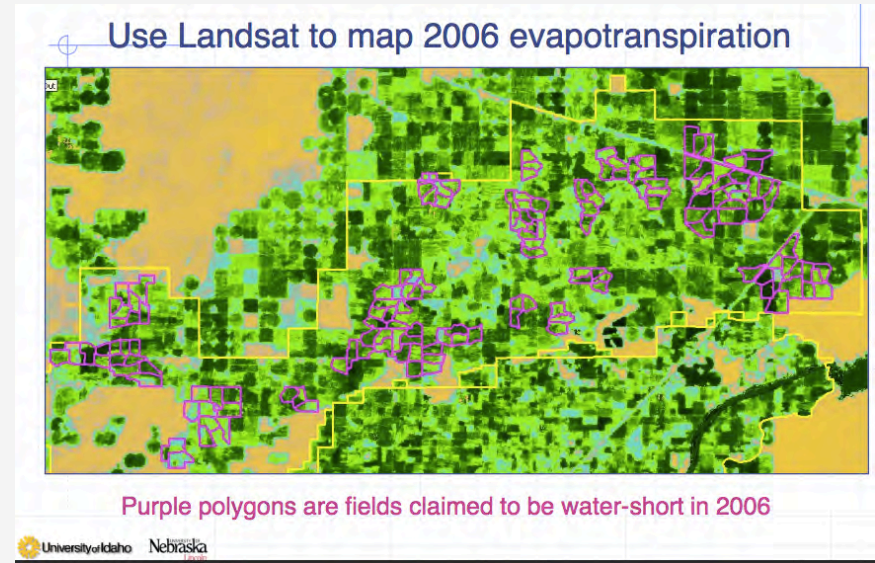


\*Reference: [https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day2\\_S1-7\\_Hain.pdf](https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day2_S1-7_Hain.pdf)



# ET para la asignación del agua

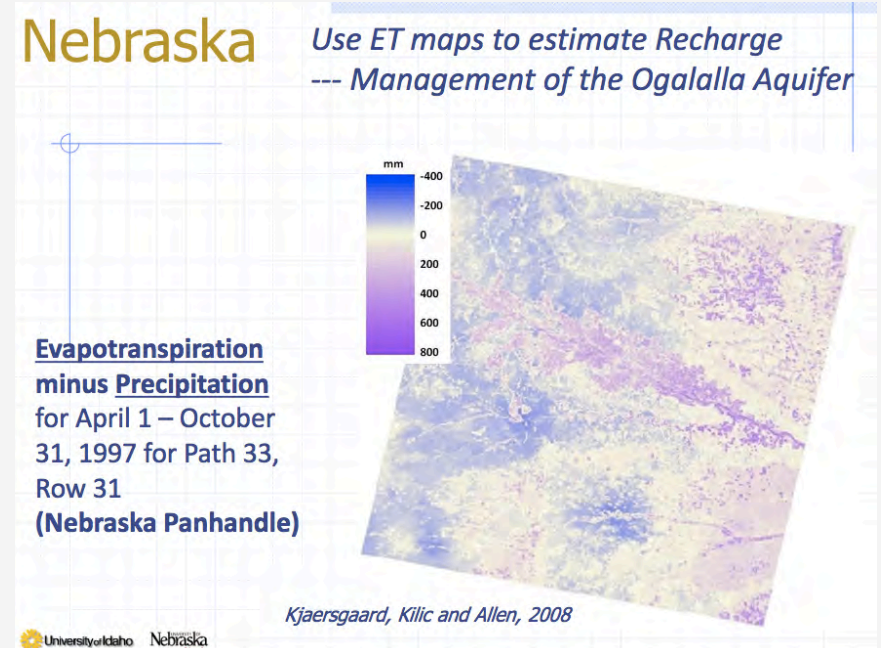
- ET de METRIC se utiliza para determinar déficit de agua
- Ejemplo
  - Basándose en el análisis de la ET y el NDVI, El Idaho Department of Water Resources verificó que ciertos campos que alegaban estar deficientes de agua no lo estaban



\*Reference: [https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1\\_S1-3\\_Allen.pdf](https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S1-3_Allen.pdf)

# ET utilizada en la planificación para la gestión de acuíferos

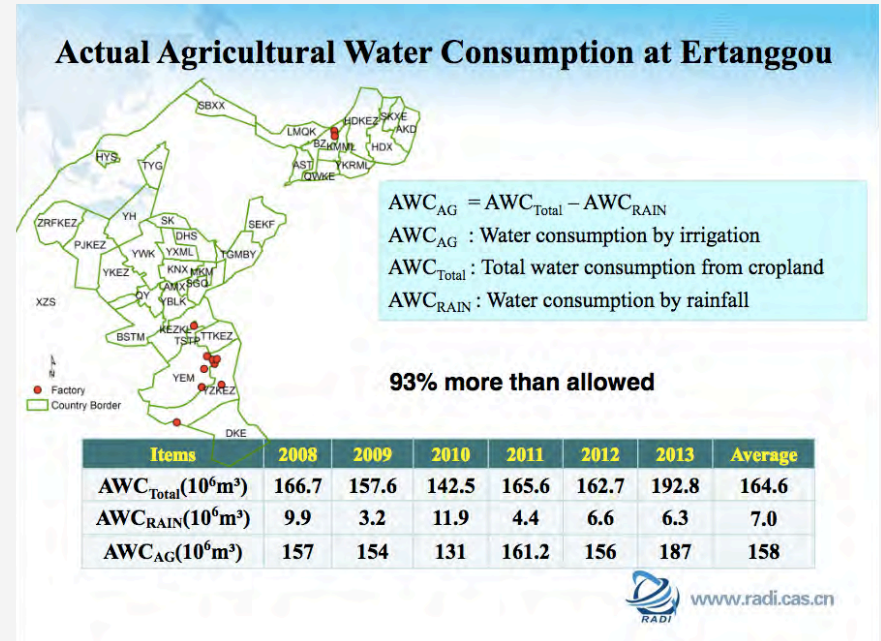
- ET de METRIC, junto con la precipitación ayudaron a estimar la recarga del acuífero Ogallala



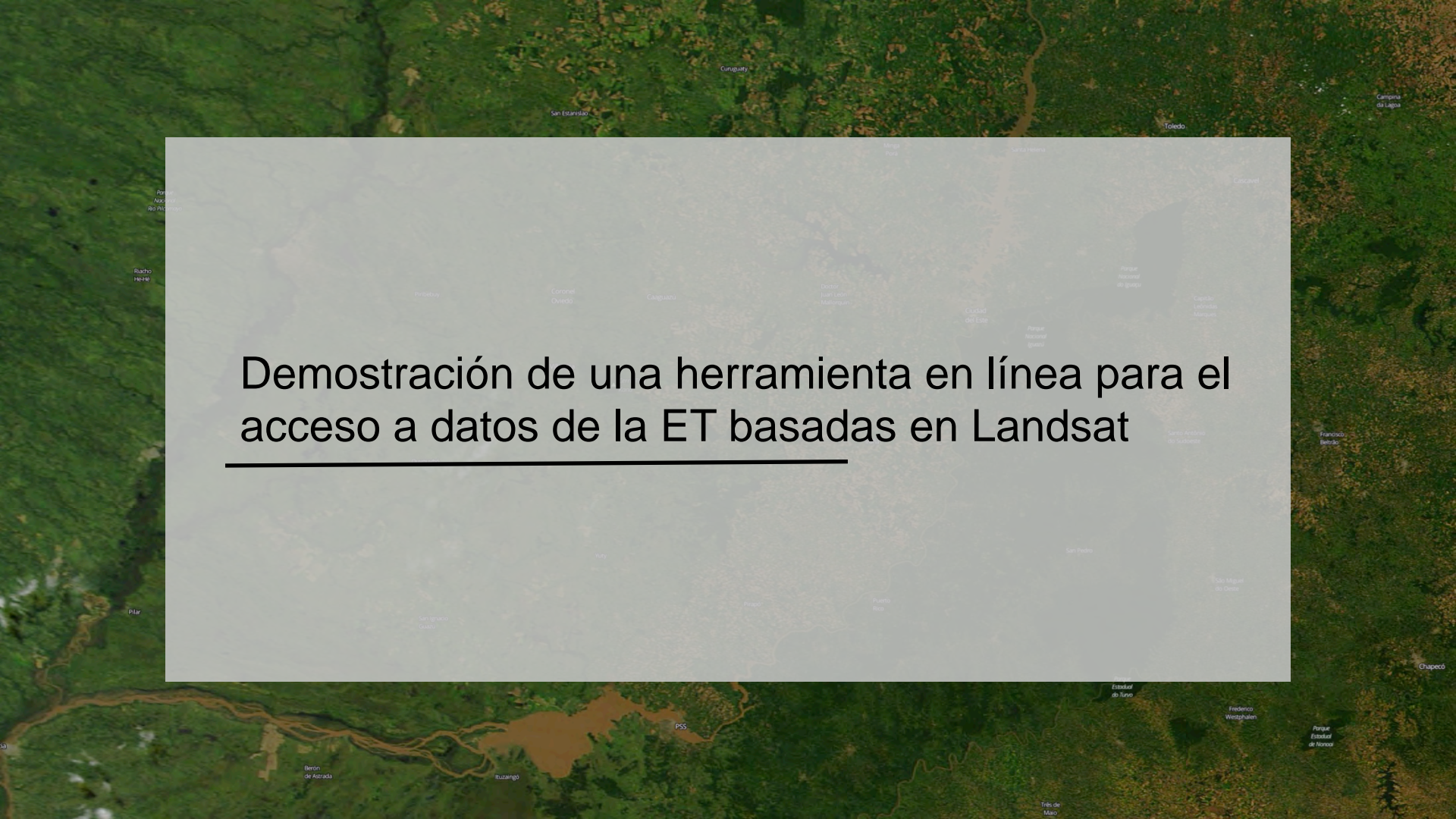
\*Reference: [https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1\\_S1-3\\_Allen.pdf](https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S1-3_Allen.pdf)

# 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



\*Reference: [https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1\\_S1-3\\_Allen.pdf](https://c3.nasa.gov/water/static/media/other/Day1_S1-3_Allen.pdf)



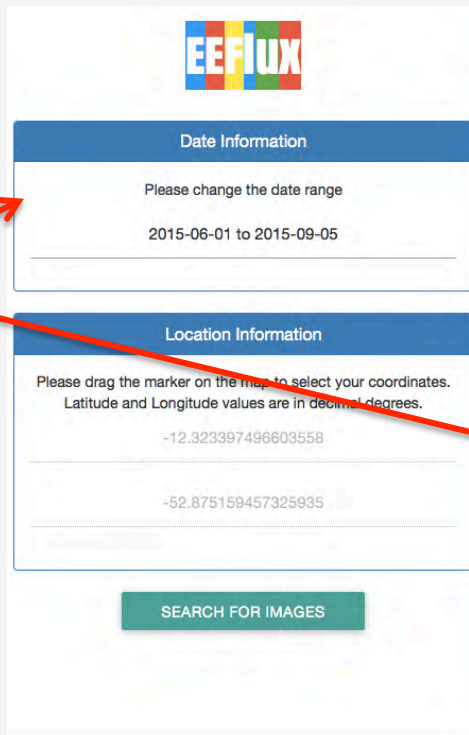
# Demostración de una herramienta en línea para el acceso a datos de la ET basadas en Landsat

---

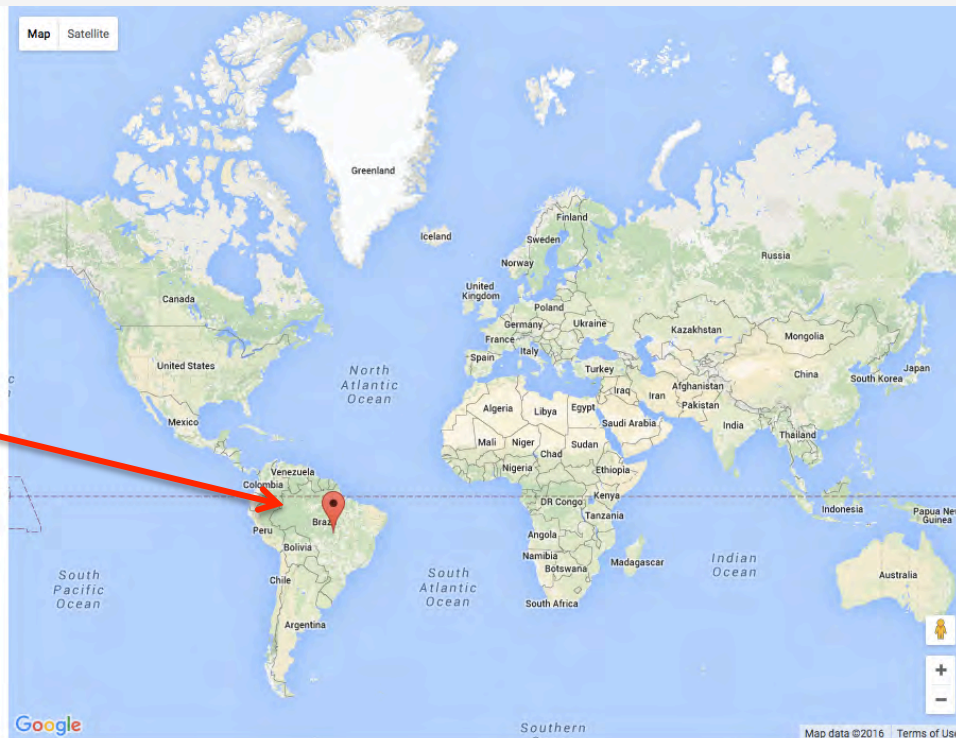
# EEFlux: ET de METRIC basada en Google Earth Engine

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

Búsqueda temporal y espacial interactiva



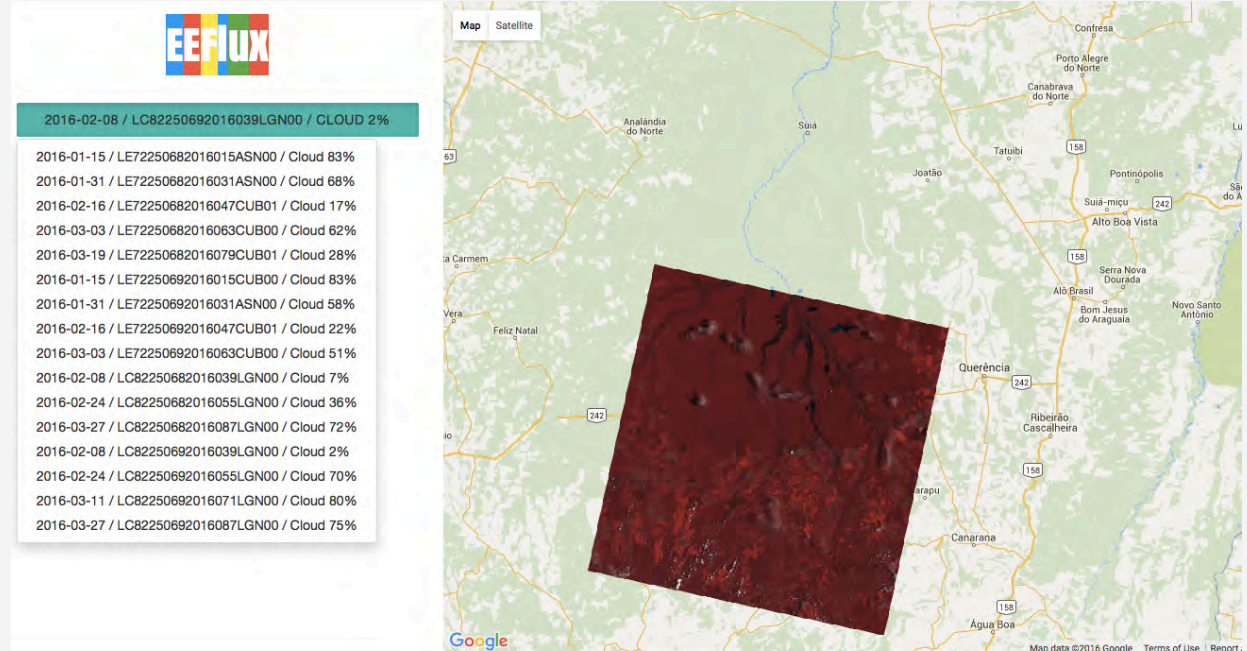
The screenshot shows the EEFlux web interface. At the top is the EEFlux logo. Below it are two main sections: 'Date Information' and 'Location Information'. The 'Date Information' section has a text prompt 'Please change the date range' and a date range '2015-06-01 to 2015-09-05'. The 'Location Information' section has a text prompt 'Please drag the marker on the map to select your coordinates. Latitude and Longitude values are in decimal degrees.' and two input fields containing the coordinates '-12.323397496603558' and '-52.875159457325935'. A green button labeled 'SEARCH FOR IMAGES' is at the bottom.



# EEFlux : ET de METRIC basada en Google Earth Engine

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

Selección de imágenes de Landsat de intervalo de tiempo especificado con selección de porcentaje de nubosidad



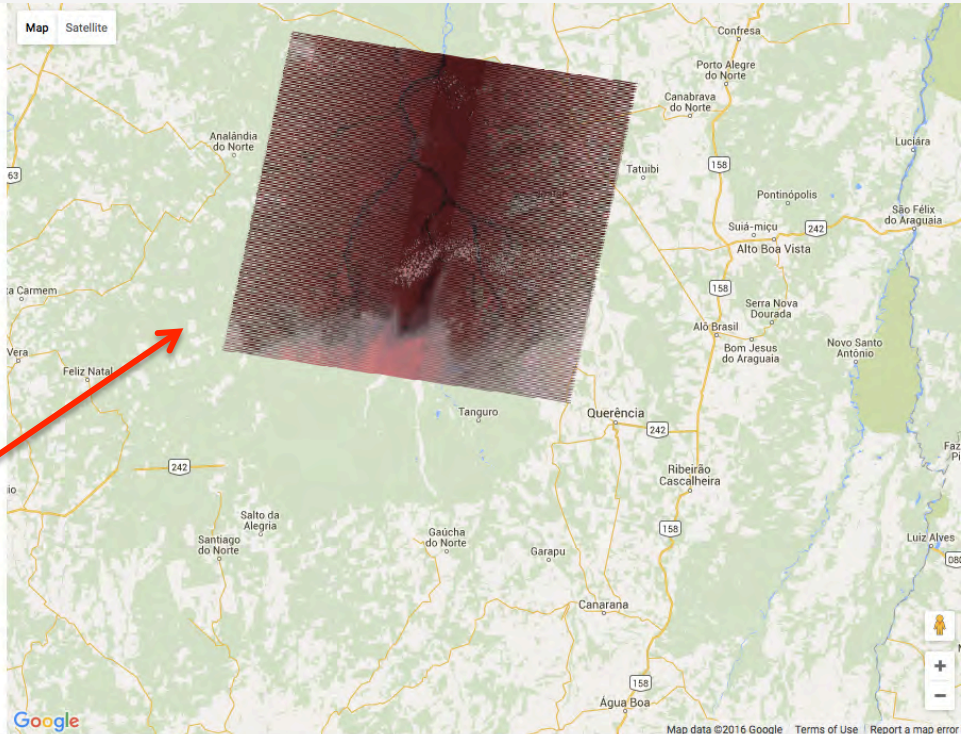
# EEFlux : ET de METRIC basada en Google Earth Engine

<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

EEFLUX

2016-03-19 / LE72250682016079CUB01 / CLOUD 28%

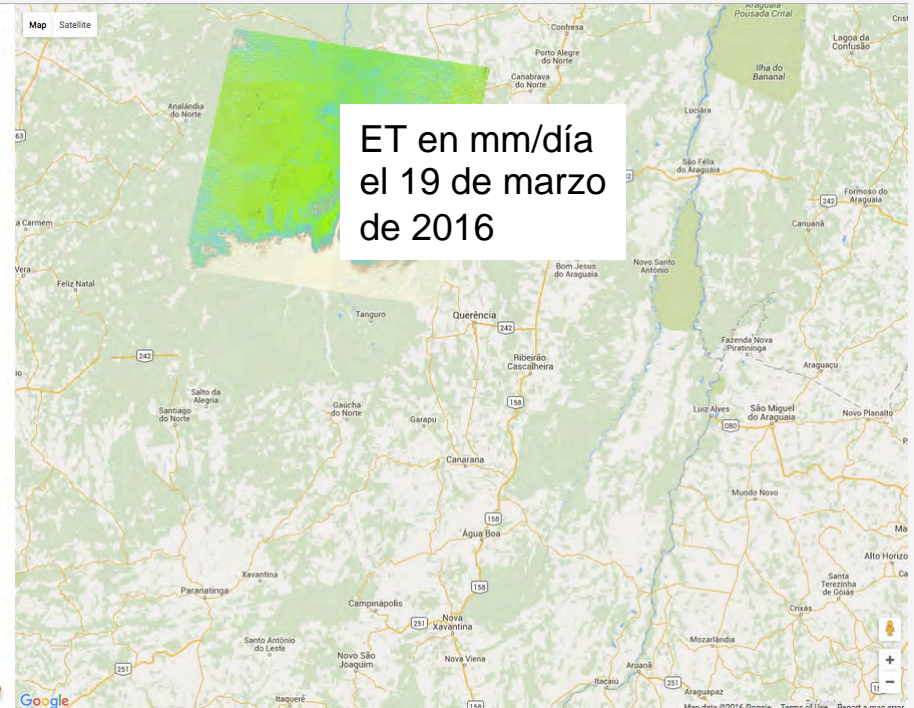
Products

- BASE MAP
- TRUE COLOR
- FALSE COLOR (4, 3, 2)
- FALSE COLOR (7, 5, 3)
- ALBEDO
- NDVI
- DEM
- LAND COVER
- SURFACE TEMPERATURE
- REFERENCE ET
- ETRF
- ACTUAL ET

Actual ET (mm/day)

0 2 4 6 8 10

DOWNLOAD ETRF    DOWNLOAD ETA







# 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 energético
- 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/>