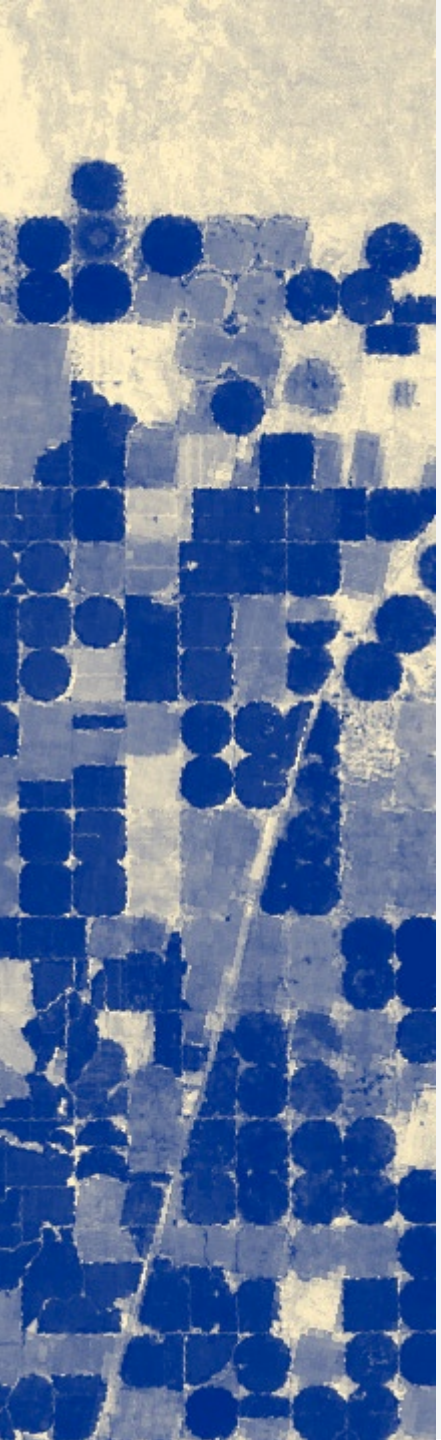


National Aeronautics and
Space Administration

ARSET
Applied Remote Sensing Training
http://arset.gsfc.nasa.gov
@NASAARSET

Aplicaciones de la percepción remota a la humedad del suelo y la evapotranspiratción

Presentadoras:

Erika Podest

Amita Mehta

Estructura del cursillo

- Una sesión por semana los días 1, 8, 15, 22, 29 de septiembre
  – 11h30 – 12h30 hora Este de EEUU (UTC-4)
  – 18h – 19h hora Este de EEUU (UTC-4)

- Tareas para la casa
  – Se asignarán el 15 y el 29 de septiembre
  – Ambas deben entregarse para el 31 de de octubre de 2016

- Preguntas después de cada sesión, o por correo electrónico a:
  – Erika Podest: erika.podest@jpl.nasa.gov
  – Amita Mehta: amita.v.mehta@nasa.gov

Tarea y certificados

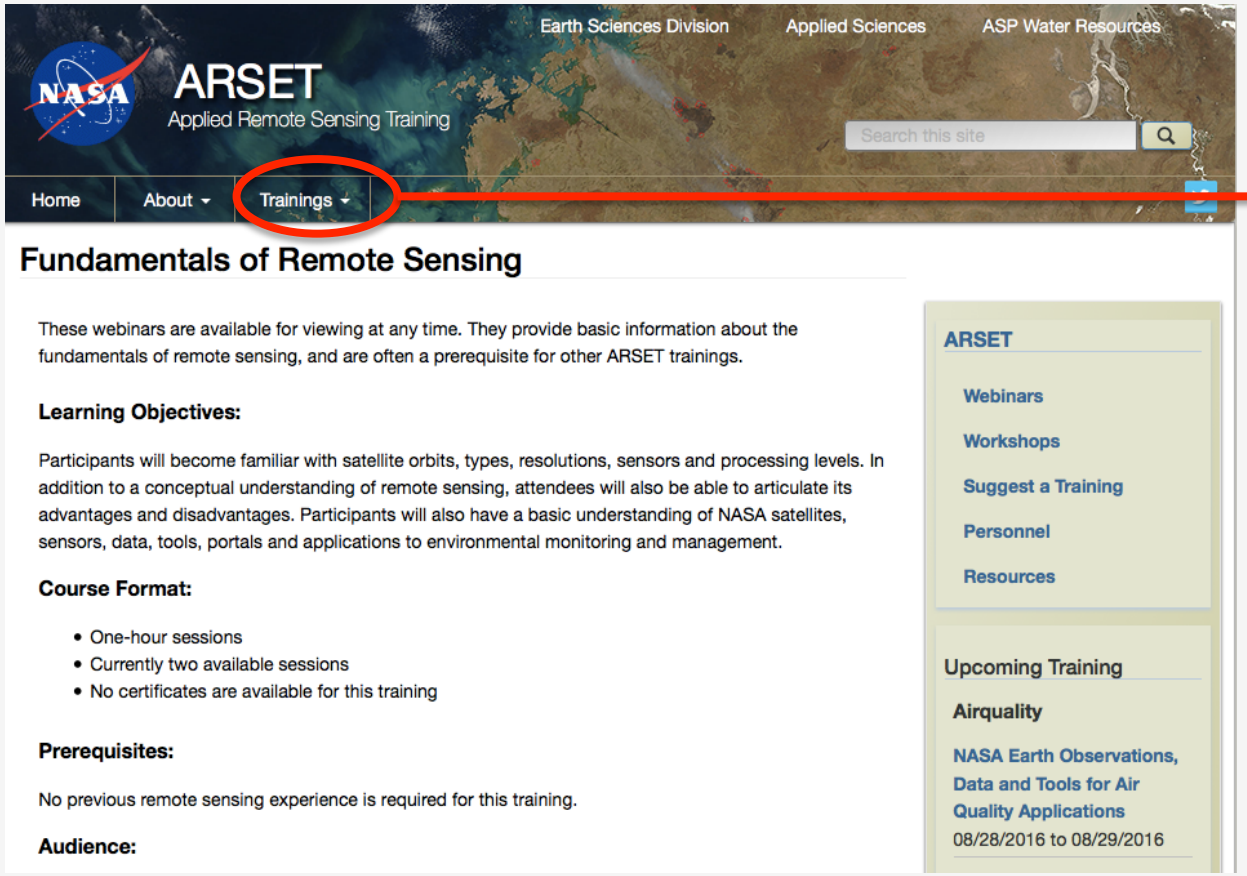
- Tarea
  - Debe responder las preguntas de las tareas via Google Form
  - Se podrá encontrar en el http://arset.gsfc.nasa.gov/water/webinars/apps-et-smap

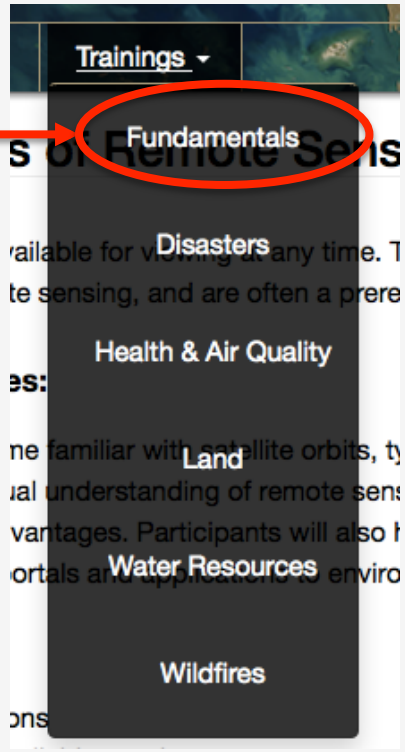
- Certificado de terminación
  - Asistir a las 5 sesiones del cursillo en línea
  - Completar las tareas asignadas antes de la fecha estipulada
  - Los certificados serán enviados por correo electrónico aproximadamente 2 meses después de la conclusión del cursillo por Marinés Martins (marines.martins@ssaihq.com)

Prerrequisito

Fundamentos de la percepción remota

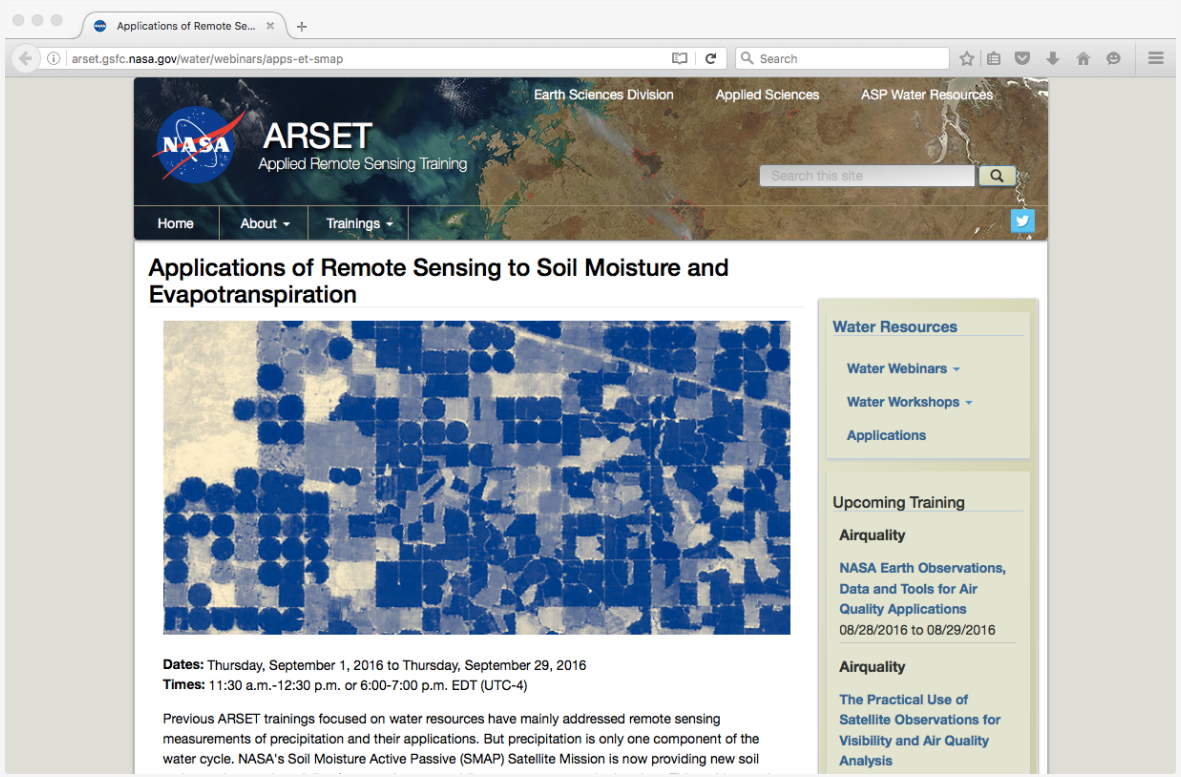
http://arset.gsfc.nasa.gov/webinars/fundamentals-remote-sensing/

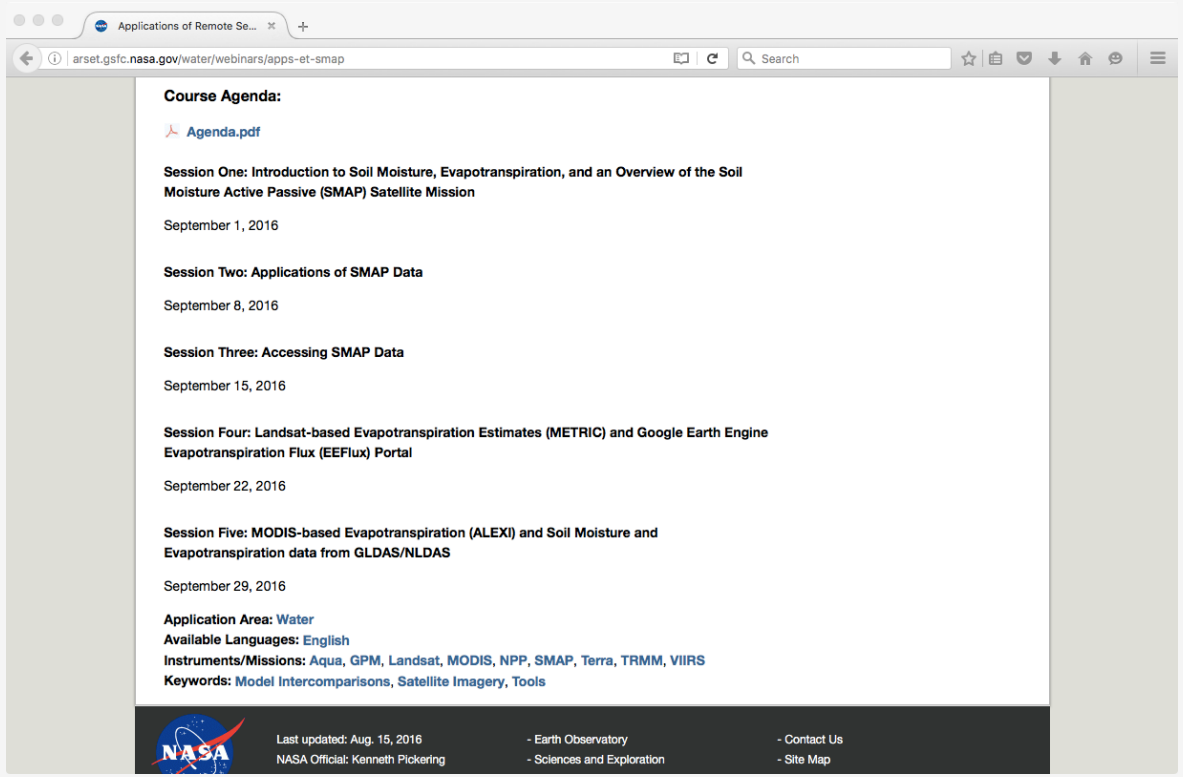




Material del cursillo

http://arset.gsfc.nasa.gov/water/webinars/apps-et-smap





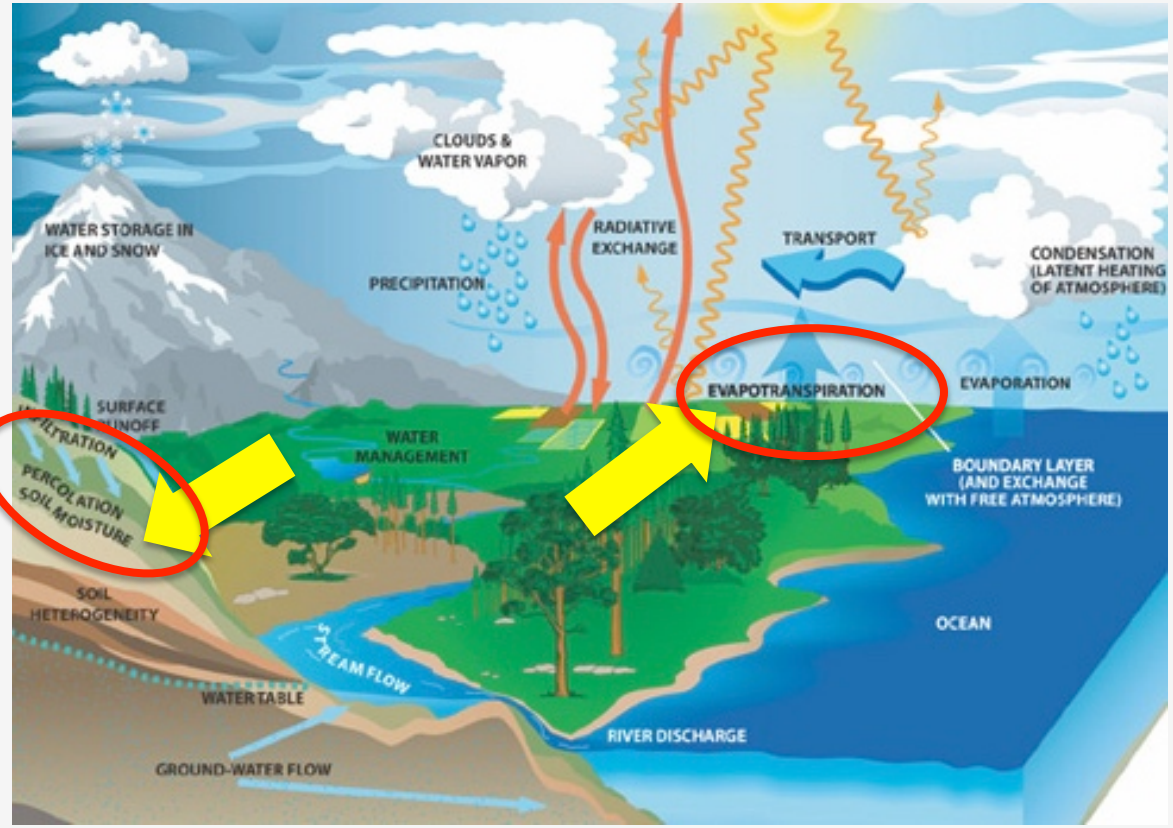
Objetivos del cursillo

- Aprender acerca de los recursos de observación terrestre de la NASA (datos y herramientas) disponibles para aplicaciones de recursos hídricos, incluso:
  - cómo la evapotranspiración y la humedad del suelo se incluyen en el ciclo hidrológico
  - cómo acceder a y visualizar estos productos de datos
- Familiarizarse con aplicaciones de datos de la humedad del suelo y la evapotranspiración

* Crédito para la imagen: http://smap.jpl.nasa.gov/science/applications/

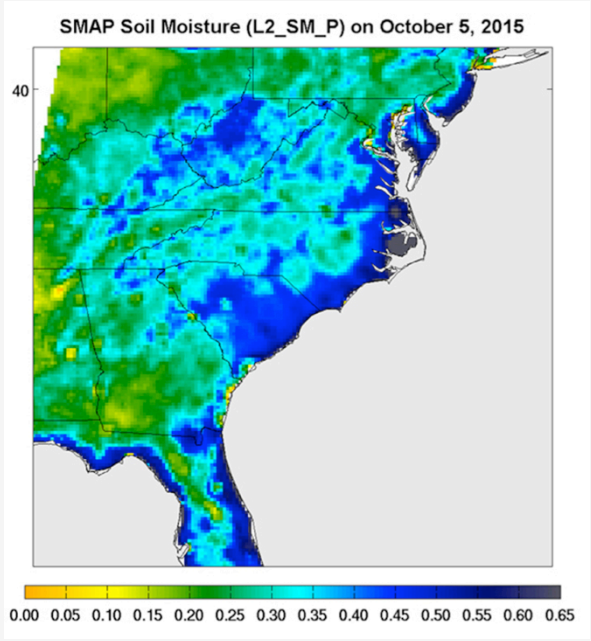
El ciclo hidrológico

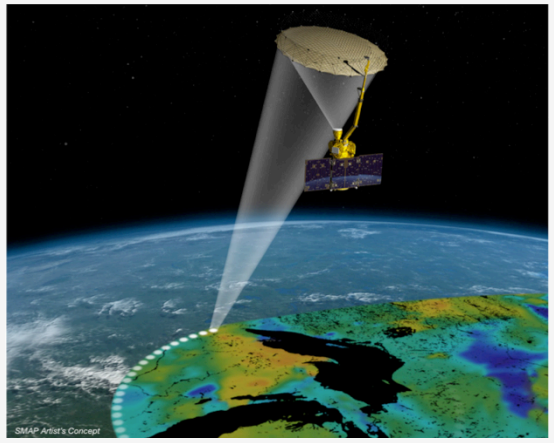
- Para una gestión hidrológica sustentable, es crítico tener estimaciones exactas de los componentes del ciclo hidrológico
- La humedad del suelo (SM por sus siglas en inglés) y la evapotranspiración (ET) son grandes componentes de los presupuestos de agua dulce a nivel mundial y regional
- Los datos de la SM y la ET tienen aplicaciones en:
  - Gestión de recursos hídricos
  - Monitoreo y gestión de inundaciones y sequías
  - Agricultura

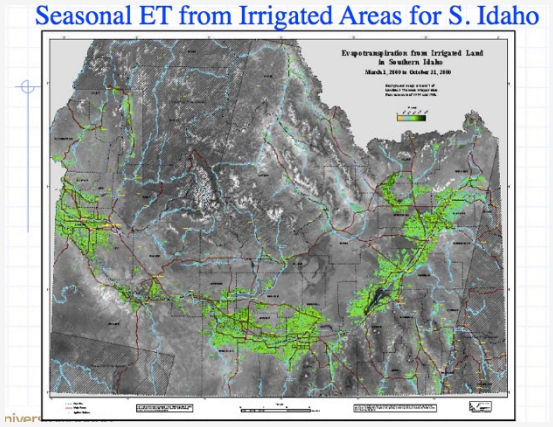


Esquema del cursillo

- **Semana 1:** Intro. a la humedad del suelo (ET) y un panorama de la misión “Soil Moisture Active Passive” (SMAP)
- **Semana 2:** Aplicaciones de datos de SMAP
- **Semana 3:** Cómo acceder a datos de SMAP
- **Semana 4:** Estimaciones de ET a base de Landsat y acceso a través del portal Google Earth Engine ET Flux (EEEFlux)
- **Semana 5:** Aplicaciones de ET a base de MODIS y datos de SM y ET de GLDAS/NLDAS







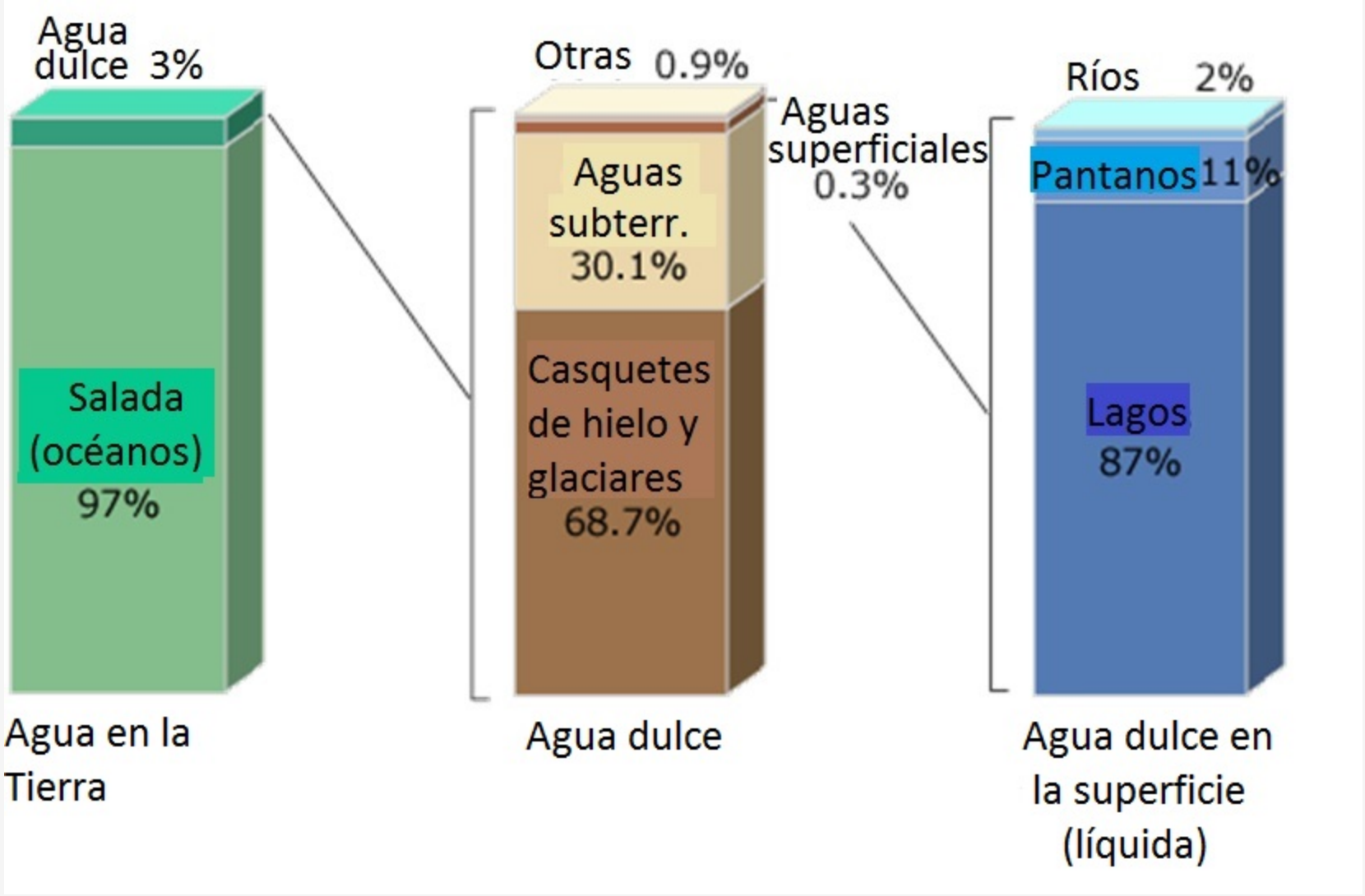
* Crédito para la imagen: Left: JPL; Top Right: JPL; Bottom Right: California Department of Water Resources

Agenda: Semana 1

- SMAP
  - Panorama de SMAP
  - Productos de SMAP
- Evapotranspiración
  - Panorama de la evapotranspiración
  - Métodos de estimar ET a base de la percepción remota
  - Productos de datos de ET basados en la percepción remota

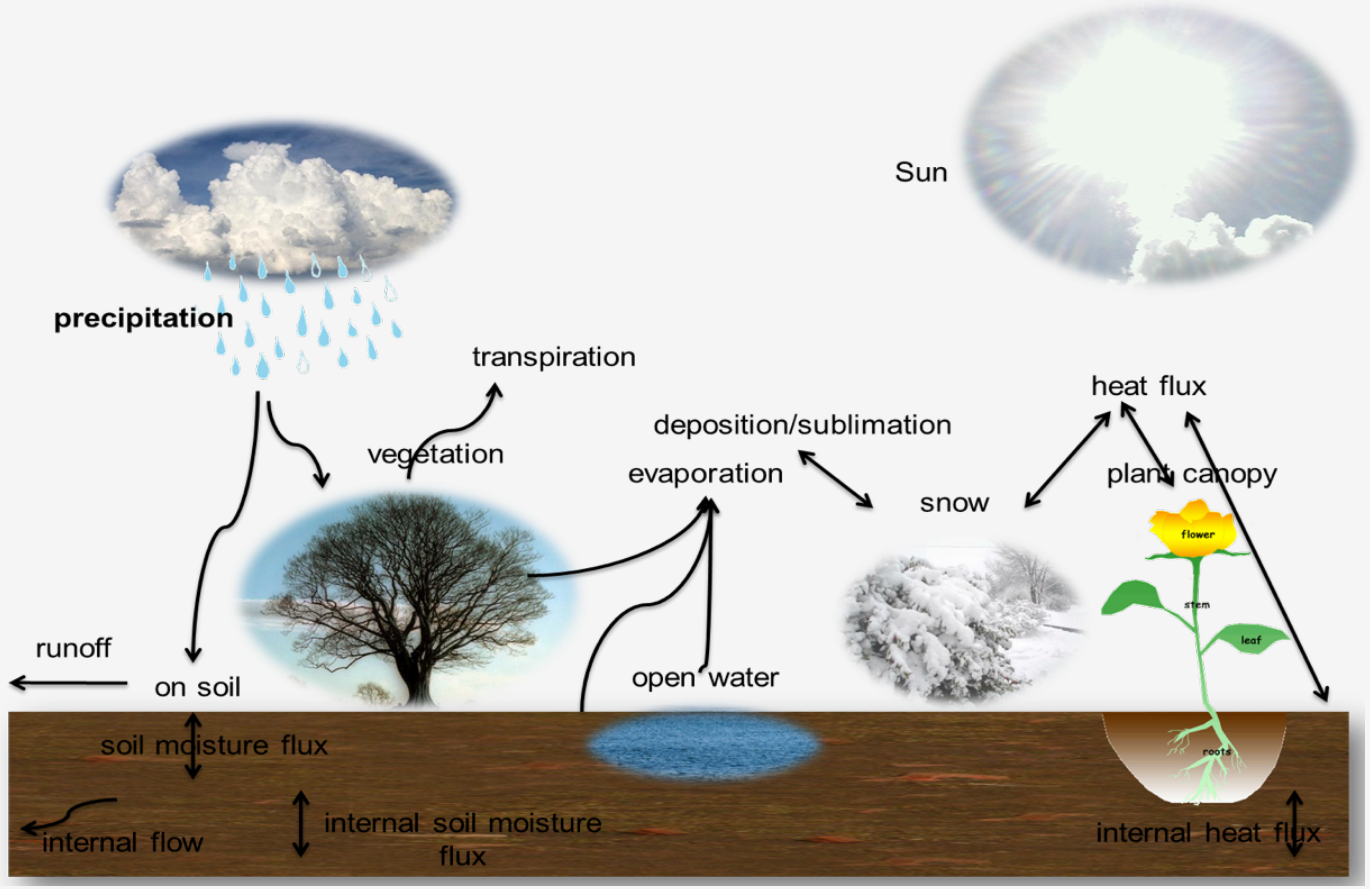
Panorama de SMAP

Distribución del agua en la Tierra



Importancia de la humedad del suelo

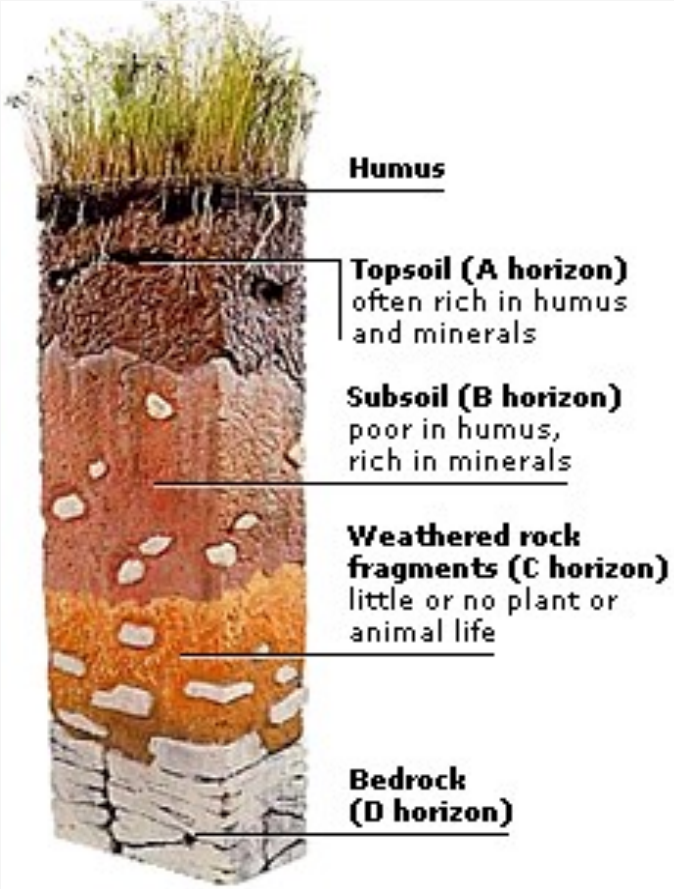
- Por cada kilogramo de agua en la tierra, sólo 1 miligramo está almacenado como humedad del suelo
- La humedad del suelo ejerce control significativo sobre:
  - Procesos hidrológicos
  - Procesos ecológicos
  - Procesos meteorológicos

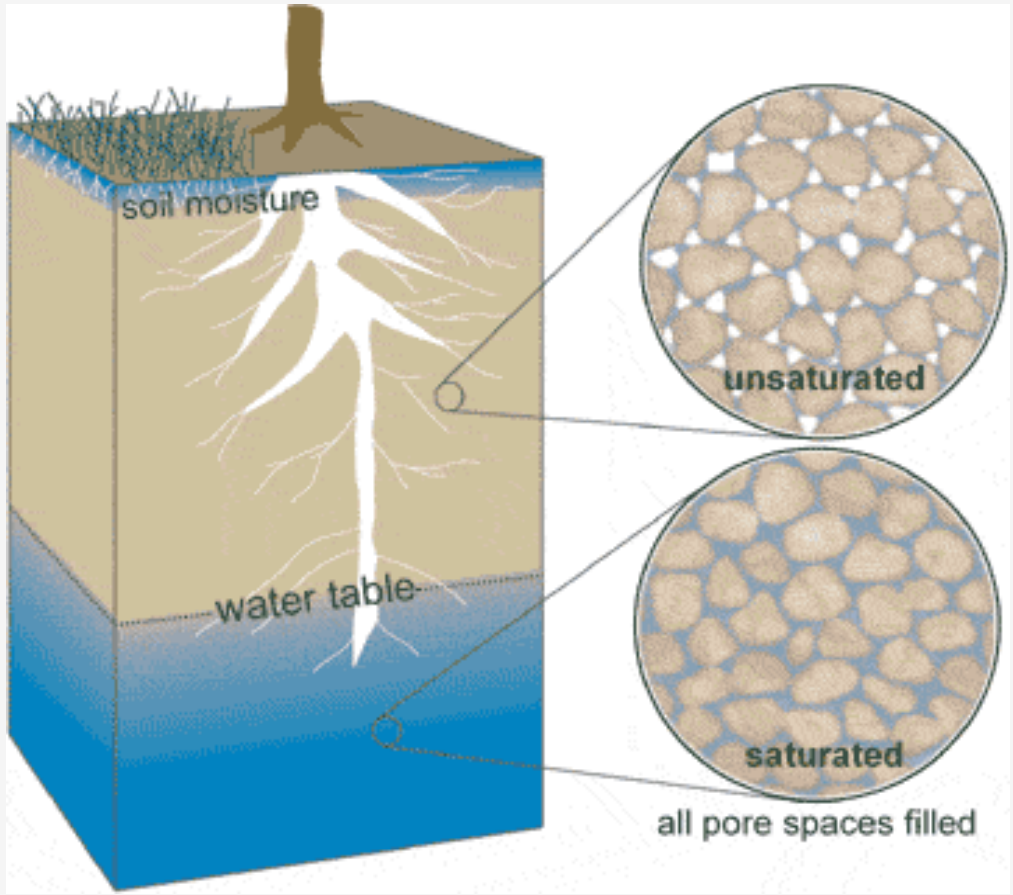


* Source: Pachepsky, Y., Radcliffe, D. E., & Selim, H. M. (2003). *Scaling methods in soil physics*. Boca Raton, FL: CRC Press.

* Crédito para la imagen: Chen et. Al. 1996, 1997; Chen and Dudhia, 2001; Ek et. Al. 2003; Koren et. Al. 1999

Perfil del suelo



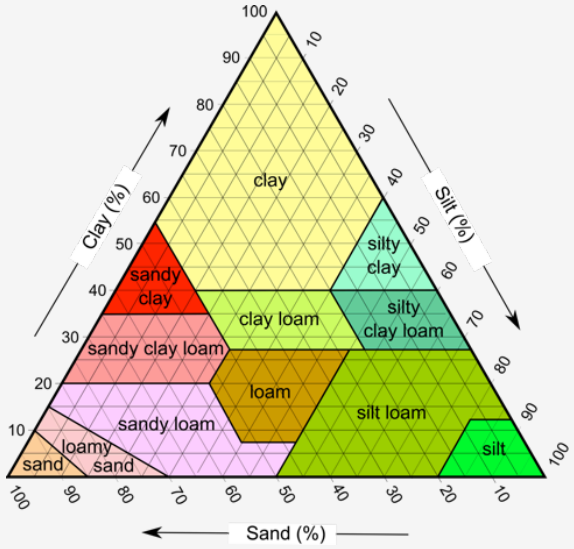


Factores influenciando la humedad de suelo

- La humedad del suelo varía con el tiempo y el espacio
- Principales factores que influyen la distribución de la humedad del suelo:

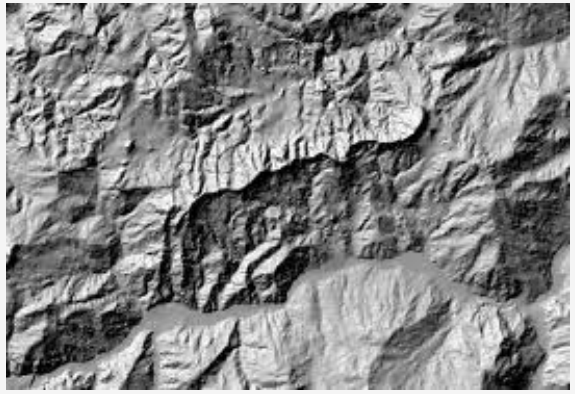
Lluvia

Textura del suelo



Vegetación

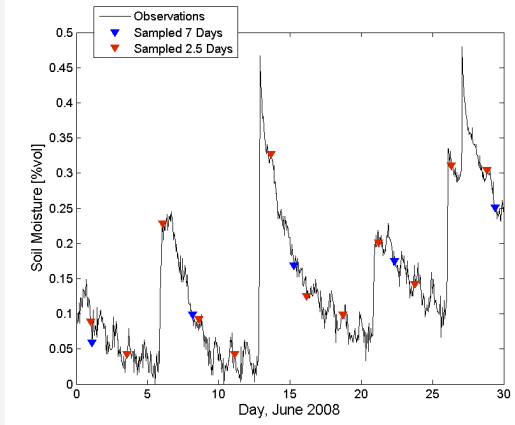
Topografía

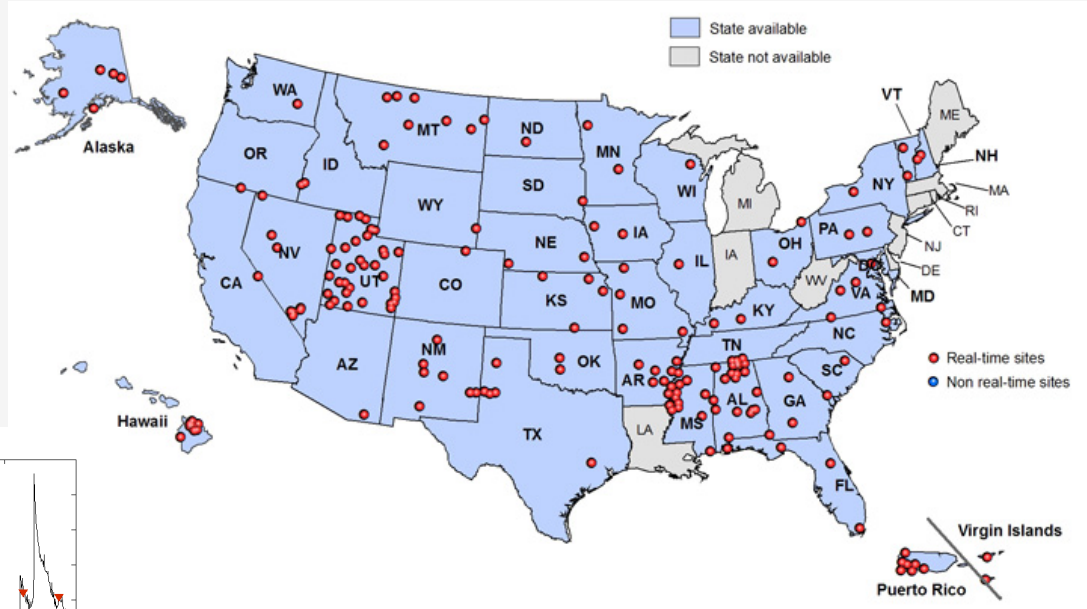


¿Para qué medir desde el espacio?

SMAP ofrece la capacidad de observaciones globales de la humedad del suelo en su estado congelado o descongelado con alta resolución espacial y revisitas temporales frecuentes

- Las mediciones de la humedad del suelo actuales son escasas y de cobertura limitada
- Las misiones espaciales anteriores tienen relativamente poca exactitud, resolución y cobertura de la humedad del suelo
- **SMAP ofrece**
  - 10-40 km de resolución espacial
  - Tiempo de revisita global de
  - Exactitud de 0.04m^3/m^3





Secada entre llovidas de la humedad del suelo

El período medio entre tormentas implica que un muestreo de cada 3 días o más frecuente se require para resolver la variabilidad de la humedad del suelo

Source: Sun et. al, 2006, How often does it rain? *J. Climate,* **19**

Aplicaciones en la humedad del suelo

Mejores pronósticos meteorológicos y climáticos

Mejoras de producción agrícola y pronósticos de rendimientos de cultivos

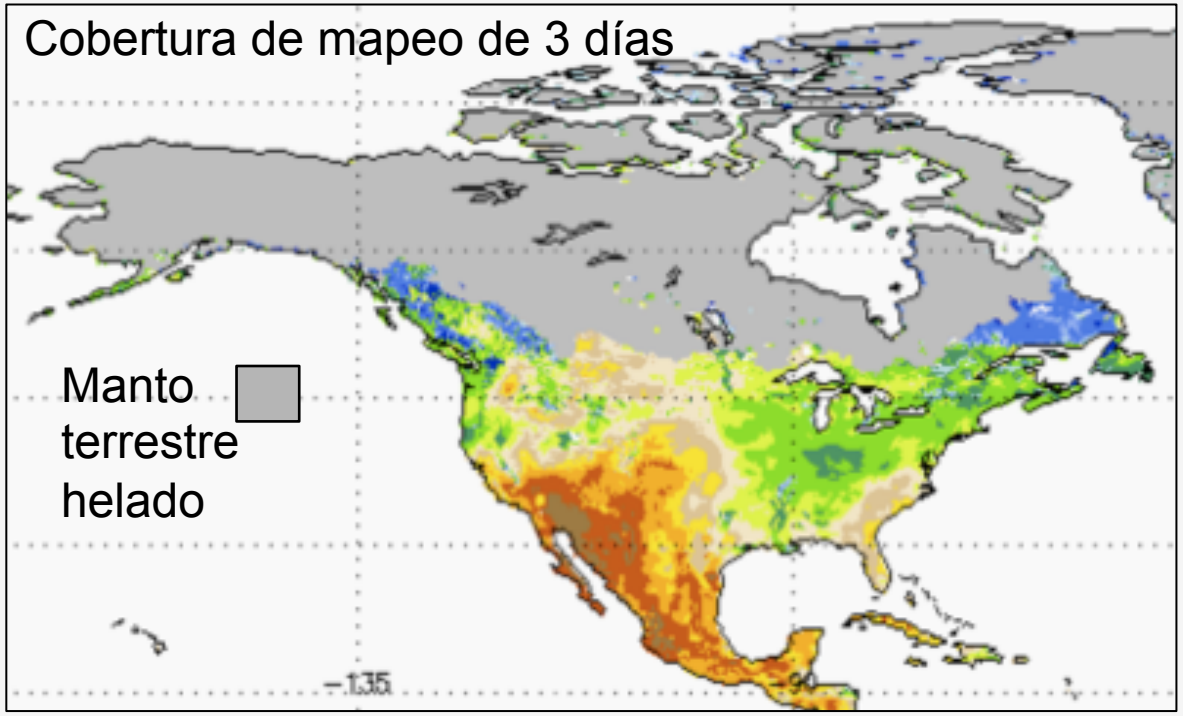
Monitoreo y alerta temprana de sequías

Monitoreo y pronóstico de inundaciones

Salud humana y enfermedades transmitidas por vectores

Principales objetivos de SMAP

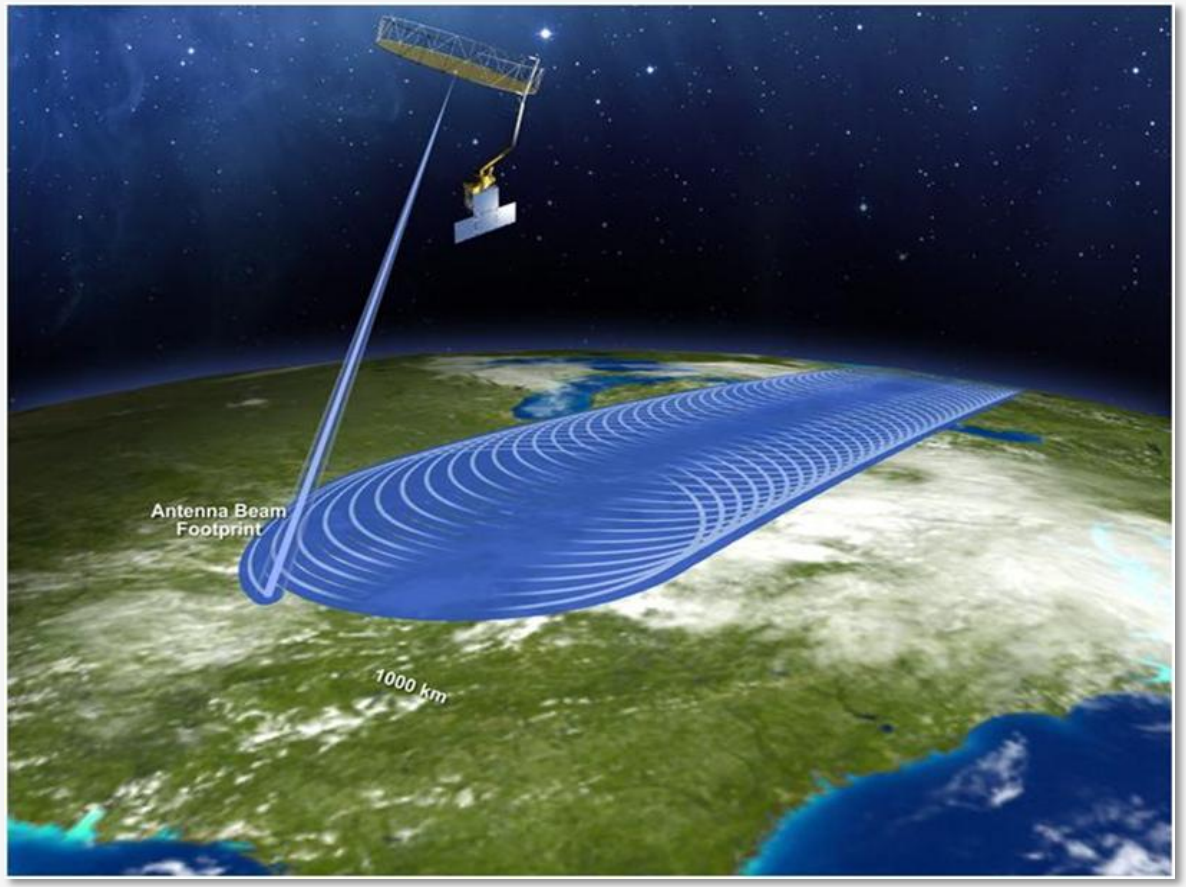
- Medir la humedad en los 5 cm superiores del suelo globalmente cada 3 días



- Ciencia y aplicaciones apoyadas por SMAP
  - Entender procesos que vinculan los ciclos de energía terrestre, hidrológico y del carbono
  - Estimar flujos globales de agua y de energía terrestre
  - Cuantificar flujos netos de carbono en las latitudes septentrionales altas

SMAP- Panorama

Instrumentos



Lanzado el 31 de enero de 2015

Radar (ya no funciona)

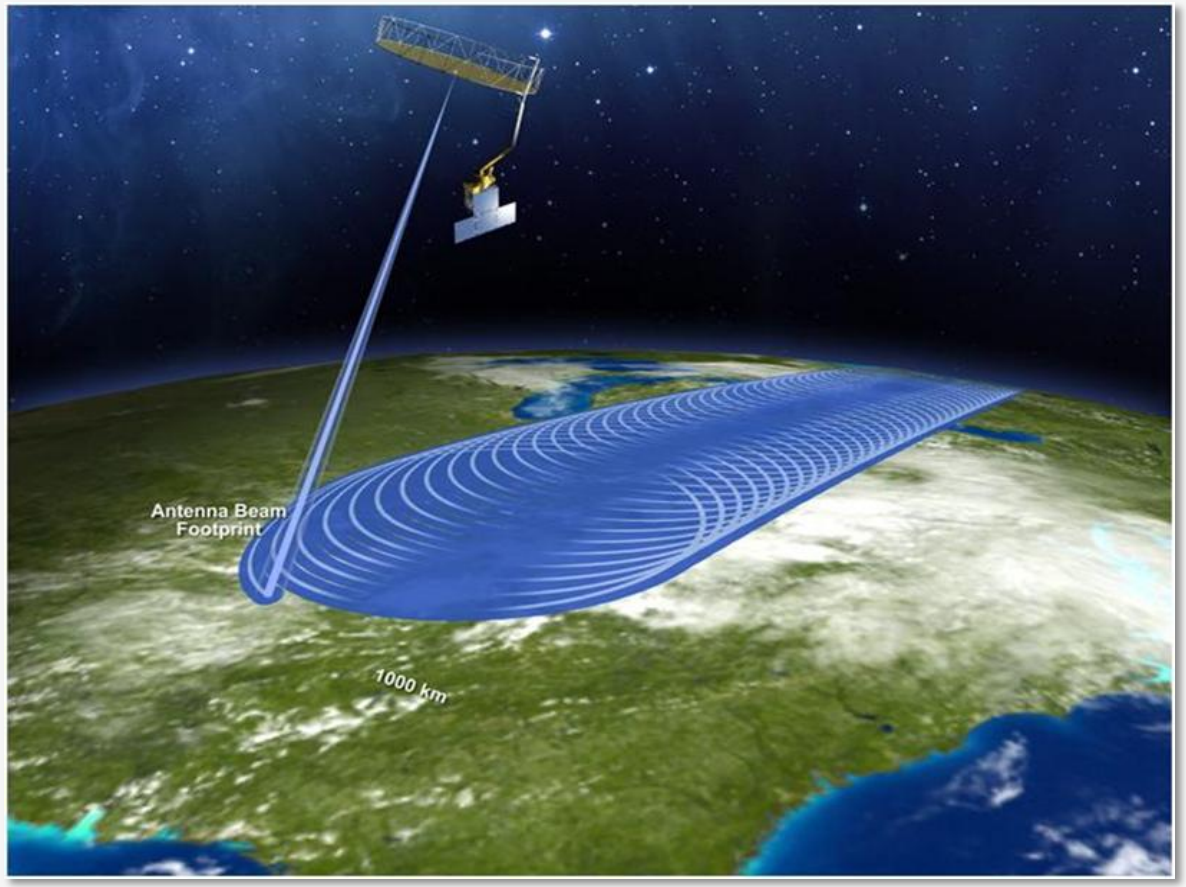
- Frecuencia: 1.26 GHz
- Polarización: VV, HH, HV
- Resolución: 3km
- Exactitud relativa: 1.0 dB (HH y VV), 1.5 dB (HV)

Radiómetro

- Frequencia: 1.41 GHz
- Polarización: H, V, 3ro y 4to Stokes
- Resolución: 40km
- Exactitud relativa: 1.3K

SMAP- Panorama

Instrumentos



Antena compartida

- 6 m de diámtro
- Escaneo cónico a 14.6 r.p.m.
- Angulo de incidencia constante: 40 grados
- Barrido: 1000 km de ancho
- Barrido y órbita permiten cobertura global cada 2 o 3 días

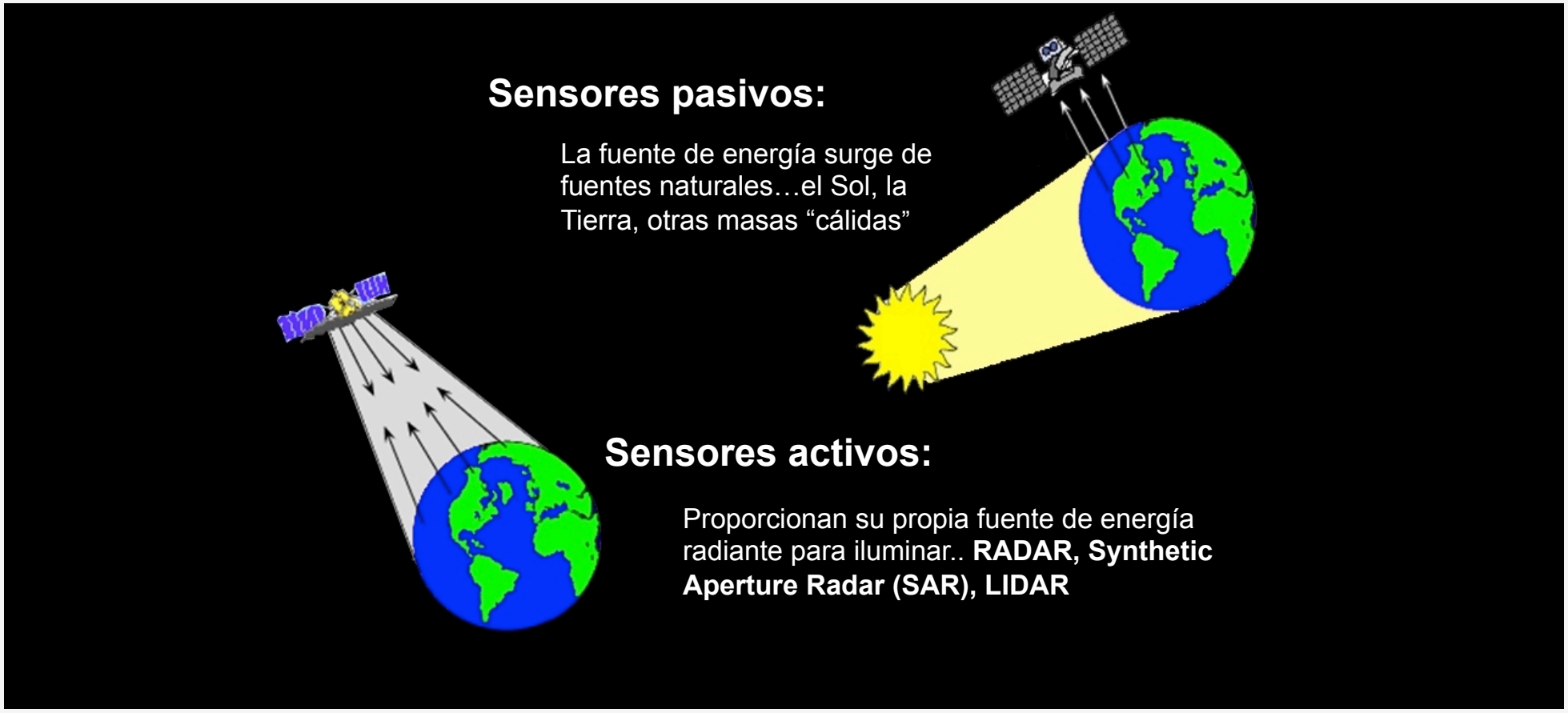
Órbita

- Heliosincrónica, órbita a las 6 am/pm
- 685 km de altitud

Duración de misión: 3 años

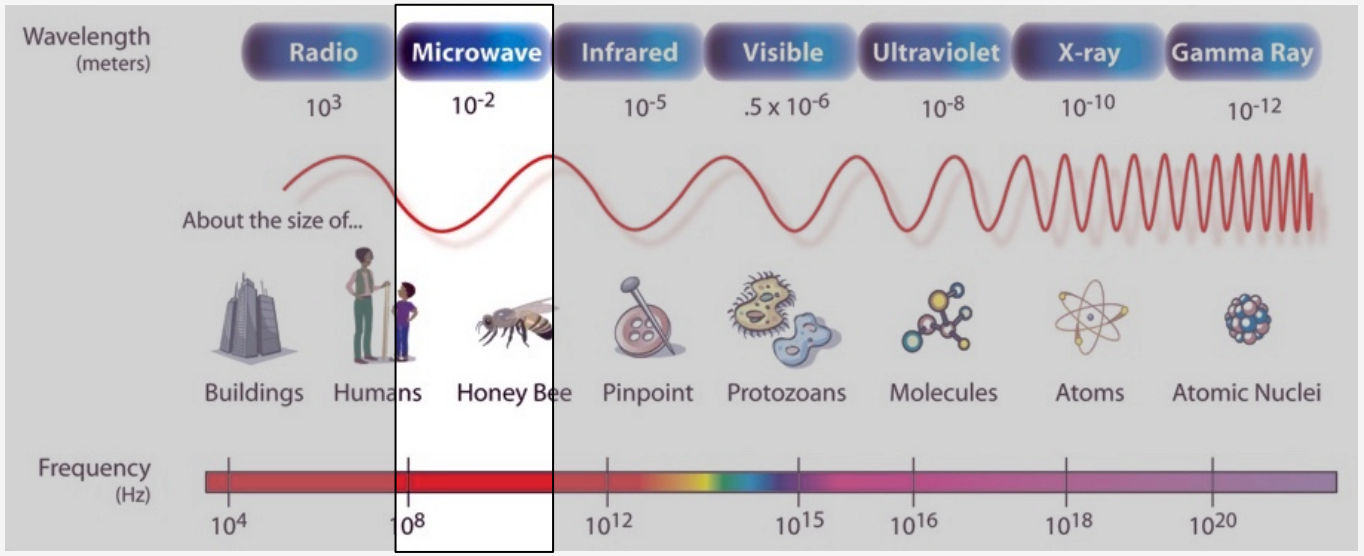
Percepción remota pasiva y activa

SMAP uses sensores activos y pasivos para monitorear la humedad del suelo



Percepción remota de microondas

- El suelo queda ocultado tras nubes y vegetación para sensores visibles e infrarrojos
- Los sesores ópticos funcionan al medir luz solar dispersada y son de uso diurno solamente
- Las microondas pueden penetrar a través y la vegetación , operar día y noche y son sumamente sensibles al agua en el suelo debido al cambio en las propiedades de microondad dieléctricas del suelo

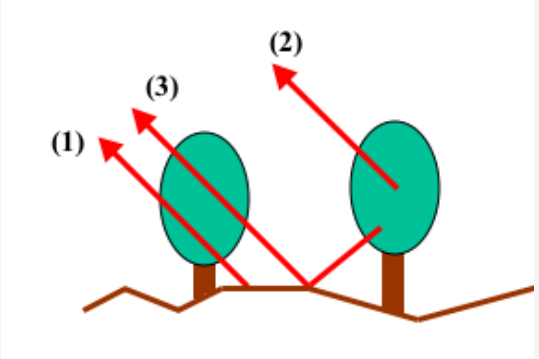


Método de medición

- p = H, V (radiómetro)
- pq = VV, HH, HV (radar)
- Contribuciones de: suelo, vegetación y la interacción suelo-vegetación
- La humedad del suelo es el contribuyente principal a la señal
- Las mediciones de la humedad del suelo se corrigen para los efectos de la vegetación, asperosidad de la superficie y temperatura

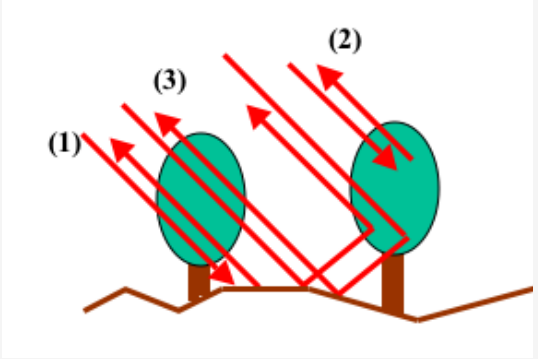
Emisión

$$T_{Bp}^{t} = T_{Bp}^{s} L_p + T_{Bp}^{v} + T_{Bp}^{sv}$$



Retrodispersión

$$\sigma_{pq}^{t} = \sigma_{pq}^{s} L_{pq}^{2} + \sigma_{pq}^{v} + \sigma_{pq}^{sv}$$



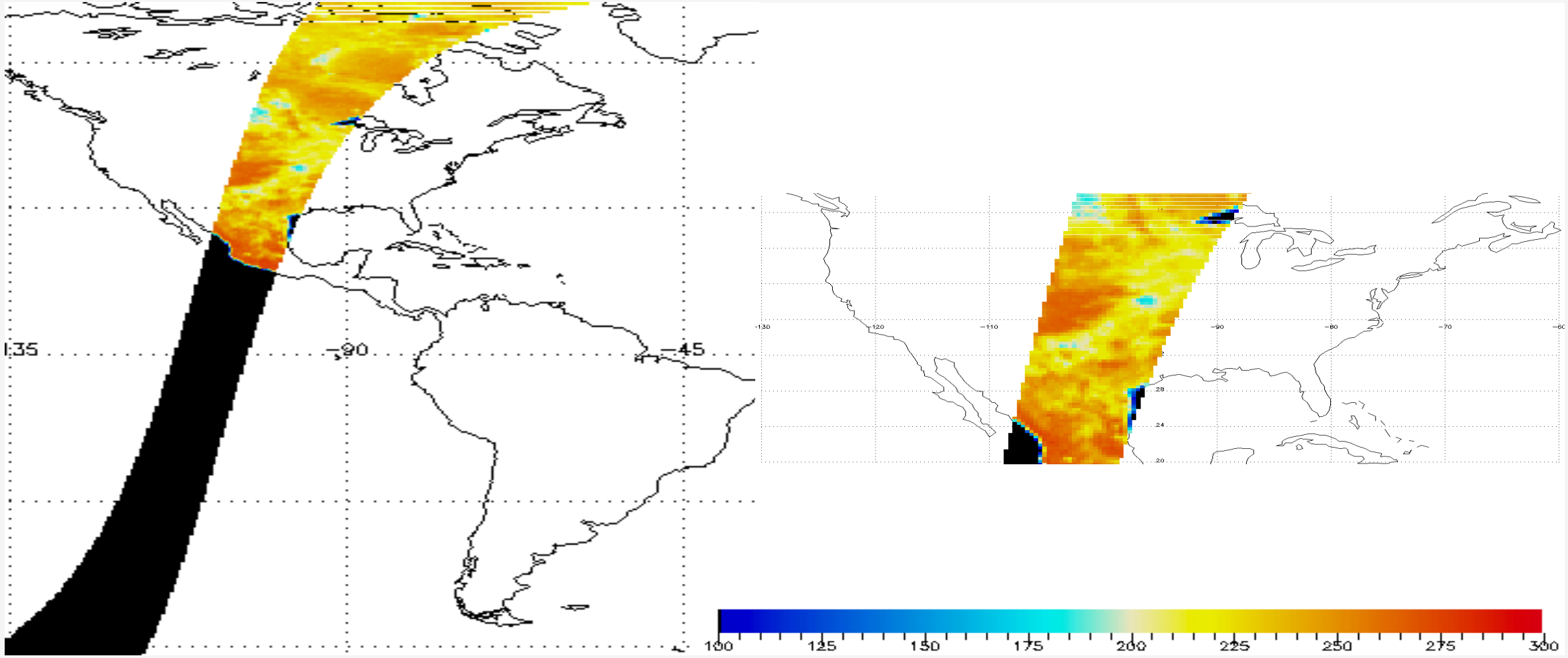
Producto y Nombre Resumido	Descripción	Resolución	Extensión
L1A_Radar	Telemetría del radar		Mitad de Orbita
L1A_Radiometer	Telemetría del radiómetro		Mitad de Orbita
L1B_S0_LoRes	Datos del radar en baja resolución	5x30 km (10 tiras)	Mitad de Orbita
L1C_S0_HiRes	Datos del radar en alta resolución	1 km	Mitad de Orbita
L1B_TB	Datos del radiómetro de acuerdo a la hora adquirido	39x47 km	Mitad de Orbita
L1C_TB	Datos del radiómetro T_B	36 km	Mitad de Orbita
L2_SM_A	Humedad del suelo derivado del radar (incluye estado congelado/ descongelado de la superficie)	3 km	Mitad de Orbita
L2_SM_P	Humedad del suelo derivado del radiómetro	36 km	Mitad de Orbita
L2_SM_AP	Humedad del suelo derivado del radar y radiometro	9 km	Mitad de Orbita
L3_FT_A	Mosaico global diario del estado congelado/descongelado de la superficie	3 km	Al Norte de 45° N
L3_SM_A	Mosaico global diario de la humedad del suelo utilizando el radar	3 km	Global
L3_SM_P	Mosaico global diario de la humedad del suelo utilizando el radiómetro	36 km	Global
L3_SM_AP	Mosaico global diario de la humedad del suelo utilizando el radar y el radiómetro	9 km	Global
L4_SM	Humedad del suelo en la superficie y en las raíces	9 km	Global
L4_C	Intercambio neto de carbono en el ecosistema	9 km	Al Norte de 45° N

SMAP- Estatus

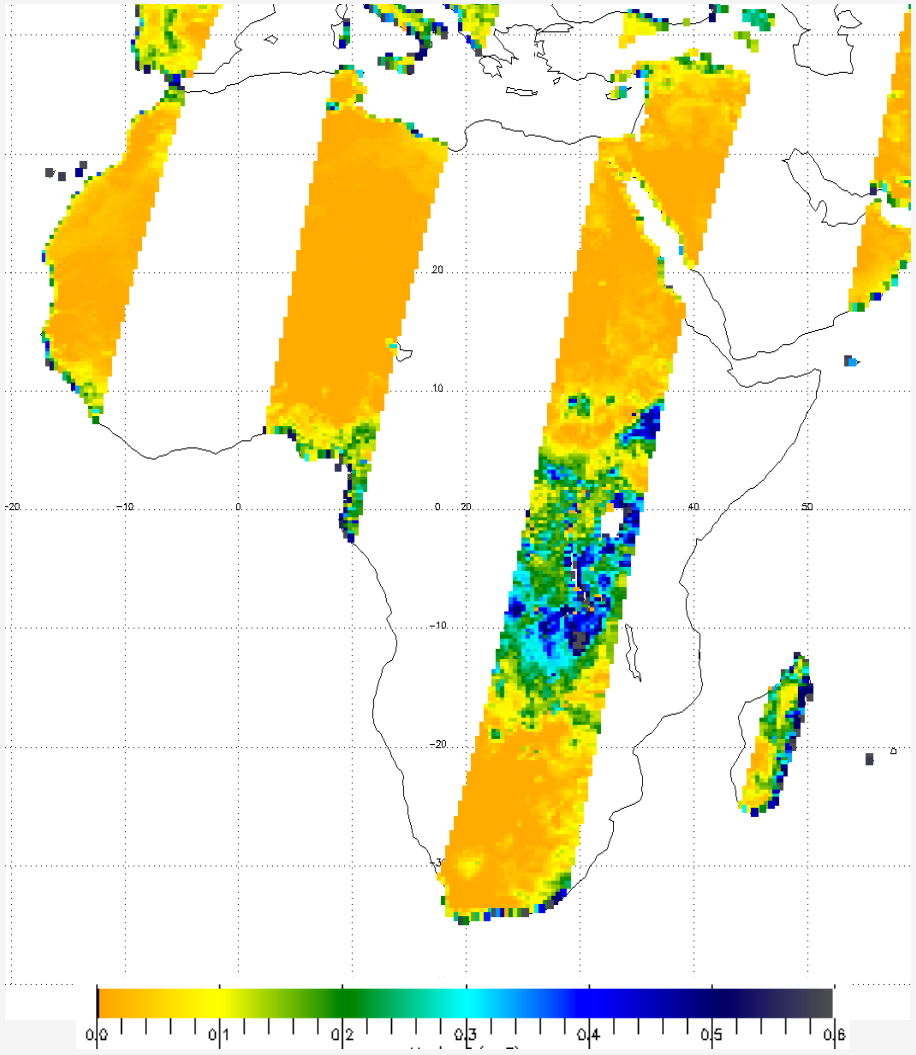
- Pérdida del SMAP Radar
  - El 7 de julio de 2015 el radar de SMAP de pronto dejó de funcionar (luego de haber recopilado datos durante dos meses y medio)
  - Se formó un equipo para determinar la causa
  - Se identificó el amplificador de alta potencia como la causa
  - Hubo intentos de configurar el sistema de diferentes maneras, ninguno de ellos tuvo éxito

- Implicaciones para SMAP
  - El product de hielo/deshielo superficial a 3 km no será producido
  - Los productos de la humedad del suelo a 9 km no serán producidos

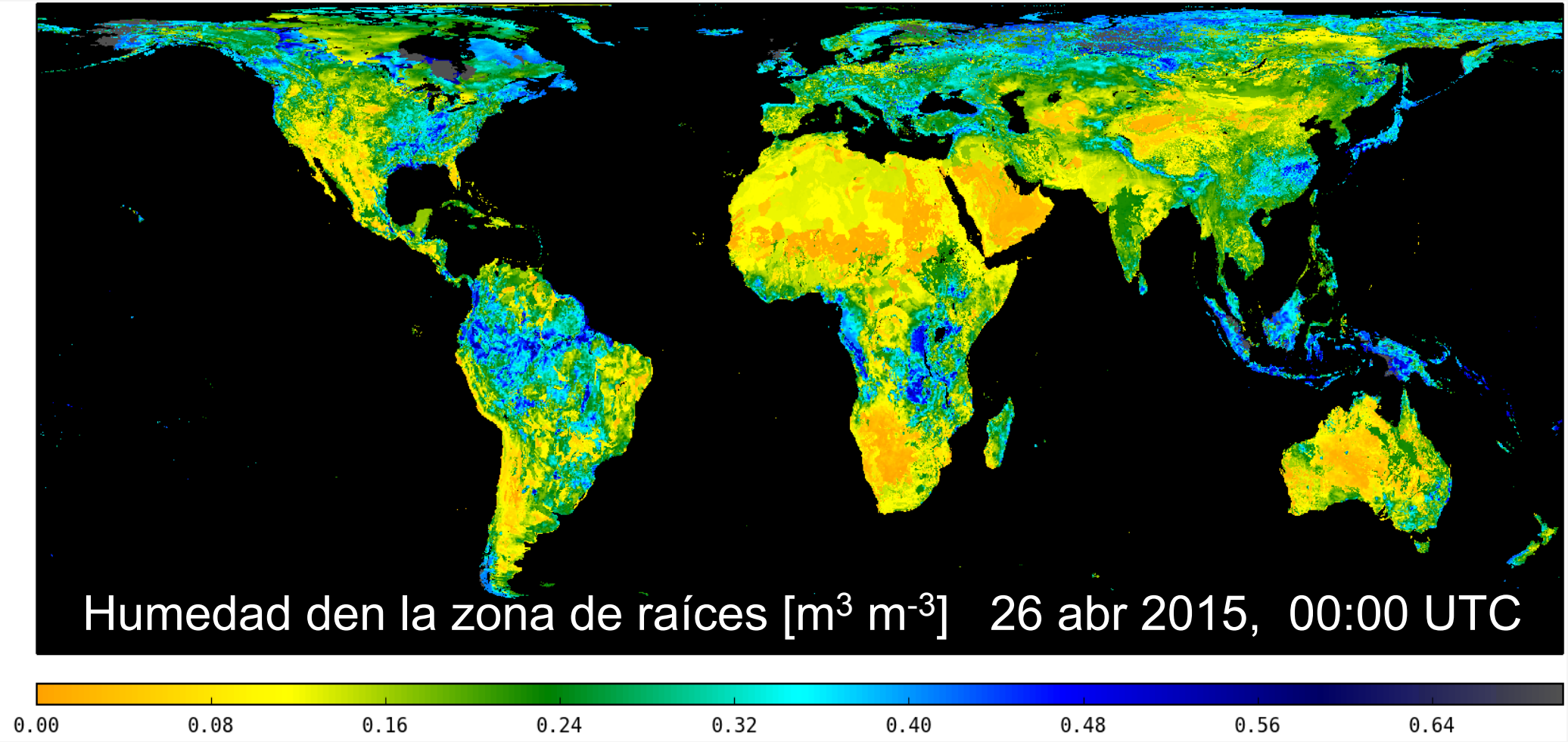
Datos de radiómetro – Nivel 1C



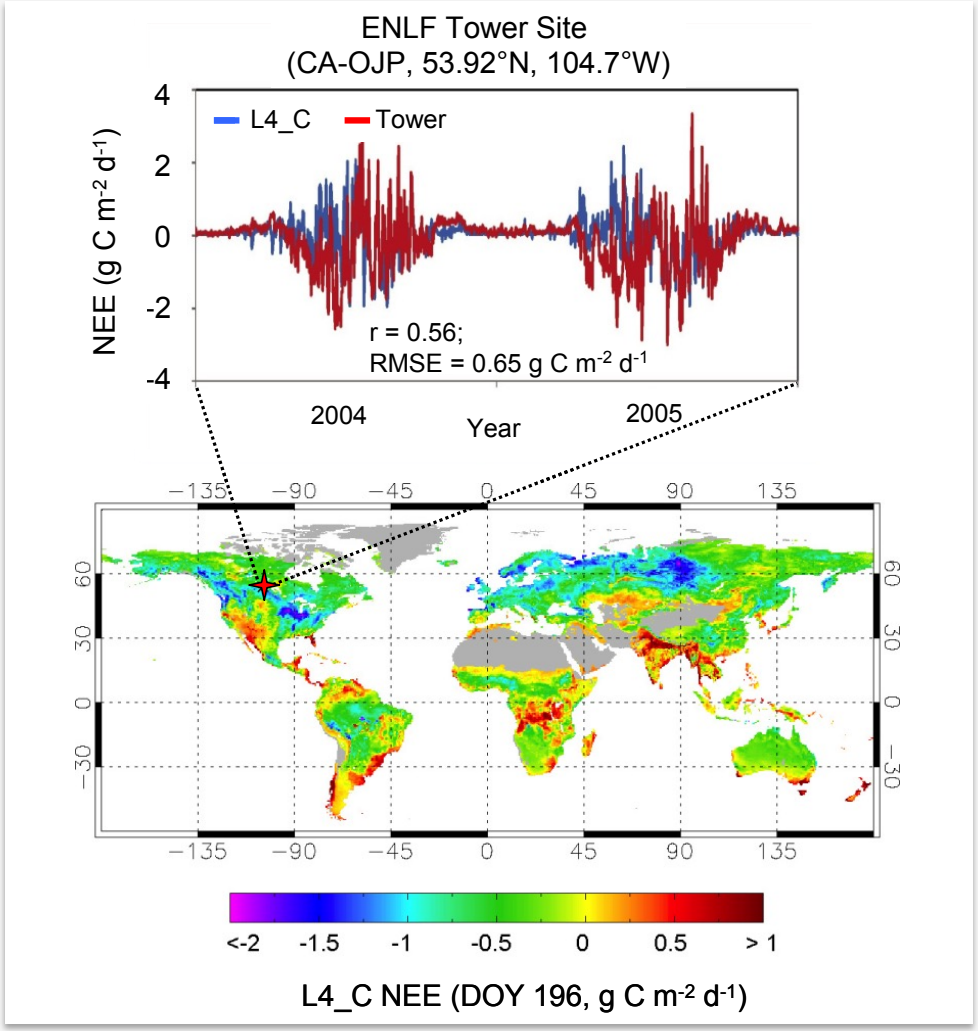
Humedad del suelo derivada del radiómetro- Nivel 3



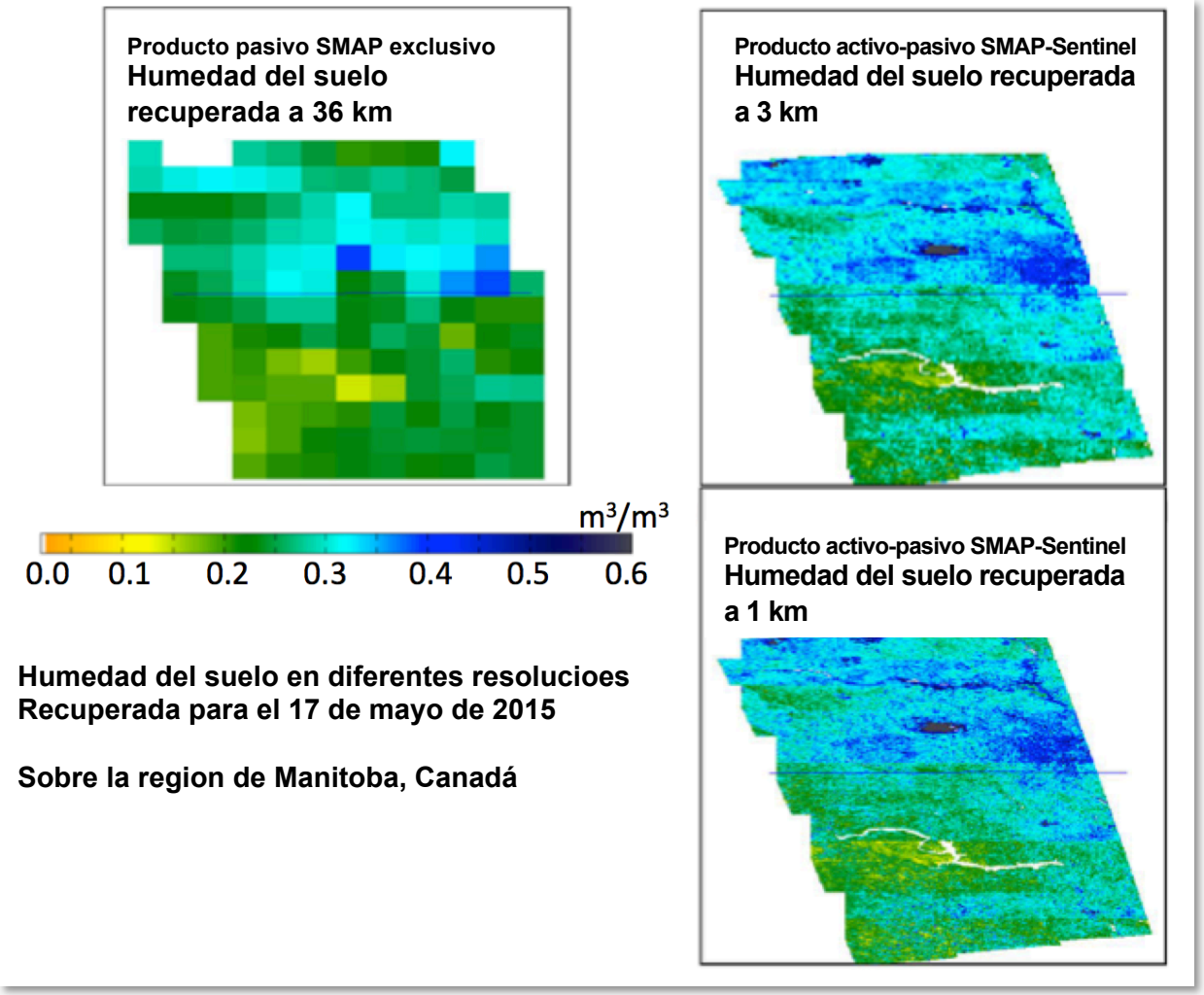
Humedad en la superficie y en la zona de raíces- Nivel 4



Intercambio neto ecosistémico de carbono- Nivel 4



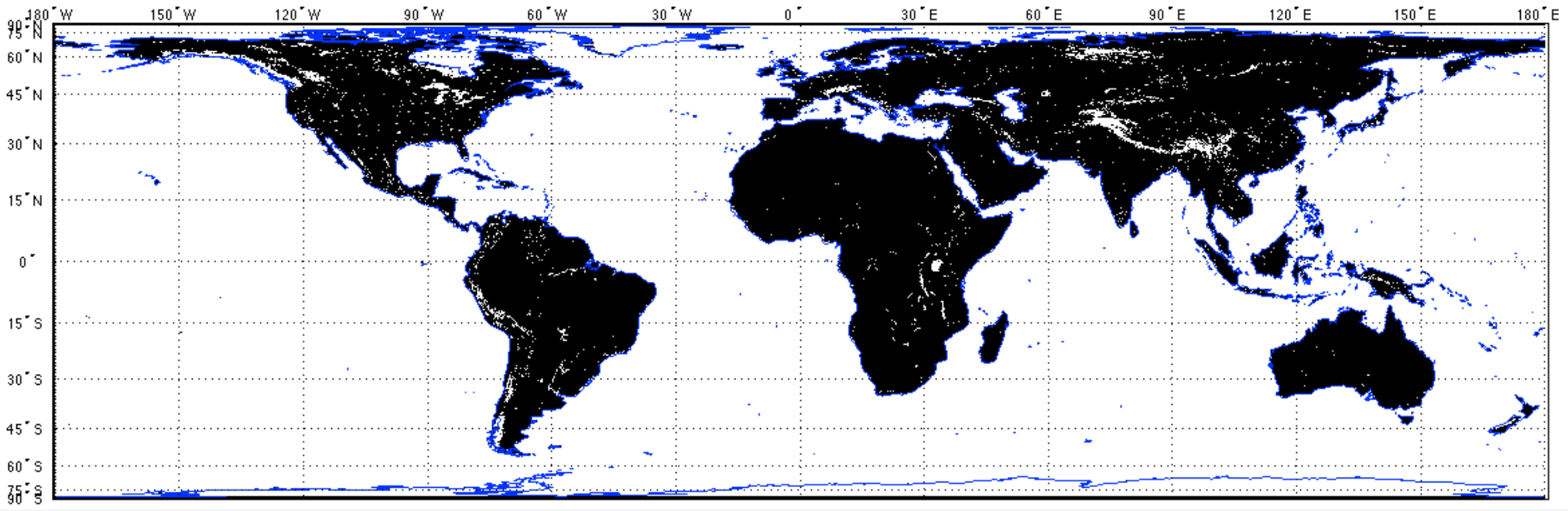
SMAP- Producto activo-pasivo usando Sentinel



* Source: Narendra Das

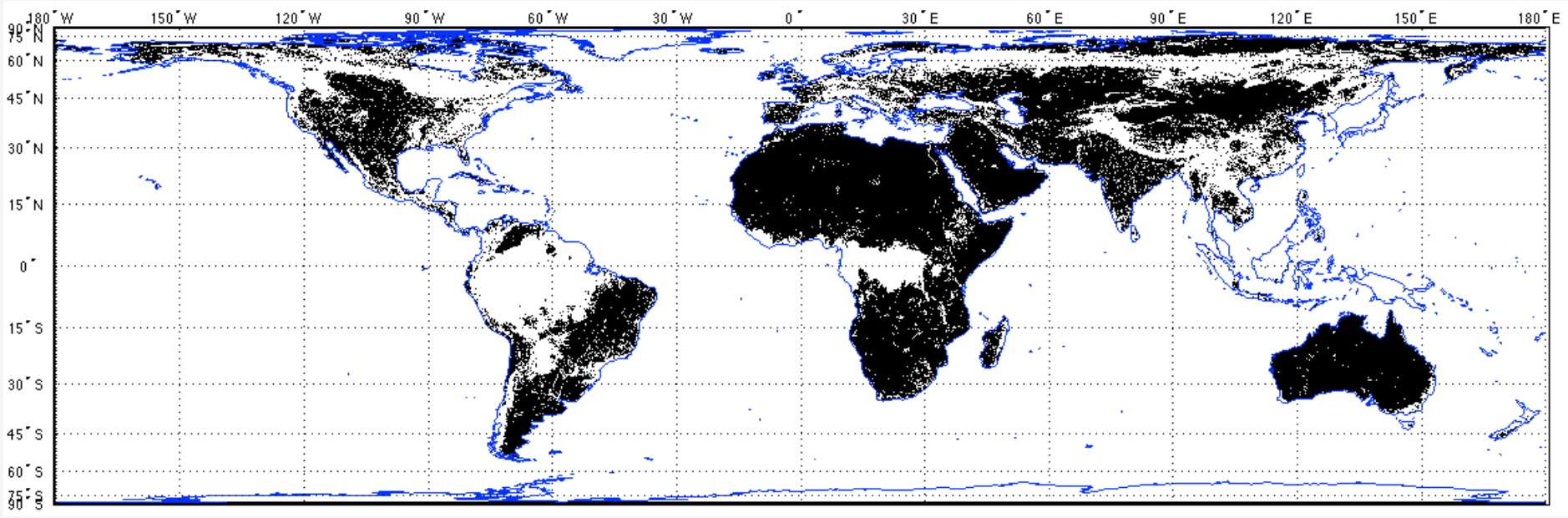
Mapa de recuperaciones de la humedad del suelo

- Contorno recuberable (pixeles negro):
  - Fracción urbana < 1
  - Fracción ácuea < 0.5
  - Desviación estándar de pendiente MED < 5 grados



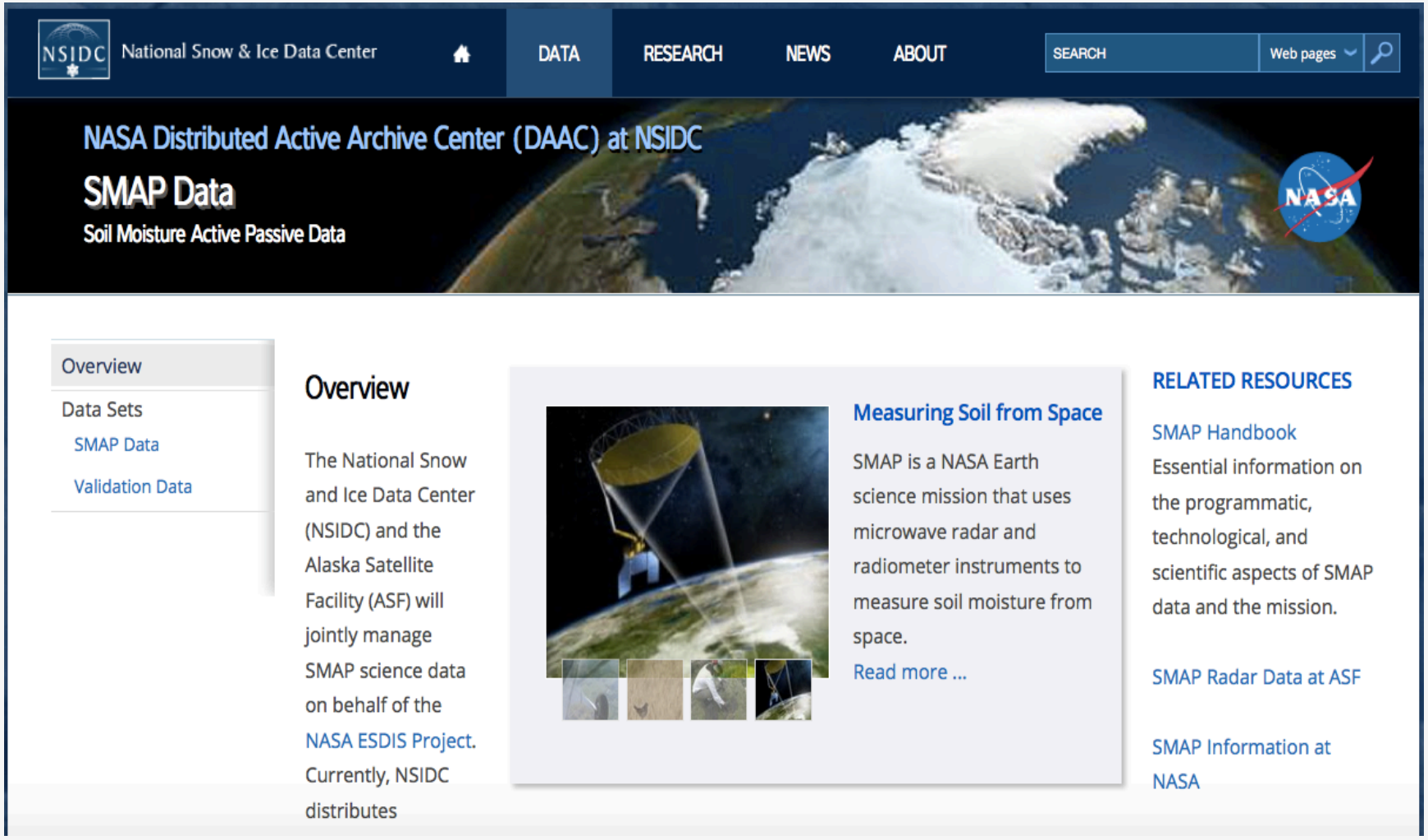
Exactitud anticipada de la humedad del suelo

- Contorno de calidad anticipada de recuperación (pixeles negros indican buena calidad)
  - Contenido en agua de la vegetación ≤ 5 kg/m^2
  - Fracción urbana ≤ 0.25
  - Fracción ácuea ≤ 0.1
  - Desviación estándar de pendiente MED ≤ 3 grados

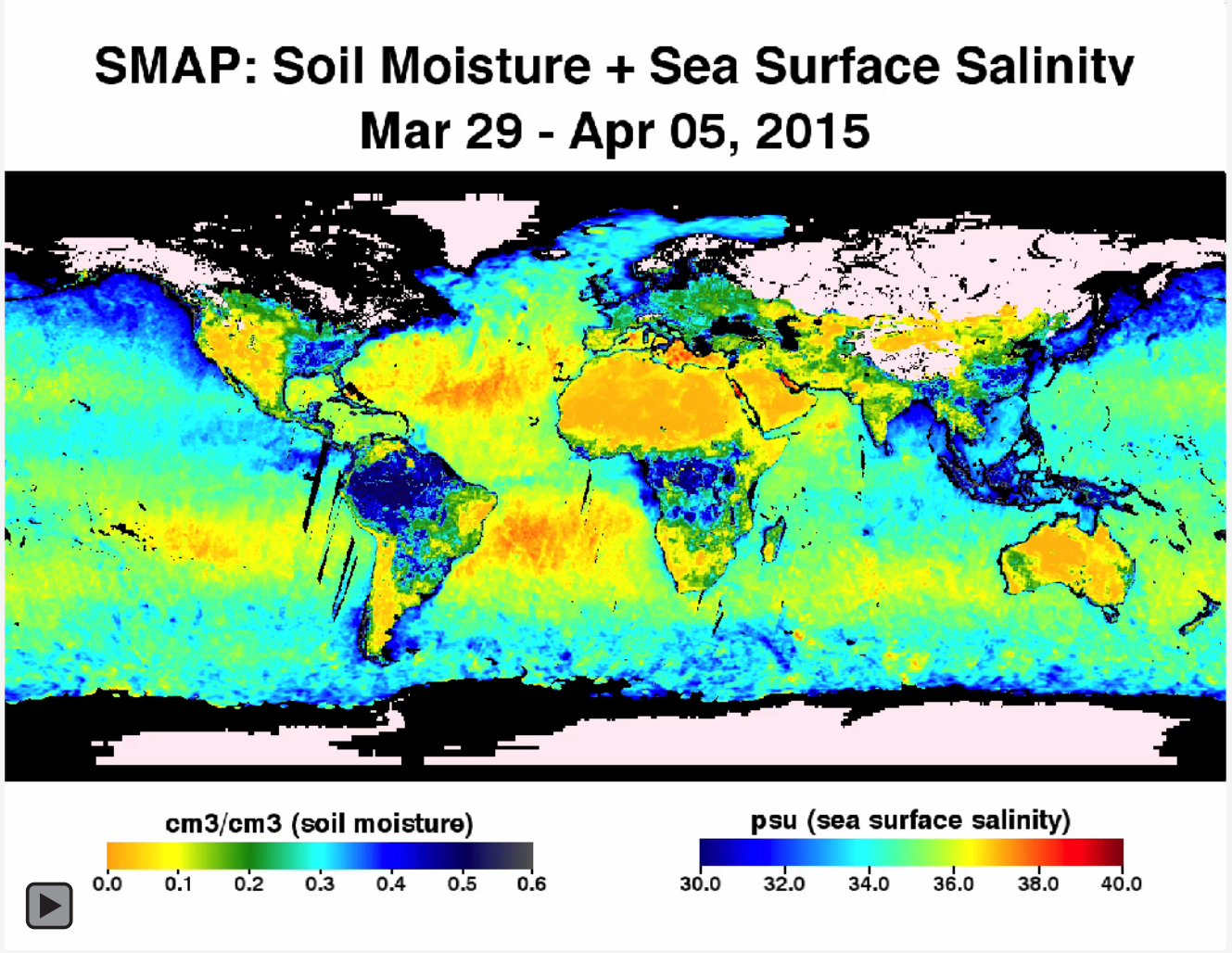


Acceso a datos de SMAP: NSIDC

http://nsidc.org/data/smap/



Animación global de la humedad del suelo

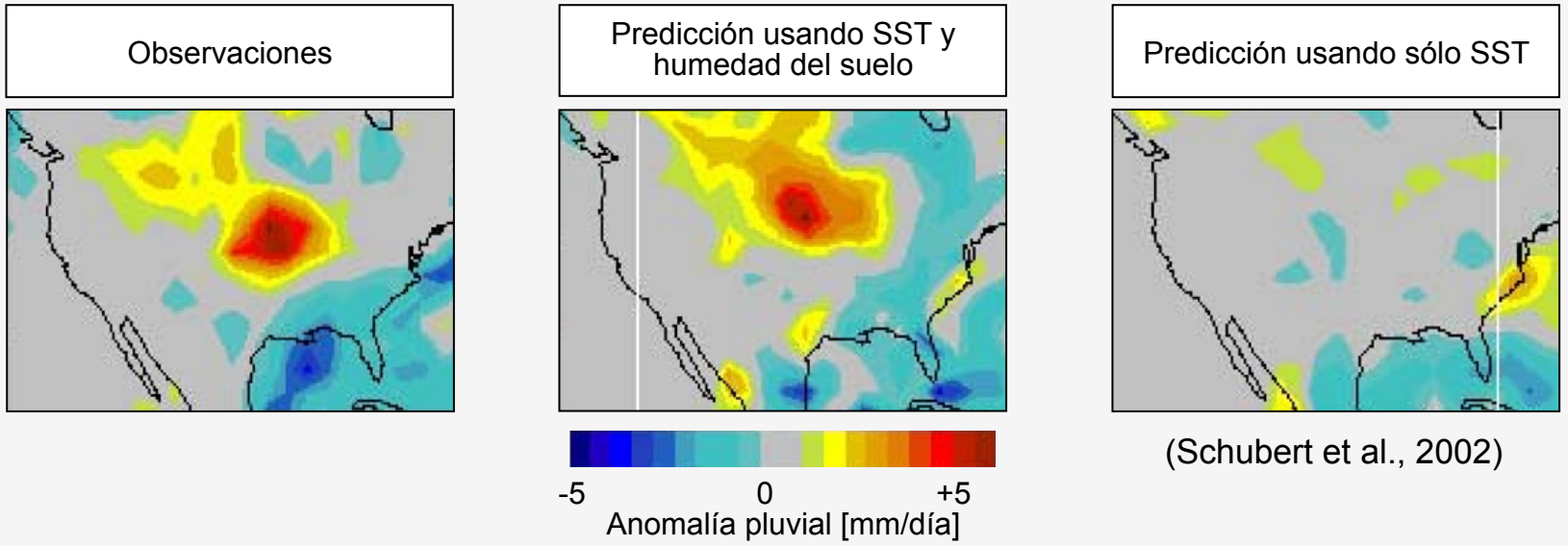


Valor de datos de la humedad del suelo para el tiempo y el clima

Previsibilidad climática estacional

*La previsibilidad del **clima estacional** depende de condiciones marco tales como temperatura superficial marina (SST) y humedad del suelo – **la humedad del suelo** es sumamente importante sobre el interior de los continentes*

Lluvia

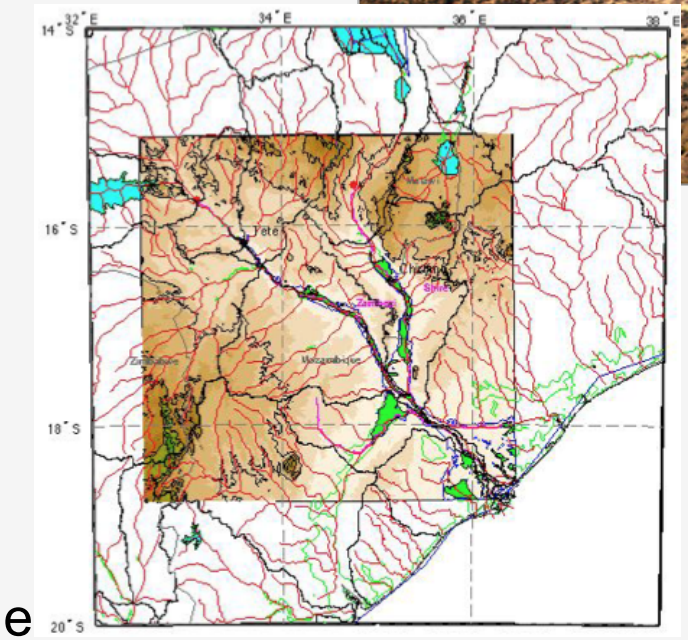


(Schubert et al., 2002)

Ejemplo de inundación

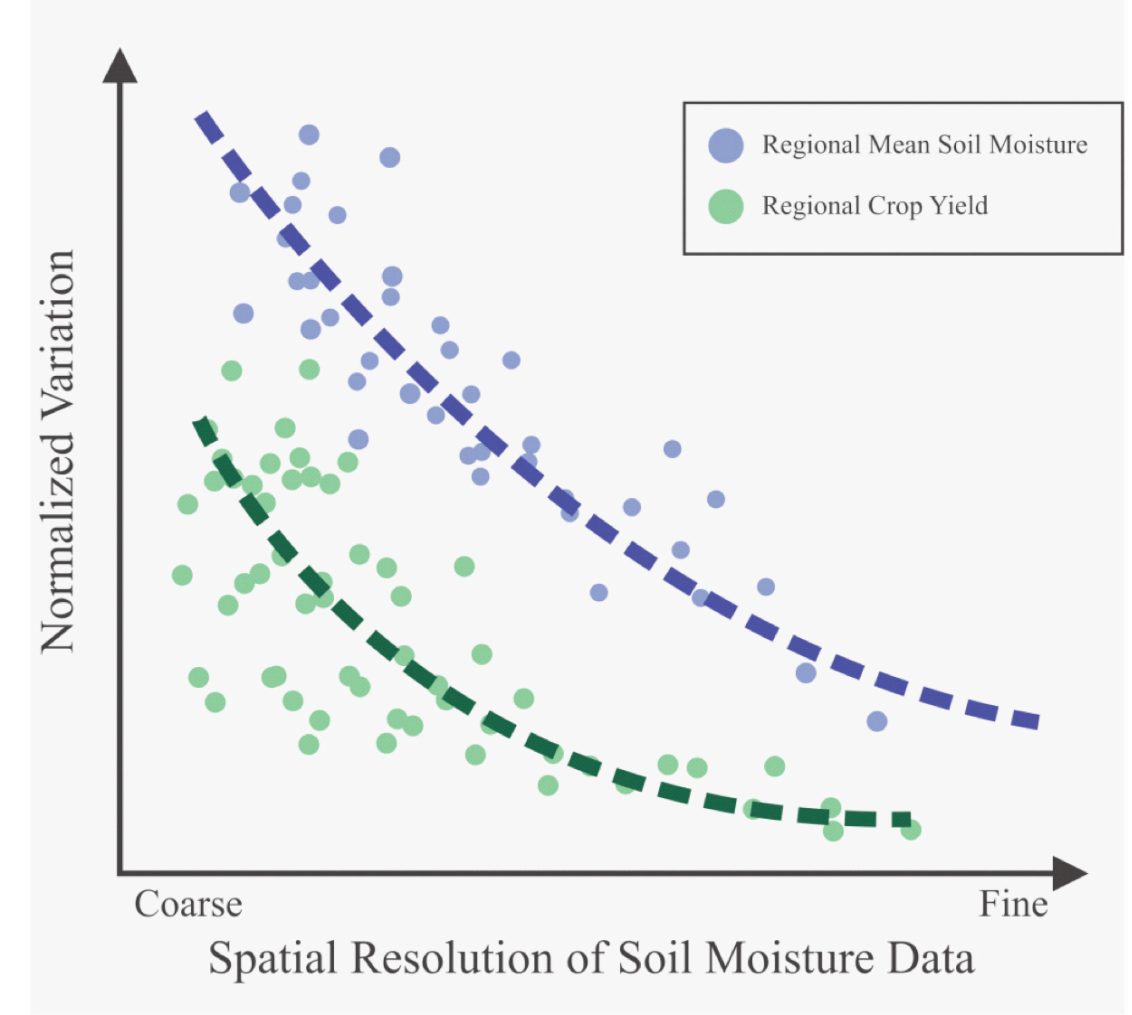
Aplicación de un índice basado en SMAP para pronosticar en regiones de escasos datos

- Capacidad actual
  - UN-WFP usa mapas de inundaciones derivados de satélites para ubicar inundaciones y mapear rutas de entrega a las áreas afectadas
- Capacidad mejorada
  - Usa SMAP para ampliar la base de datos de inundaciones actual con información rebuscable que produce índices de inundaciones para un dado pronóstico pluvial (ECMWF) y la condición de la humedad del suelo (SMAP)
- Área de estudio
  - Cuenca y delta del Zambezi en Mozambique



Modelado de rendimiénto agrícola

- Se han desarrollado modelos agriculturales para predecir el rendimiento de varios cultivos a nivel de parcela y regional
- El diagrama (der.) relaciona la variación en la humead del suelo regional promediada por dominio con la variación en un rendimiento total de cultivo
- El análisis de estadísticas llevaría al desarrollo de distribuciones de probabilidad de rendimiento agrícola como transformación de la distribución de probabilidad de la humedad promediada por dominio al principio de la temporada de cultivo



* Source: http://smap.jpl.nasa.gov/resources/54/

Predicción de enfermedades transmitidas por vectores

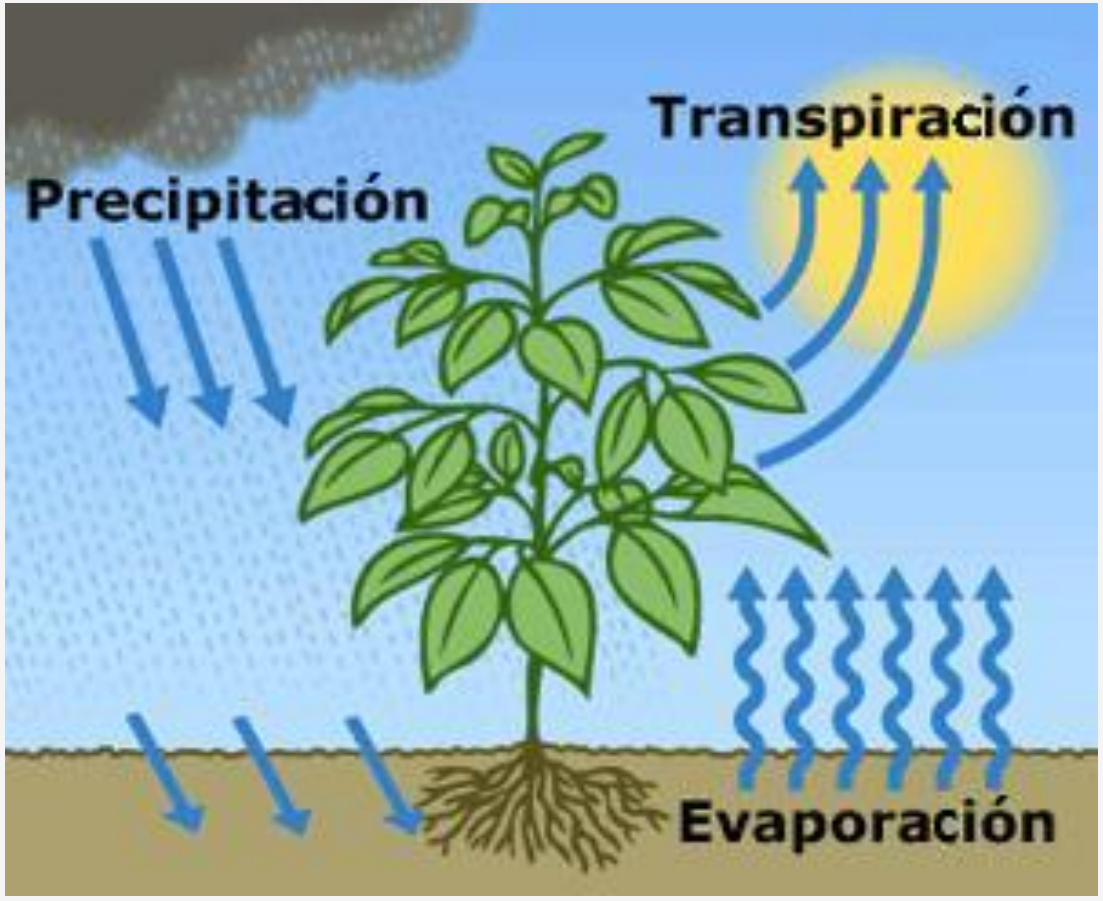
SMAP- Primeros en adoptar

SMAP Early Adopters†, SMAP project contacts, and applied research topics. Many Early Adopters cross multiple applications.	
Early Adopter PI and institution SMAP Contact	**Applied Research Topic**
Weather and Climate Forecasting	
* **Stephane Bélair**, Meteorological Research Division, Environment Canada (EC); SMAP Contact: **Stephane Bélair**	Assimilation and impact evaluation of observations from the SMAP mission in Environment Canada's Environmental Prediction Systems
* **Lars Isaksen and Patricia de Rosnay**, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF); SMAP Contact: **Eni Njoku**	Monitoring SMAP soil moisture and brightness temperature at ECMWF
* **Xiwu Zhan, Michael Ek, John Simko and Weizhong Zheng**, NOAA National Centers for Environmental Prediction (NCEP), NOAA National Environmental Satellite Data and Information Service (NOAA-NESDIS); SMAP Contact: **Randy Koster**	Transition of NASA SMAP research products to NOAA operational numerical weather and seasonal climate predictions and research hydrological forecasts
* **Michael Ek, Marouane Temimi, Xiwu Zhan and Weizhong Zheng**, NOAA National Centers for Environmental Prediction (NCEP), NOAA National Environmental Satellite Data and Information Service (NOAA-NESDIS), City College of New York (CUNY); SMAP Contact: **Chris Derksen**	Integration of SMAP freeze/thaw product line into the NOAA NCEP weather forecast models
* **John Galantowicz**, Atmospheric and Environmental Research, Inc. (AER); SMAP Contact: **John Kimball**	Use of SMAP-derived inundation and soil moisture estimates in the quantification of biogenic greenhouse gas emissions
◊ **Jonathan Case, Clay Blankenship and Bradley Zavodsky**, NASA Short-term Prediction Research and Transition (SPoRT) Center; SMAP Contact: **Dara Entekhabi**	Data assimilation of SMAP observations, and impact on weather forecasts in a coupled simulation environment
◊ **Steven Quiring**, *Texas A&M University*; SMAP Contact: **Dara Entekhabi**	Hurricane power outage prediction
Droughts and Wildfires	
* **Jim Reardon and Gary Curcio**, US Forest Service (USFS); SMAP Contact: **Dara Entekhabi**	The use of SMAP soil moisture data to assess the wildfire potential of organic soils on the North Carolina Coastal Plain
* **Chris Funk, Amy McNally and James Verdin**, USGS & UC Santa Barbara; SMAP Contact: **Susan Moran**	Incorporating soil moisture retrievals into the FEWS Land Data Assimilation System (FLDAS)
◊ **Brian Wardlow and Mark Svoboda**, Center for Advanced Land Management Technologies (CALMIT), National Drought Mitigation Center (NDMC); SMAP Contact: **Narendra Das**	Evaluation of SMAP soil moisture products for operational drought monitoring: potential impact on the U.S. Drought Monitor (USDM)
◊ **Uma Shankar,** The University of North Carolina at Chapel Hill – Institute for the Environment**;** SMAP Contact: **Narendra Das**	Enhancement of a bottom-up fire emissions inventory using Earth observations to improve air quality, land management, and public health decision support
◊ **Javier Fochesatto,** University of Alaska**;** SMAP Contact: **John Kimball**	Soil moisture in Alaskan ecosystem soils
◊ **Amir AghaKouchak,** University of California, Irvine**;** SMAP Contact: **Dara Entekhabi**	Integrating SMAP into the Global Integrated Drought Monitoring and Prediction System: Toward near real-time agricultural drought monitoring
◊ **Renato D'Auria,** ALTEC S.p.A**;** SMAP Contact: **Randy Koster**	Satellite soil moisture accuracy evaluation for hydrological operative forecasting (SMAHF)
◊ **Rong Fu**, University of Texas; **SMAP contact: Randy Koster**	Using SMAP data to improve drought early warning over Texas and the U.S. Great Plains
Floods and Landslides	
* **Fiona Shaw**, Willis, Global Analytics; SMAP Contact: **Robert Gurney**	A risk identification and analysis system for insurance; eQUIP suite of custom catastrophe models, risk rating tools and risk indices for insurance and reinsurance purposes
***Kashif Rashid and Emily Niebuhr**, UN World Food Programme; SMAP Contact: **Eni Njoku**	Application of a SMAP-based index for flood forecasting in data-poor regions
◊ **Konstantine Georgakakos,** Hydrologic Research Center; SMAP Contact: **Narendra Das**	Development of a strategy for the evaluation of the utility of SMAP products for the Global Flash Flood Guidance Program of the Hydrologic Research Center
◊ **Luca Brocca,** Research Institute for Geo-Hydrological Protection, Italian Dept. of Civil Protection; SMAP contact: **Dara Entekhabi**	Use of SMAP soil moisture products for operational flood forecasting: data assimilation and rainfall correction
◊ **Jennifer Jacobs,** University of New Hampshire; SMAP contact: **Narendra Das**	Satellite enhanced snowmelt flood predictions in the Red River of the North Basin

Panorama 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)



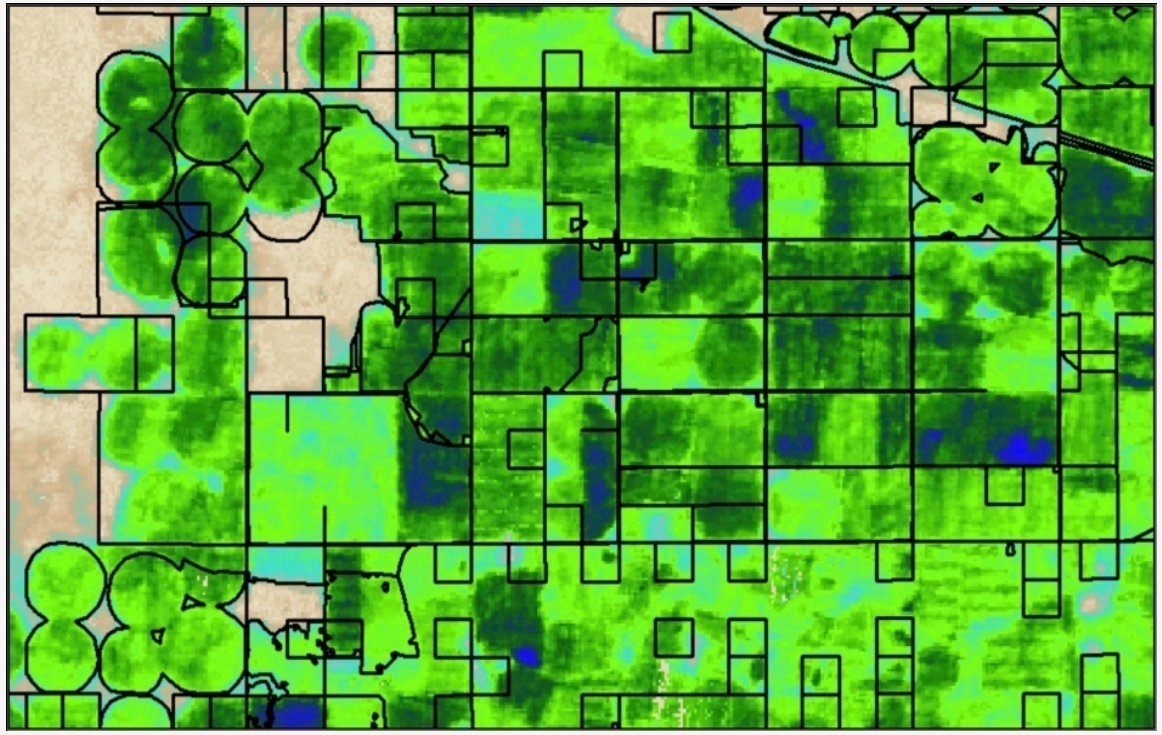
* Crédito para la imagen: USGS

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 presupuestos de carbono

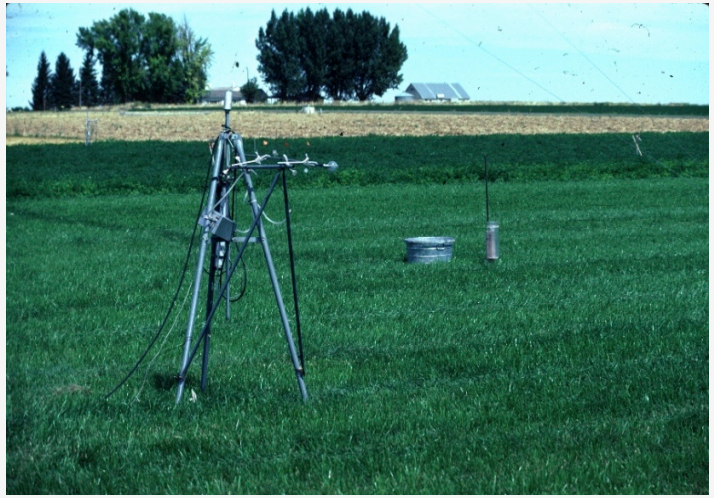
Las dificultades de medir la ET

- La ET depende de muchas variables:
  - radiación solar en la superficie
  - temperaturas de la tierra y del aire
  - humedad
  - vientos superficiales
  - condiciones del suelo
  - manto y tipos de vegetación
- Súmamente 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

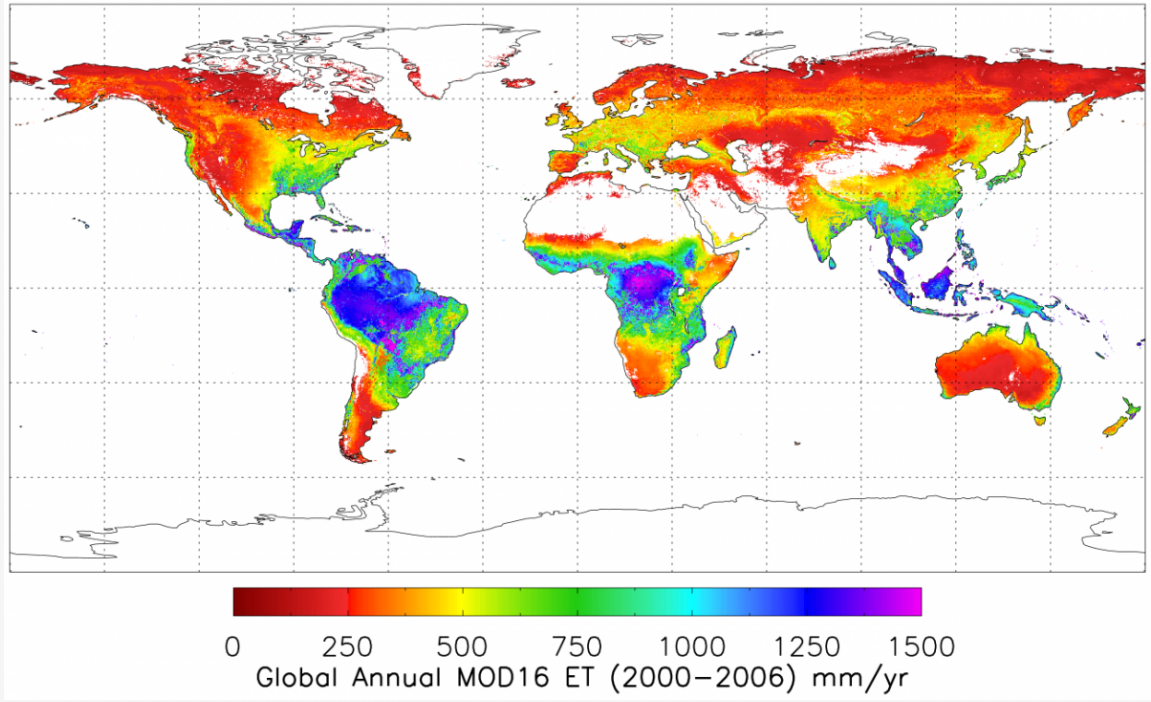
Lisímetros

* Crédito para la imagen: 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



* Source: University of Montana, Numerical Terradynamic Simulation Group

Métodos de estimar ET basados en la percepción remota

Sensores remotos y observaciones para la ET

Satélite	Sensor	Parámetro
Terra y Aqua	MODIS	• Normalized 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)

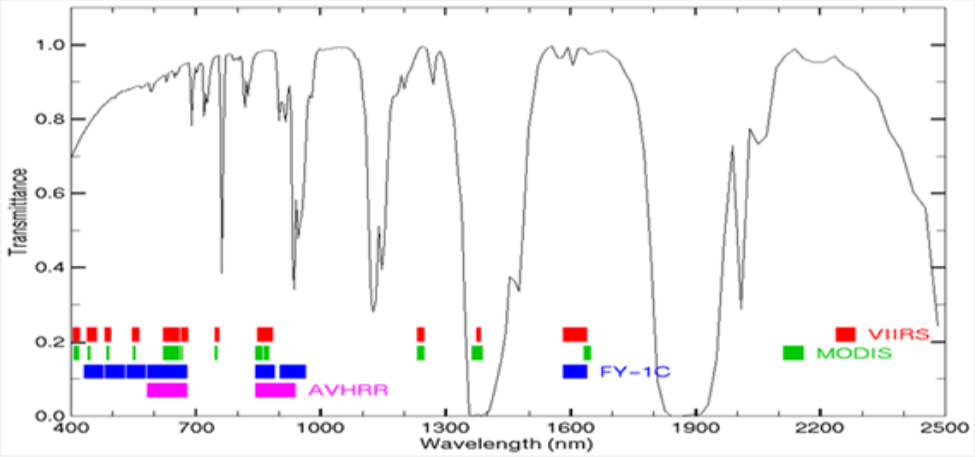
Espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada

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

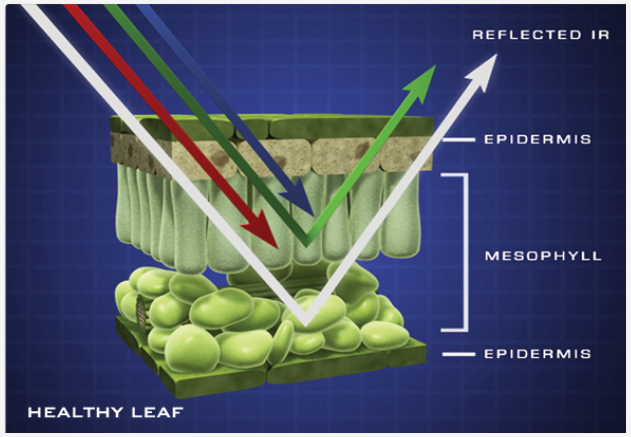
Bandas espectrales

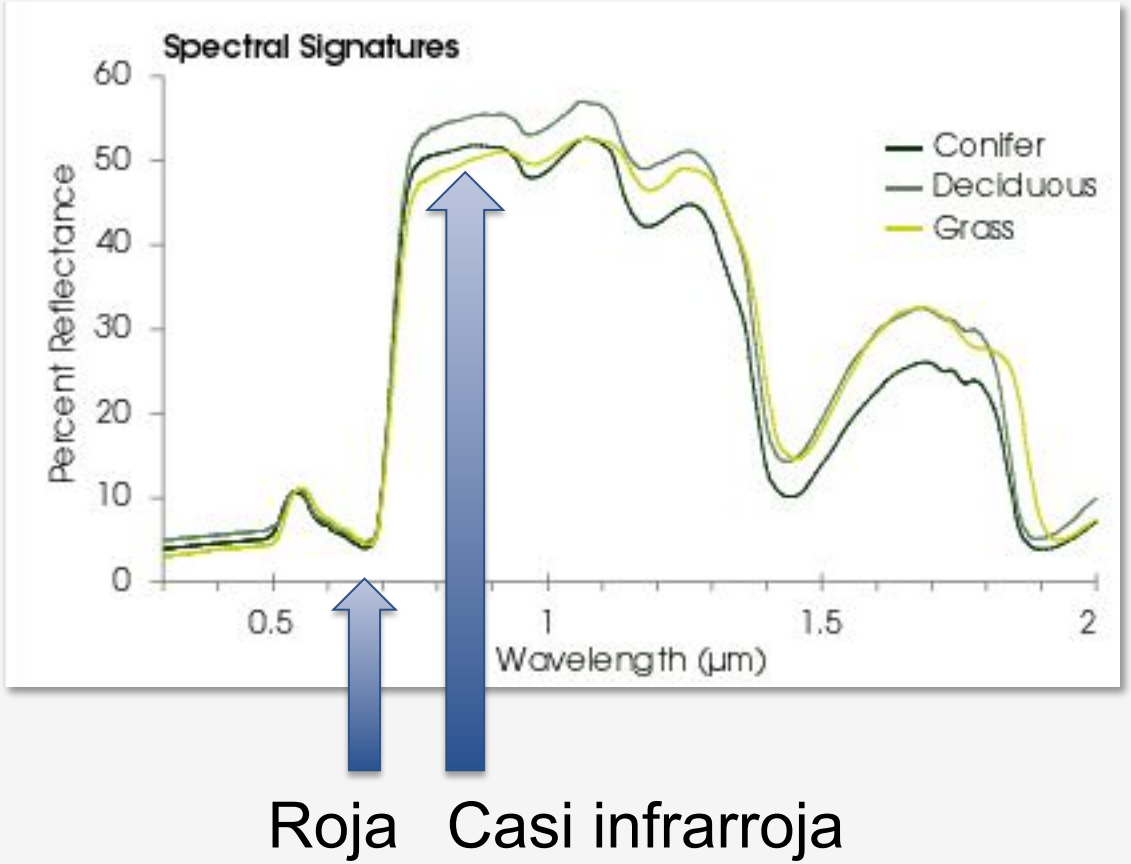
- 36 bandas (roja, azul, IR, casi IR, IR media)
  - Bandas 1-2: 250m
  - Bandas 3-7: 500m
  - Bandas 8-16: 1000m



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 la visible (roja en su mayor parte)
  - La estructura de las plantas refleja la casi infrarroja en su mayor parte



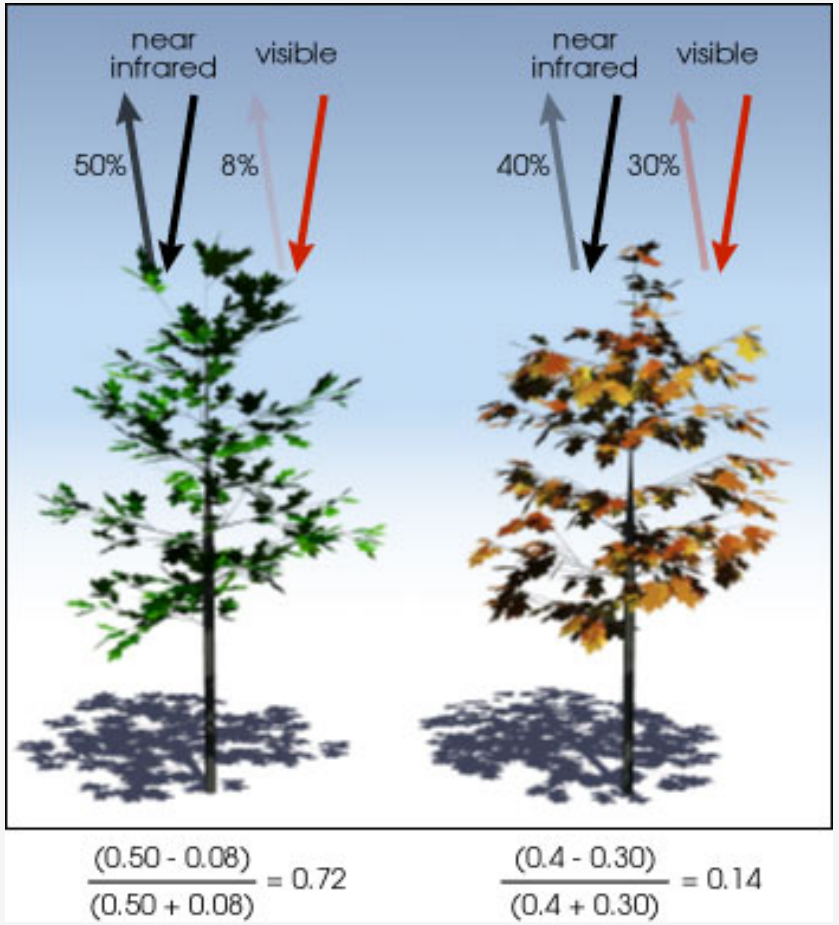


* Crédito para la imagen (left): NASA/Jeff Cerns

NDVI - Fórmula

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

- $\text{NDVI} = \dfrac{\text{Casi-infrarrofa - roja}}{\text{Casi-infrarrofa + roja}}$
- Valores varían entre-1.0 y 1.0
  - Vaolres 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



Enhanced Thematic Mapper (ETM+)

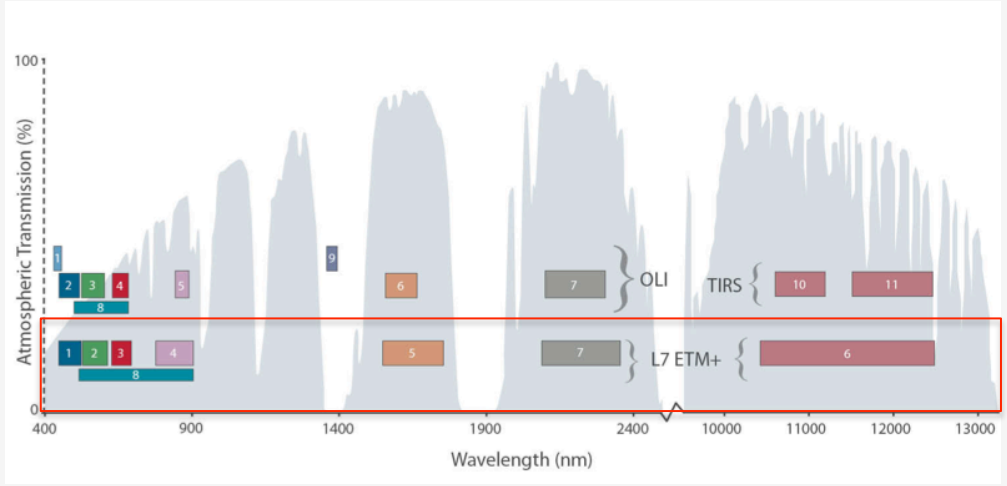
Mapeador temático mejorado

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



Operational Land Imager (OLI)

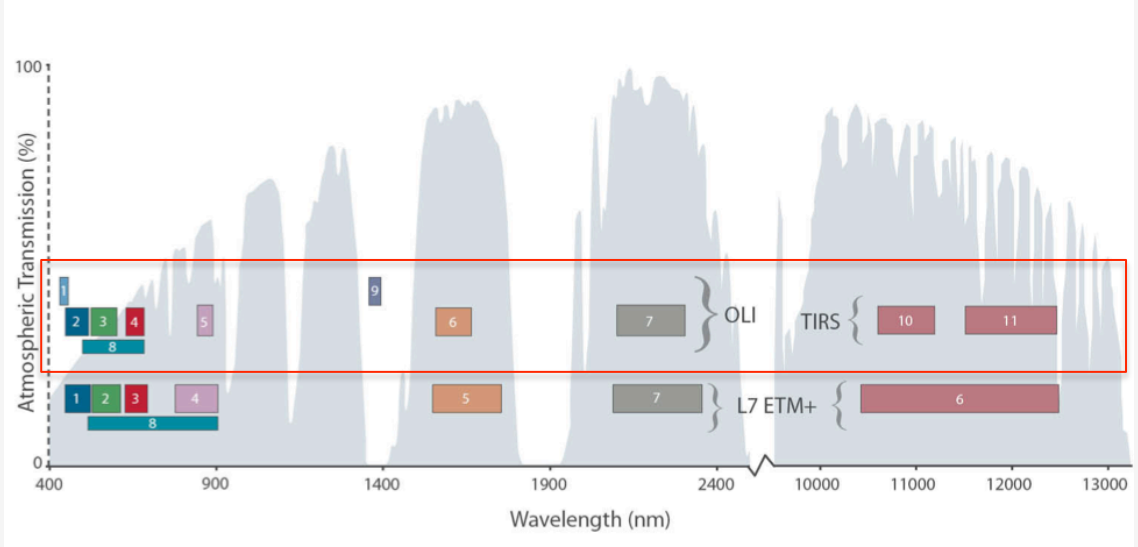
Captador de imágenes terrestres operacional

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

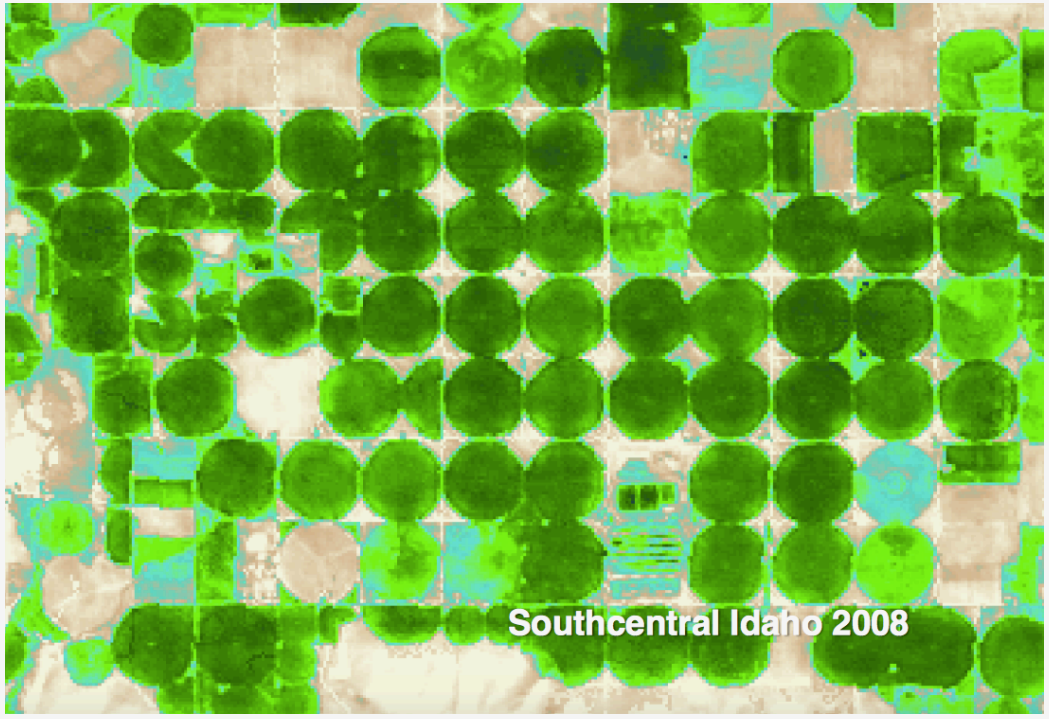
Bandas espectrales

- 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 parcela (30m de resolución), resolución mucho más alta que la ET basada en el MODOS (1 km)
- Landsat tiene una banda termal que es importante para algunos métodos de ET



* Crédito para la imagen: Richard Allen, University of

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 (Ecuación Penman-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

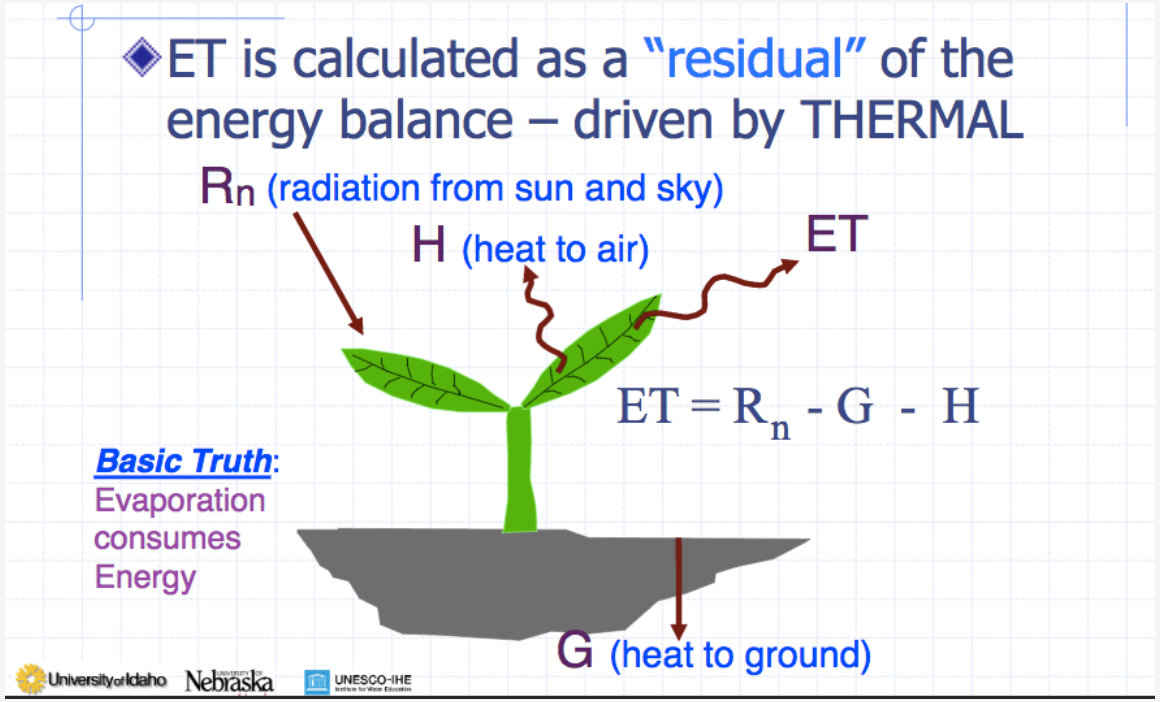
Insumos de la percepción remota

- 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

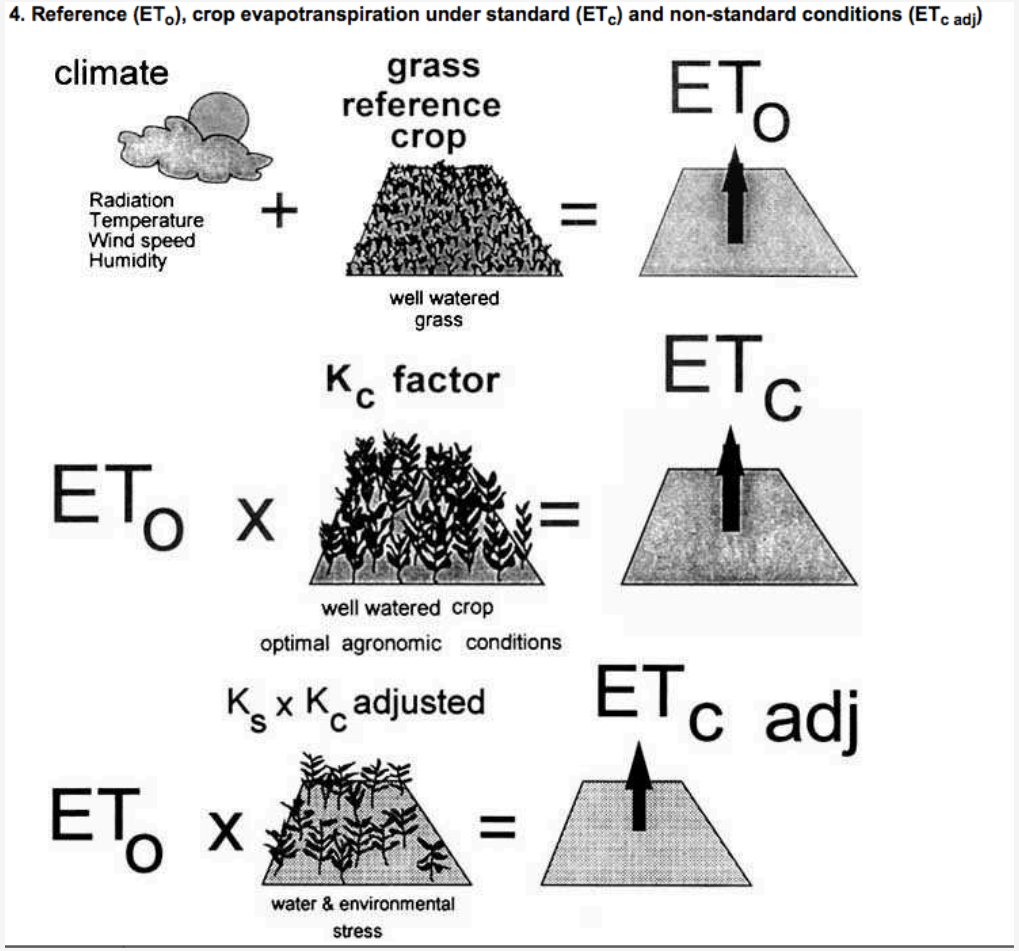
Estimación de la ET por el equilibrio enérgico en la superficie



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

* Crédito para la imagen: : Rick Allen, *Additional ET Observation Platforms: Towards an Integrated Observation Capability*

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



* Crédito para la imagen: http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e04.htm#determining%20evapotranspiration

- 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

Ecuación Penman-Monteith para ET_o

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

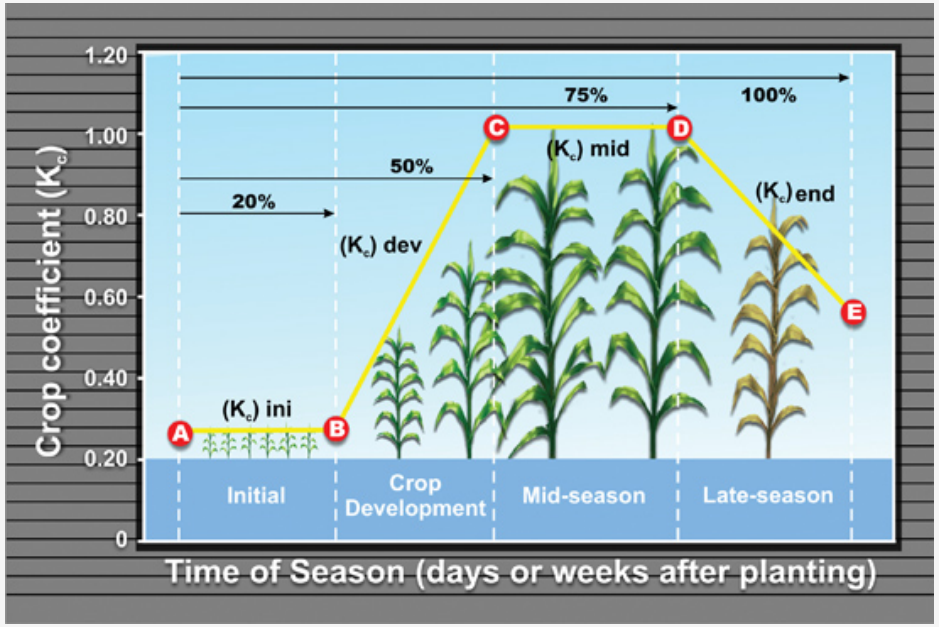
- R_n: radiación superficial neta
- G: flujo de calor del suelo
- $(e_s - e_a)$: déficit de presión de vapor
- r_a & r_s: Resistencia aerodinámica y superficial
- γ: constante psicométrico
- λ: constante de calor latente
- c_p: constante de calor específico

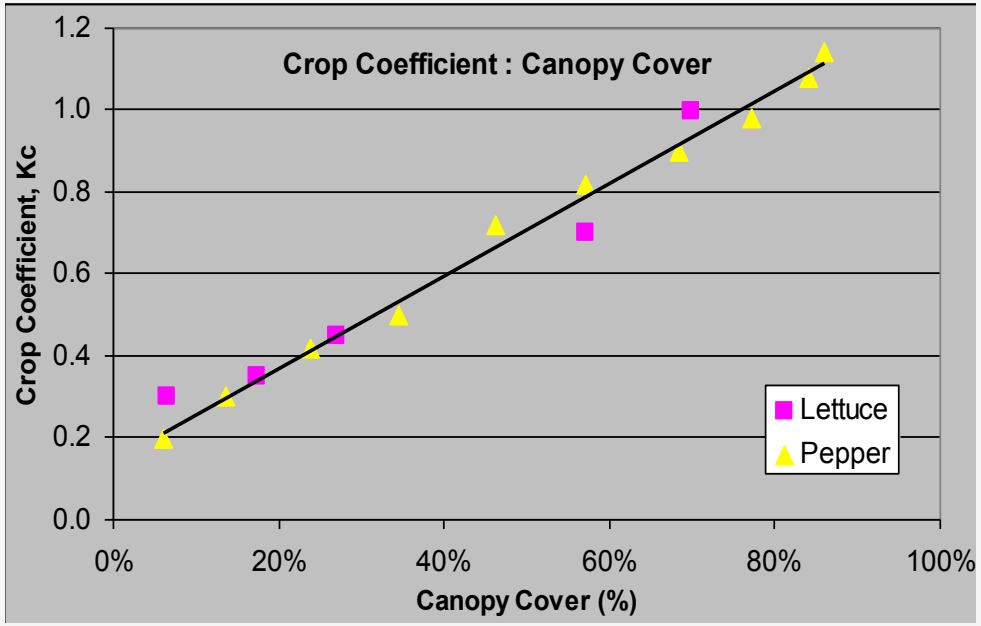
- Requiere información del clima y los cultivos
- r_a y r_s dependen de la altura de la vegetación y el índice de área del follaje (LAI)
- R_n depende de la radiación solar fraccional reflejada de vuelta por la superficie (albedo)
- LAI y albedo disponibles del MODIS

*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





* Crédito para la imagen: 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 globales de la ET disponibles al público

Fuente de ET	Método	Observaciones de la percepción remota
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
MOD16	• 1km (Global) • 8-días, mensual • 2000 – 2014 (se extenderá hasta el presente)	• Universidad de Montana	• http://ntsg.umt.edu/project/mod16
METRIC (Semana 4)	• 30m (Global) • 2011 – marzo de 2016	• Google Earth Engine Evapotranspiration Flux (EEFlux)	• http://eeflux-level1.appspot.com

Summary: Publicly Available Global ET Products

ET Sources	Spatial/Temporal Resolutions	Data Source	Availability
GLDAS (Week 5)	• 1/8th-1 degree (Global) • 3-hour, monthly • 1979 – May 2016 • 1979 – 2010	• NASA/NOAA • Mirador • Giovanni	• http://mirador.gsfc.nasa.gov • http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni
ALEXI (Week 5)	• 8km (will be available globally from MODIS) • Daily, 2-12 week composites	• NOAA	• http://www.ospo.noaa.gov/Products/land/getd/index.html

La próxima semana

Semana 2: Aplicaciones de datos de SMAP

Gracias