

Curso: "Alcances de la Teledetección Espacial"



1º Simposio Internacional de Geomática Aplicada y Soluciones Geoespaciales

Daniela S. Marchionni
INREMI (UNLP-CICBA)

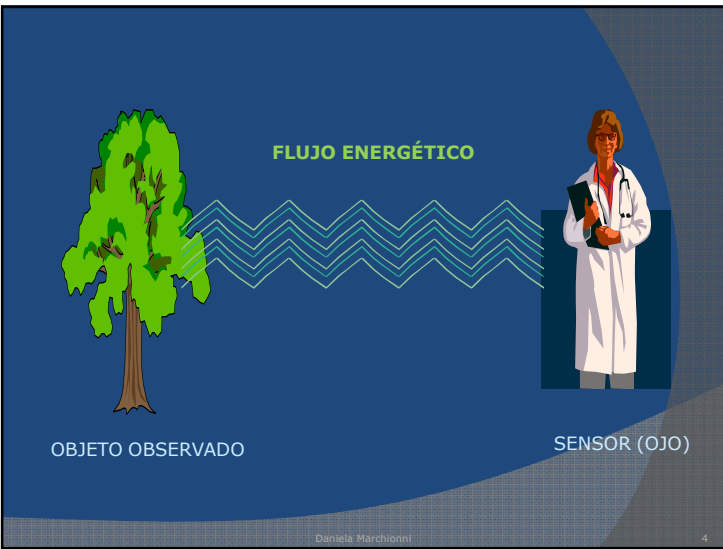
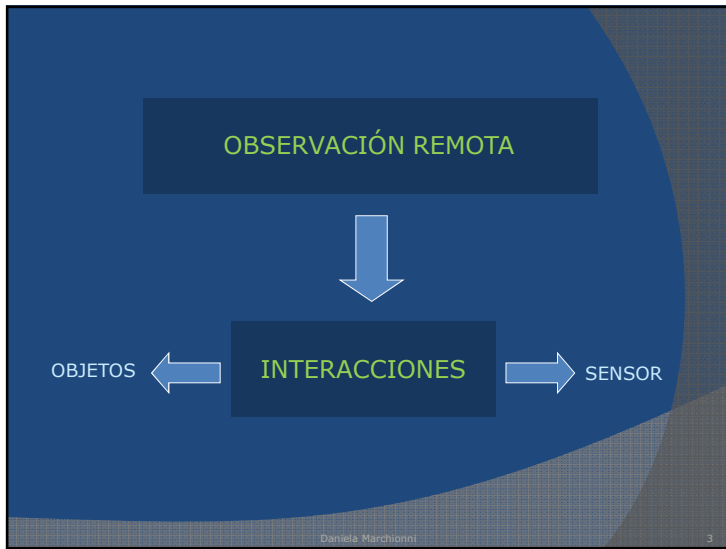


4 al 5 de abril de 2017

Daniela Marchionni 1

INTERACCIONES DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Daniela Marchionni 2



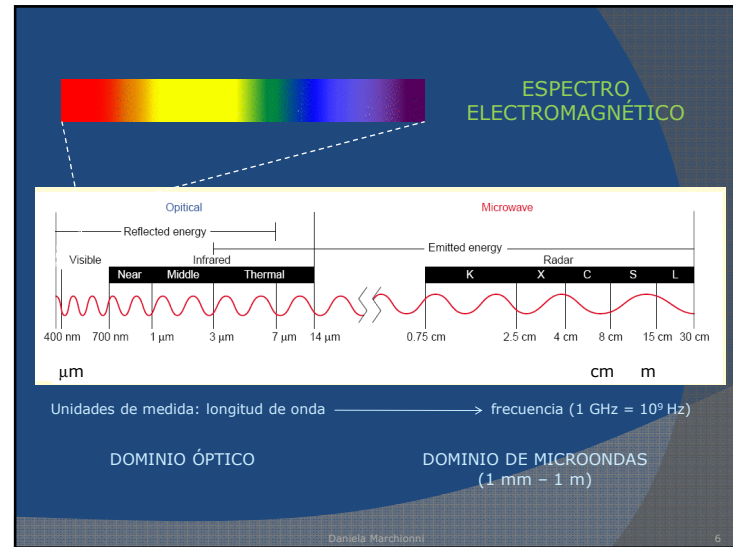
La ENERGÍA se transfiere de un lugar a otro por:

- Convección
- Conducción
- Radiación

El flujo energético entre la superficie terrestre y el sensor remoto constituye una forma de

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Daniela Marchionni



CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

TEORÍA ONDULATORIA (Huygens – Maxwell)

la radiación electromagnética es concebida como un haz ondulatorio

TEORÍA CUÁNTICA (Planck – Einstein)

es una sucesión de unidades discretas de energía (fotones o cuantos) con masa igual a cero

Daniela Marchionni

I. TEORÍA ONDULATORIA

La energía electromagnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz y conteniendo dos campos de fuerzas ortogonales entre sí: el campo eléctrico y el campo magnético.

ATRIBUTOS de la ONDA ELECTROMAGNÉTICA:
Longitud de Onda - Frecuencia

Daniela Marchionni

Longitud de onda y frecuencia están inversamente relacionados

$c = \lambda \times \nu$

Daniela Marchionni 9

II. TEORÍA CUÁNTICA

La cantidad de energía transportada por un fotón depende de su frecuencia

$Q = h \nu$ ó $Q = h c / \lambda$

Q : energía radiante de un fotón (Julios)
 ν : frecuencia
 h : constante de Planck ($6,6 \times 10^{-34}$ J s)

A mayor longitud de onda (o menor frecuencia) la cantidad de energía transportada por un fotón es menor y viceversa.

Daniela Marchionni 10

ENERGÍA ASOCIADA

La radiación en longitudes de onda largas (ej. radar) es más difícil de detectar que aquella proveniente de longitudes de onda más cortas.

Daniela Marchionni 11

RELACIÓN ENTRE AMBAS TEORÍAS

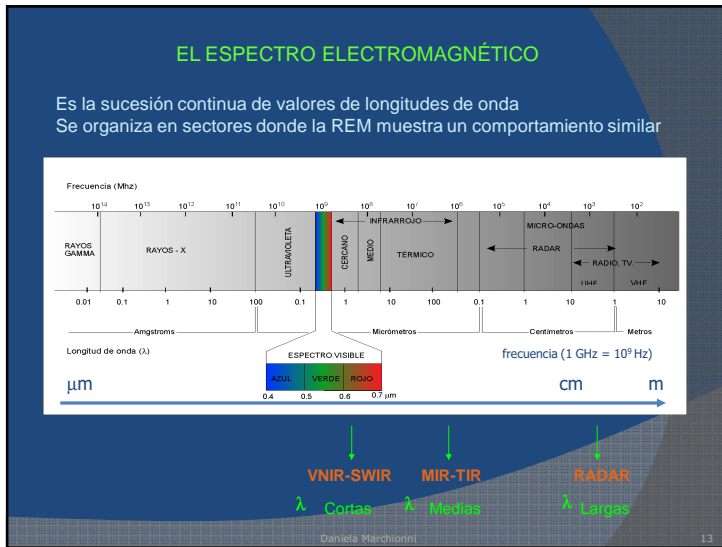
Actualmente se considera que la naturaleza de la luz es dual (De Broglie) y que el movimiento de toda partícula lleva asociada una onda, de longitud λ y energía Q .

Teoría Ondulatoria $c = \lambda \times \nu$
 $\nu = c / \lambda$

Teoría Cuántica $Q = h \times \nu$

$Q = \frac{h \times c}{\lambda}$

Daniela Marchionni 12



Dominios del Espectro utilizados en Teledetección

Espectro Visible (0.4-0.7 μm)
Es la única radiación electromagnética percibida por el ojo humano y coincide con las longitudes de onda donde la radiación solar es máxima. Azul (0.4-0.5 μm), Verde (0.5-0.6 μm), Rojo (0.6-0.7 μm).

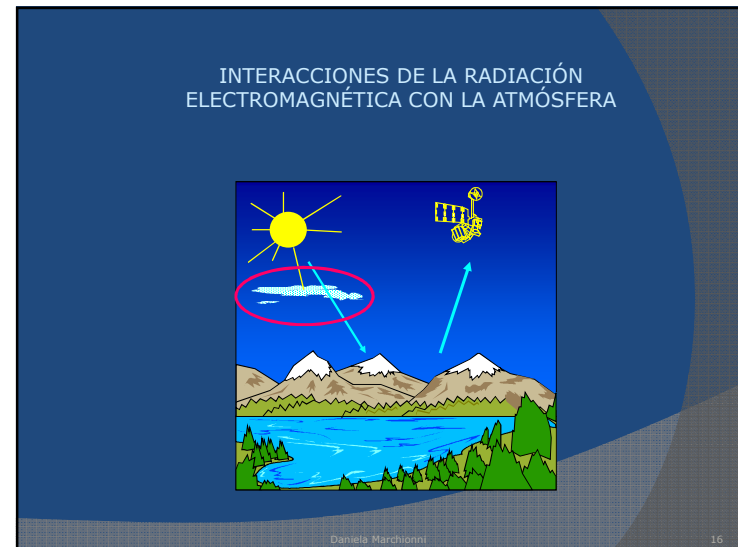
Infrarrojo cercano, próximo o reflejado (0.7-1.3 μm)
Es donde se producen fenómenos de reflexión que permiten diferenciar coberturas vegetales y contenidos de humedad. Se lo identifica con la sigla IRC o NIR.

Infrarrojo medio (1.3-8.0 μm)
En él se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. El intervalo entre 1.3-2.5 μm es denominado Infrarrojo de Onda Corta (SWIR) y es utilizado para estimar contenidos de humedad en vegetación y suelos. En torno a 3.7 μm (IRM) se suelen detectar los focos de alta temperatura producidos por incendios o volcanes activos.

Infrarrojo lejano o térmico (8.0-14 μm)
Incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de la superficie terrestre. Se lo identifica con la sigla TIR o IRT.

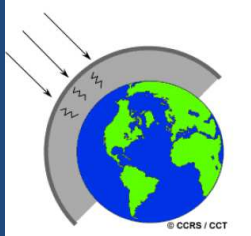
Microondas (a partir de 1 mm)
Tiene la propiedad de ser transparente a la cubierta nubosa pero *lleva asociada muy poca energía*. Requiere de la emisión de un haz energético por parte del sensor

Daniela Marchionni 14



Composición de la ATMÓSFERA

- Gases: N₂ (78%), O₂ (21%), Ar (0.9%), CO₂ (0.03%), trazas de gases nobles y ozono (O₃), etc.
- Vapor de agua
- Aerosoles: Partículas sólidas o líquidas dispersas en un medio gaseoso (humo, polvo desértico, gotitas de agua, etc.)




Del total de la energía solar incidente, calculada en 340 W m⁻², sólo 173 W m⁻² llegan a la superficie de la tierra.

Este factor de reducción debe ser tenido en cuenta cuando se interpreta la respuesta de los objetos de la superficie terrestre, en las imágenes.

Daniela Marchionni 17

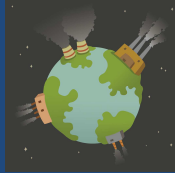
FENÓMENOS




Absorción

Dispersión

Emisión



CAUSAS



Gases

Vapor de agua

Aerosoles

Daniela Marchionni 18

Efectos de la ATMÓSFERA

Absorción	de la energía en determinadas bandas del espectro, causada por la presencia de gases y aerosoles
Dispersión	de determinados flujos en función de su longitud de onda causada principalmente por los aerosoles y las nubes <ul style="list-style-type: none"> - Rayleigh - Mie - No selectiva.
Emisión	de energía, como todo cuerpo caliente cuya temperatura se encuentra por encima del cero absoluto (en el térmico)

Daniela Marchionni 19

I. ABSORCIÓN ATMOSFÉRICA

El efecto de la absorción se manifiesta básicamente como una disminución en la señal recibida como resultado de la presencia de distintos gases, entre los cuales los principales responsables de esa absorción son el **vapor de agua** y el **ozono**.

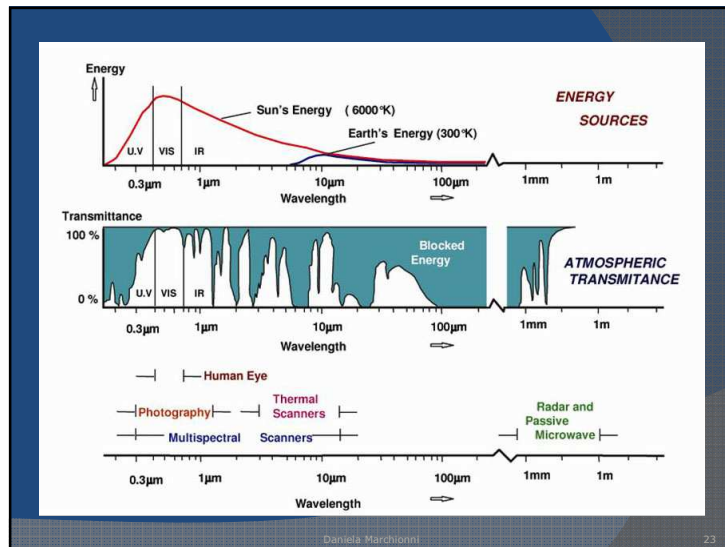
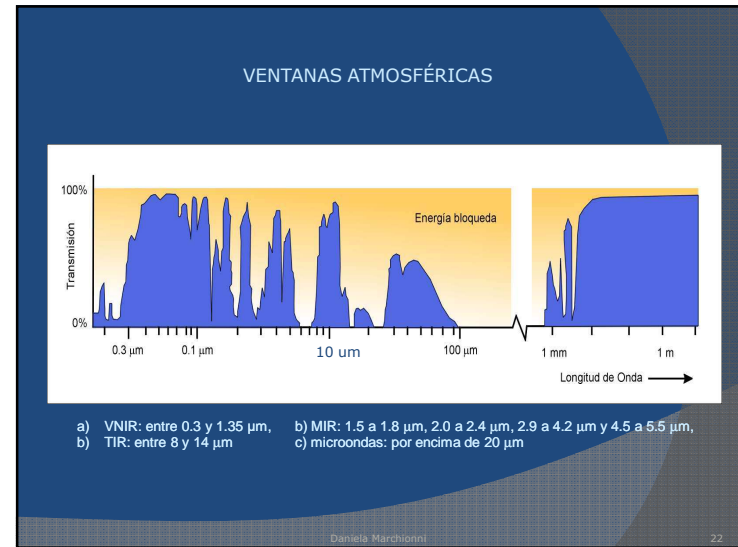
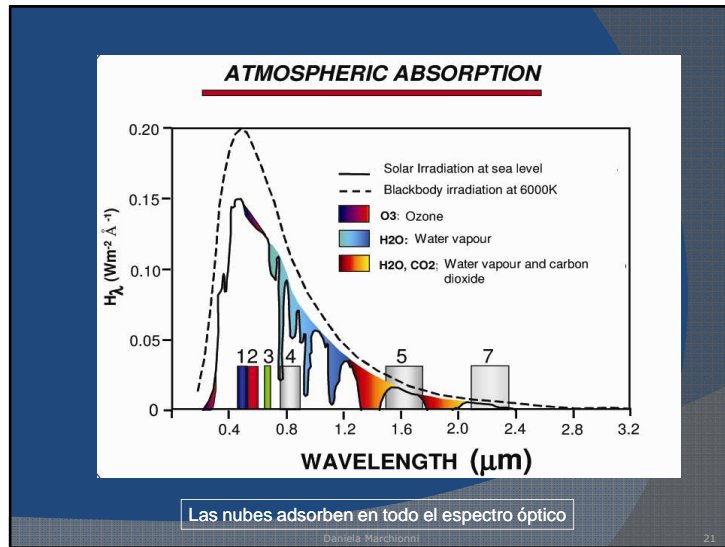
Las concentraciones de H₂O y O₃ dependen de condiciones geográficas y temporales, mientras que los contenidos de los otros gases son bastante uniformes.

Producto de la absorción selectiva, el haz emergente presentará ciertos mínimos en las longitudes de onda absorbidas, denominados "**bandas de absorción**".

La distribución de las bandas de absorción de los gases atmosféricos determina que la atmósfera se comporte como un **filtro selectivo** para las distintas longitudes de onda.

La observación espacial se ve limitada a determinados intervalos del espectro, conocidos como "**ventanas atmosféricas**" en donde la transmisividad de la atmósfera es suficientemente alta y donde la absorción es menos intensa o nula.


Daniela Marchionni 20




II. DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA O "SCATTERING"

Es un redireccionamiento o desvío del camino de propagación de la energía.


Este efecto es producto de la interacción de la radiación con el vapor de agua y los aerosoles (partículas en suspensión en la atmósfera) y es función de su longitud de onda en relación con el tamaño de las partículas



a) tipo Rayleigh:

λ 

b) Tipo Mie

λ 

© CCRS / CCT

Causas: Incendios forestales, niebla, nubes, brumas costeras, erupciones volcánicas. Provoca una disminución general en el contraste de las imágenes.

Daniela Marchionni 24

Dispersión tipo Rayleigh:

afecta a longitudes de onda más cortas, menores que el tamaño de las partículas, como la banda azul, dando a las imágenes de color real una apariencia azul brumosa. Es la causante del color azul del cielo, del color rojizo de las puestas de sol y del efecto de neblina azulada cuando se observan objetos a grandes distancias.



λ 

Daniela Marchionni 25

Dispersión tipo Mie:

afecta a longitudes de onda de tamaño similar al tamaño de las partículas. Está presente en incendios forestales y en brumas costeras.



λ 

Daniela Marchionni 26

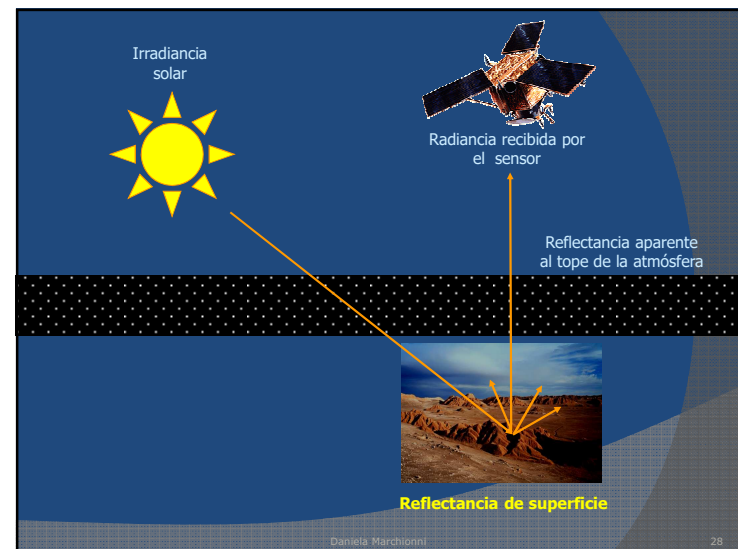
Dispersión no selectiva:

producida por las partículas de mayor tamaño, afecta por igual a diversas longitudes de onda, produciendo una atenuación de la señal detectada por el sensor. Es la responsable del color blanco de las nubes y nieblas.



λ 

Daniela Marchionni 27




ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES

- INTERPRETACIÓN VISUAL
- ANÁLISIS CUALITATIVO
- ANÁLISIS CUANTITATIVO

Necesidad de correcciones:



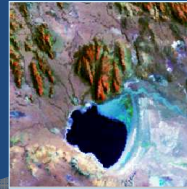
- calibración radiométrica
- corrección atmosférica
- efecto topográfico (DEM)



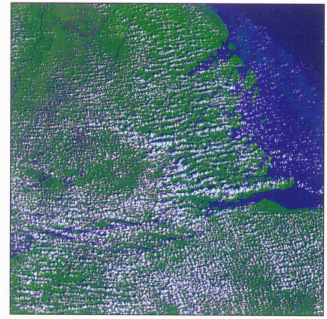
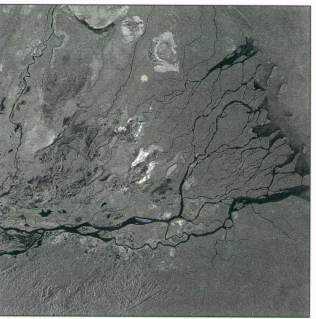
Daniela Marchionni 29

CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA Y CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA

Niveles Digitales (DC) → Radiancia Aparente (L^*) → Reflectancia Aparente (Rt^*) → Reflectancia de Superficie (Rt)

Daniela Marchionni 30

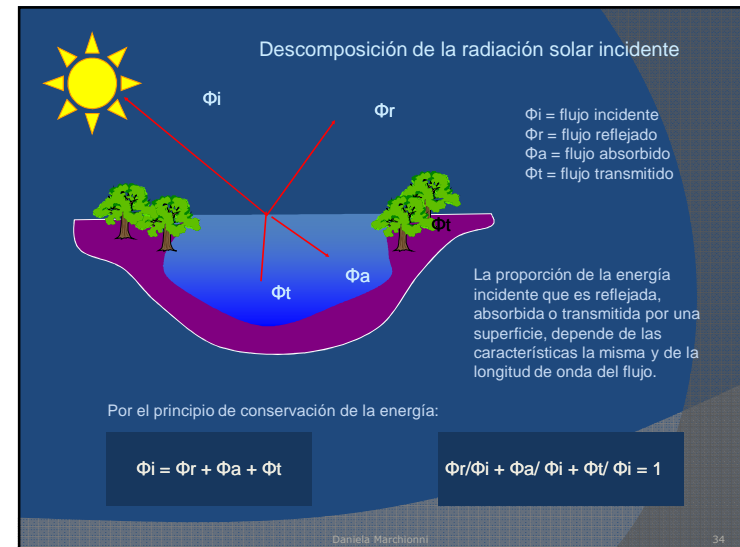
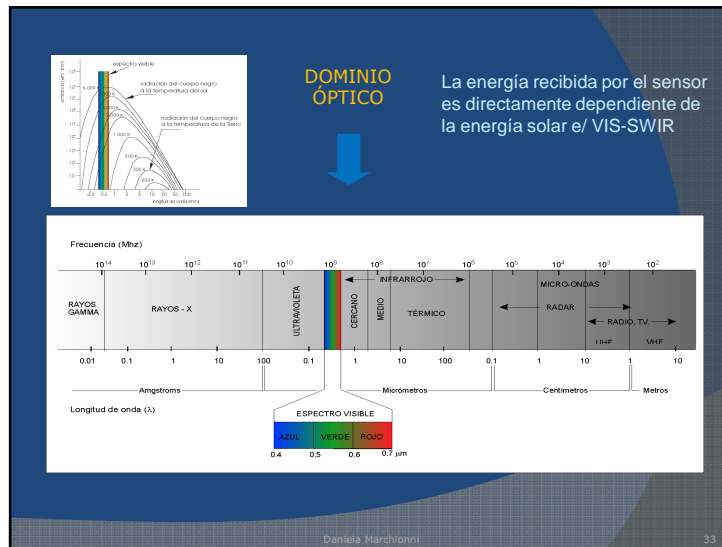



Daniela Marchionni 31

INTERACCIONES DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CON LAS SUPERFICIES



Daniela Marchionni 32



Magnitudes Radiométricas

Para calificar el comportamiento que tienen las distintas superficies frente a la radiación electromagnética, se utilizan las siguientes magnitudes adimensionales:

Reflectancia (ρ): relación entre el flujo reflejado y el incidente (ALBEDO)
 $\rho = \Phi_r / \Phi_i$

Absorbancia (α): relación entre el flujo absorbido y el incidente
 $\alpha = \Phi_a / \Phi_i$

Transmitancia (τ): relación entre el flujo transmitido y el incidente
 $\tau = \Phi_t / \Phi_i$

Como $\Phi_r/\Phi_i = \rho$, $\Phi_a/\Phi_i = \alpha$, $\Phi_t/\Phi_i = \tau$ $\rho + \alpha + \tau = 1$

Daniela Marchionni 35

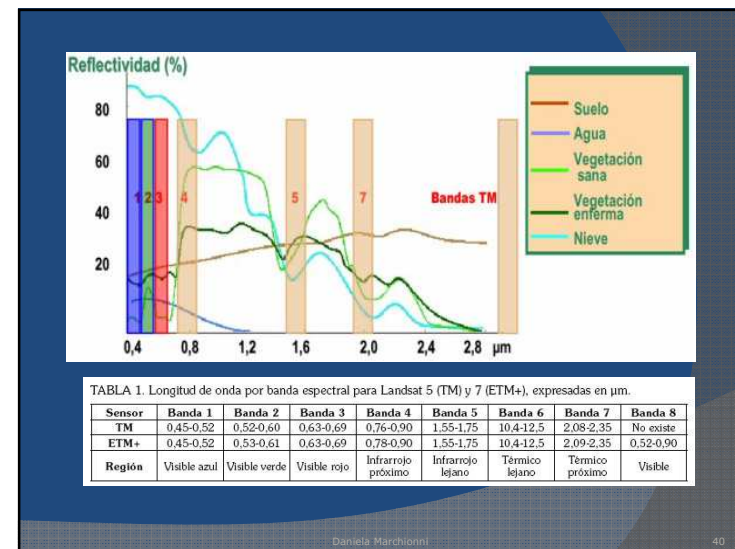
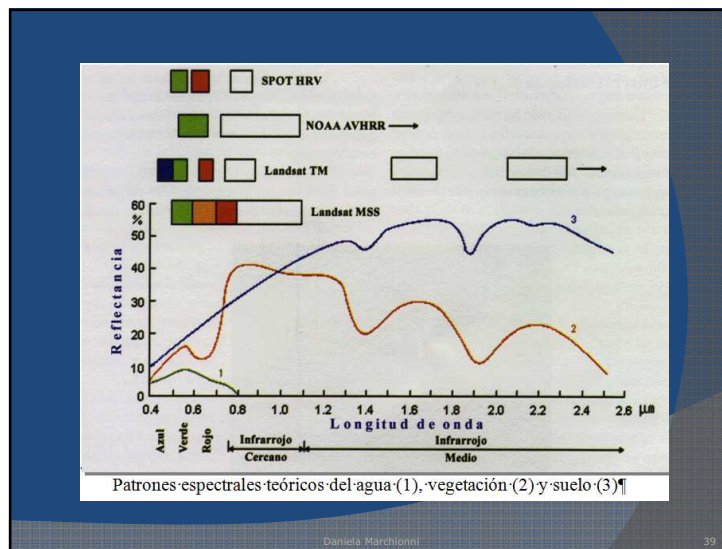
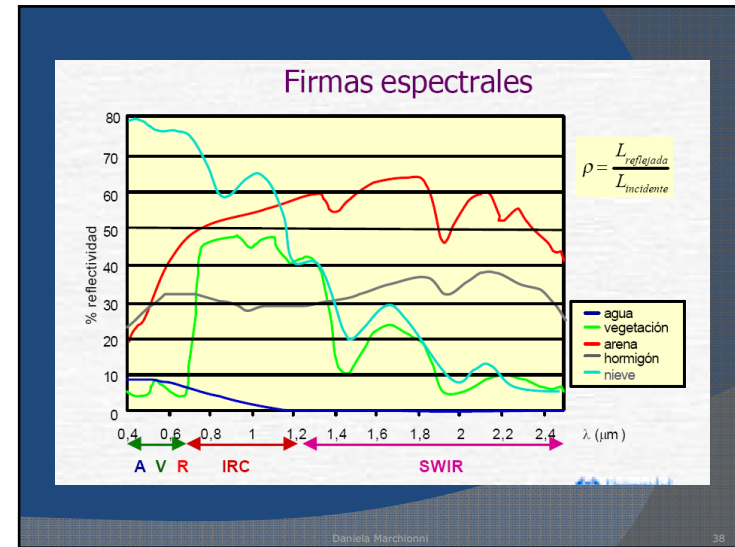
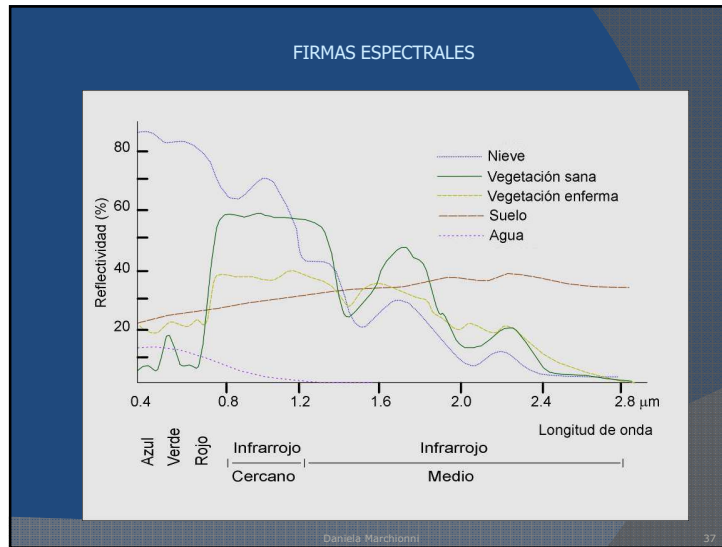
La proporción de la energía incidente que es reflejada, absorbida o transmitida por una superficie, depende de:

- las características la superficie
- la longitud de onda del flujo.

El comportamiento reflectivo de una superficie a las distintas longitudes de onda queda expresado en su *signatura o firma espectral*.

En torno al comportamiento tipo de una superficie, cada cubierta puede presentar una cierta variabilidad que depende de varios factores

Daniela Marchionni 36

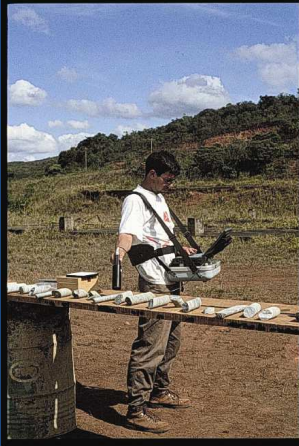


FIRMAS ESPECTRALES - FUENTES

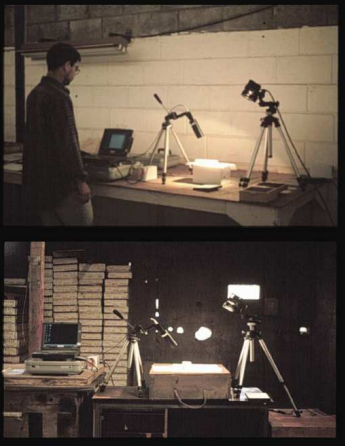
- Bibliotecas espectrales
- Radiometría de campo y de laboratorio
- Modelos físicos de simulación de reflectividad
- Curvas espectrales obtenidas de las imágenes

Daniela Marchionni 41

RADIOMETRÍA DE CAMPO




RADIOMETRÍA DE LABORATORIO





Daniela Marchionni 42

FIELDSPEC FR Field Portable Spectrometer



- 1512 channels (spectral bands) between 350-2500nm
- 10 measurements per second
- IFOV 25° but adaptable down to 1°
- allows simulation of any remote sensing system based on reflection of sun light

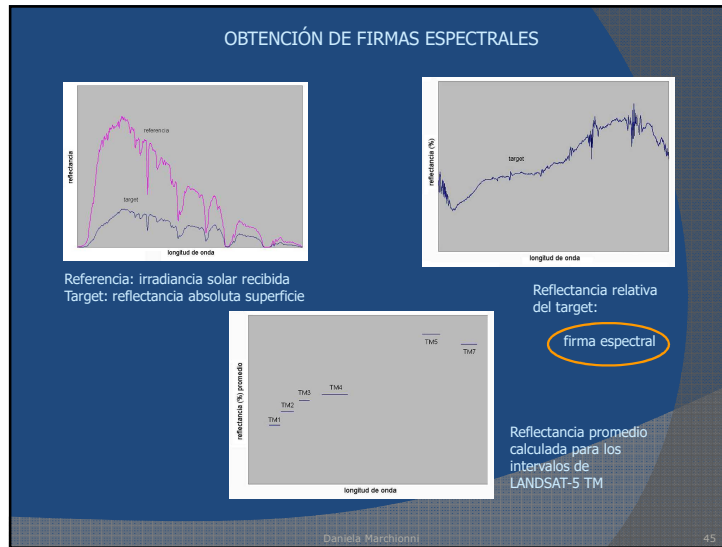
Daniela Marchionni 43







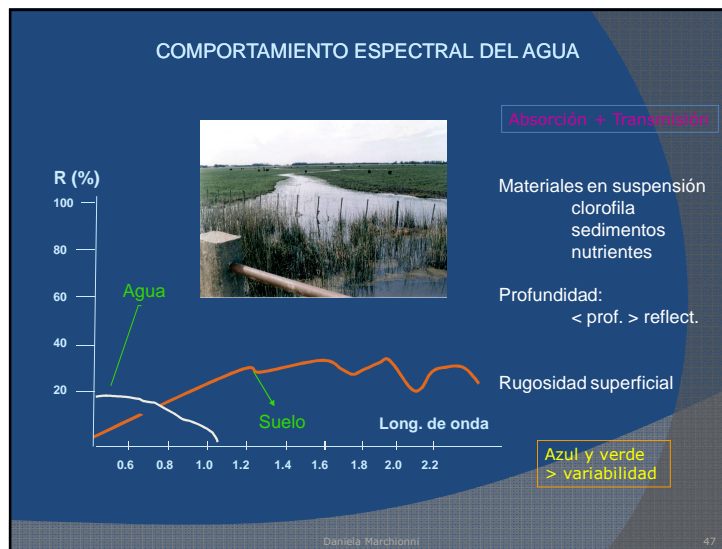

Daniela Marchionni 44




La energía detectada por el sensor óptico es una función de la energía reflejada por la superficie

- Elementos que absorben: minerales, pigmentos, agua, etc.
- Rugosidad superficial: reflectividad lambertiana o especular
- Ángulos de observación e iluminación
- Condiciones ambientales


Daniela Marchionni 46



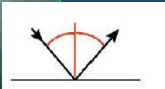
Rugosidad > longitud de onda



Reflexión Lambertiana



Rugosidad de superficie



Reflexión Especular

Rugosidad < longitud de onda

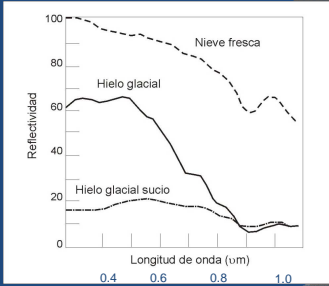
Daniela Marchionni 49

COMPORTAMIENTO ESPECTRAL DE LA NIEVE

- Tamaño de los cristales
- Grado de compactación
- Grado de pureza
- Profundidad
- Densidad

VIS: mayor reflectividad que nubes

NIR: mayor absorción que nubes



NIEVE FRESCA > NIEVE VIEJA > HIELO > NIEVE SUCIA

Daniela Marchionni 50

COMPORTAMIENTO ESPECTRAL DEL SUELO

Composición química y mineralógica

- calcáreos
- óxidos de hierro

Materia orgánica (0.7-0.75 μm).


Contenido de humedad (VNIR)

Rugosidad superficial (suelos + finos > reflectividad)

Textura y estructura del suelo

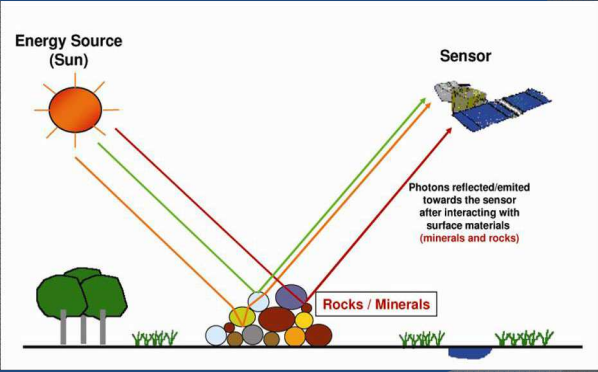
- arcilloso (> h^2 + fina estructura + fuerte)
- arenoso (< h^2 + grueso estructura + débil)

COLOR



Daniela Marchionni 51

INTERACCIONES – COBERTURAS GEOLÓGICAS



Daniela Marchionni 52

ANÁLISIS ESPECTRAL – Rocas y minerales

FIRMA ESPECTRAL

Reflectancia de Superficie: Rt



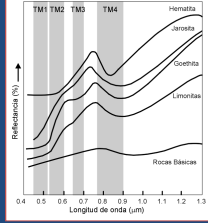
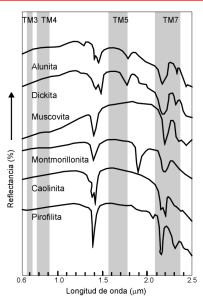
FACTORES:
Composición química
Composición mineralógica
Arreglos espaciales (textura)

VARIACIONES LOCALES:
Grado de meteorización
Desarrollo de suelo
Presencia de vegetación
Contenido de humedad
Pátinas superficiales
Incrustaciones de líquenes

VARIACIONES AMBIENTALES:
Condiciones de iluminación solar
Variaciones en el relieve
Condiciones atmosféricas

Daniela Marchionni 53

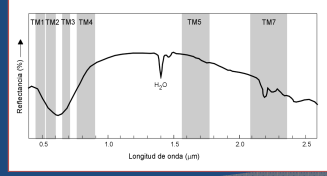
COMPISICIÓN QUÍMICA-MINERALÓGICA

Minerales Portadores de OH- (arcillas, micas y sulfatos hidratados)

Óxidos, hidróxidos y sulfatos de hierro (Fe⁺³)

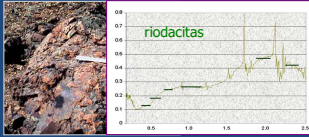
Grupo de la Silíce (cuarzo-calcetonia-ópalo)



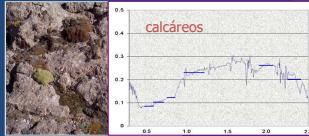
Daniela Marchionni 54

ANÁLISIS ESPECTRAL DE UNIDADES LITOLÓGICAS

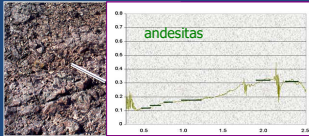
Rocas de distinta composición



riolacitas



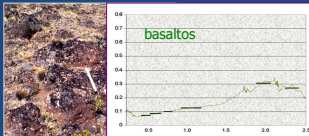
calcáreos



andesitas



ignimbritas



basaltos

Daniela Marchionni 55

ANÁLISIS ESPECTRAL DE UNIDADES LITOLÓGICAS

Distinto grado de fragmentación



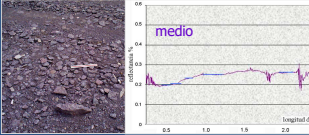
afloramiento



bajo



derrubio

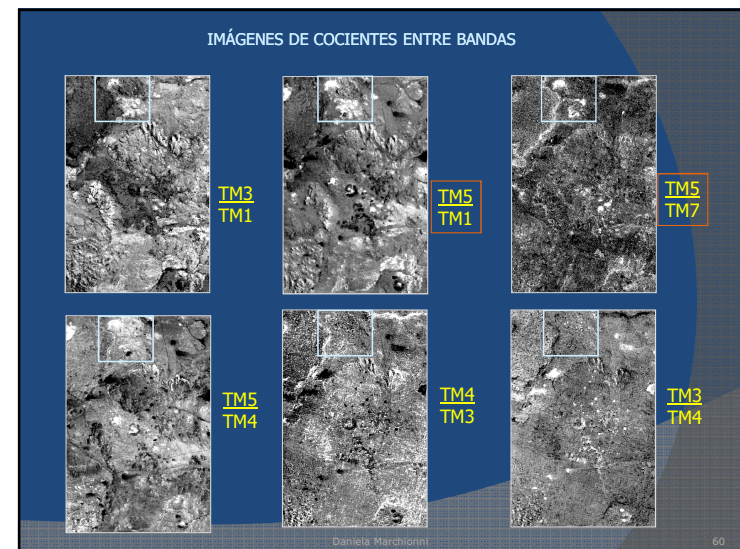
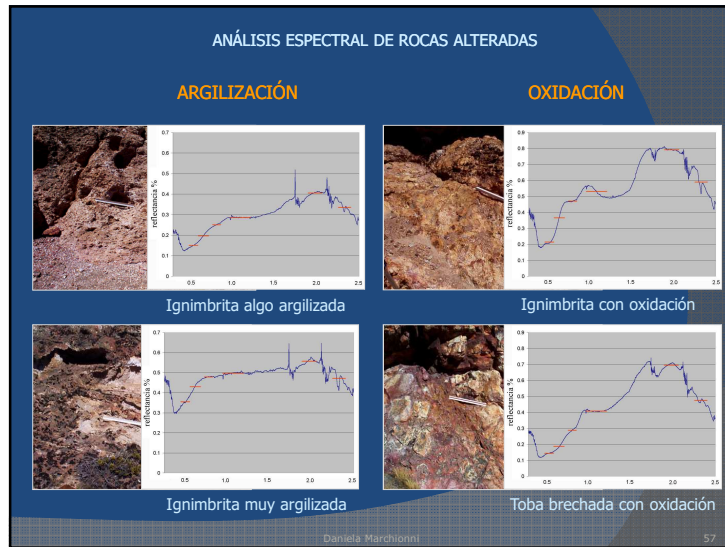


medio



alto

Daniela Marchionni 56



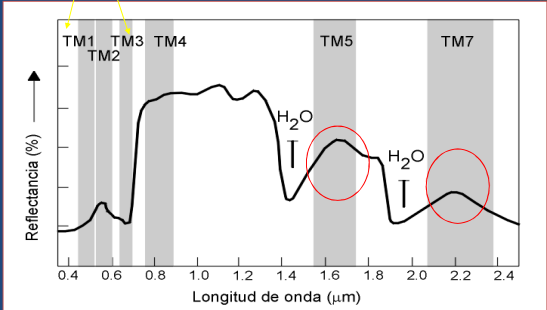
COMPORTAMIENTO ESPECTRAL DE LA VEGETACION

- Características de la hoja:
 - presencia de pigmentos, estructura celular y contenido de humedad
- Características morfológicas de la planta:
 - área foliar, forma y distribución de las hojas, geometría (altura, perfil)
- Situación geográfica de la planta:
 - pendiente, orientación, geometría de la plantación, sustrato, etc.



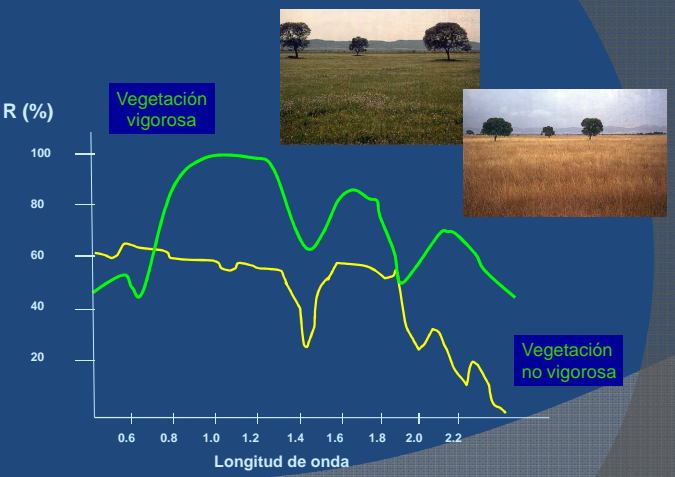

Daniela Marchionni 61

Pigmentos
Estructura celular
Contenido en agua



Pigmentos:
 0.445 µm Absorción de los pigmentos (clorofila, xantofila, carotenos)
 0.645 µm Absorción de la clorofila / 0.55 µm Menor absorción pigmentos
 Picos relativos de reflectividad: 1.6 y 2.2 µm

Daniela Marchionni 62



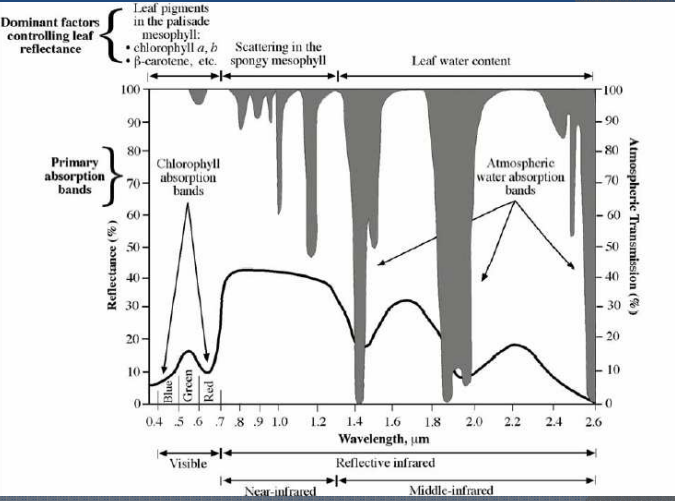
Daniela Marchionni 63

Dominant factors controlling leaf reflectance

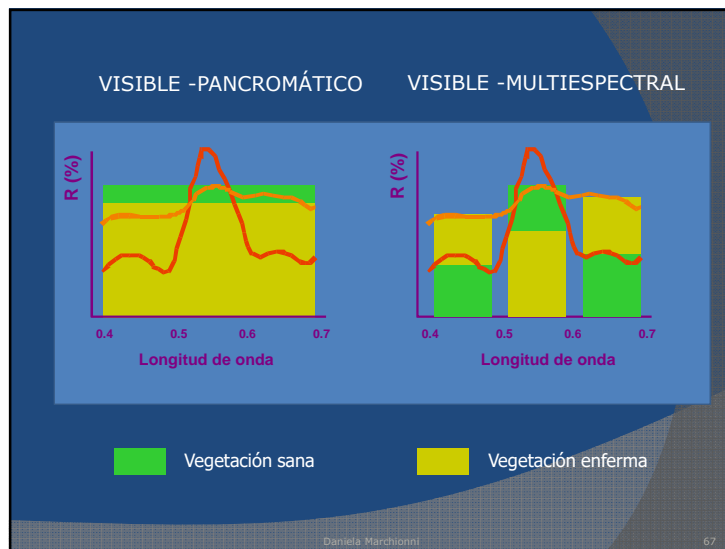
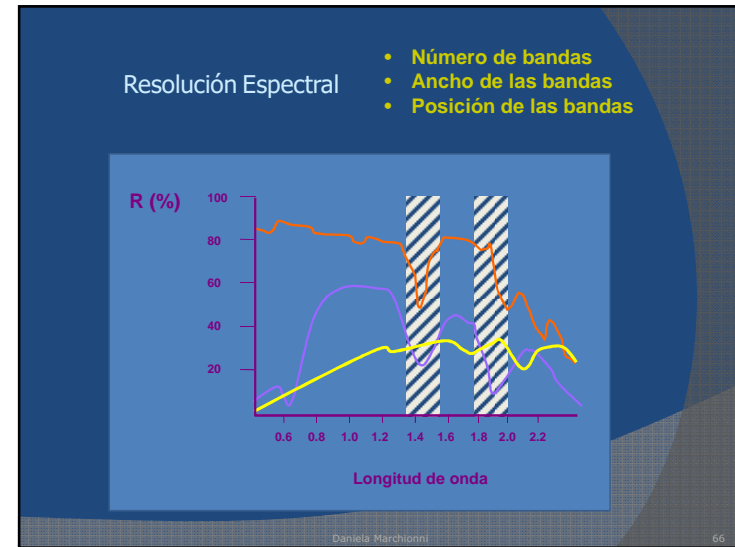
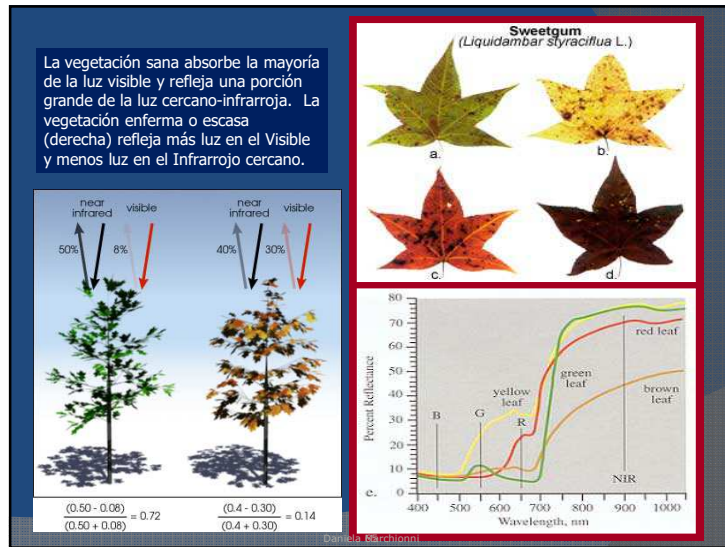
- Leaf pigments in the palisade mesophyll:
 - chlorophyll *a, b*
 - β -carotene, etc.
- Scattering in the spongy mesophyll

Primary absorption bands

- Chlorophyll absorption bands
- Atmospheric water absorption bands



Daniela Marchionni 64



Estimación del estado fenológico de los cultivos a través de índices de follaje e índices de vegetación

- ▶ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).
- ▶ RVI (Ratio Vegetation Index).
- ▶ NRVI (Normalized Ratio Vegetation Index).
- ▶ TVI (Transformed Vegetation Index).
- ▶ CTVI (Corrected Transformed Vegetation Index).
- ▶ TTVI (Thiam's Transformed Vegetation Index).
- ▶ PVI (Perpendicular Vegetation Index).
- ▶ DVI (Difference Vegetation Index).
- ▶ AVI (Ashburn Vegetation Index).
- ▶ SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index).
- ▶ TSAVI (Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index 1).
- ▶ MSAVI (Modified Soil-Adjusted Vegetation Index 2).
- ▶ WdVI (Weighted Difference Vegetation Index).

Daniela Marchionni 69

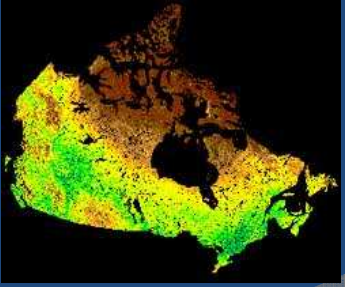
Existen multitud de índices para estimar la vegetación:

RVI	Ratio vegetation index	$RVI = \frac{R_{NIR}}{R_R}$	MSAVI2	Modified Second Soil-adjusted vegetation index	$MSAVI2 = \frac{1}{2}(R_{NIR} + 1) - \sqrt{\frac{1}{4}(R_{NIR} + 1)^2 - B(R_{NIR} - R_R)}$
NDVI	Normalised difference vegetation index	$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_R}{R_{NIR} + R_R} = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}$	ATSAVI	Adjusted transformed soil-adjusted vegetation index	$ATSAVI = \frac{a(R_{NIR} - aR_R - b)}{aR_{NIR} + R_R - ab + X(1 + a_2)}$
WDVI	Weighted difference vegetation index	$WDVI = R_{NIR} - aR_R$	EVI	Environmental vegetation index	$EVI = \frac{2.5(R_{NIR} - R_R)}{1 + R_{NIR} + 6R_R - 7.5R_B}$
SAVI	Soil-adjusted vegetation index	$SAVI = \frac{R_{NIR} - R_R}{R_{NIR} - R_R + L}(1 + L)$	NDVI _{green}	Green normalised difference vegetation index	$NDVI_{green} = \frac{R_{NIR} - R_{550}}{R_{NIR} + R_{550}}$
SAVI2	Second Soil-adjusted vegetation index	$SAVI2 = \frac{R_{NIR}}{R_R + b/a}$	$\frac{R_{750}}{R_{550}}$	$\frac{R_{750}}{R_{550}}$	$\frac{R_{750}}{R_{550}}$

Daniela Marchionni 70

Índices de Vegetación

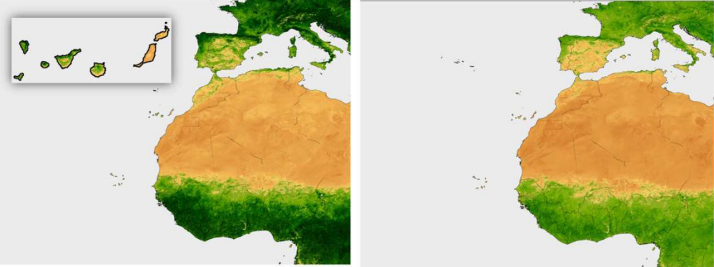
+ Vegetación ↑



- Vegetación ↓

Daniela Marchionni 71

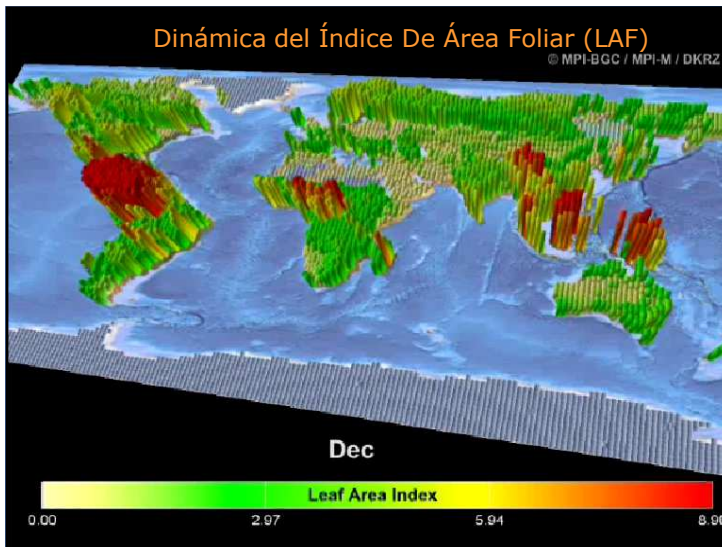
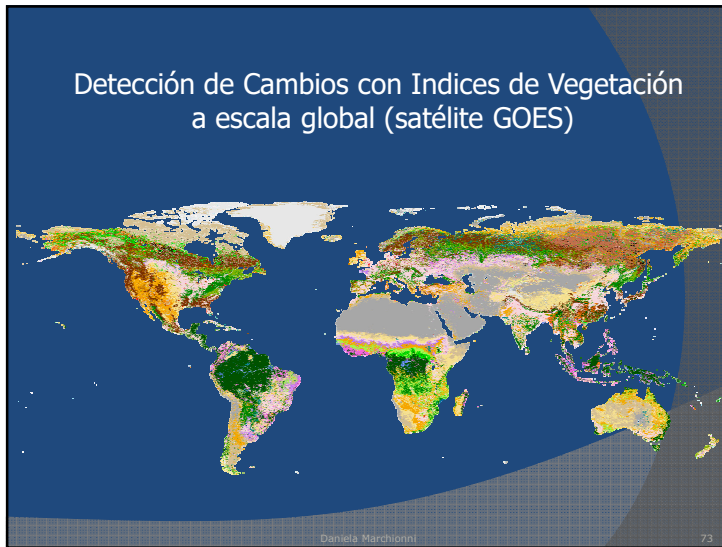
Ejemplo de índices más usados: NDVI y EVI (sensor MODIS/Aqua).



ÍNDICE DE VEGETACIÓN NORMALIZADO (NDVI)

ÍNDICE DE VEGETACIÓN MEJORADO (EVI)

Daniela Marchionni 72



ESTRUCTURA DE LA IMAGEN

Columnas

Líneas

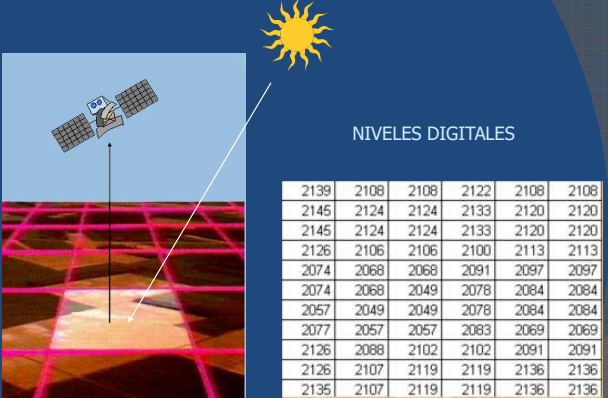


Pixel
 12 Nivel Digital

DIMENSIONES DE LA IMAGEN

x: nº columna
 y: nº línea
 z: nivel digital

Daniela Marchionni 77



NIVELES DIGITALES


2139	2108	2108	2122	2108	2108
2145	2124	2124	2133	2120	2120
2145	2124	2124	2133	2120	2120
2126	2106	2106	2100	2113	2113
2074	2068	2068	2091	2097	2097
2074	2068	2049	2078	2084	2084
2057	2049	2049	2078	2084	2084
2077	2057	2057	2083	2069	2069
2126	2088	2102	2102	2091	2091
2126	2107	2119	2119	2136	2136
2135	2107	2119	2119	2136	2136

Daniela Marchionni 78

VISUALIZACIÓN DE LA IMAGEN

Niveles Digitales

0.....127.....255



Tonos de Gris

El **TONO** (nivel de gris o color) se refiere al brillo relativo de los objetos observados y depende de la intensidad de la energía recibida por el sensor (los tonos claros indican una respuesta más intensa que los tonos oscuros).

Daniela Marchionni 79

Visualización en niveles de gris



Banda 1 azul
 Banda 2 verde
 Banda 3 rojo
 Banda 4 IR c
 Banda 5 IR m
 Banda 6 IR tº
 Banda 7 IR m

RGB: 432

Daniela Marchionni 80

Colores aditivos y sustractivos

Teoría aditiva (RGB) Teoría sustractiva (YMC)

Daniela Marchionni 81

Formación de los colores en un monitor

Cañones

R 127
G 17
B 32

Daniela Marchionni 82

Ve Azul
R Verde
IRC Rojo

Síntesis coloreada

Falso Color Compuesto

Daniela Marchionni 83

CREACIÓN DE COMPOSICIONES COLOR

AMARILLO
ROJO VERDE
MAGENTA CYAN
AZUL

Daniela Marchionni 84

R

G

B

Daniela Marchionni 85

RGB: 3 2 1

AMARILLO

ROJO

VERDE

MAGENTA

AZUL

CYAN

RGB: 4 3 2

Daniela Marchionni 86

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Daniela Marchionni 87

FIRMAS ESPECTRALES CUBIERTAS

Reflexividad (%)

Longitud de onda (micrometros)

Nieve

Vegetación sana

Vegetación enferma

Suelo

Agua

COBERTURA ESPECTRAL SENSORES

Panchromático

Multiespectral

Hiperespectral

Ultraespectral

COMBINACIONES DE BANDAS

AMARILLO

ROJO

VERDE

MAGENTA

AZUL

CYAN

Daniela Marchionni 88