

Sensores Remotos Multi e Hiperespectrales de la Tecnología Agro 4.0: *Fundamentos Ópticos y Fotónicos*

Taller Teórico Práctico – 9-10 de octubre de 2024

CLAUDIA MILENA SERPA IMBETT, PhD
Posdoctorado MINCIENCIAS
AGROSAVIA C.I Turipaná



CONTENIDO



1. Espectro electromagnético



2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*



3. Propiedades espectrales de la vegetación



4. Técnicas de espectroscopía en agricultura



5. Óptica de las cámaras multiespectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2



6. Cámaras térmicas

Sensores Remotos Multi e Hiperespectrales de la Tecnología Agro 4.0: *Fundamentos Ópticos y Fotónicos*

ÓPTICA y FOTÓNICA en tecnología multi e hiperespectral en el Agro



Sensores ópticos para monitoreo de cultivos



Imágenes satelitales y drones.



Fotónica en invernaderos (sistemas de iluminación LED).



Detección de calidad de productos agrícolas (espectroscopía IR o fluorescencia).



Sistemas de riego inteligente (controlados por radiación solar).



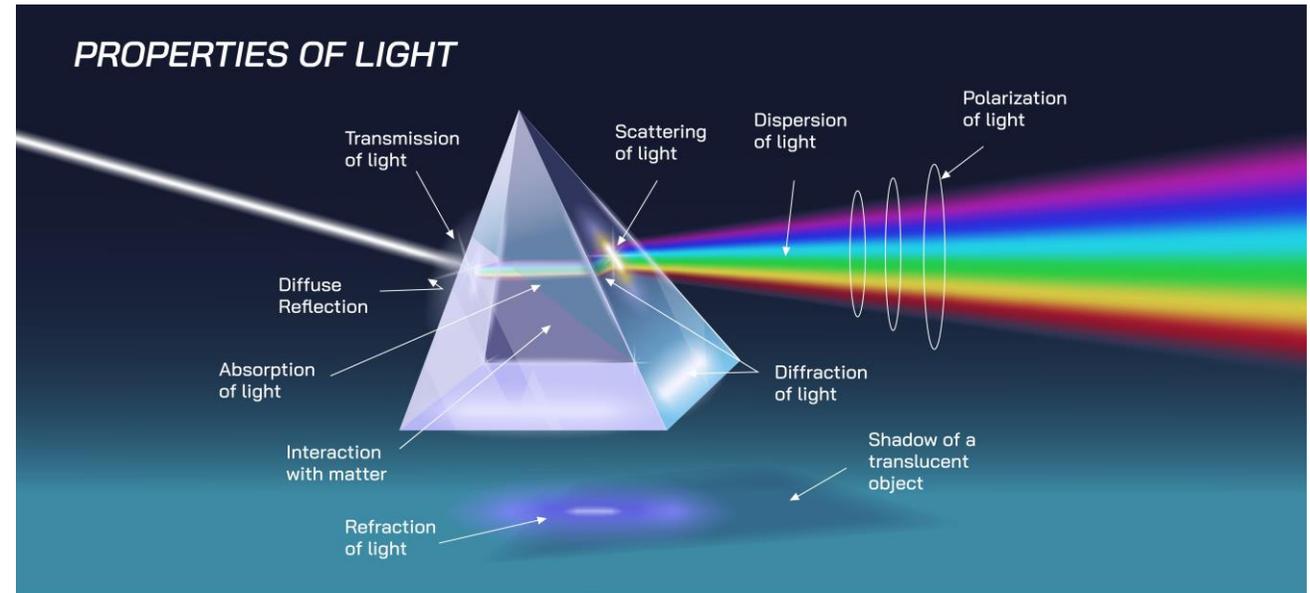
Control de plagas y enfermedades (teledetección).



Fotónica para mejora de semillas.

ÓPTICA

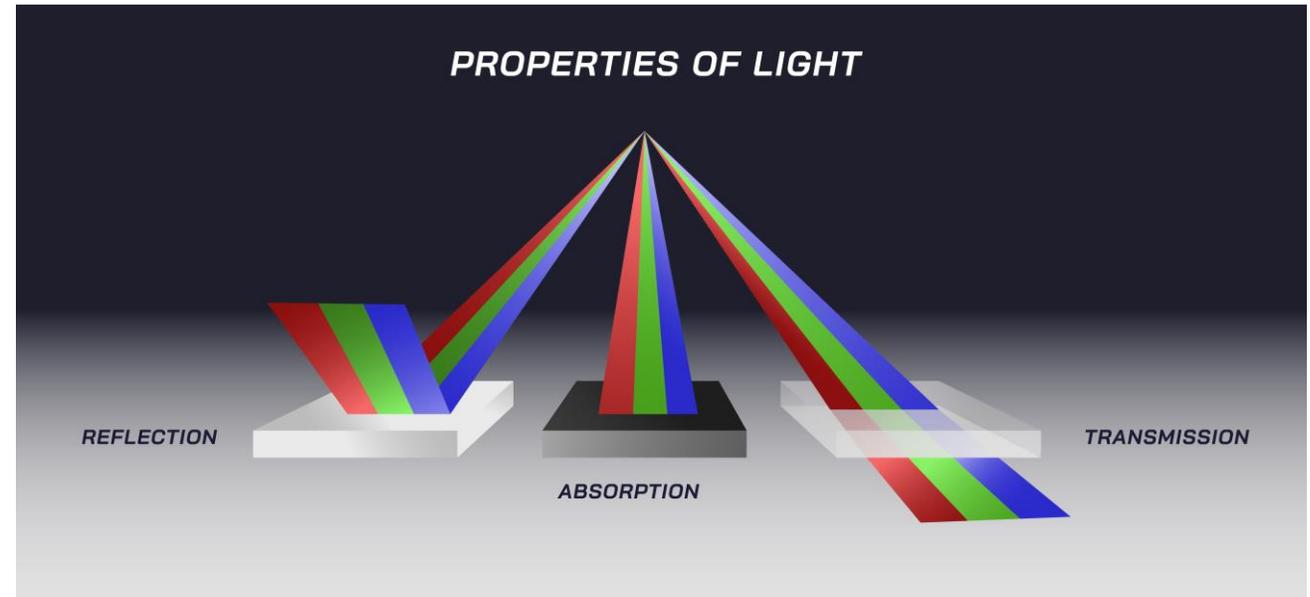
La **óptica** es una rama de la física que estudia la **luz** y su comportamiento, así como sus interacciones con la materia. Se ocupa de fenómenos como la reflexión, la refracción, la dispersión y la difracción, entre otros.



ÓPTICA

Existen dos enfoques principales en el estudio de la óptica:

1. Óptica geométrica: Se enfoca en la trayectoria rectilínea de la luz y los principios de reflexión y refracción. Aquí se explican cómo se forman las imágenes a través de lentes y espejos, como ocurre en cámaras o telescopios.

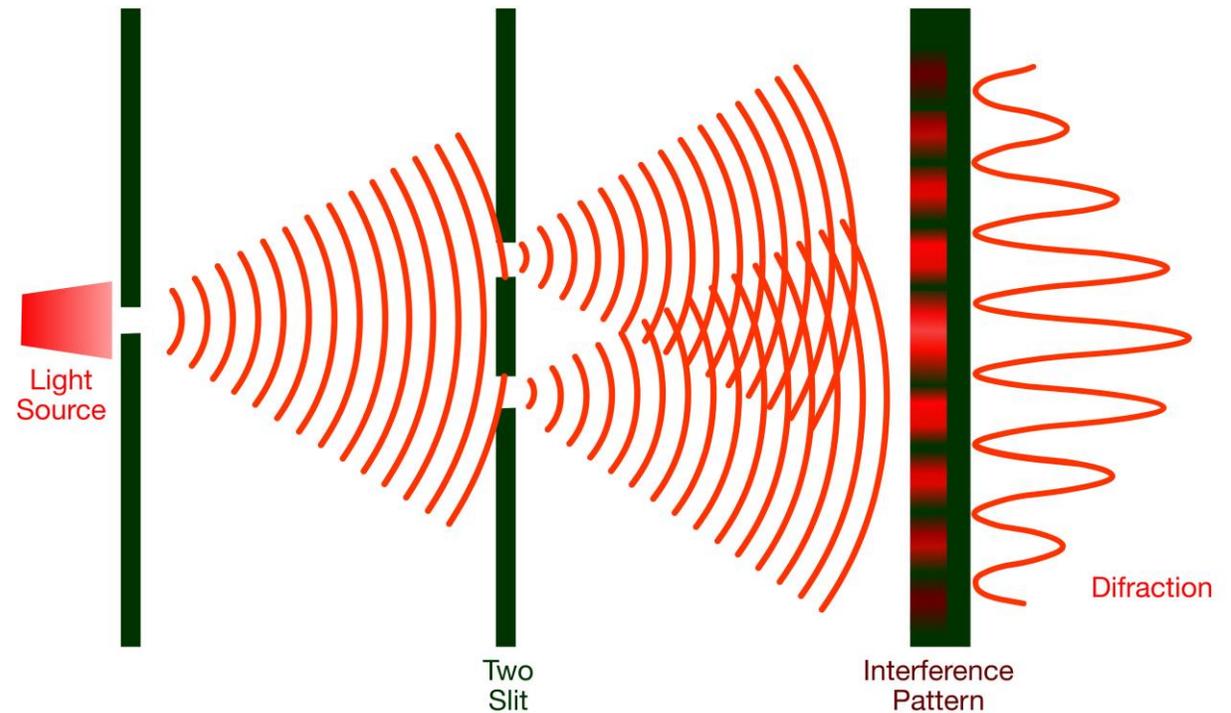


ÓPTICA

Existen dos enfoques principales en el estudio de la óptica:

2. Óptica física: Estudia la luz como una onda, analizando fenómenos que no se pueden explicar solo con la óptica geométrica, como la interferencia y la difracción.

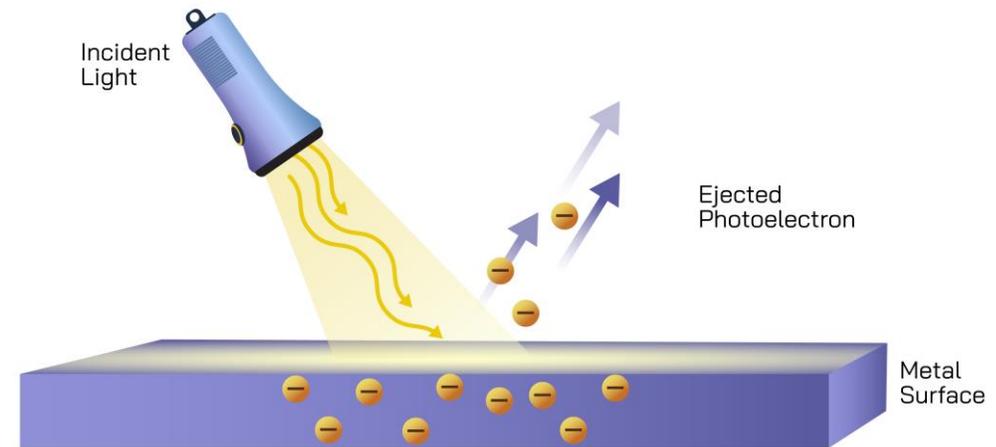
Young's Double-Slit Experiment



FOTÓNICA

La **fotónica** es el campo de la ciencia y la tecnología que estudia la **generación, manipulación, transmisión y detección de fotones**, es decir, de partículas de luz.

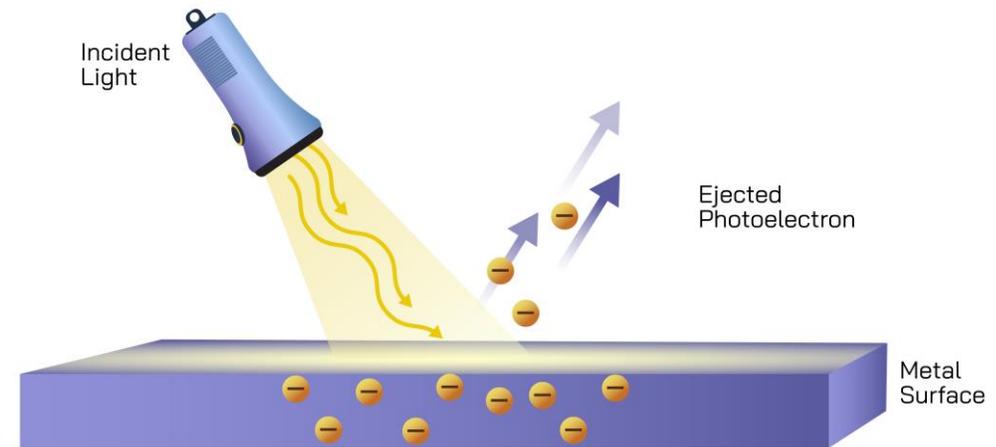
A diferencia de la electrónica, que usa electrones para procesar y transmitir información, la fotónica utiliza la luz (fotones) para realizar estas funciones.



FOTÓNICA

La **fotónica** es el campo de la ciencia y la tecnología que estudia la **generación, manipulación, transmisión y detección de fotones**, es decir, de partículas de luz.

A diferencia de la electrónica, que usa electrones para procesar y transmitir información, la fotónica utiliza la luz (fotones) para realizar estas funciones.



FOTÓNICA

Algunas áreas clave dentro de la fotónica son:

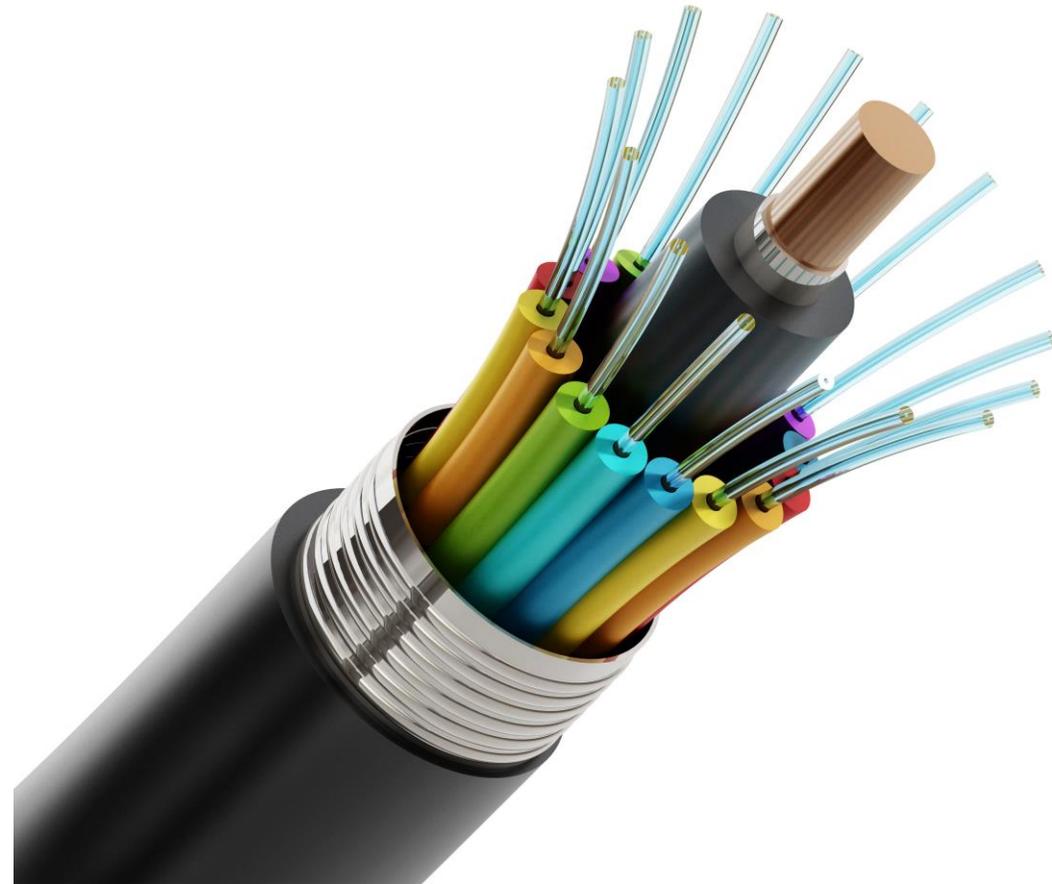
1. Generación de luz: Incluye fuentes de luz como los láseres y los diodos emisores de luz (LEDs).



FOTÓNICA

Algunas áreas clave dentro de la fotónica son:

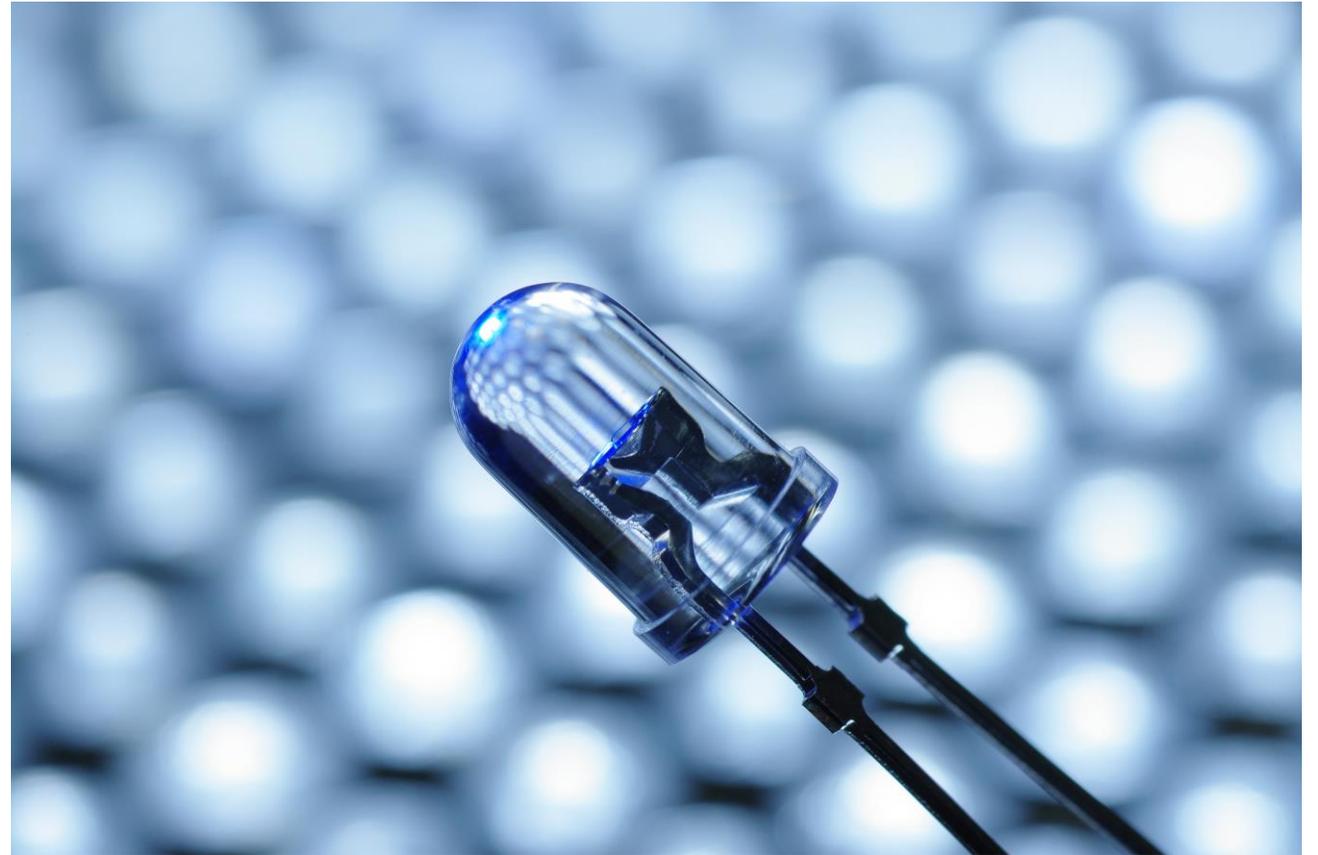
2. Transmisión y control de la luz: Se refiere a cómo la luz se puede guiar a través de fibras ópticas o manipular usando dispositivos como moduladores ópticos.



FOTÓNICA

Algunas áreas clave dentro de la fotónica son:

3. Detección de luz: Incluye tecnologías como los fotodetectores y sensores ópticos.



FOTÓNICA

Algunas áreas clave dentro de la fotónica son:

4. Procesamiento óptico: Involucra la transmisión de datos y procesamiento de información a través de luz, lo que tiene aplicaciones en telecomunicaciones y tecnologías de la información.



OPTICA Y FOTÓNICA



La **óptica** tiene aplicaciones en el desarrollo de instrumentos como gafas y telescopios.



La **fotónica** tiene aplicaciones relacionadas con las **telecomunicaciones** (por ejemplo, a través de la fibra óptica), la **medicina** (láseres en cirugía), la **fabricación de chips** y la **fabricación de** cámaras y sistemas de detección. Además, se considera una tecnología clave en el desarrollo de la computación cuántica y en sistemas de energía más eficientes (páneles solares)



La **biofotónica** investiga la interacción de la luz con sistemas biológicos, lo que permite tanto el análisis y diagnóstico como la intervención en organismos vivos.

Sensores Remotos Multi e Hiperespectrales de la Tecnología Agro 4.0: *Fundamentos Ópticos y Fotónicos*

1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*



1.1. Bandas de interés y filtros ópticos



1.2. Tecnología multispectral



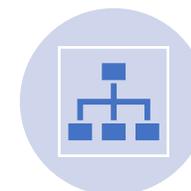
1.3. Tecnología hiperspectral



1.4. Ciencia de los materiales de detectores ópticos e IR



1.5. Configuración de sensores radar



1.6. Unidades radiométricas y fotométricas

1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

Partes de una onda

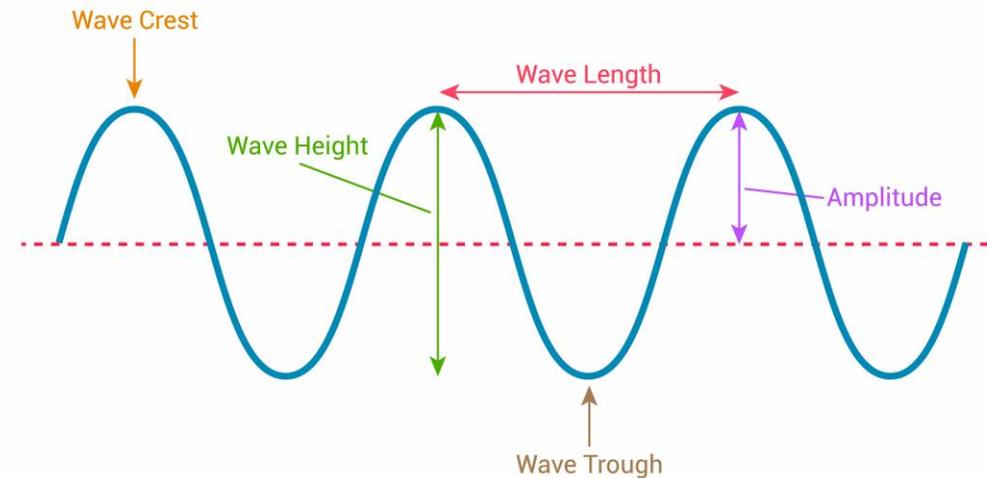
$$\lambda = c/f$$

λ es la longitud de onda (wavelength)

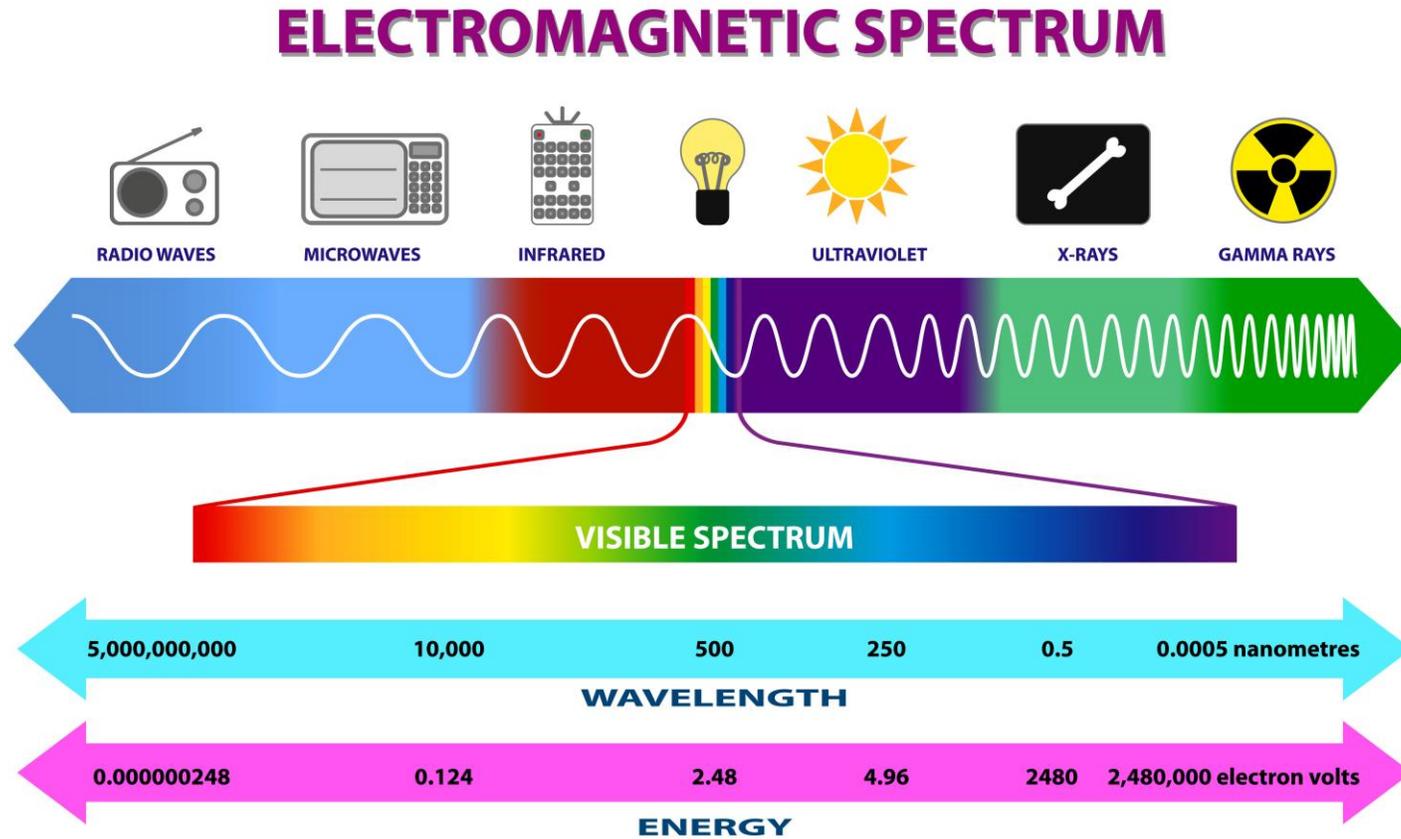
c es la velocidad de la luz 3×10^8 m/s

f = frecuencia en Hz (Hertz) o s^{-1}

Parts of a wave



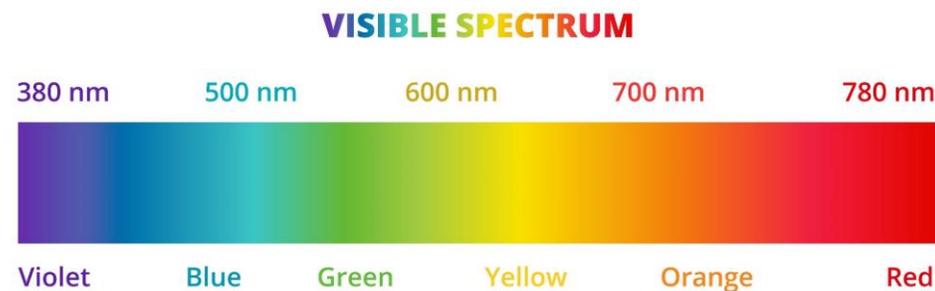
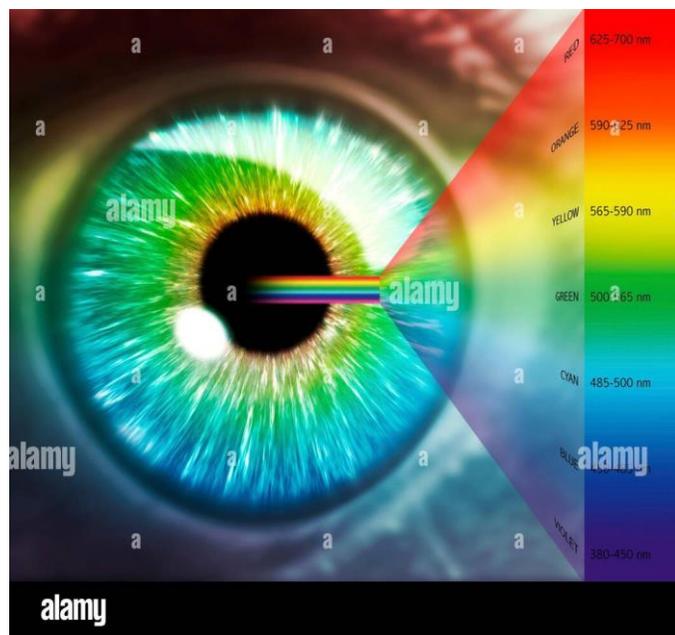
1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

Espectro óptico

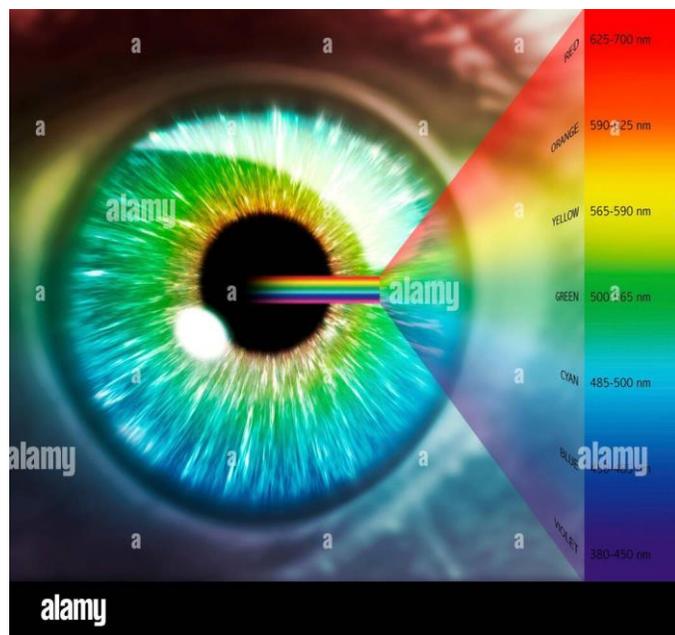
Bandas del espectro óptico: frecuencia del orden de 10^{12} Hz (Terahertz) y longitudes de onda de cientos de nanómetros



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

Espectro óptico

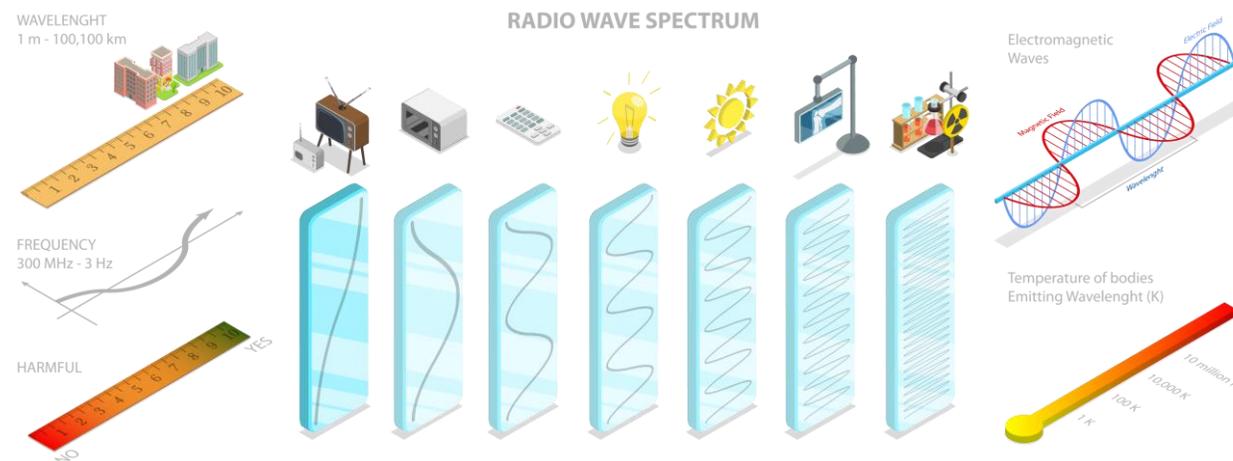
Bandas del espectro óptico: frecuencia del orden de 10^{12} Hz (Terahertz) y longitudes de onda de cientos de nanómetros



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

BANDAS RADIOFRECUENCIA

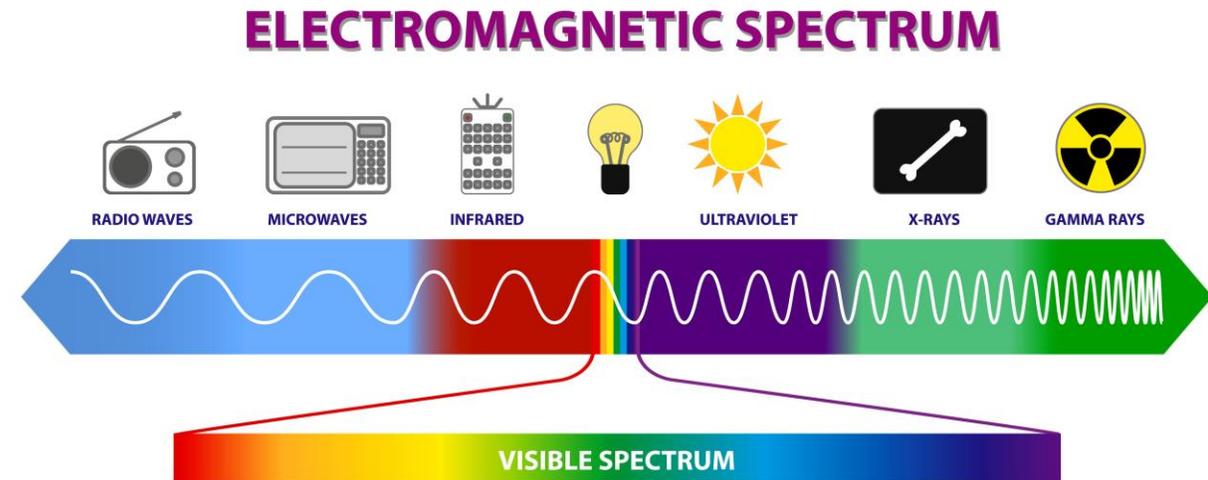
frecuencia del orden de 10^9 Hz (Gigahertz) y longitudes de onda de m y cm



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.1. Bandas de interés y filtros ópticos

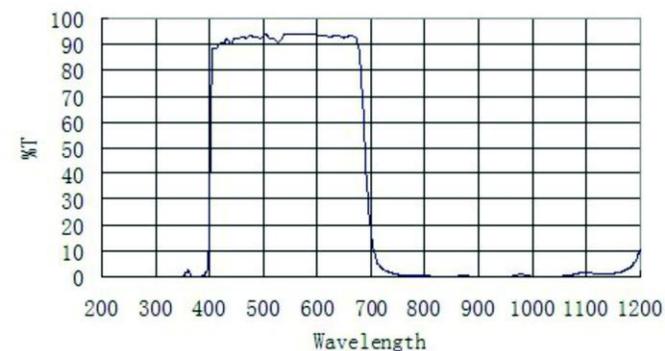
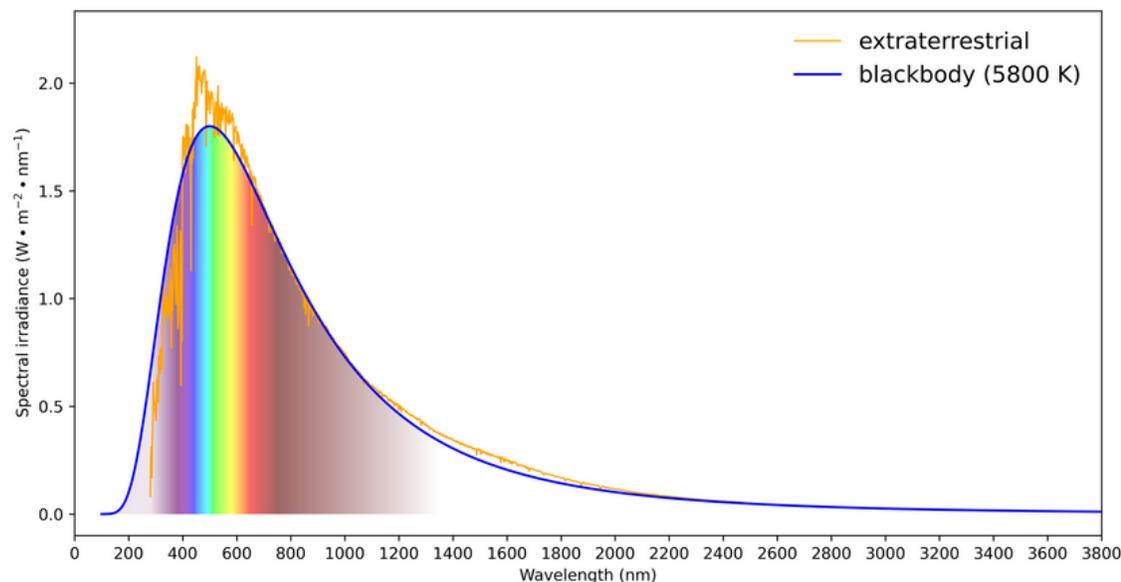
- a. Banda óptica (300 nm – 2000 nm) que incluye el espectro visible y el infrarrojo cercano (NIR, Near Infrared hasta 1100 nm) y el infrarrojo (desde 1100 nm hasta 2000 nm).
- b. Espectro de radiofrecuencias (1-10 GHz).



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.1. Bandas de interés y filtros ópticos

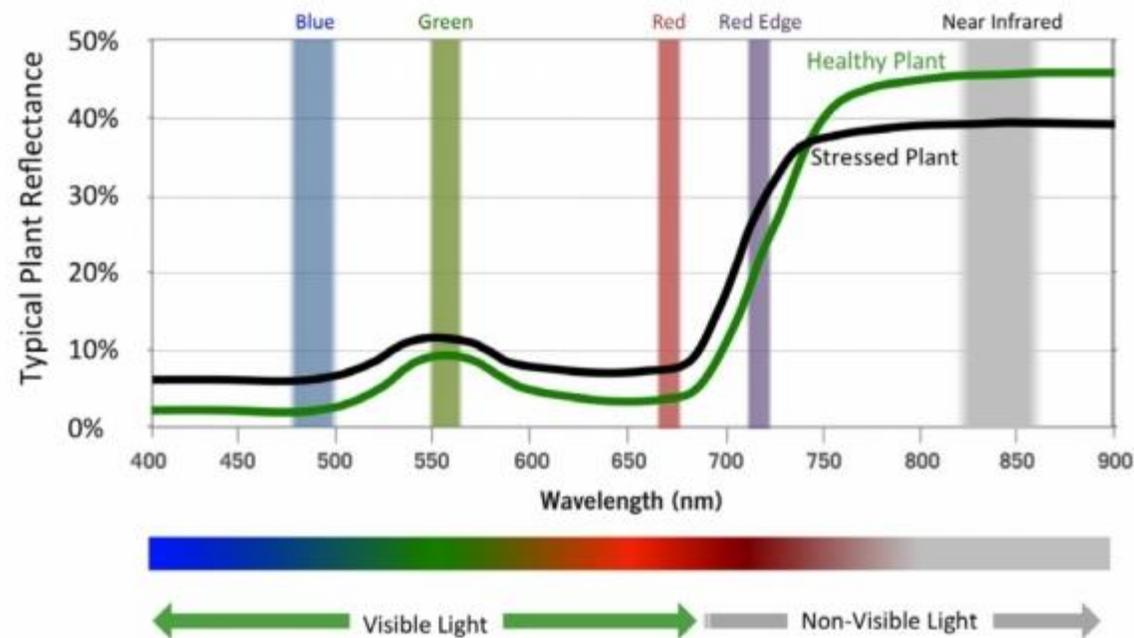
Solar Spectrum: Solar Radiation and Irradiance | Ossila



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.2. Tecnología multispectral

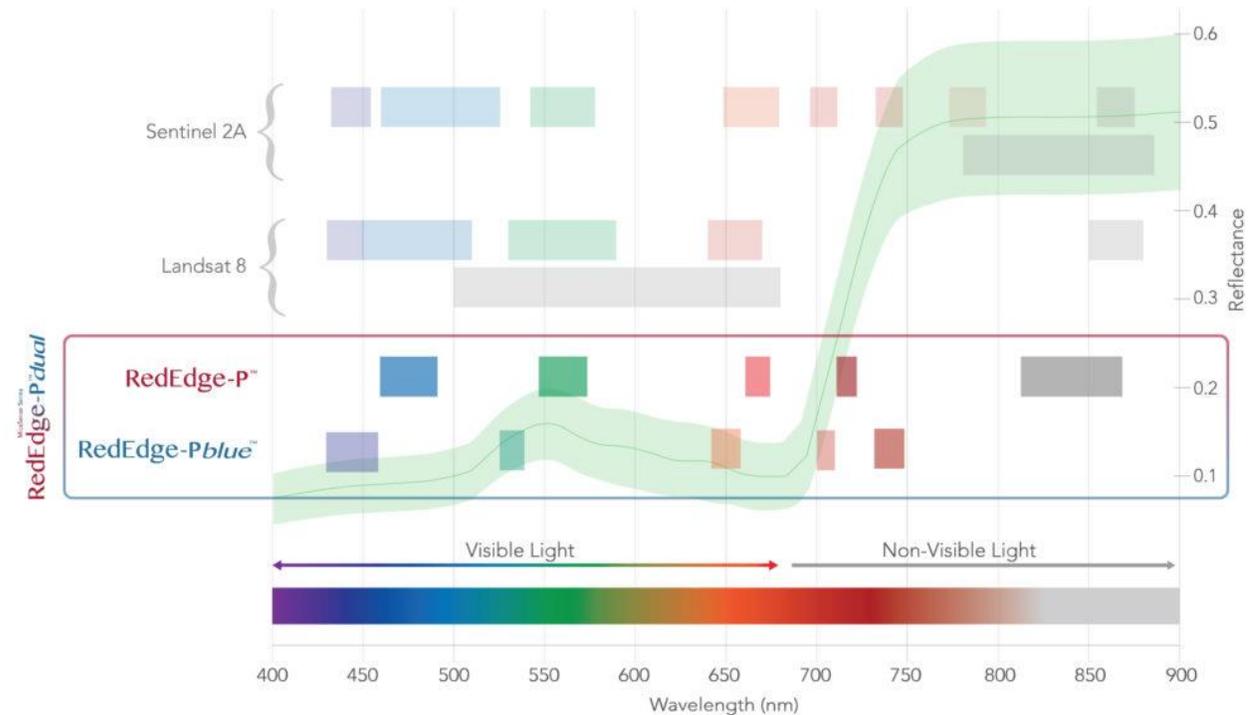
[Nuevas opciones para la cámara multispectral RedEdge de MicaSense – TYC GIS – GIS, Teledetección y Drones](#)



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.2. Tecnología multispectral

- a. 2 a 10- 20 longitudes de onda.
- b. Filtros ópticos espectrales de 10 – 20 nm que capta “bandas de longitudes de onda”.
- c. Cámaras multispectrales comerciales, satélites como el Landsat 8, Sentinel 2 se basan en tecnología multispectral.

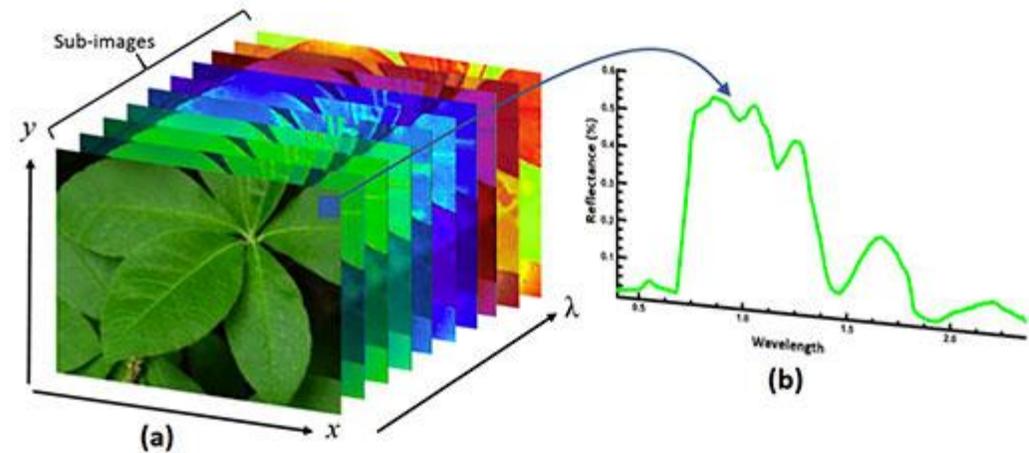


1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.3. Tecnología hiperespectral

- Más de 20 longitudes de onda, y hasta centenas-
- Filtros ópticos espectrales menores a 5 nm
- Cámaras hiperespectrales y espectrómetros son equipos de tecnología hiperespectral

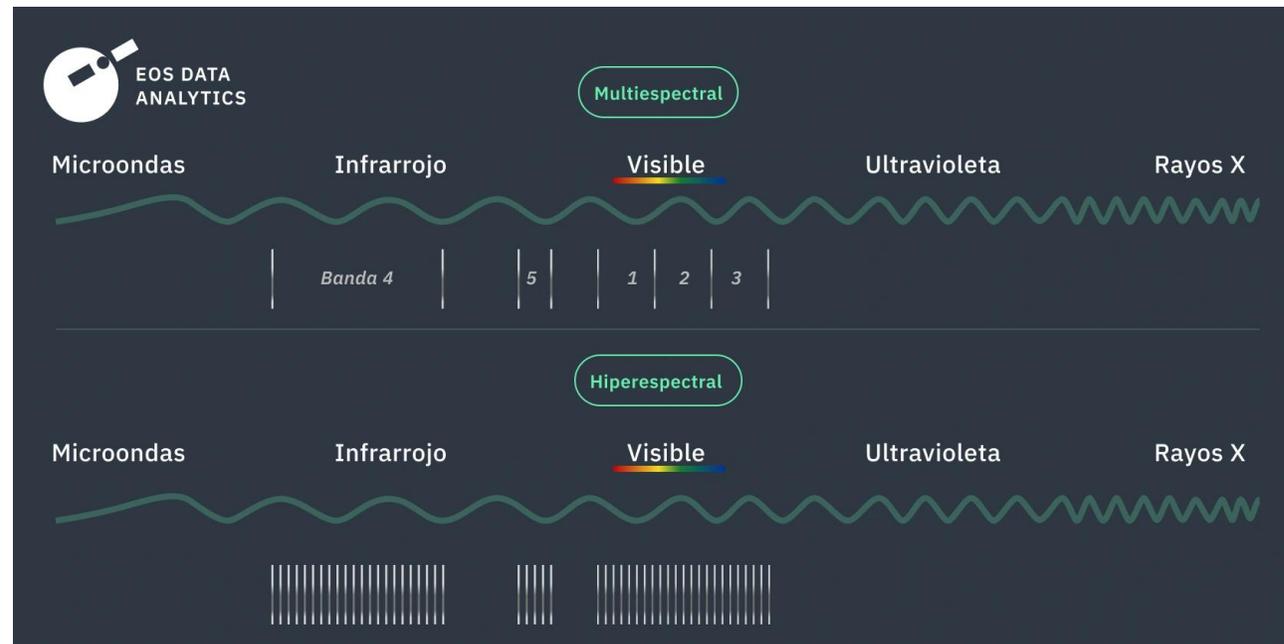
[Tecnología hiperespectral ¿qué es? - ATRIA Innovation](#)



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

Diferencias entre tecnología multispectral e hiperspectral

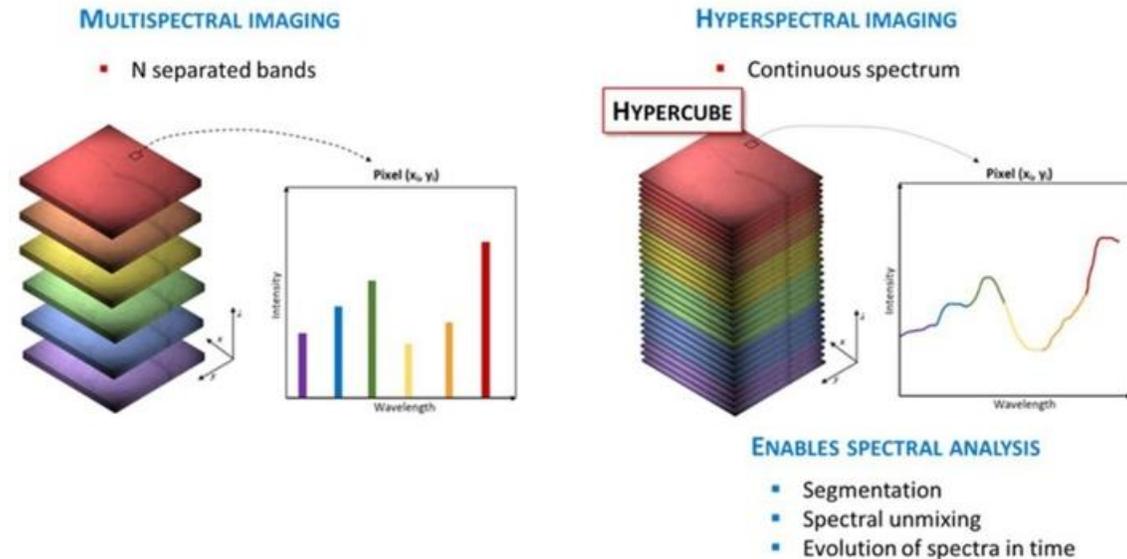
[Hiperspectral Y Multispectral: Diferencias Entre Ambas \(eos.com\)](https://eos.com)



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

Diferencias entre tecnología multispectral e hiperspectral

[art_16384297261981_679853.jpg \(795x405\)](https://www.hellot.net/art_16384297261981_679853.jpg)
(hellot.net)

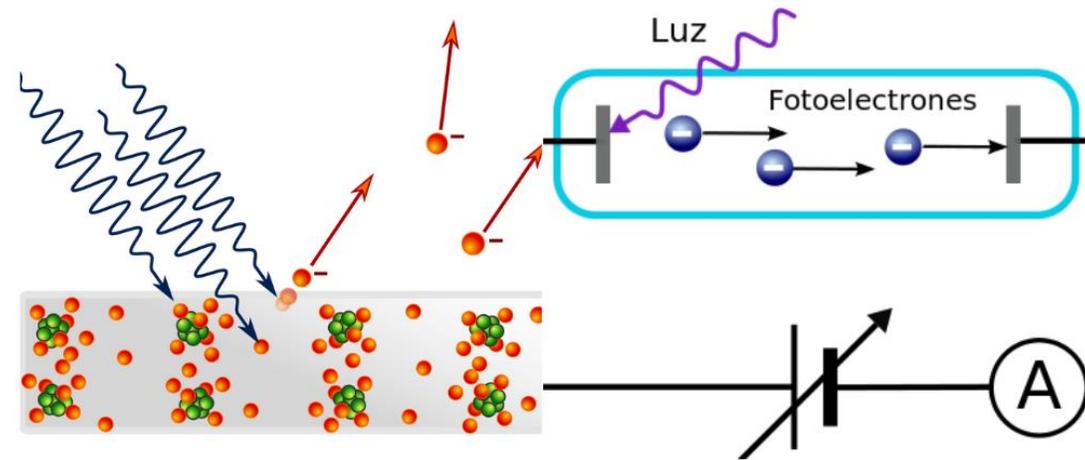


이미지 출처: <https://www.nireos.com/hyperspectral-imaging/>

1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.4. Ciencia de los materiales de detectores ópticos e IR

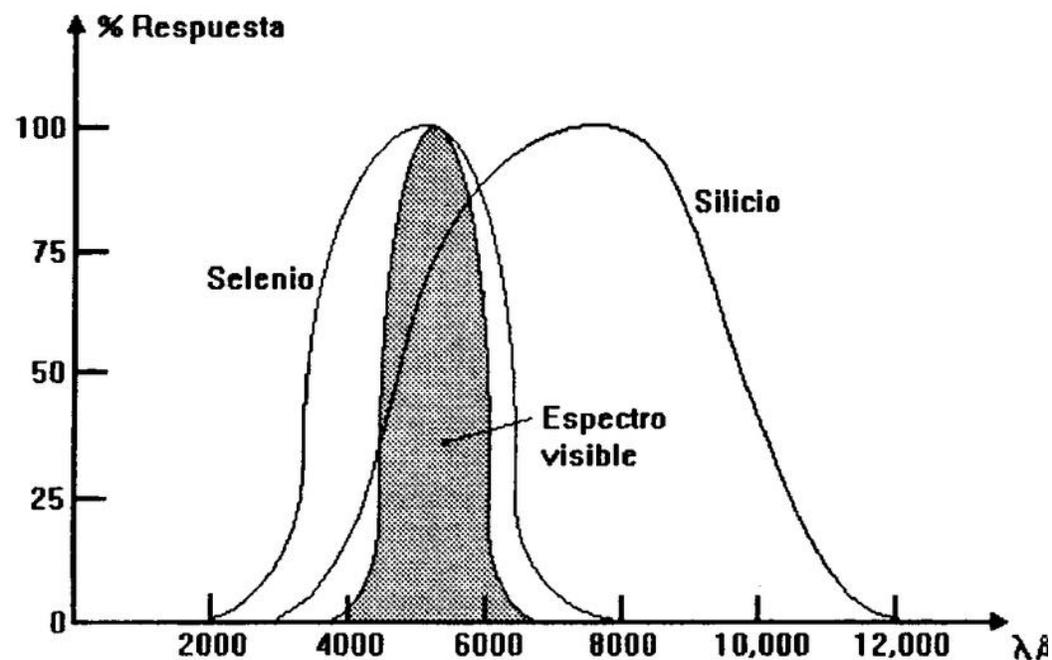
- ✓ Los receptores de luz son dispositivos semiconductores que detectan y convierten las propiedades de la luz (amplitud, frecuencia y fase) en señales eléctricas.
- ✓ Los detectores están fabricados de materiales semiconductores como el Silicio (Si), Germanio (Ge), InGa (Arsenuro de Galio), InGaAs (Indio Arsenuro de Galio) dopados con impurezas en junturas tipo pn (diodos) dando lugar a fotodiodos o fototransistores.
- ✓ Operan bajo el principio físico del efecto fotoeléctrico.



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

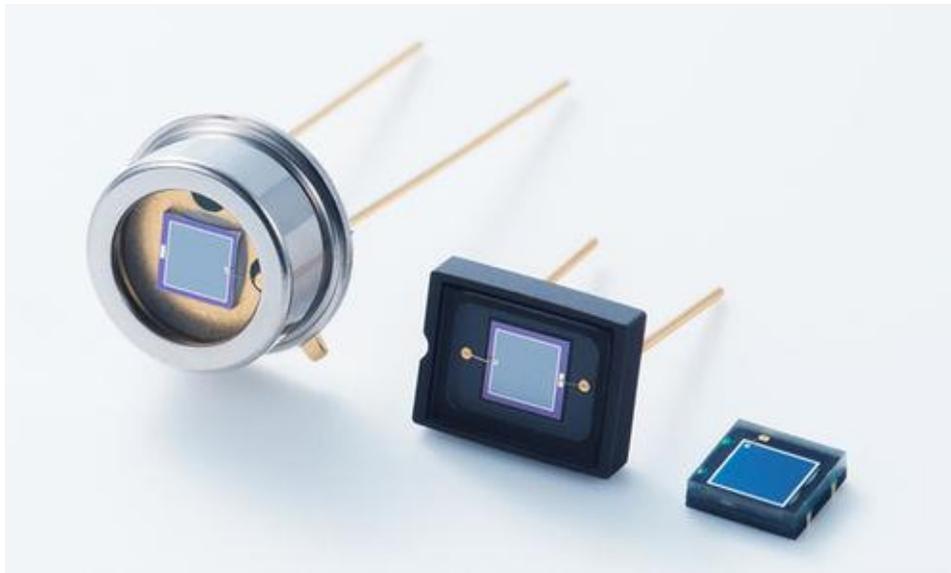
1.4. Ciencia de los materiales de detectores ópticos e IR

Espectros de materiales de detectores ópticos

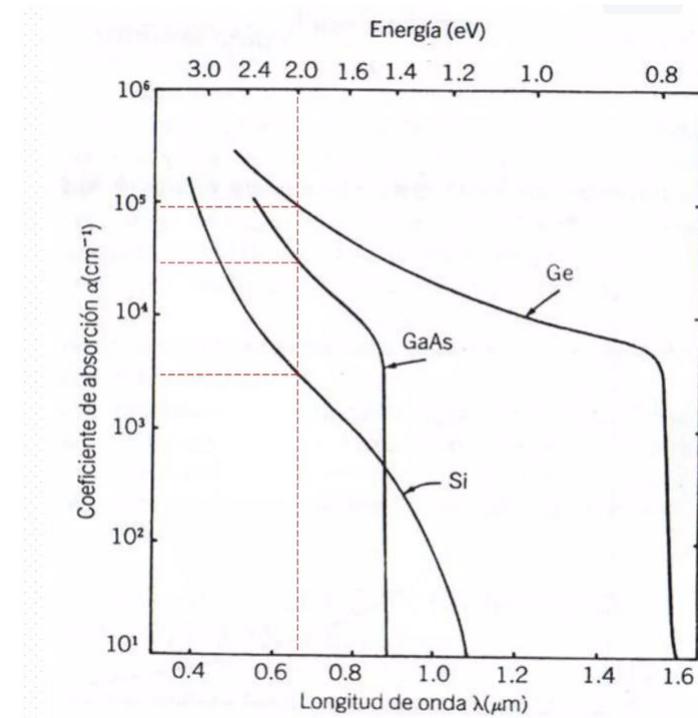


1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.4. Ciencia de los materiales de detectores ópticos e IR
Fotodiodos de Silicio 300 – 1000 nm.



[Fotodiodo de silicio - S series - HAMAMATSU - de infrarrojos / UV \(directindustry.es\)](http://directindustry.es)



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.4. Ciencia de los materiales de detectores ópticos e IR

Detectores ópticos son los elementos
constitutivos de cámaras digitales.

Matriz de una cámara digital - Sensores
fotodiodo de luz fabricados en silicio para
conformación de matrix de píxeles RGB (rojo
(Red) verde(Green) azul (BLUE). Matriz de
píxeles (Photosite matrix array).



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.4. Ciencia de los materiales de detectores ópticos e IR

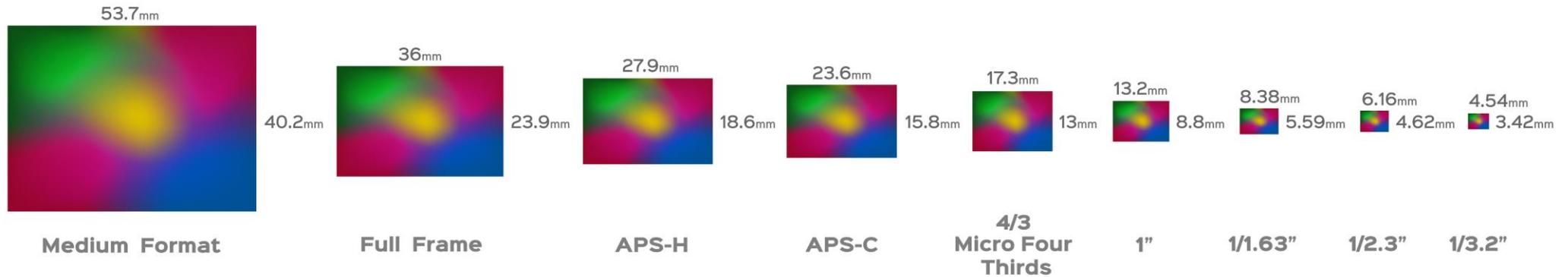
Tipos de cámaras digitales

- Sensores CCD (Coupling Charge Device).
- Sensor CMOS (Complementary Metallic Oxide Semiconductor)
- El sensor DGO (salida de ganancia doble)
- El sensor SPAD (de fotodiodos de avalancha para entornos oscuros)

[Explicación de los sensores de cámara - Canon Spain](#)

1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

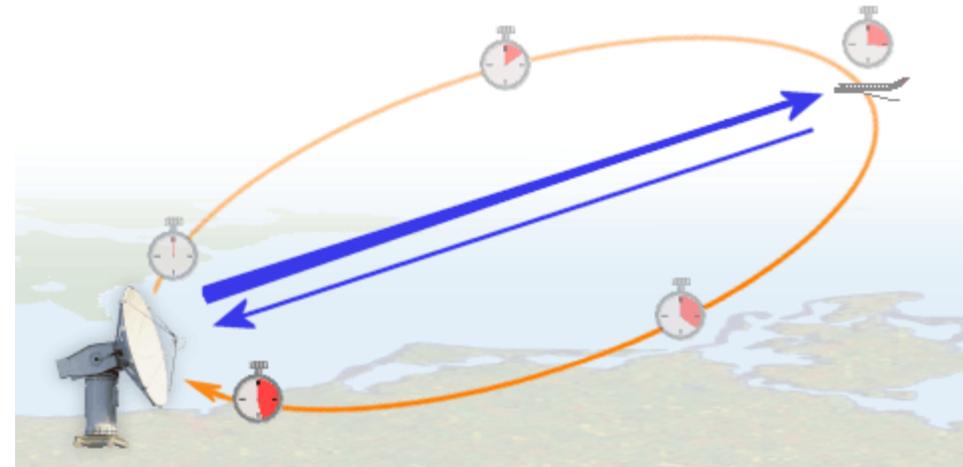
Camera Sensor



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.5. Configuración de sensores radar (RADAR)

Proviene del inglés "*Radio Detection and Ranging*", que significa "*Detección y medición de distancias por radio*". A través de la emisión de ondas de radio y la recepción de las señales reflejadas, los radares pueden determinar la distancia, velocidad, dirección y altitud de los objetos.

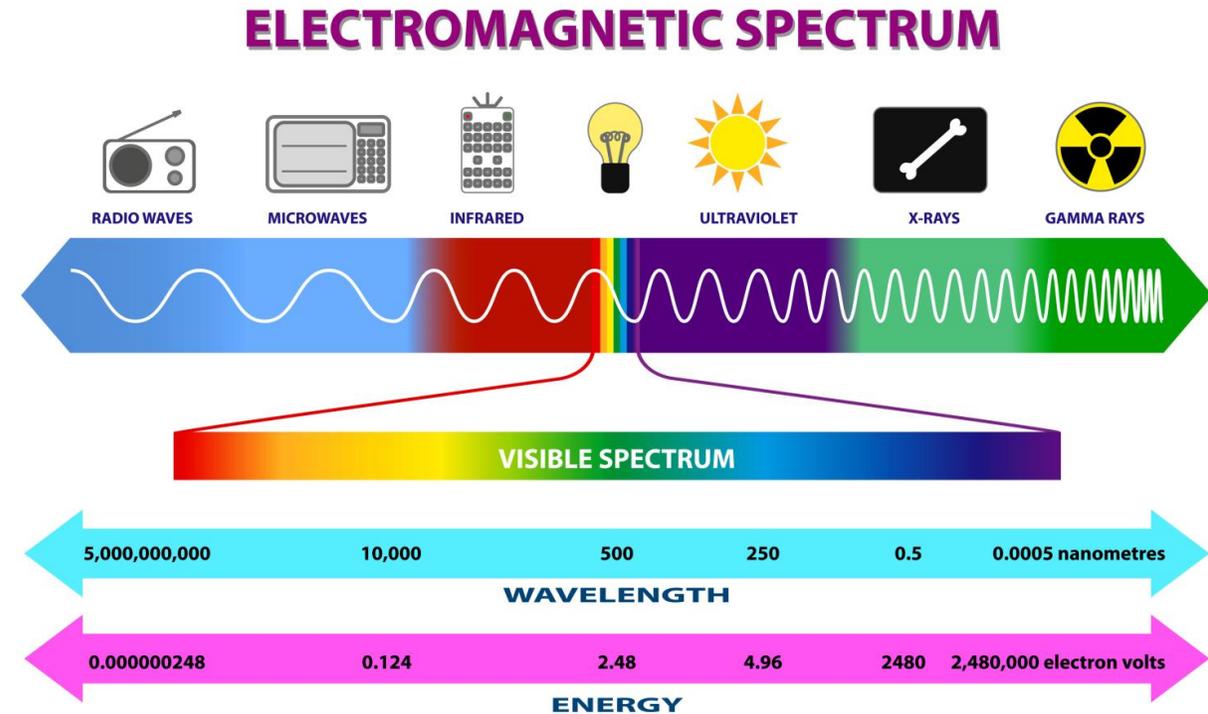


1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.5. Configuración de sensores radar (RADAR)

Son ondas de radio o microondas, que son parte del espectro electromagnético con frecuencias que van desde 3 kHz hasta 300 GHz, se propagan al igual que en el dominio óptico a la velocidad de la luz (3×10^8)

Las bandas de frecuencia más comunes en radares son las bandas L, S, C, X, K y Ka



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

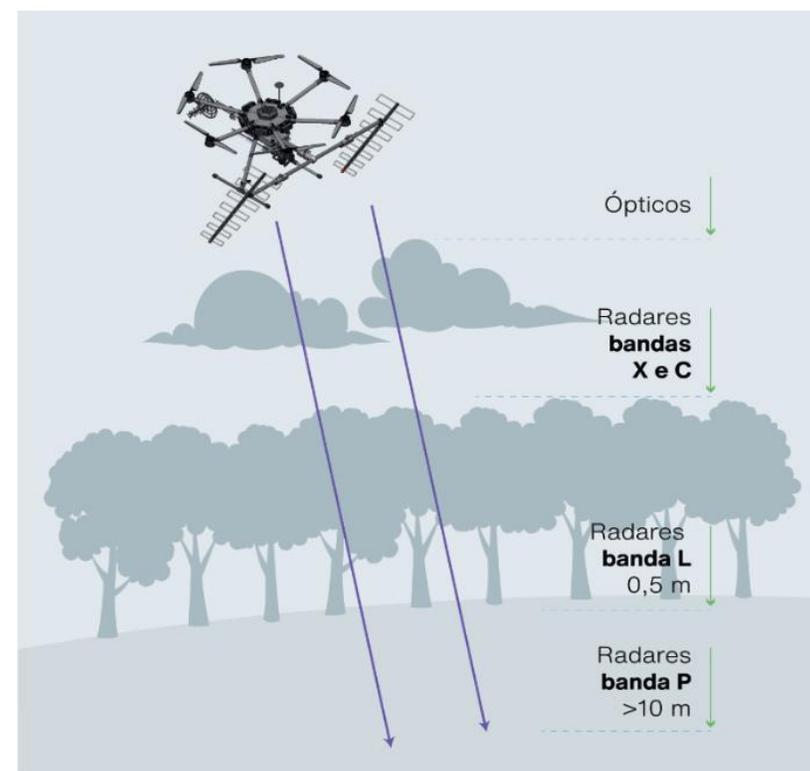
- 1.5. Configuración de sensores radar (RADAR):
- Bandas de RADAR:
 - Banda L (1-2 GHz): Detección de largo alcance y penetración en obstáculos.
 - Banda S (2-4 GHz): Radares meteorológicos y de tráfico aéreo.
 - Banda C (4-8 GHz): Radares meteorológicos y de comunicaciones.
 - Banda X (8-12 GHz): Alta resolución, utilizada en radares de control de tráfico aéreo y radares de imágenes.
 - Banda K (18-27 GHz): Radares de corto alcance, como en los automóviles

1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.5. Configuración de sensores radar (RADAR):

banda	frecuencia	Longitud de onda	Resolución
P	400 MHz	75 cm	2 cm
L	1,2 GHz	25 cm	6 cm
C	5,5 GHz	5,5 cm	18 cm

Aplicación en Agro



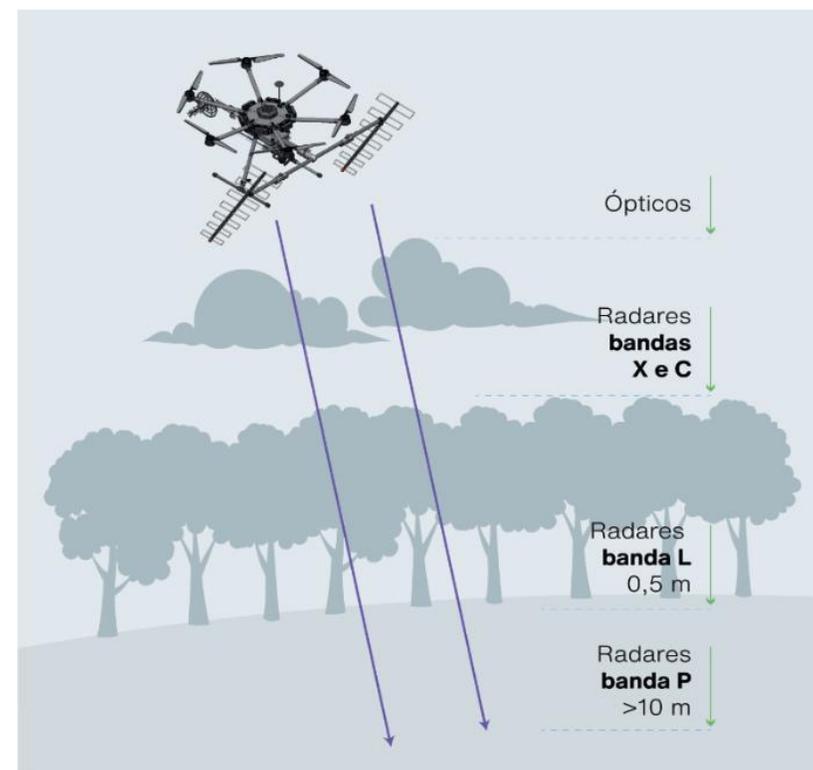
1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.5. Configuración de sensores radar (RADAR):

- Banda L (1-2 GHz): En Agricultura alcanza la camada superior de la vegetación y el suelo.
- Banda C (4-8 GHz): Mide el volumen de la vegetación (biomasa) y la camada superior del suelo.
- Banda P (300 – 900 MHz): Penetra el suelo con y sin vegetación.

[Radar embarcado em drone \(RD\) \(radaz.com.br\)](http://radaz.com.br)

Aplicación en Agro

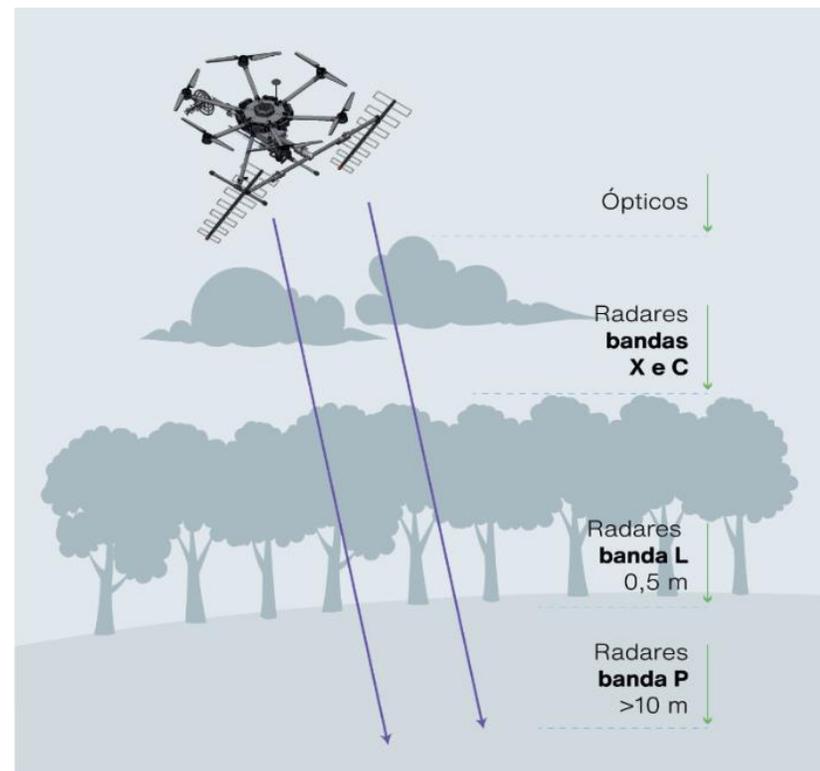


¿Cómo la selección del dominio en el espectro electromagnético (óptico o radar) permite caracterizar las aplicaciones directas de tecnologías de medición?

ÓPTICO



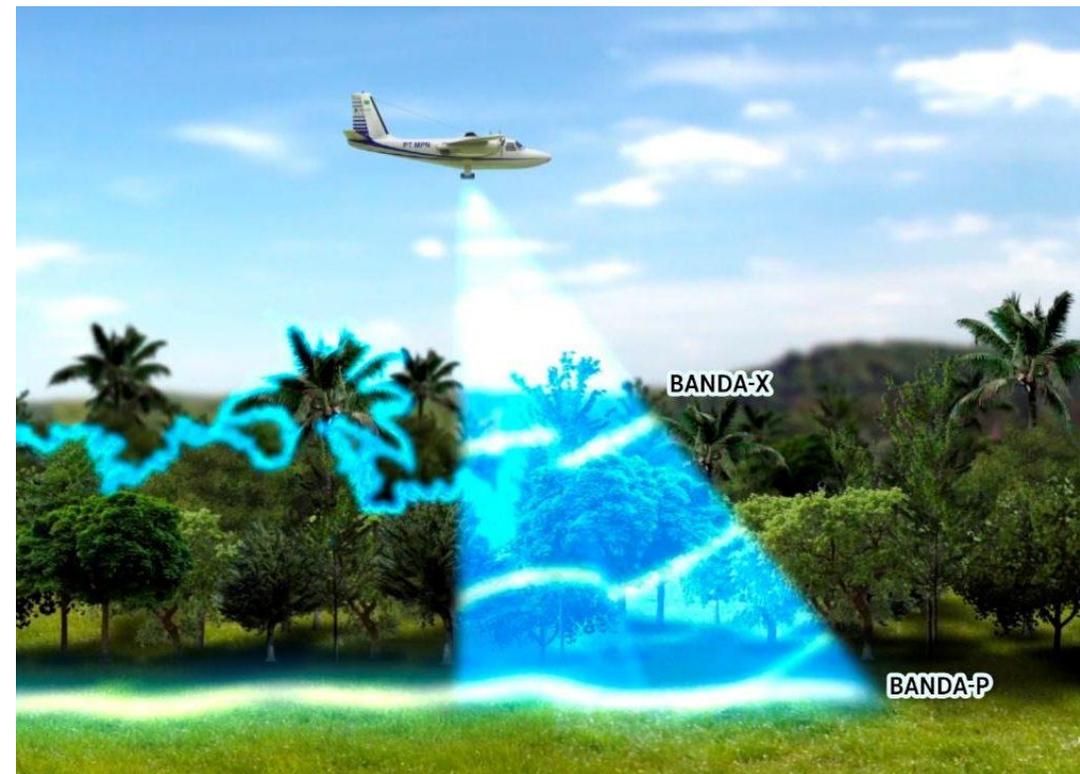
RADAR



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.5. Configuración de sensores radar (RADAR)

[Radar embarcado em drone \(RD\)](http://radaz.com.br)
radaz.com.br



1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.6. Unidades fotométricas y radiométricas

- Radiometría: *mide la radiación electromagnética en términos de su energía independiente de su longitud de onda. Emplea técnicas y conceptos para cuantificar la cantidad de energía en forma de radiación que emite, transmite o refleja una fuente.*
- Fotometría: *se encarga de medir la luz visible en términos de su percepción por el ojo humano. A diferencia de la radiometría, que mide todas las formas de radiación electromagnética, la fotometría se enfoca en las propiedades de la luz dentro del espectro visible (aproximadamente entre 380 y 750 nanómetros), que es la porción del espectro electromagnético que puede ser vista por el ser humano*

1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.6. Unidades fotométricas y radiométricas.

Unidades radiométricas:

- ✓ *Potencia radiante: energía electromagnética emitida, reflejada o transmitida por una fuente en todas las direcciones por unidad de tiempo (unidad= [W], watt)*

1 W = 1 joule/segundo [J/s]

- ✓ *Irradiancia: mide la cantidad de energía radiante que incide sobre una superficie por unidad de área.*

1 W/m² es la potencia radiante por metro cuadrado.

- ✓ *Intensidad radiante: mide la cantidad de energía radiante emitida por una fuente en una dirección específica dentro de un ángulo sólido (estereorradián).*

1 W/sr es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido.

1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.6. Unidades fotométricas y radiométricas.

Unidades radiométricas:

✓ **Radiancia:** *mide la potencia radiante emitida o reflejada por una superficie en una dirección dada por unidad de área y por unidad de ángulo sólido.*

1 W/m²·sr es la radiación emitida desde una superficie en una dirección específica.

✓ **Energía radiante:** *cantidad total de energía emitida o recibida en forma de radiación electromagnética.*

1 joule [J] es la unidad de energía que corresponde a 1 vatio por segundo (1 J = 1 W·s).

1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.6. Unidades fotométricas y radiométricas.

Unidades fotométricas

- ✓ **Flujo luminoso:** mide la cantidad total de luz emitida por una fuente en todas las direcciones. Es la medida de la potencia de luz visible que percibe el ojo humano.

1 lumen = 1 candela * 1 estereorradián.

- ✓ **Intensidad luminosa:** mide la cantidad de luz que una fuente emite en una dirección particular dentro de un ángulo sólido. Es la cantidad de flujo luminoso por unidad de ángulo sólido.

1 candela = 1 lumen * estereorradián.

- ✓ **Iluminancia:** mide la cantidad de luz que incide sobre una superficie. Es el flujo luminoso por unidad de área.

1 lux = 1 lumen/m².

1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*

1.6. Unidades fotométricas y radiométricas.

Unidades fotométricas

- ✓ **Luminancia - Candela por metro cuadrado (cd/m^2):** La luminancia mide el brillo percibido de una superficie que emite o refleja luz. Tiene en cuenta la intensidad luminosa y el área desde la cual se emite la luz.

1 $\text{candela}/\text{m}^2$ es la cantidad de candelas emitidas por unidad de área en una dirección dada.

- ✓ **La eficacia luminosa:** mide la eficiencia con la que una fuente de luz convierte energía eléctrica en luz visible.

1 lumen * watt = Flujo luminoso (lm) / Potencia consumida (W).

Sensores Remotos Multi e Hiperespectrales de la Tecnología Agro 4.0: *Fundamentos Ópticos y Fotónicos*

2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

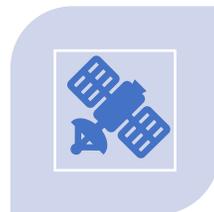
1. Espectro electromagnético – *bandas ópticas*



2.1. REFLEXIÓN,
TRANSMISIÓN Y
ABSORCIÓN



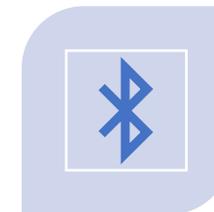
2.2. POLARIZACIÓN



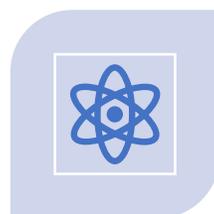
2.3. LONGITUD DE
PENETRACIÓN DE ONDAS
ELECTROMAGNÉTICAS



2.4. MATERIALES
LAMBERTIANOS

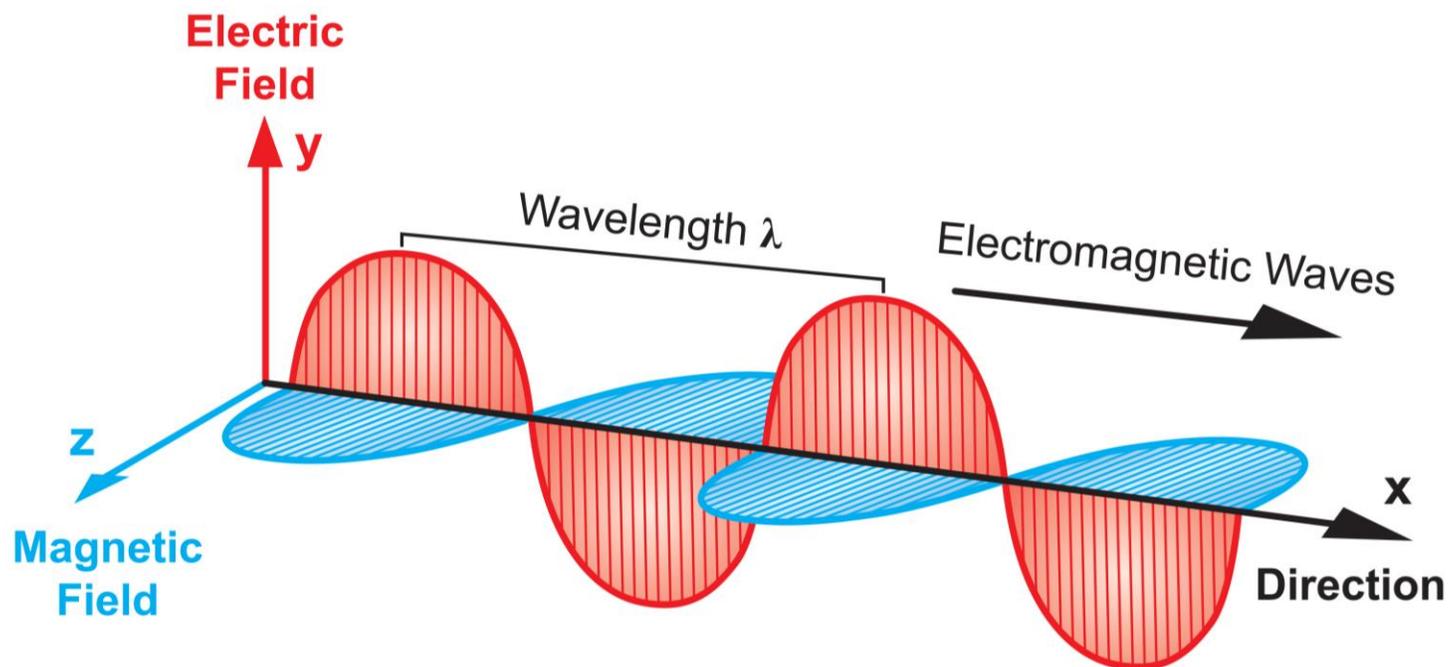


2.5. REJILLAS DE BRAGG



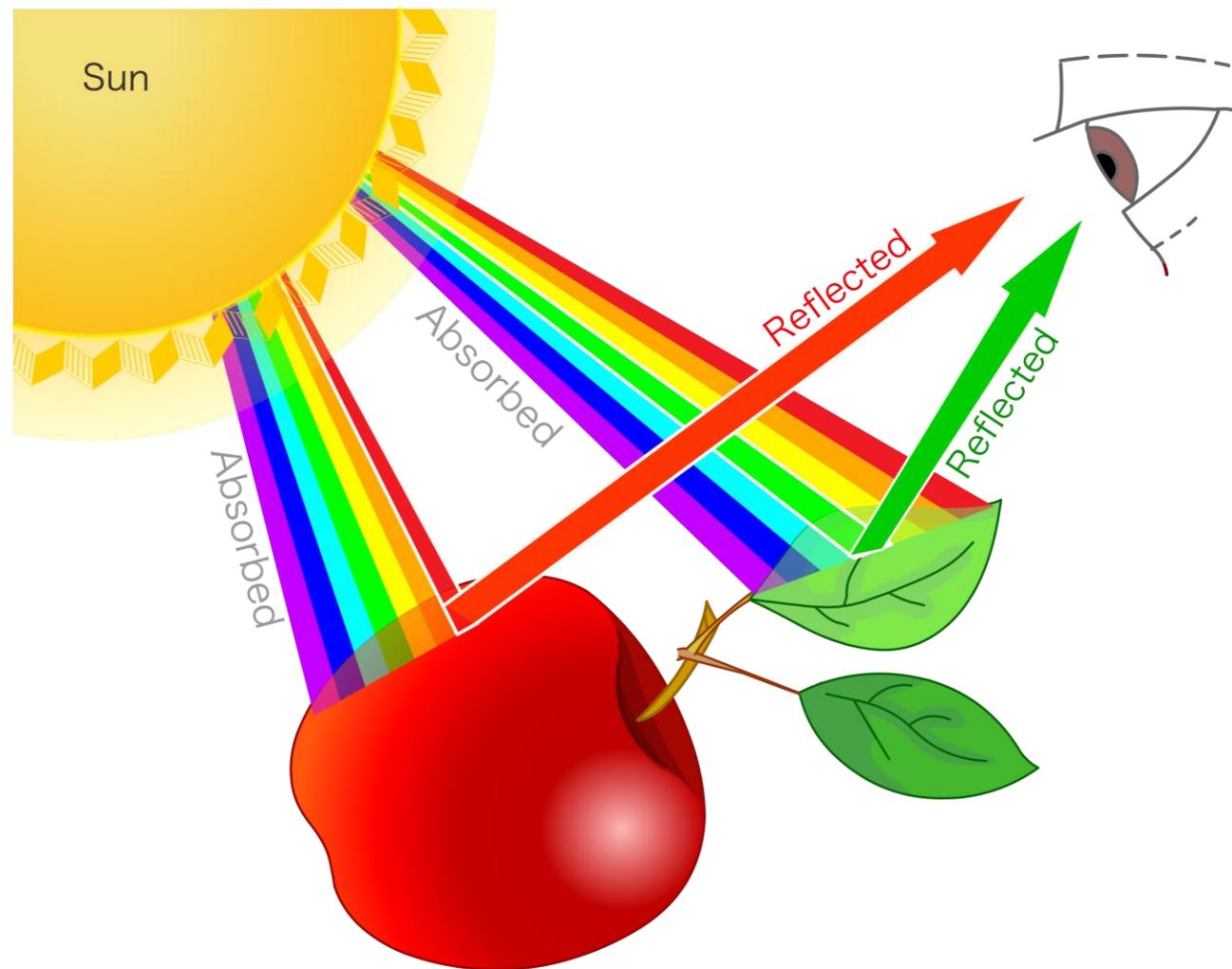
2.6. FIBRAS ÓPTICAS

2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*



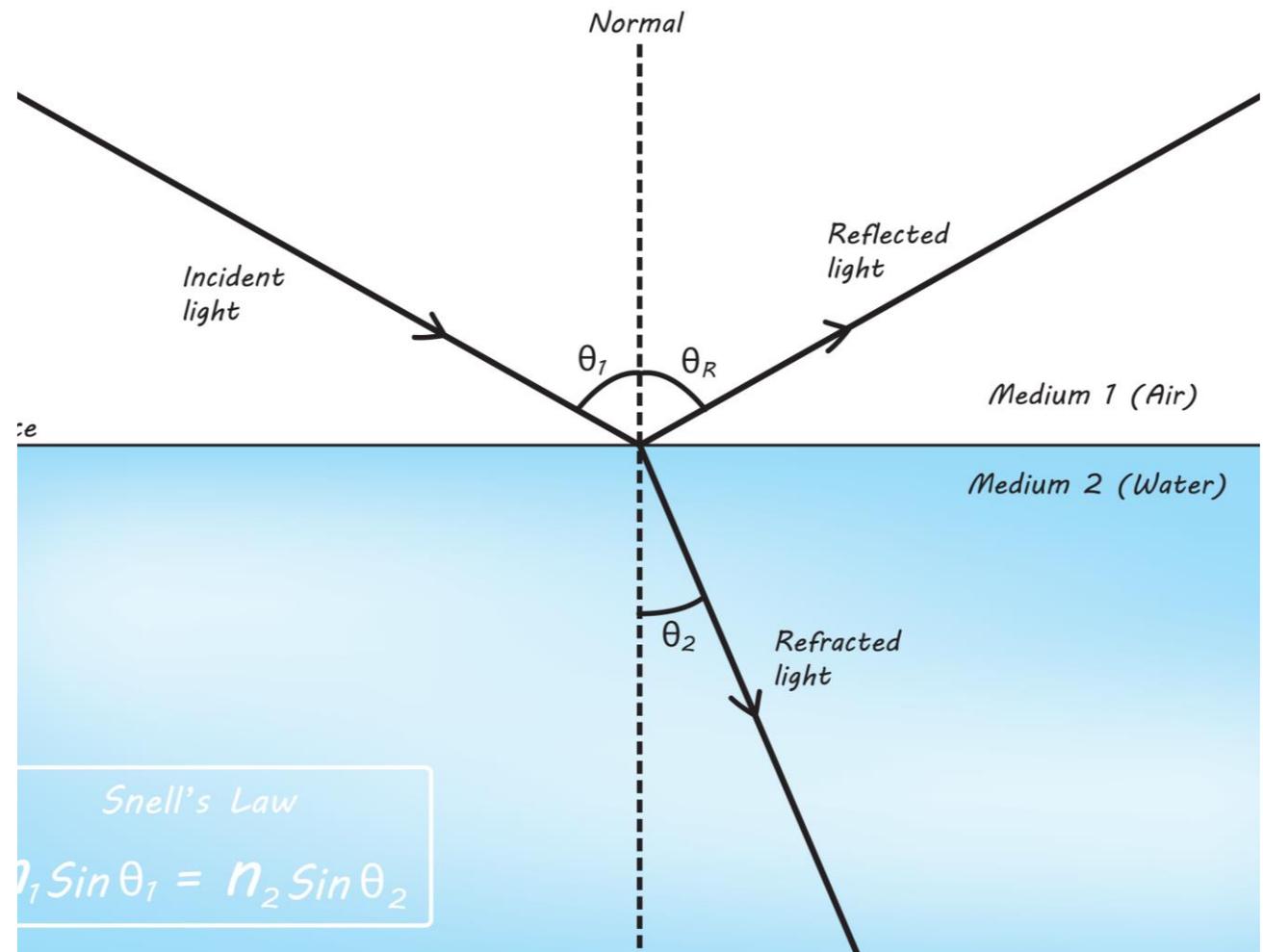
2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

2.1. Reflexión, Transmisión y Absorción



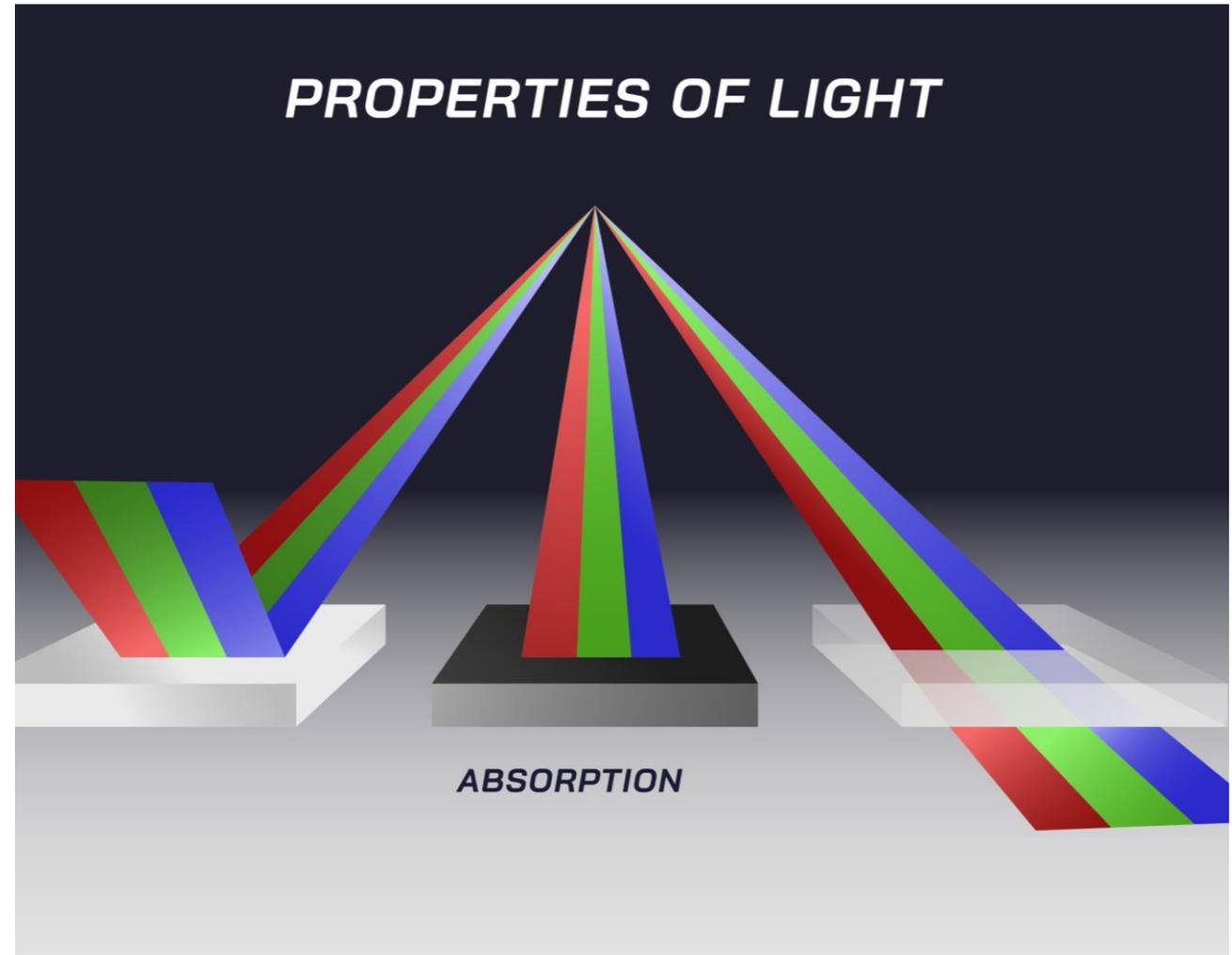
2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

2.1. Reflexión, Transmisión y Absorción



2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

2.1. Reflexión, Transmisión y Absorción



2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

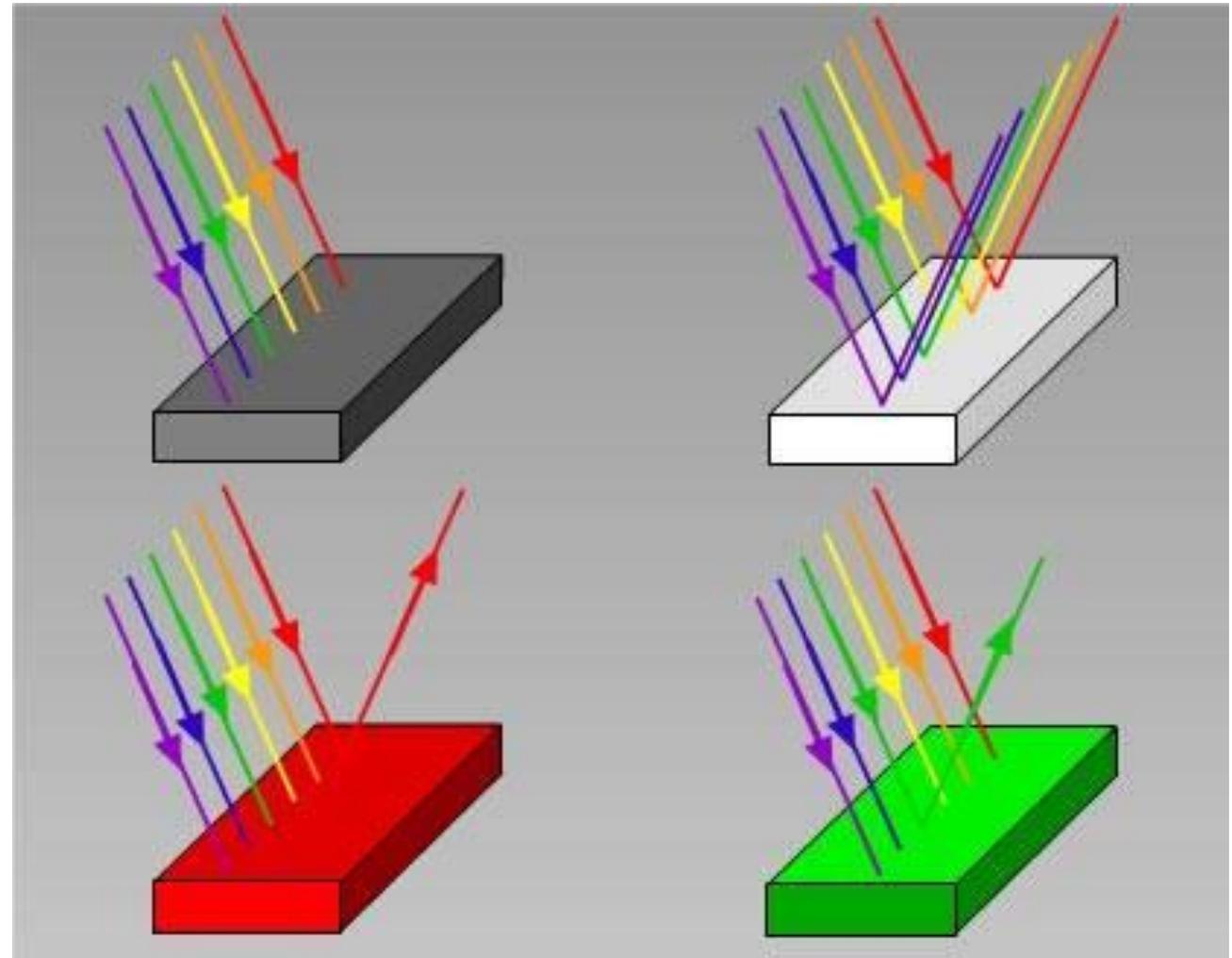
2.1. Reflexión, Transmisión y Absorción

Objeto Negro: Absorción

Objeto Blanco: Reflexión

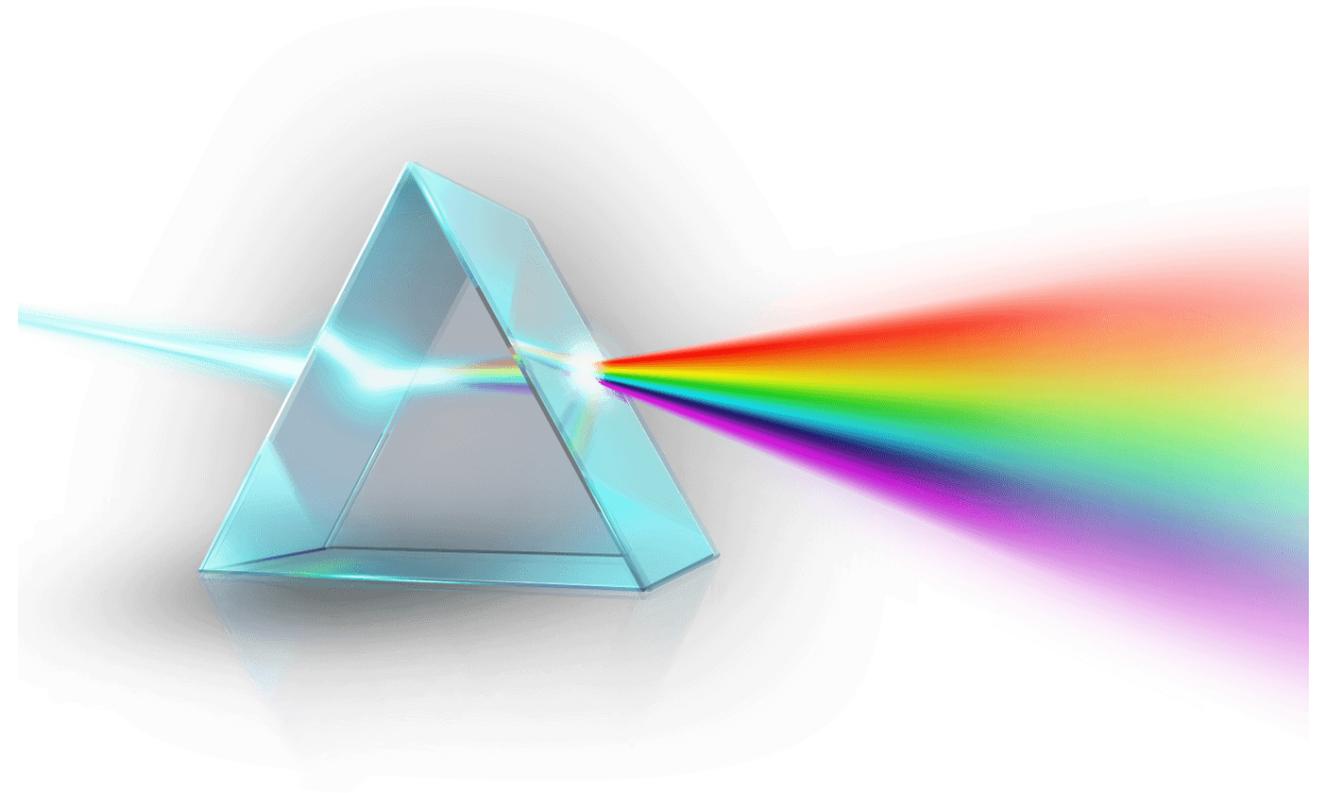
Objeto Rojo: Refleja Rojo y absorbe el resto de longitudes de onda

Objeto Verde: Refleja Verde y absorbe el resto de longitudes de onda.



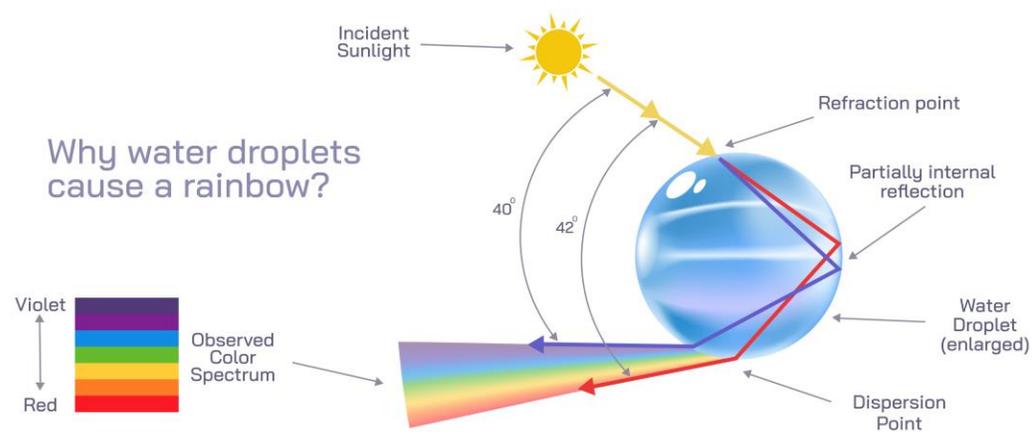
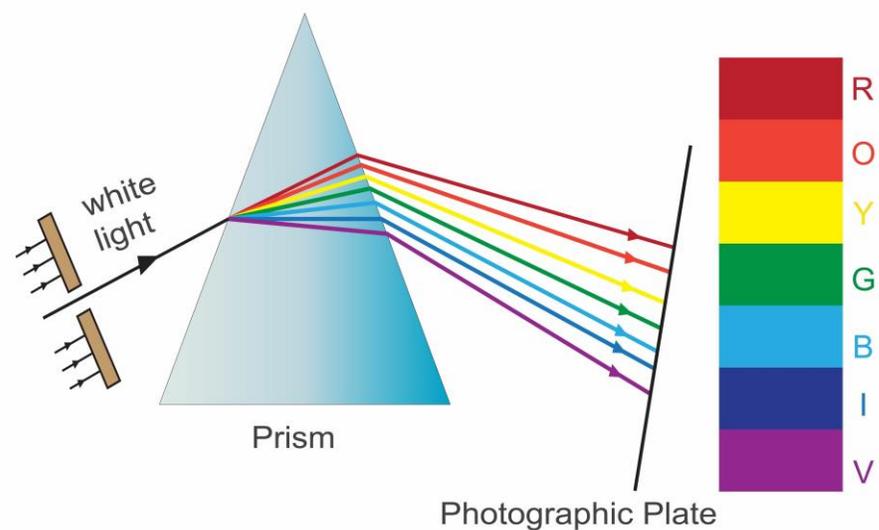
2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

2.1. Reflexión, Transmisión y Absorción



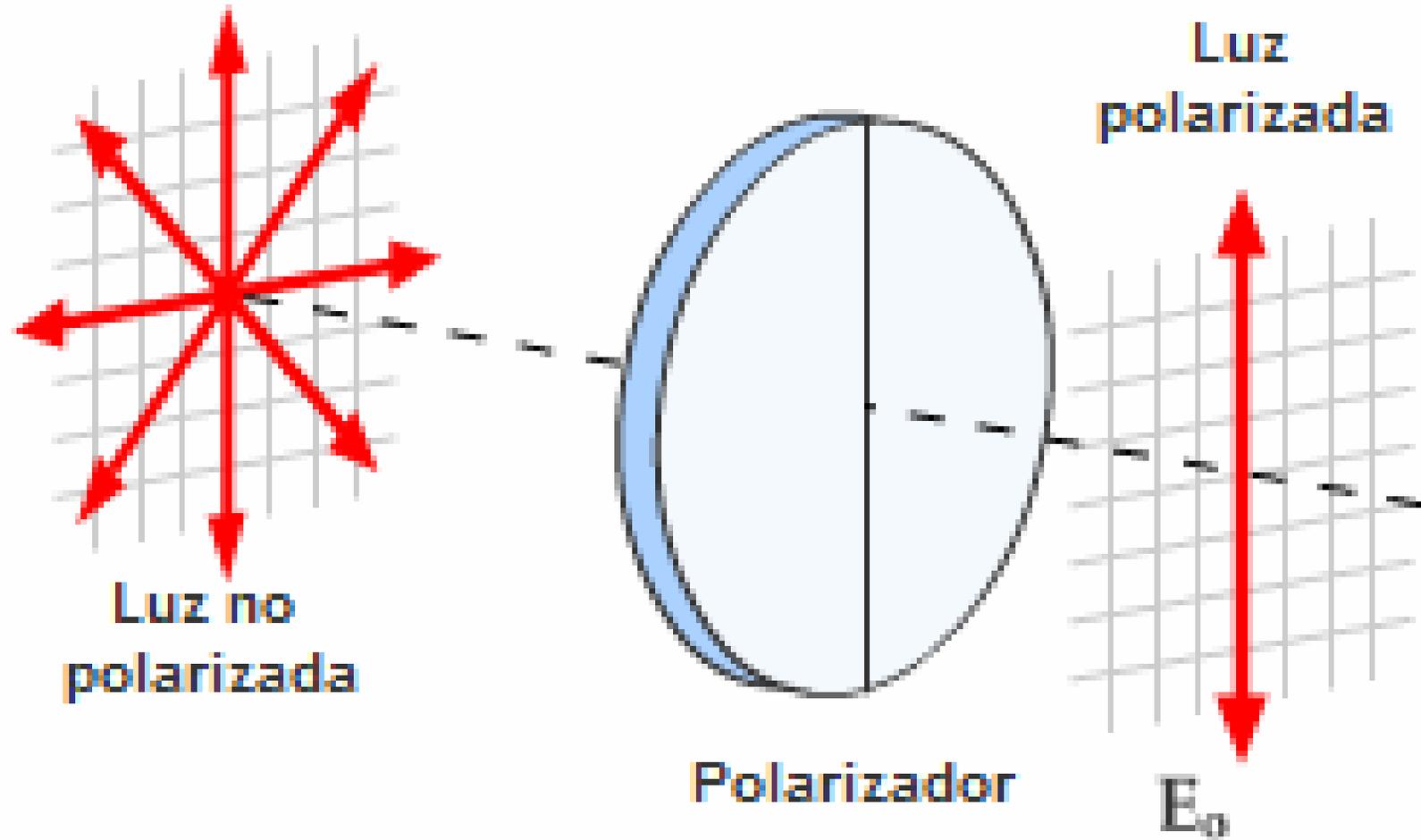
2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

Continuous Spectrum



2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Como particular la óptica*

2.2. Polarización



2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

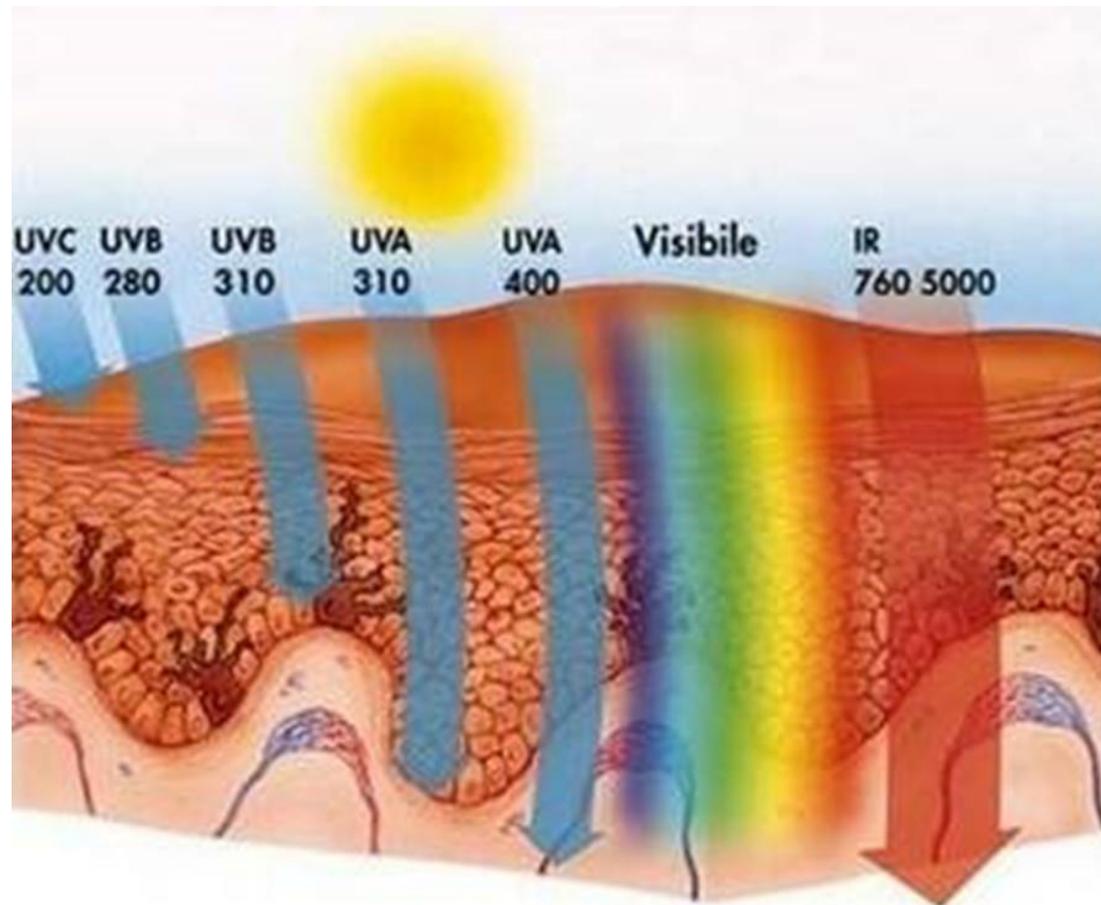
2.3. Longitud de penetración de ondas electromagnética:

La longitud de penetración de una onda electromagnética, también conocida como profundidad de penetración o profundidad de skin (skin depth en inglés), es la distancia a la que la amplitud de una onda electromagnética decrece significativamente cuando se propaga a través de un material conductor o absorbente. Esta profundidad depende de las propiedades del material y la frecuencia de la onda.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$$

- δ = Profundidad de penetración o longitud de penetración (en metros).
- f = Frecuencia de la onda electromagnética (en Hz).
- μ = Permeabilidad magnética del material (en H/m o henrios por metro).
- σ = Conductividad eléctrica del material (en S/m o siemens por metro).

2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

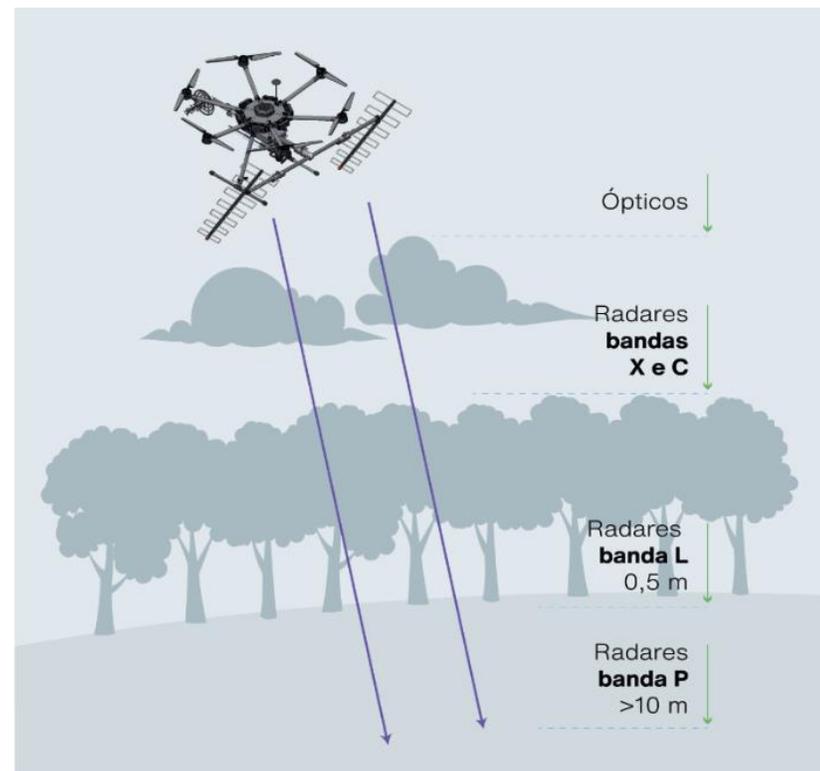


¿Cómo la selección del dominio en el espectro electromagnético (óptico o radar) permite caracterizar las aplicaciones directas de tecnologías de medición?

ÓPTICO



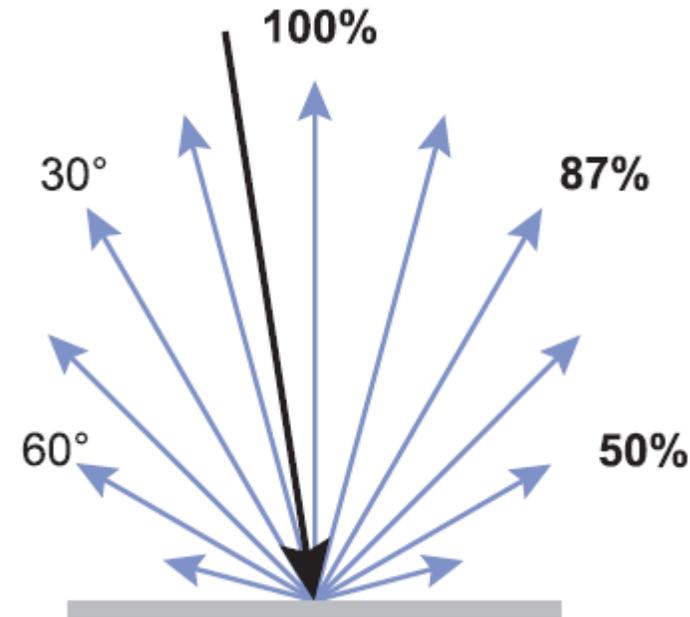
RADAR



2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

2.4. Materiales Lambertianos

- ✓ Un material lambertiano es un tipo de superficie ideal que refleja la luz de manera difusa siguiendo la Ley de Lambert. Esta ley establece que la intensidad luminosa reflejada desde una superficie difusa es independiente del ángulo de observación, lo que significa que la superficie parece tener el mismo brillo cuando se ve desde cualquier ángulo.
- ✓ Un material lambertiano, como el yeso blanco o el papel mate, tiene un brillo uniforme desde cualquier punto de vista. Esto se debe a que la luz es dispersada de manera homogénea, haciendo que no se produzcan brillos ni reflejos especulares.
- ✓ Los materiales lambertianos se emplean en estudios de iluminación para **calibrar fuentes de luz** y medir la reflectividad de superficies. Un reflector lambertiano es útil para **dispersar la luz de manera uniforme** en un ambiente controlado.



2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

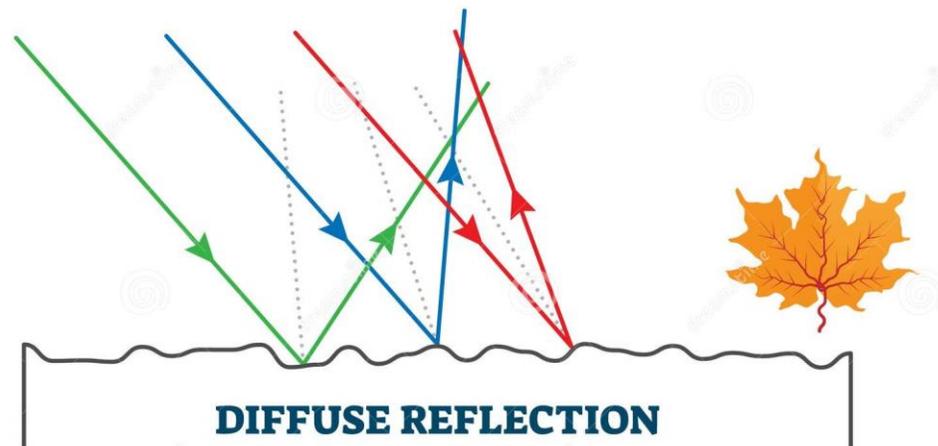
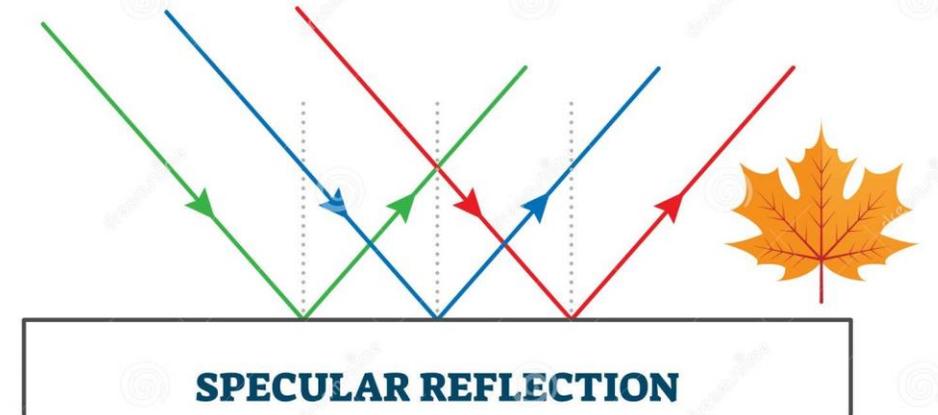
2.4. Materiales Lambertianos

✓ Superficie especular: (no Lambertiana):

Es un tipo de superficie que refleja la luz de manera **coherente** y **direccional**, creando un reflejo claro y nítido, similar a un espejo. las superficies especulares reflejan la luz en un solo ángulo, lo que resulta en una imagen reflejada más definida.

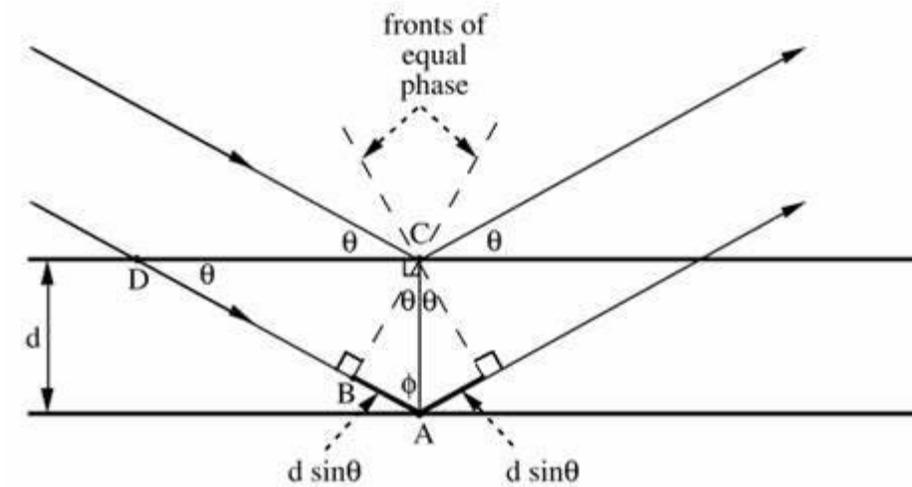
✓ Superficies difusas:

dispersan la luz en múltiples direcciones aleatorias.



2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

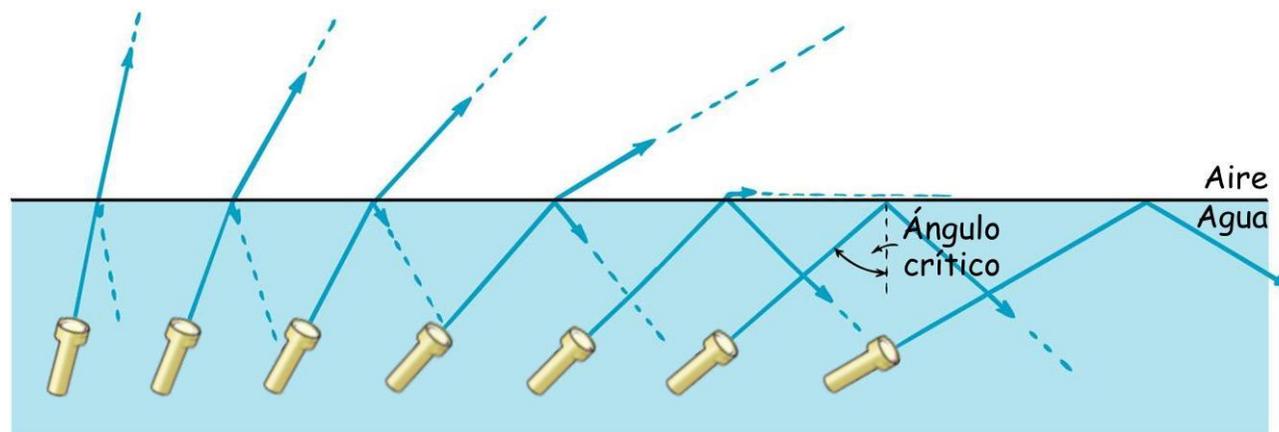
2.5. Rejillas de Bragg



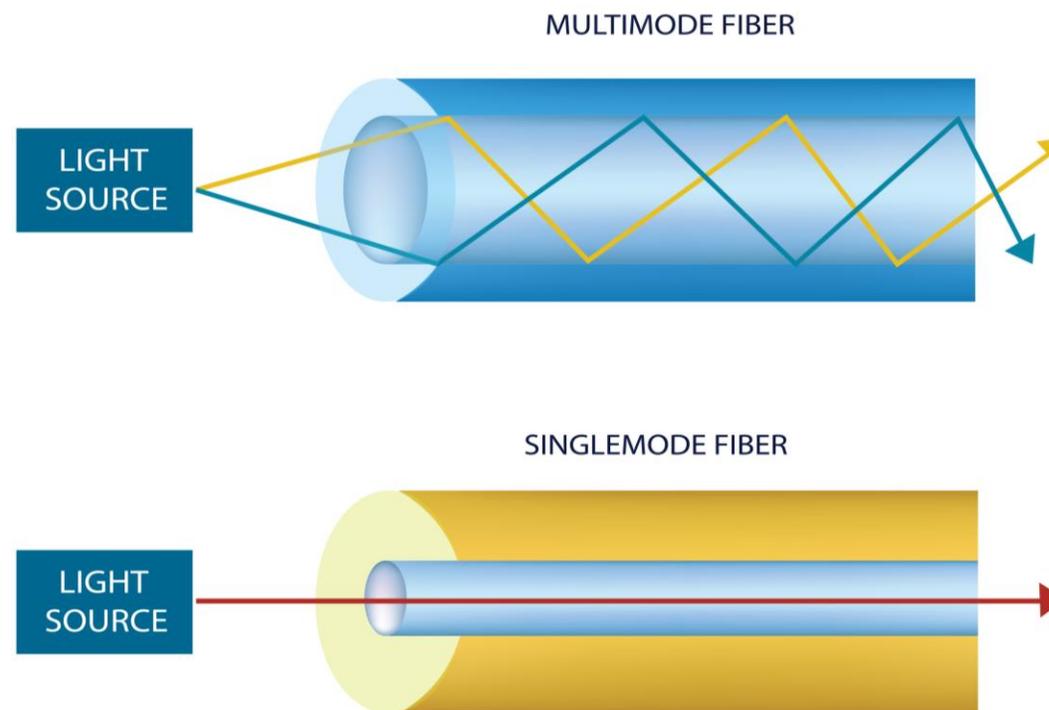
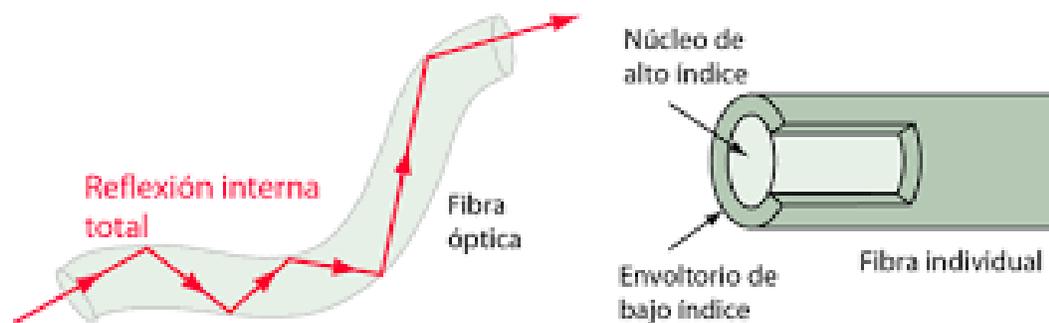
2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

2.6. Fibras ópticas

Reflexión total interna



2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*



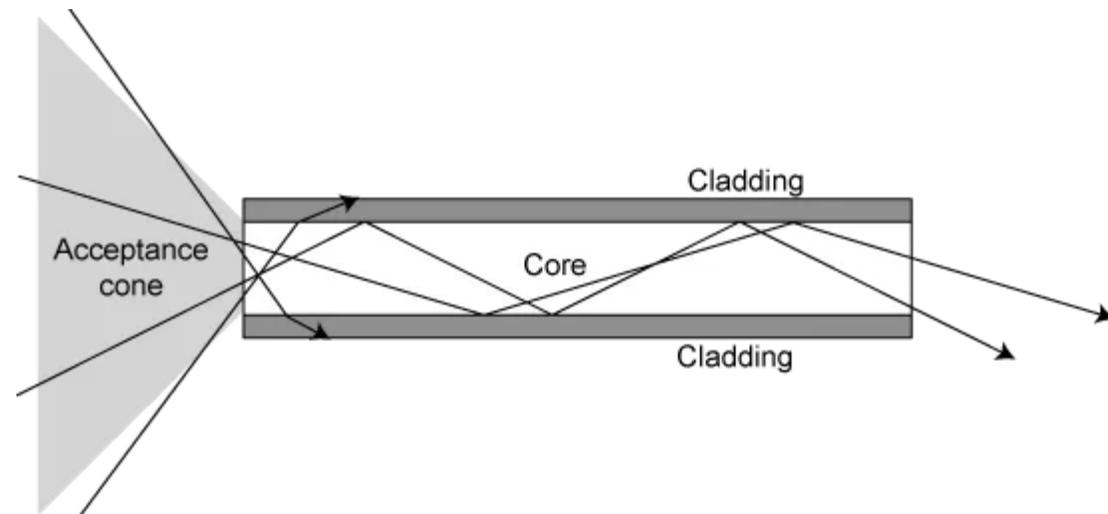
2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. *Caso particular la óptica*

2.6. Fibras ópticas.

¿De qué depende la cantidad de luz acoplada a la fibra óptica? NA (Numerical Aperture)

$$NA = \sin(\theta) = \frac{n_2}{n_1}$$

n_2 es el índice de refracción del revestimiento (cladding), n_1 es el índice de refracción del núcleo (core). θ es el ángulo del cono de aceptación.



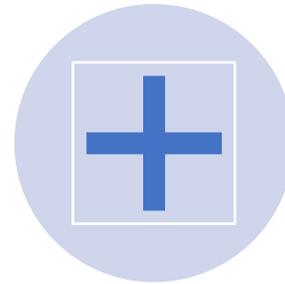
Sensores Remotos Multi e Hiperespectrales de la Tecnología Agro 4.0: *Fundamentos Ópticos y Fotónicos*

3. Propiedades espectrales de la vegetación

3. Propiedades espectrales de la vegetación



3.1. Biofotónica



3.2. Firma espectral



3.3. Origen del índice de vegetación



3.4. Revisión de índices de vegetación

3. Propiedades espectrales de la vegetación

La **biofotónica** investiga la interacción de la luz con sistemas biológicos, lo que permite tanto el análisis y diagnóstico como la intervención en organismos vivos.

Tópicos

- ✓ Definición de firma espectral
- ✓ Explicar cómo las firmas espectrales difieren para diferentes objetos biológicos o no.
- ✓ Cómo se distinguen los objetos: vegetación, agua, suelo, minerales, rocas según su firma espectral
- ✓ Identificar y explicar las firmas por inspección

3. Propiedades espectrales de la vegetación

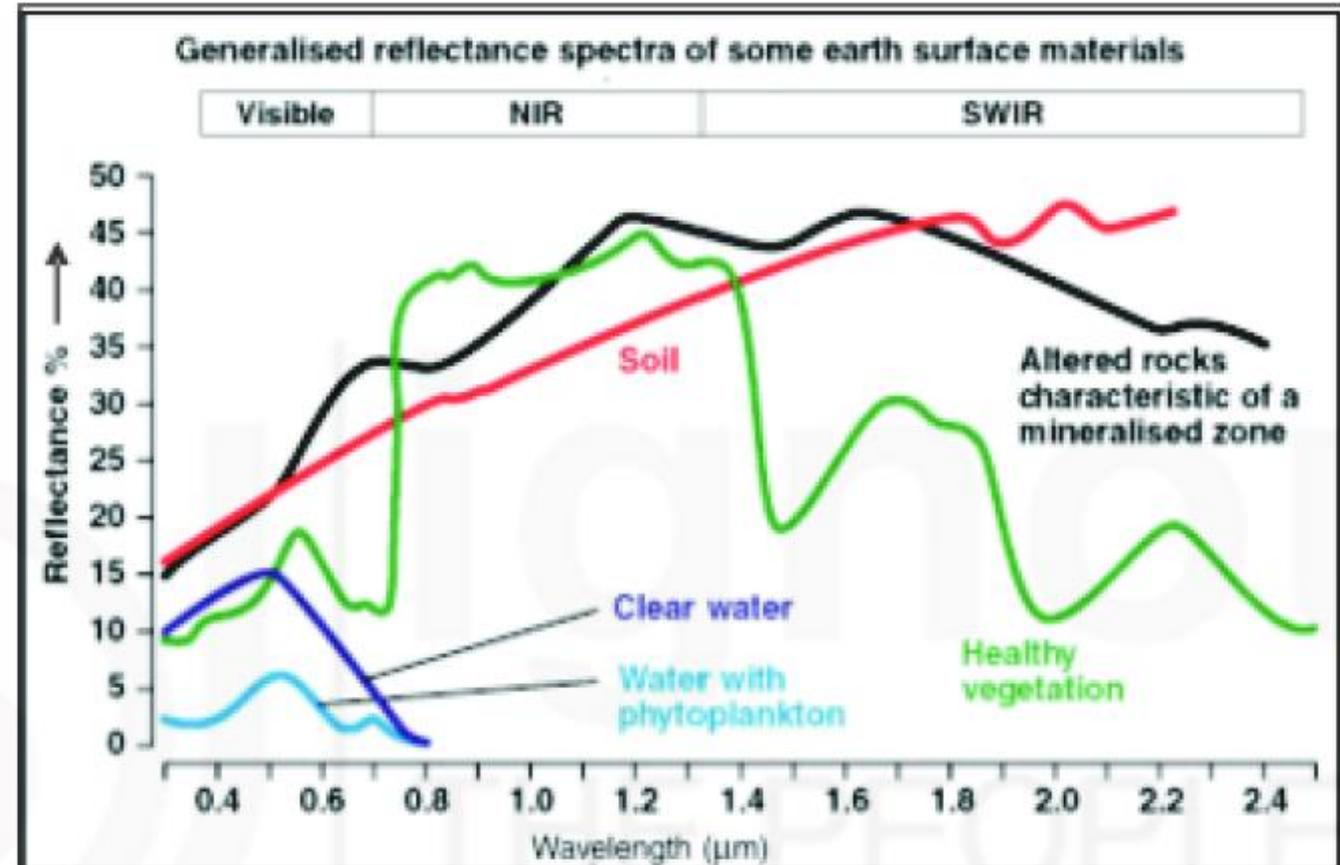
3.2. Firma(s) espectral(es)

- ✓ Las firmas espectrales son la combinación de la radiación electromagnética reflejada, absorbida y transmitida o emitida por objetos en distintas longitudes de onda, que pueden identificar de forma única un objeto.
- ✓ Cuando se representa gráficamente la cantidad de radiación electromagnética (normalmente la **intensidad de la radiación reflejada** o **reflectancia en porcentaje**) procedente del material en un rango de longitudes de onda, los puntos conectados sucesivamente producen una curva que se conoce como firma espectral del material o, en otras palabras, curva de respuesta espectral.
- ✓ Son importantes para la interpretación de imágenes de teledetección.

3. Propiedades espectrales de la vegetación

3.2. Firma(s) espectral(es)

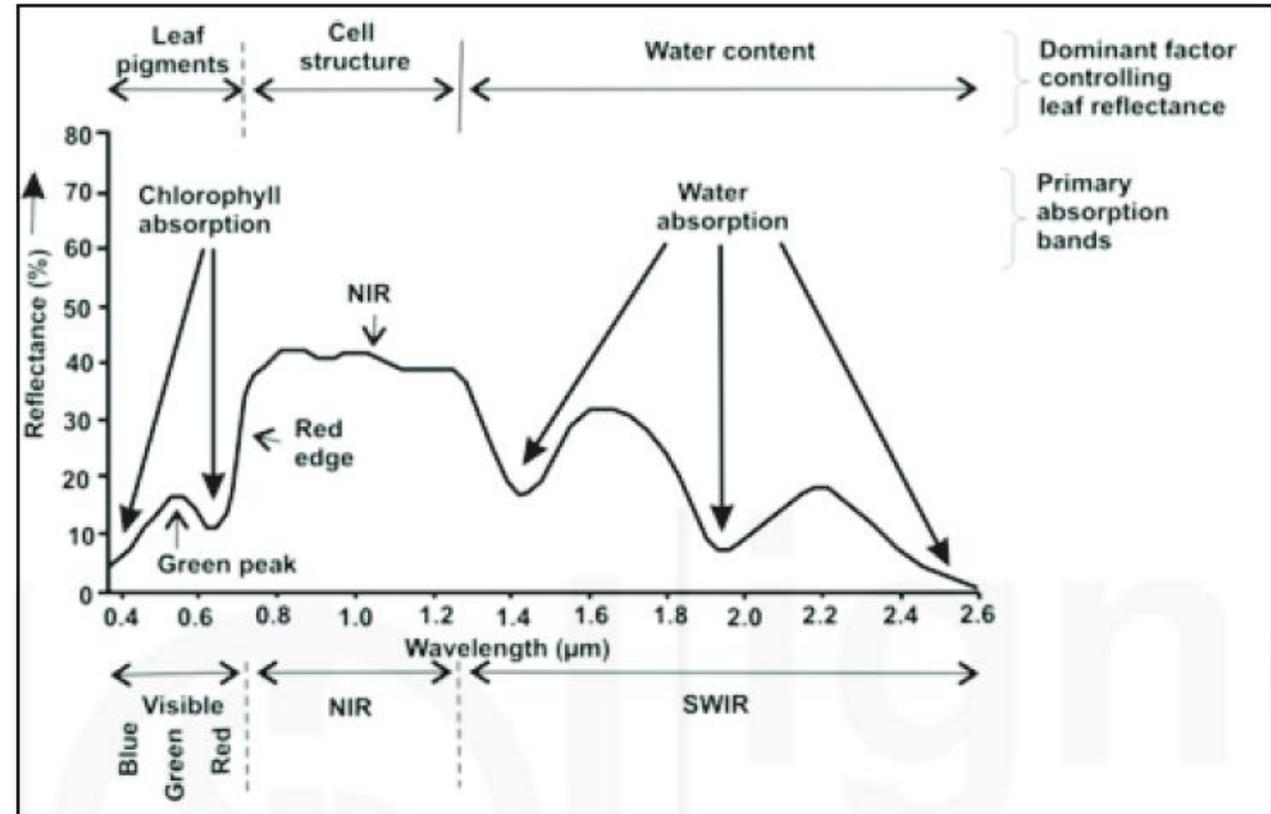
Firmas espectrales de materiales comunes de la Tierra en las bandas NIR (infrarrojo cercano) y SWIR (región infrarroja de onda corta). (tomado de www.rsac1.co.uk/rs.html)



3. Propiedades espectrales de la vegetación

3.2. Firma(s) espectral(es)

Firma espectral típica de la vegetación
 (Tomado de Hoffer, R.M. 1978)



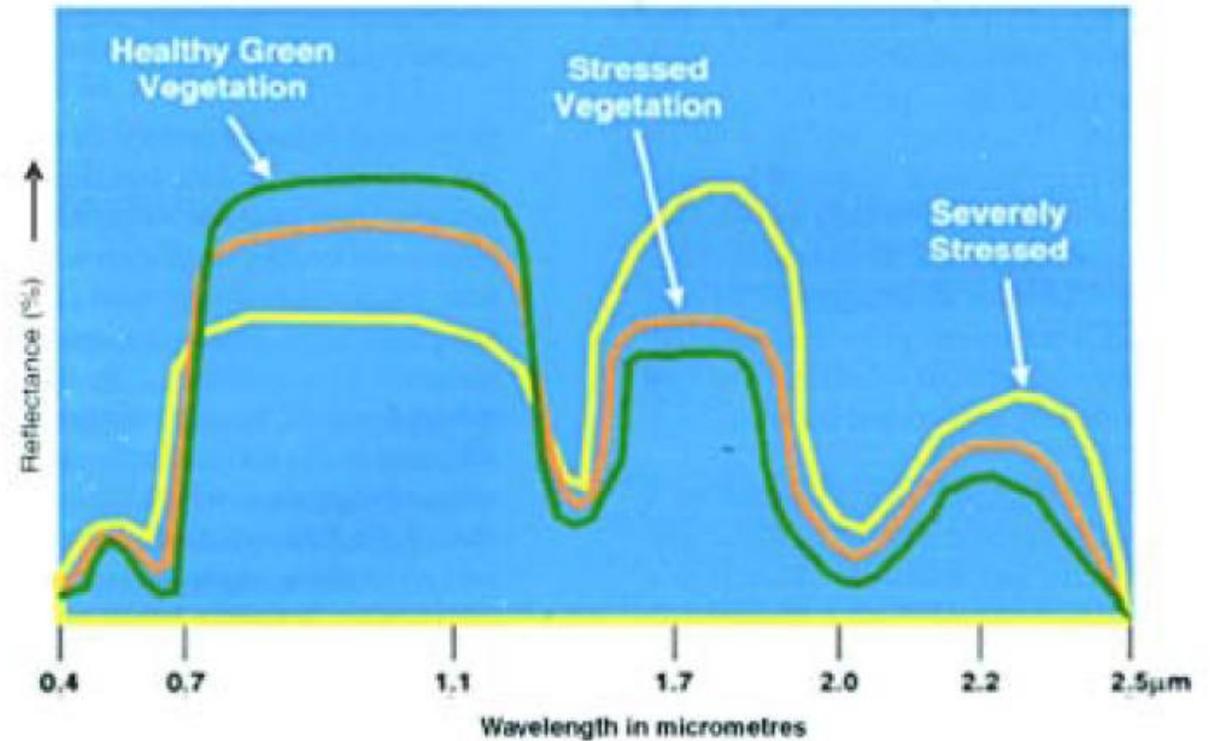
3. Propiedades espectrales de la vegetación

Firmas Espectrales

- ✓ La vegetación se ve verde (pico de reflexión en el verde 560 nm relacionado con el pigmento de clorofila en las hojas de las plantas).
- ✓ La presencia del pigmento clorofila da como resultado una firma espectral única de la vegetación que nos permite distinguirla fácilmente de otros tipos de características de la cubierta terrestre (no vivas) en una imagen óptica.
- ✓ La reflectancia de la vegetación es baja en las regiones azul y roja del espectro EM, debido a la absorción de longitudes de onda azul y roja responsables de la fotosíntesis.
- ✓ En la región del infrarrojo cercano (NIR), la reflectancia es mucho mayor que en la banda visible debido a la estructura celular de las hojas, que se comportan como reflectores difusos. Por lo tanto, la vegetación puede identificarse fácilmente en la región NIR del espectro.
- ✓ ¿Qué pasa si las hojas se ven amarillas o rojizas?. Reflejan más rojo y menos verde.

3. Propiedades espectrales de la vegetación

Ejemplo de firmas espectrales de vegetación sana, estresada y severamente estresada (fuente: http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect3/Sect3_1.html)



3. Propiedades espectrales de la vegetación

Arboles deciduos (a) y tipo aguja(b)

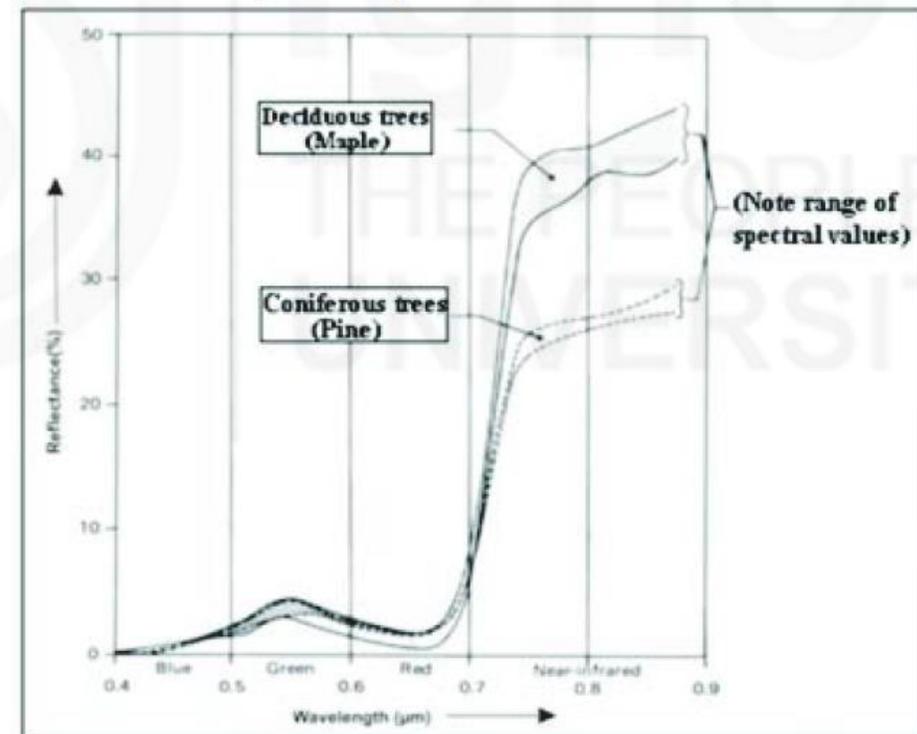


(a)



(b)

Firma espectral - dependencia con la forma de la vegetación. Arboles tipo deciduos de hoja ancha (a) y coníferos de hoja tipo aguja (b). (Lillesand et.al 2007)



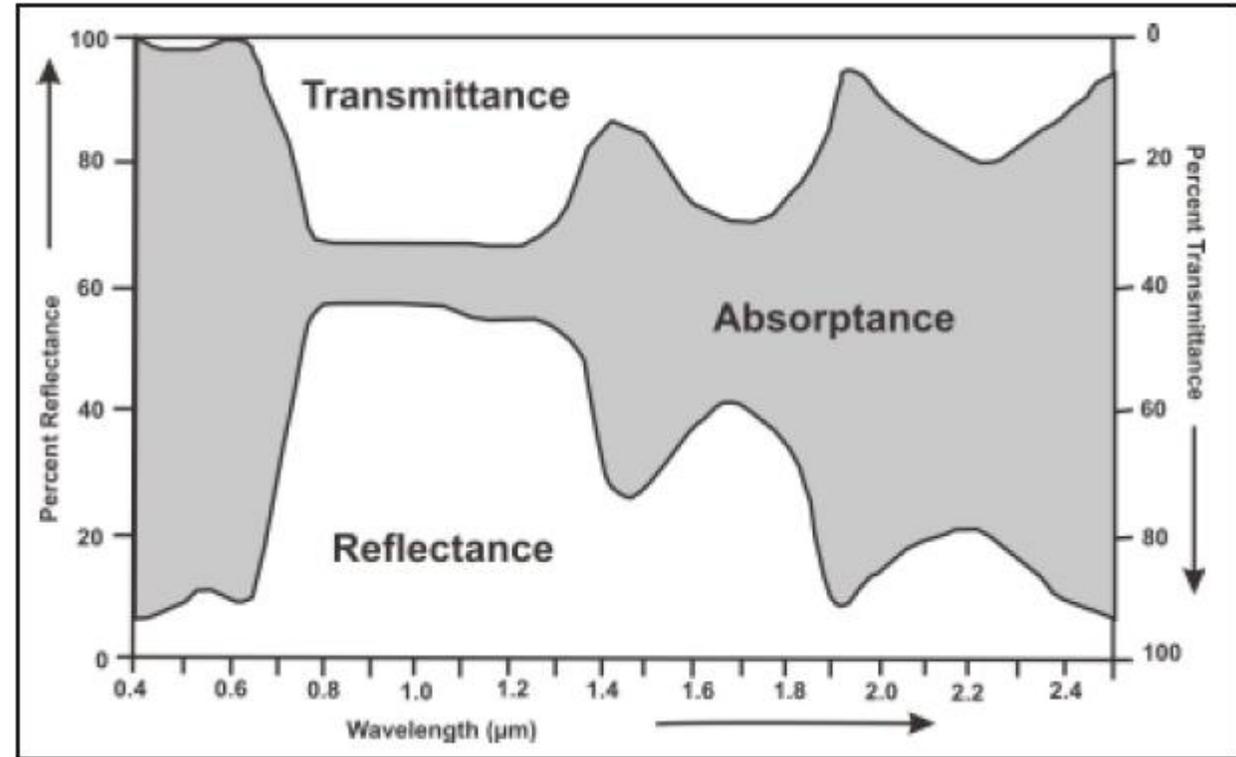
3. Propiedades espectrales de la vegetación

Firmas Espectrales

- ✓ **Región visible (400-700 nm):** baja reflectancia, alta absorción y transmitancia mínima. El control fundamental de las interacciones energía-materia con la vegetación en esta parte del espectro es la pigmentación de la planta. Parámetros característicos son las reflectancias en el rojo (R – 630 nm), verde (G – 560 nm), y azul (B – 450 nm).
- ✓ **Región NIR (700-1350 nm):** alta reflectancia y transmitancia, muy baja absorción. El control físico son las estructuras internas de las hojas y su forma física. Parámetros característicos son la reflectancia en el “borde rojo” (RedEdge – 720-780) y la reflectancia en el resto de las longitudes de onda cuyo valor el cuasi-constante.
- ✓ **Infrarrojo medio (MIR) (1350-2500 nm):** a medida que aumenta la longitud de onda, tanto la reflectancia como la transmitancia generalmente disminuyen de media a baja, mientras que la absorción aumenta de baja a alta. El control físico primario en estas longitudes de onda del infrarrojo medio (SWIR) para la vegetación es el contenido de agua in vivo.

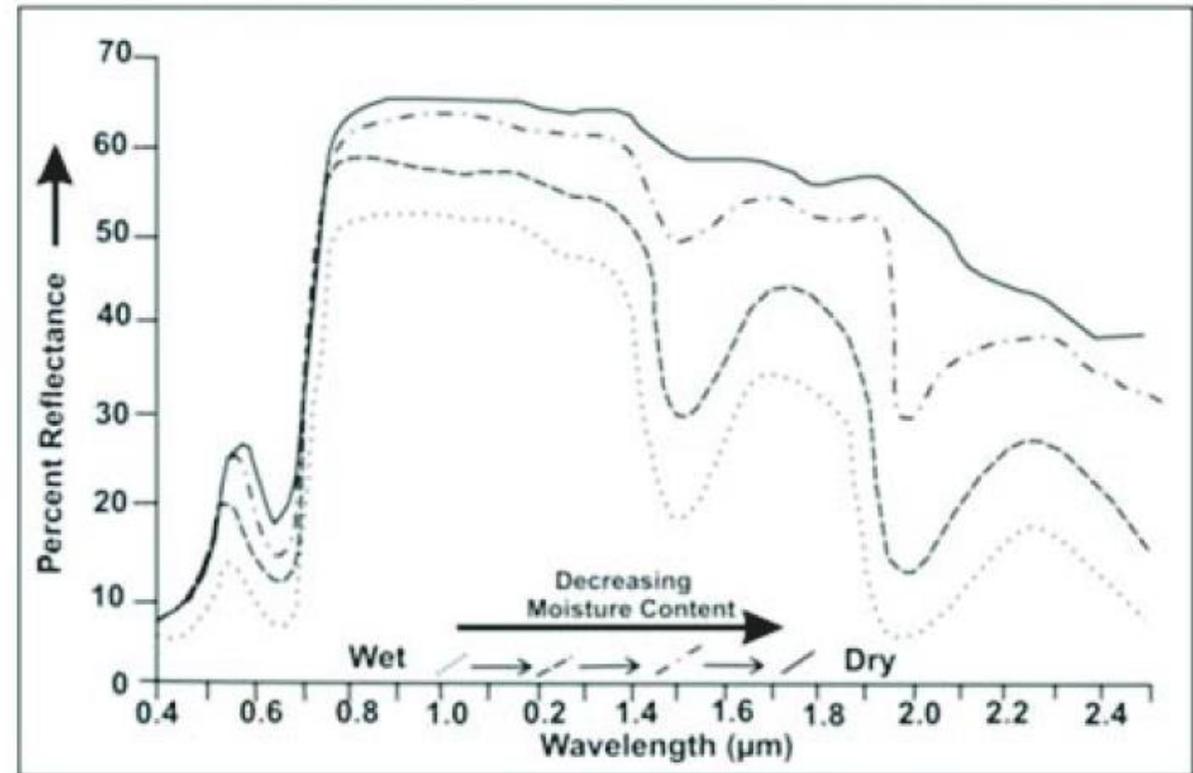
3. Propiedades espectrales de la vegetación

Partición de la reflectancia espectral de la vegetación en las regiones visible, NIR y MIR del espectro EM (modificado desde www.cps-amu.org/sf/notes/m1r-1-8.htm)



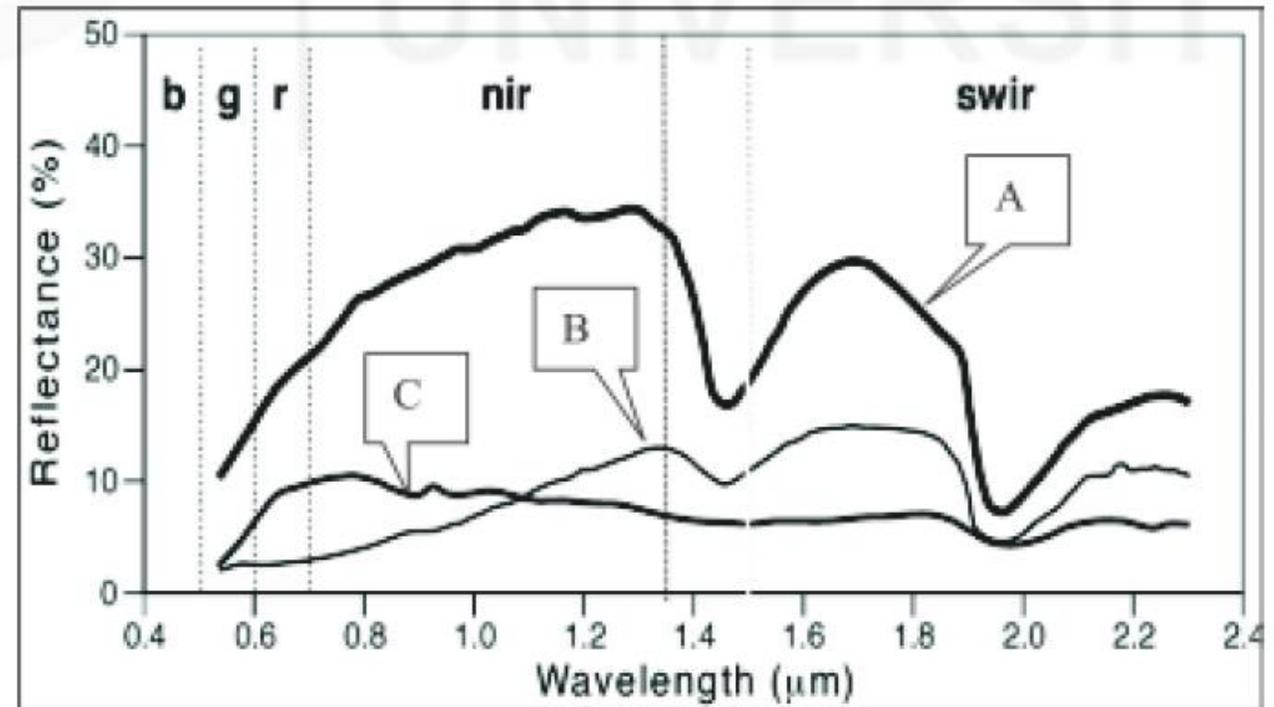
3. Propiedades espectrales de la vegetación

Variación de las características de reflectancia espectral de la vegetación según el contenido de humedad de las hojas (modificado de www.cps-amu.org/sf/notes/m1r-1-8.htm)



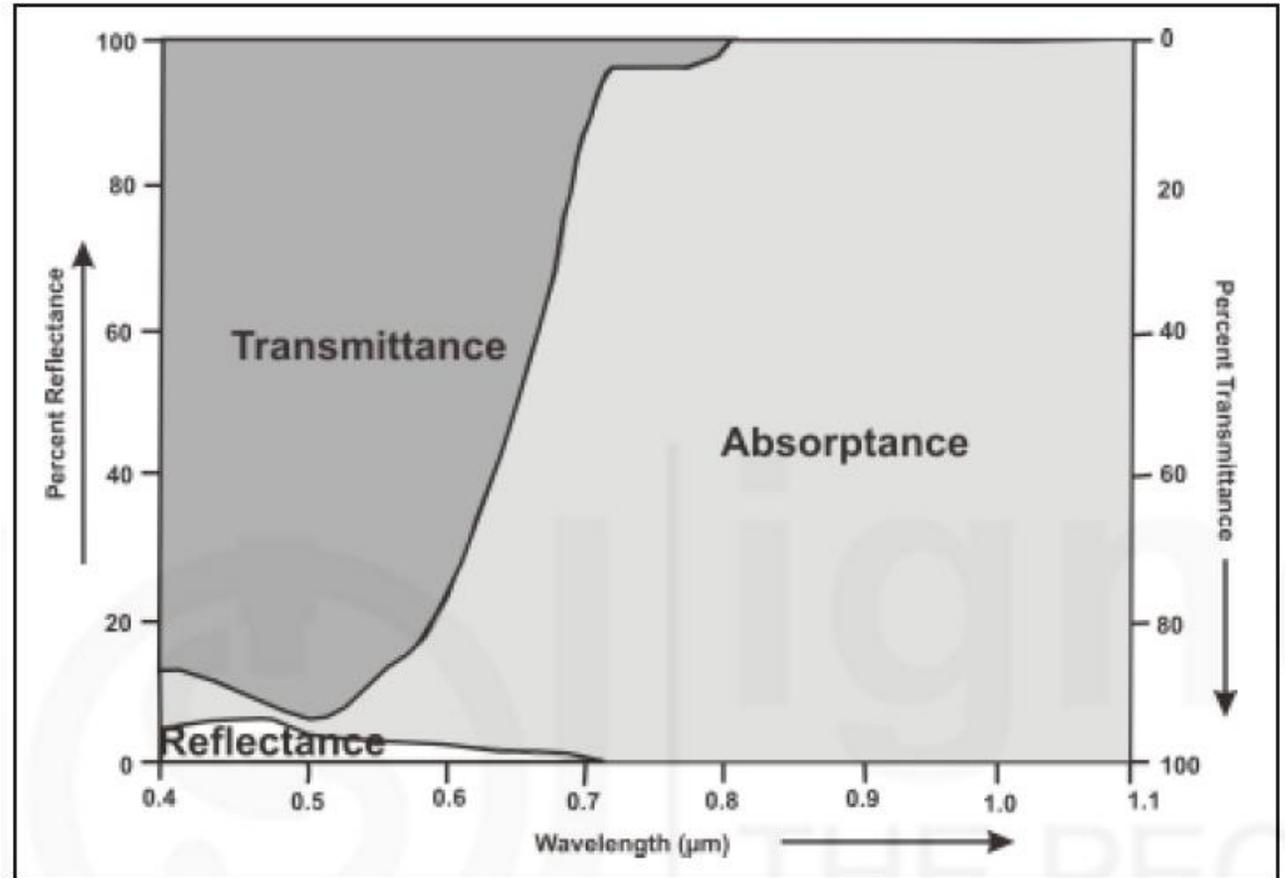
3. Propiedades espectrales de la vegetación

Reflectancia de superficies de suelo desnudo. A) mínimamente alterada, B) con predominio de materia orgánica y C) con predominio de hierro (modificado de Stoner y Baumgardner, 1981)



3. Propiedades espectrales de la vegetación

Características de reflectancia espectral de aguas profundas y claras (modificado de www.cpsamu.org/sf/notes/m1r-1-8.htm)

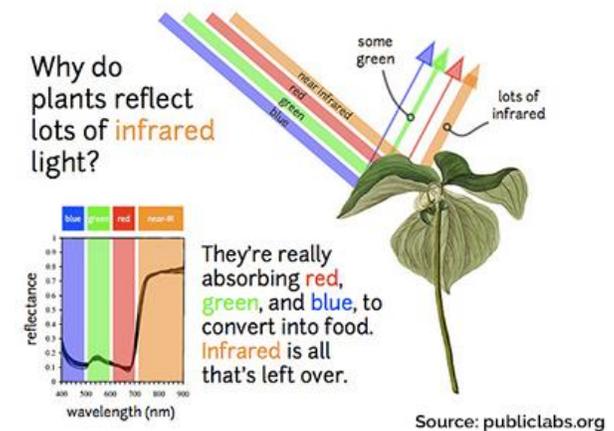
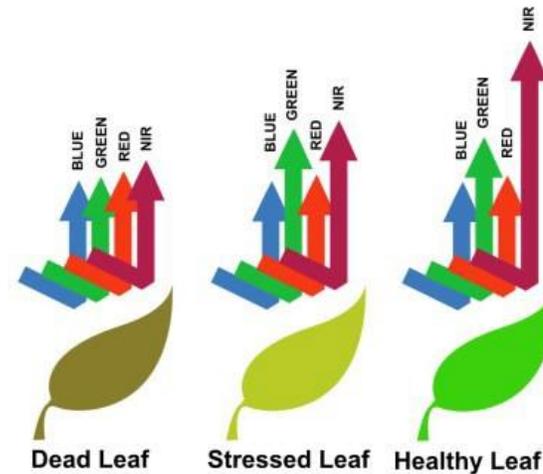
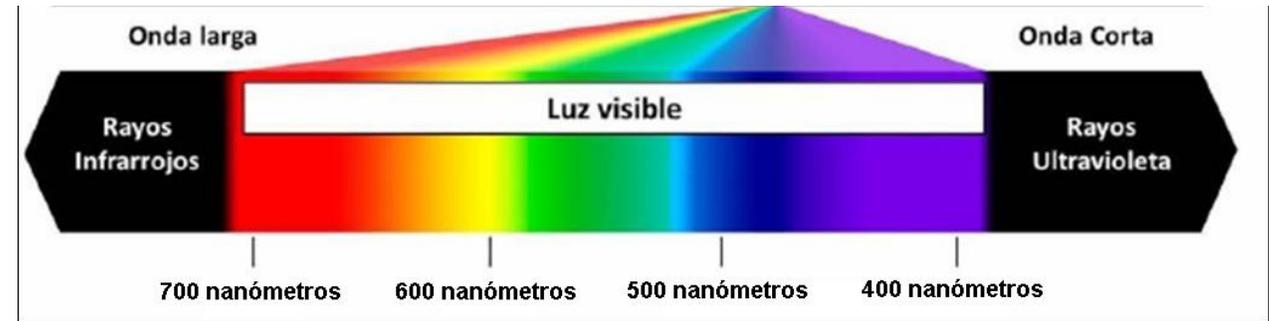


3. Propiedades espectrales de la vegetación

3.3. Origen del índice de vegetación

- ✓ Una forma de distinguir suelo de vegetación
- ✓ los suelos tienden a tener aproximadamente la misma reflectancia en las dos bandas (VIS: visible y NIR: infrarrojo cercano),
- ✓ En la vegetación la reflectancia de la banda visible es baja para la radiación ultravioleta y la reflectancia del infrarrojo cercano es alta.
- ✓ Un índice de vegetación define una relación entre la energía reflejada visible de la energía reflejada del infrarrojo; o de manera general hoy en día los índices de vegetación son “formulas” que buscan discriminar con alto contraste la vegetación y otros elementos

¿De donde proviene el concepto físico de índice de vegetación?

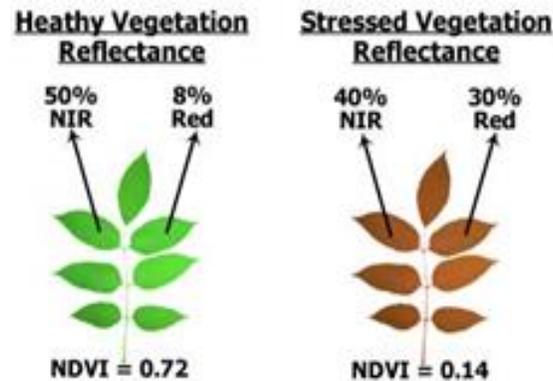


¿De donde proviene el concepto físico de índice de vegetación?

NVDI: Normalized Difference Vegetation Index.

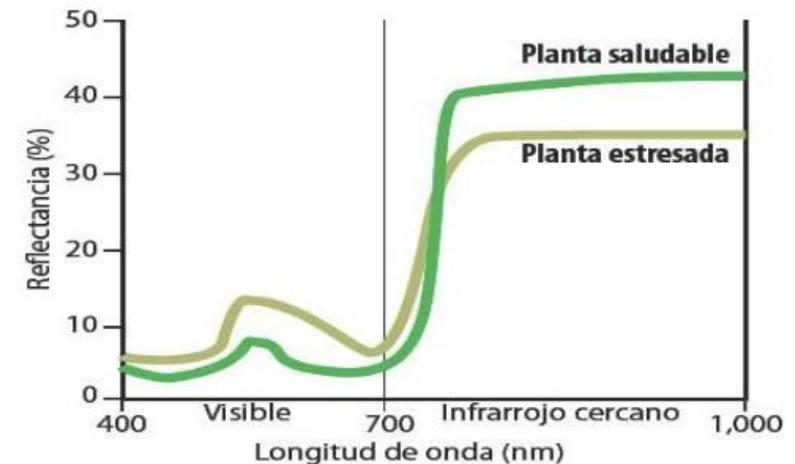
NIR=Infrarrojo cercano (850 nm) y Red: Rojo (650 nm).

Indice de la salud de la planta

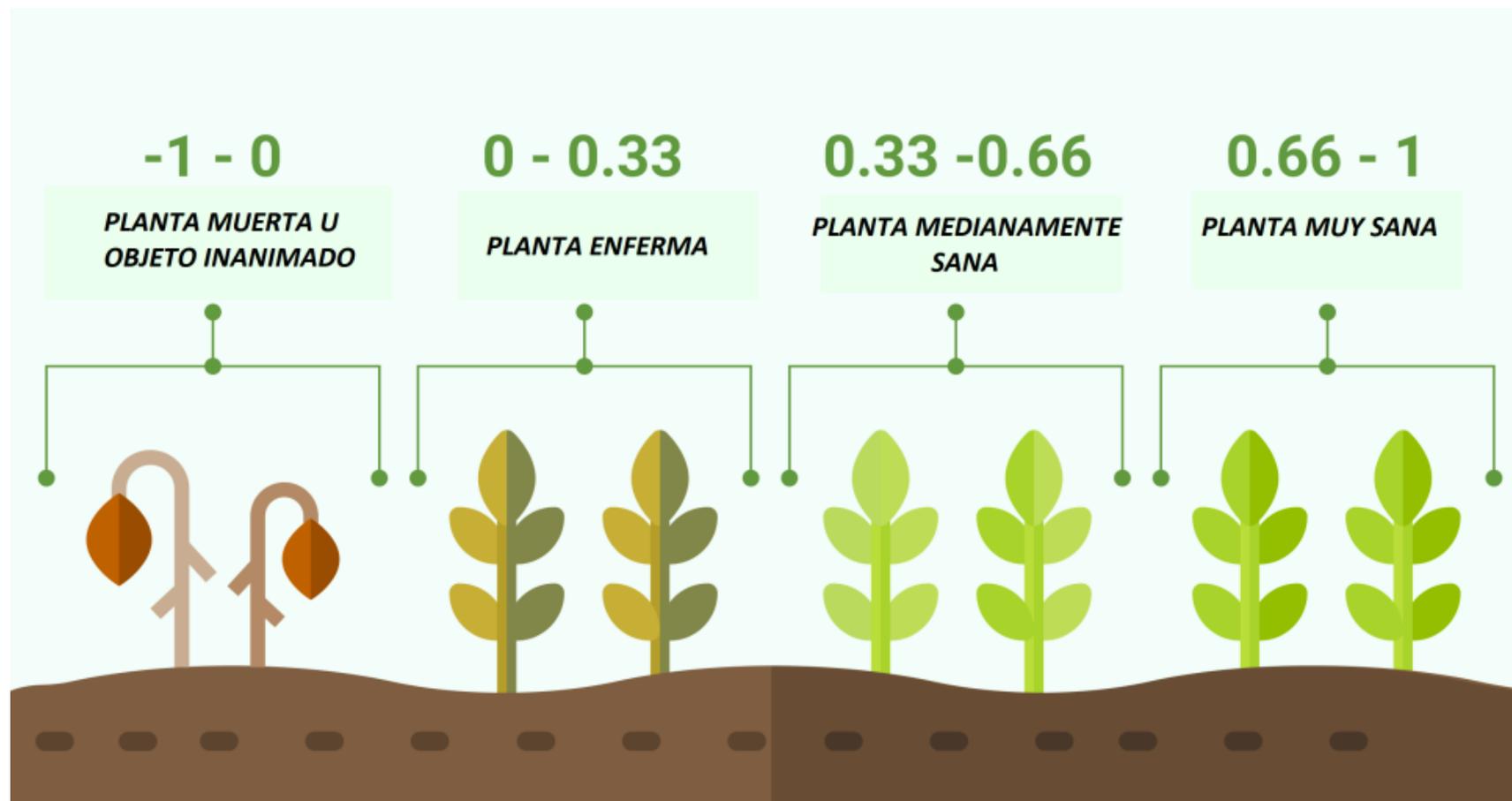


$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}}$$

(Fonte: <http://odis.ca/ndvi.html>)

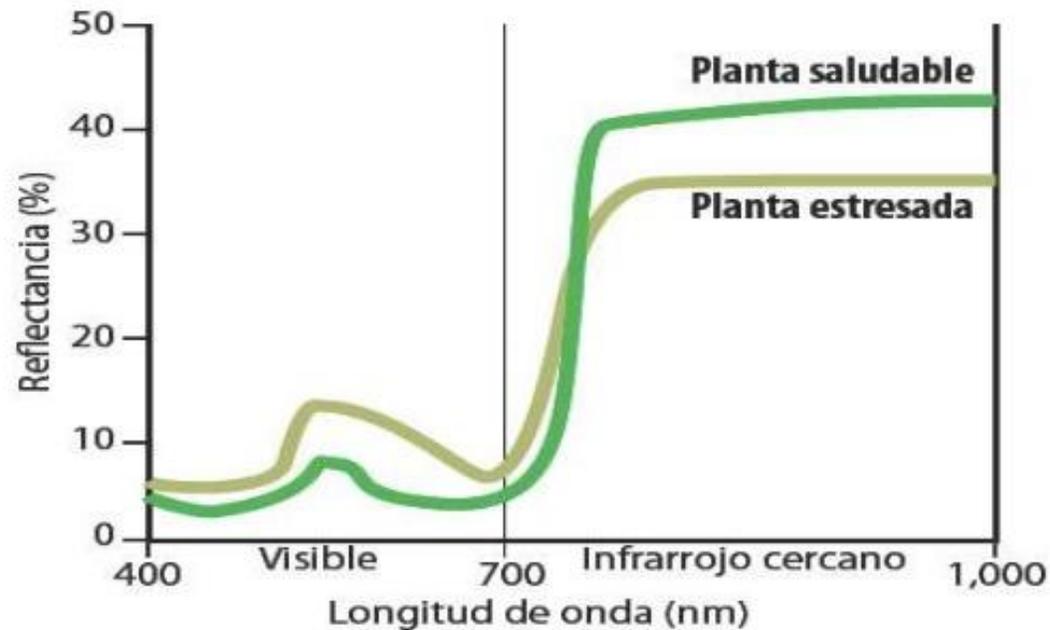


Ejemplo de espectro típico de reflectancia mostrando el comportamiento de una planta vigorosa y otra en condiciones de estrés. Fuente: CIMMYT.



NDVI

¿De donde proviene el concepto físico de índice de vegetación?

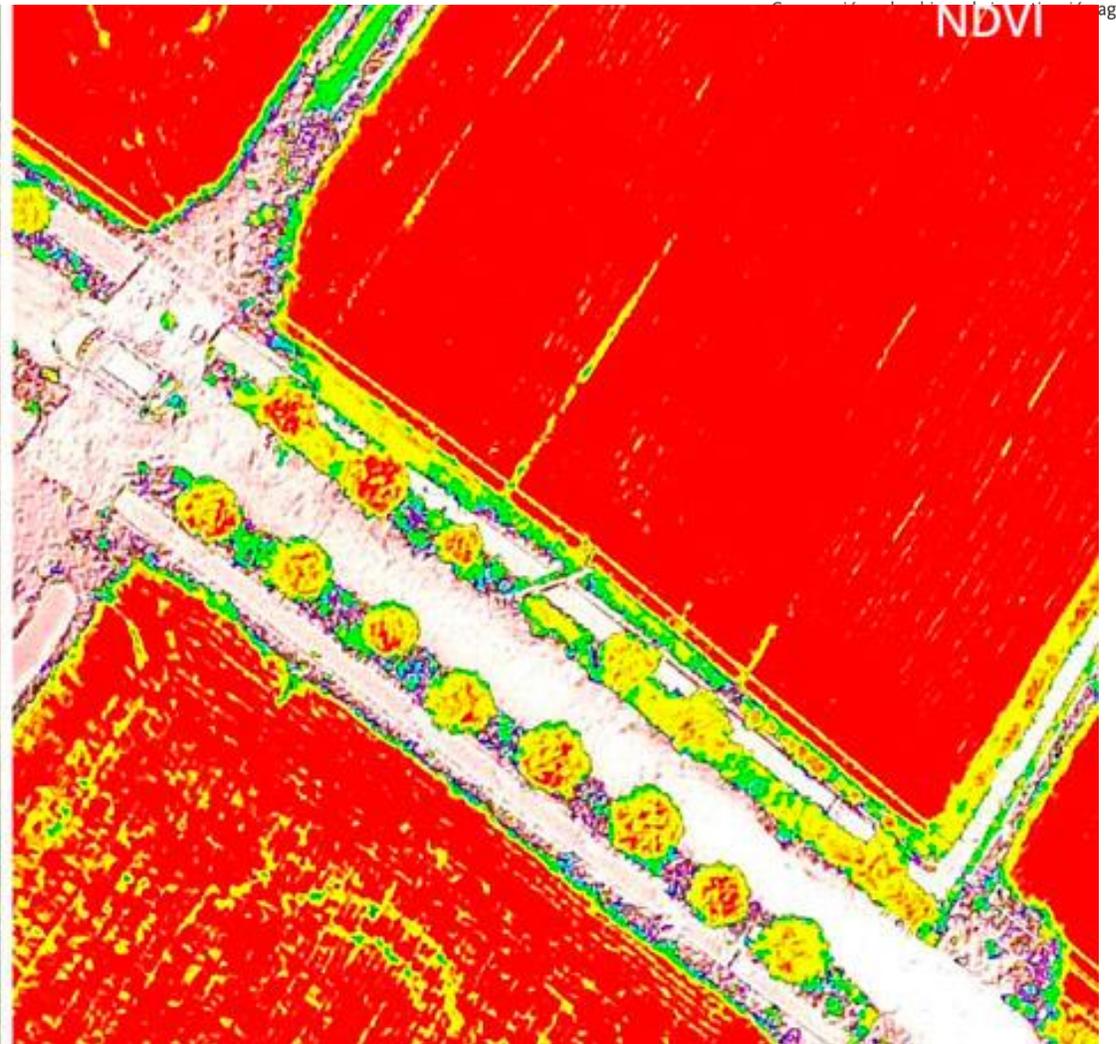


NDRE: Normalized Difference Red Edge. NIR=Infrarrojo Lejano (850 nm) y RE: Red Edge (715 nm).

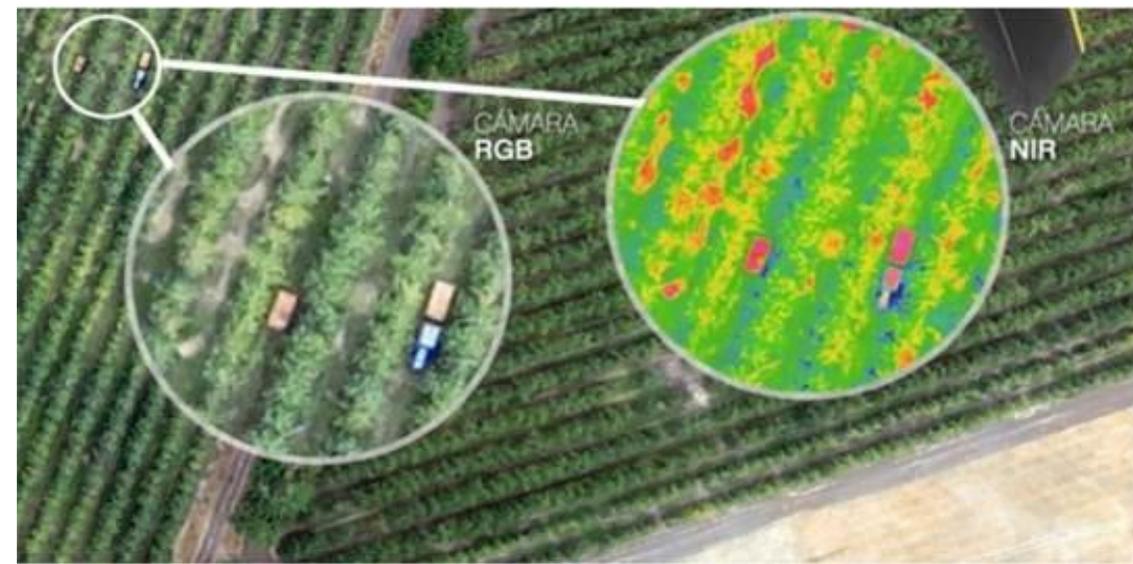
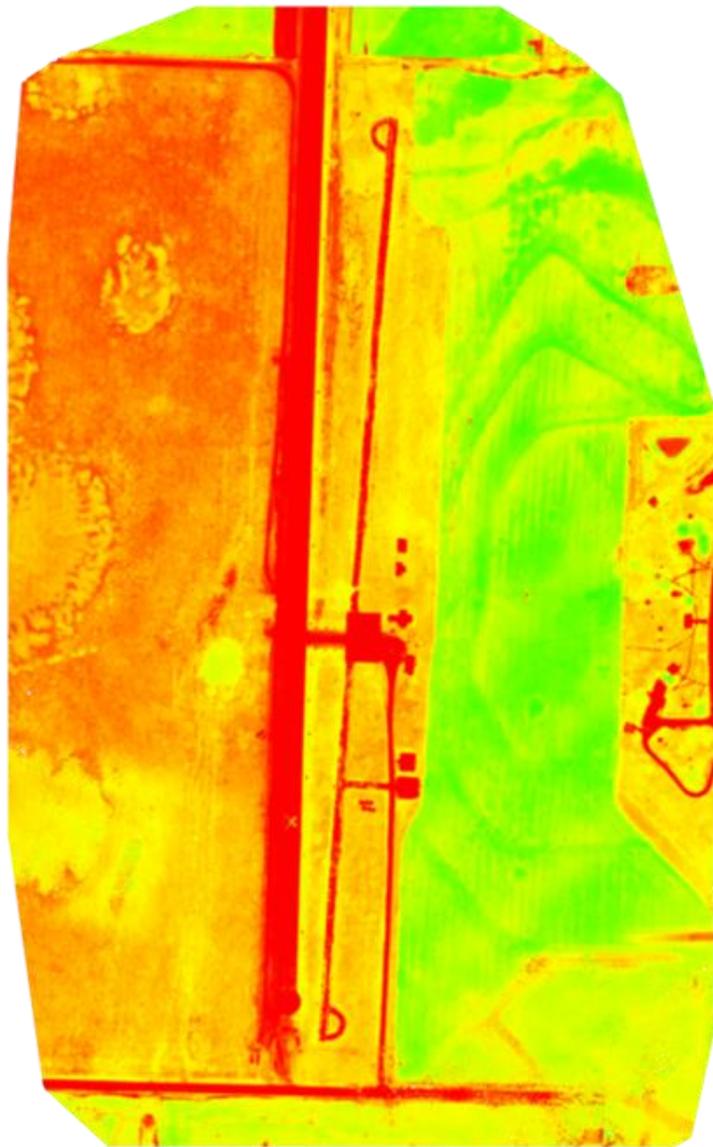
Medida de la cantidad de Clorofila

$$\text{NDRE} = \frac{(\text{NIR} - \text{RE})}{(\text{NIR} + \text{RE})}$$

Ejemplo de espectro típico de reflectancia mostrando el comportamiento de una planta vigorosa y otra en condiciones de estrés. *Fuente: CIMMYT.*



$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}}$$



3.4. Revisión de Índices de Vegetación

- Nota: ρ son las bandas espectrales de las bandas de luz infrarroja cercana (NIR), roja, verde y azul, respectivamente; ρ_i denota reflectancia en la longitud de onda de la banda i en nanómetros.

Vegetation Index	Formulas
Three gradient difference vegetation index (TGDVI)	$TGDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\lambda_{NIR} - \lambda_R} - \frac{\rho_R - \rho_G}{\lambda_R - \lambda_G}$
Triangular vegetation index (TVI)	$TVI = 60(\rho_{NIR} - \rho_G) - 100(\rho_R - \rho_G)$
Modified triangular vegetation index (MTVI2)	$MTVI2 = \frac{1.5[(1.2(\rho_{NIR} - \rho_G) - 2.5(\rho_R - \rho_G))]}{\sqrt{(2\rho_{NIR} + 1)^2 - (6\rho_{NIR} - 5\sqrt{\rho_R})} - 0.5}$
Red edge NDVI	$NDVI_{Red-edge} = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red-edge}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red-edge}}$
Red-edge chlorophyll index	$CI_{Red-edge} = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{Red-edge}} - 1$
MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	$MTCI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red-edge}}{\rho_{Red-edge} - \rho_{Red}}$
Water Index (WI)	$WI = \rho_{900} / \rho_{970}$
Normalized difference water index (NDWI)	$NDWI = \frac{\rho_{860} - \rho_{1240}}{\rho_{860} + \rho_{1240}}$
Normalized difference infrared index (NDII)	$NDII = \frac{\rho_{819} - \rho_{1600}}{\rho_{819} + \rho_{1600}}$
Disease water stress index (DSWI)	$DSWI = \frac{\rho_{803} + \rho_{549}}{\rho_{1659} + \rho_{681}}$

3.4. Revisión de Índices de Vegetación

- Nota: ρ son las bandas espectrales de las bandas de luz infrarroja cercana (NIR), roja, verde y azul, respectivamente; ρ_i denota reflectancia en la longitud de onda de la banda i en nanómetros.

Vegetation Index	Formulas
Three gradient difference vegetation index (TGDVI)	$TGDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\lambda_{NIR} - \lambda_R} - \frac{\rho_R - \rho_G}{\lambda_R - \lambda_G}$
Triangular vegetation index (TVI)	$TVI = 60(\rho_{NIR} - \rho_G) - 100(\rho_R - \rho_G)$
Modified triangular vegetation index (MTVI2)	$MTVI2 = \frac{1.5[(1.2(\rho_{NIR} - \rho_G) - 2.5(\rho_R - \rho_G))]}{\sqrt{(2\rho_{NIR} + 1)^2 - (6\rho_{NIR} - 5\sqrt{\rho_R}) - 0.5}}$
Red edge NDVI	$NDVI_{Red-edge} = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red-edge}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red-edge}}$
Red-edge chlorophyll index	$CI_{Red-edge} = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{Red-edge}} - 1$
MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	$MTCI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red-edge}}{\rho_{Red-edge} - \rho_{Red}}$
Water Index (WI)	$WI = \rho_{900} / \rho_{970}$
Normalized difference water index (NDWI)	$NDWI = \frac{\rho_{860} - \rho_{1240}}{\rho_{860} + \rho_{1240}}$
Normalized difference infrared index (NDII)	$NDII = \frac{\rho_{819} - \rho_{1600}}{\rho_{819} + \rho_{1600}}$
Disease water stress index (DSWI)	$DSWI = \frac{\rho_{803} + \rho_{549}}{\rho_{1659} + \rho_{681}}$

3.4. Revisión de Índices de Vegetación

Table 3. Vegetation indices compiled from the literature.

Vegetation Index	Formulas
Atmospherically-resistant vegetation index (ARVI)	$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - RB}{\rho_{NIR} + RB}$ $RB = R - \gamma(B - R), \gamma = 1$
Difference vegetation index (DVI)	$DVI = \rho_{NIR} - \rho_R$
Enhanced vegetation index (EVI)	$EVI = 2.5 \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + 6\rho_R - 7.5\rho_B + 1}$
Green normalized difference vegetation index (GNDVI)	$GNDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_G}{\rho_{NIR} + \rho_G}$
Modified nonlinear vegetation index (MNLI)	$MNLI = \frac{1.5(\rho_{NIR^2} - \rho_R)}{\rho_{NIR^2} + \rho_R + 0.5}$
The second modified SAVI (MSAVI2)	$MSAVI2 = \frac{2\rho_{NIR} + 1 - \sqrt{(2\rho_{NIR} + 1)^2 - 8(\rho_{NIR} - \rho_R)}}{2}$
Modified simple ratio (MSR)	$MSR = \frac{\rho_{NIR}/\rho_R - 1}{\sqrt{\rho_{NIR}/\rho_R + 1}}$
Normalized difference vegetation index (NDVI)	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$
Nonlinear vegetation index (NLI)	$NLI = \frac{\rho_{NIR^2} - \rho_R}{\rho_{NIR^2} + \rho_R}$

Optimization of soil-adjusted vegetation index (OSAVI)	$OSAVI = (1 + 0.16) \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R + 0.16}$
Renormalized difference vegetation index (RDVI)	$RDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\sqrt{\rho_{NIR} + \rho_R}}$
Ratio vegetation index (RVI)	$RVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_R}$
Soil-adjusted vegetation index (SAVI)	$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{(\rho_{NIR} + \rho_R + L)} (1 + L), L = 0.5$

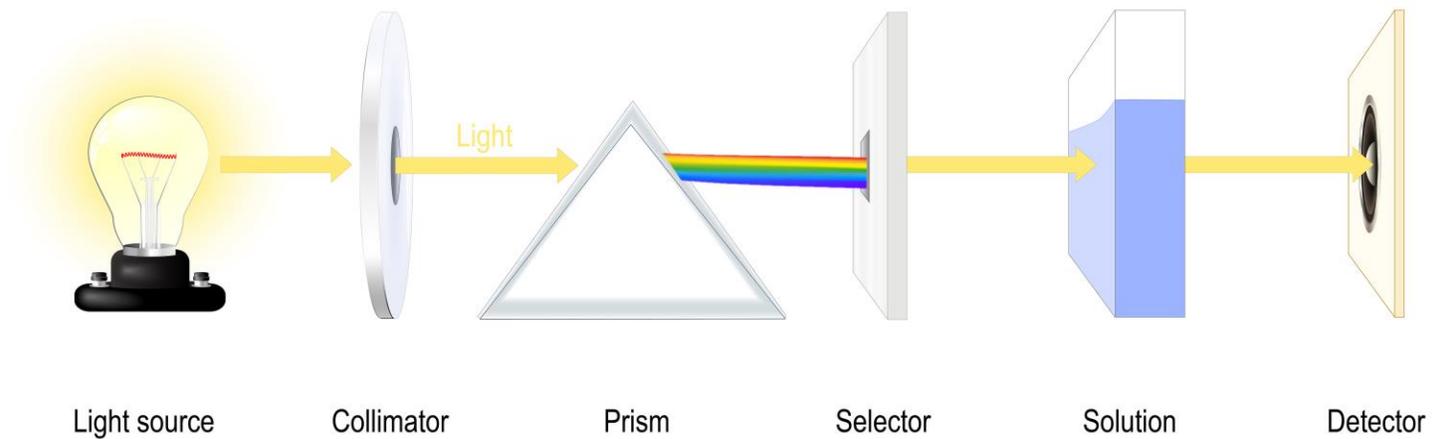
Sensores Remotos Multi e Hiperespectrales de la Tecnología Agro 4.0: *Fundamentos Ópticos y Fotónicos*

4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

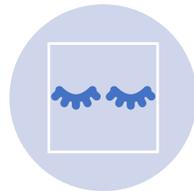
4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

[How Does a Spectrometer Work? \(youtube.com\)](#)

Spectrophotometer



4. Técnicas de espectroscopía en agricultura



4.1. Espectroscopía UV, Visible (VIS) y IR



4.2. Espectroscopía de Fluorescencia



4.3. Espectroscopía LIDAR



4.4. Revisión de hojas técnicas de espectrómetros comerciales



4.5. Espectrómetro OCEAN INSIGHT VIS-NIR

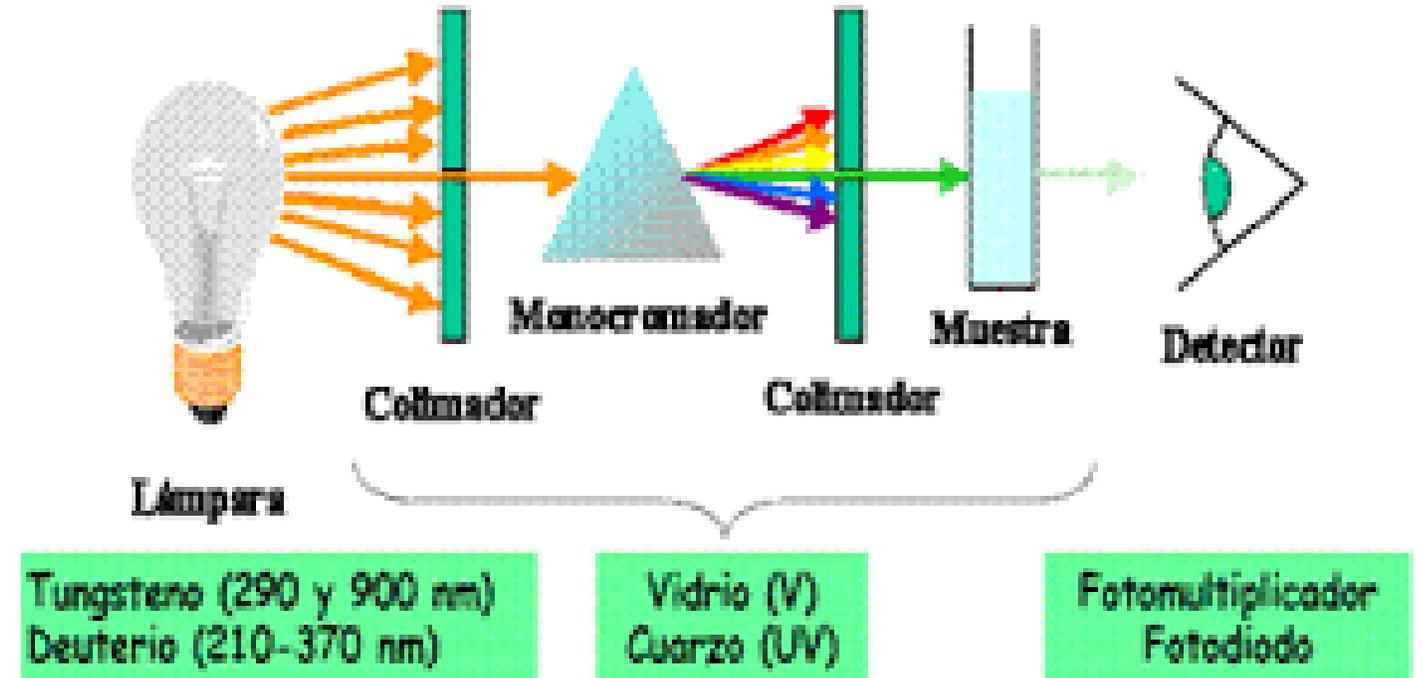


4.6. Procesamiento de espectros en software libre Python

4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

4.1. Espectroscopía Ultravioleta (UV)- Visible (VIS) y IR

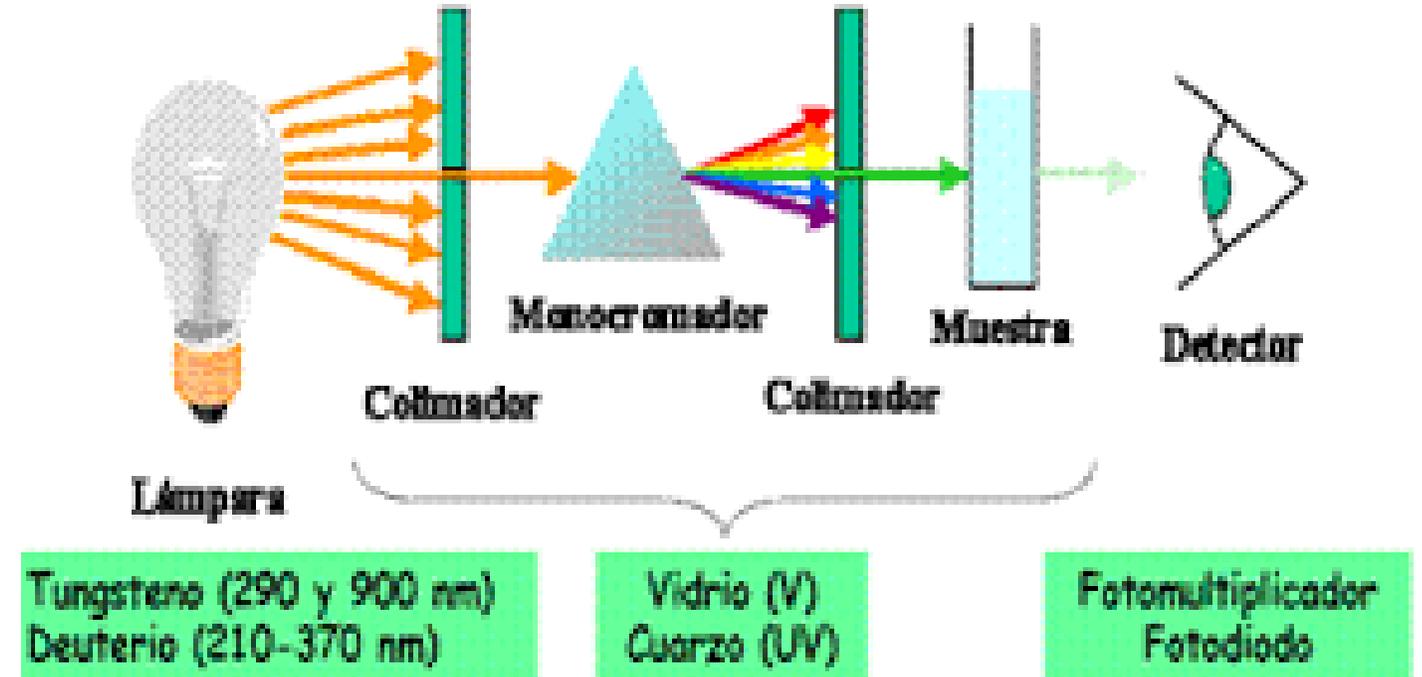
- ✓ La espectroscopia en el Ultravioleta (UV)-visible (VIS) está basada en el proceso de absorción por las moléculas de la radiación ultravioleta-visible entre 190 nm y 780 nm. Se usa para determinar propiedades como el color de los alimentos siendo pieza clave en la colección de la cosecha es una de las técnicas cuantitativas, cuantificación de componentes de los fertilizantes, como nitratos y fosfatos, en muestras de suelo.



4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

4.1. Espectroscopía Ultravioleta (UV)- Visible (VIS) y IR

- ✓ La espectroscopia NIR Va desde los 780 nm a los 5 micrómetros.
- ✓ Se mide la absorción debido a vibraciones fundamentales, y múltiplos de la frecuencia fundamental.
- ✓ Tiene gran sensibilidad con las vibraciones de las moléculas orgánicas C-H, O-H, N-H [2]. Los compuestos orgánicos son los componentes principales de los tejidos vivos, incluidas las plantas, lo que hace que NIR sea adecuado para uso agrícola.
- ✓ La espectroscopia NIR se puede utilizar para el análisis cualitativo y cuantitativo de agua, proteínas, grasas, almidón, azúcar, fibra y cenizas de productos agrícolas.



4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

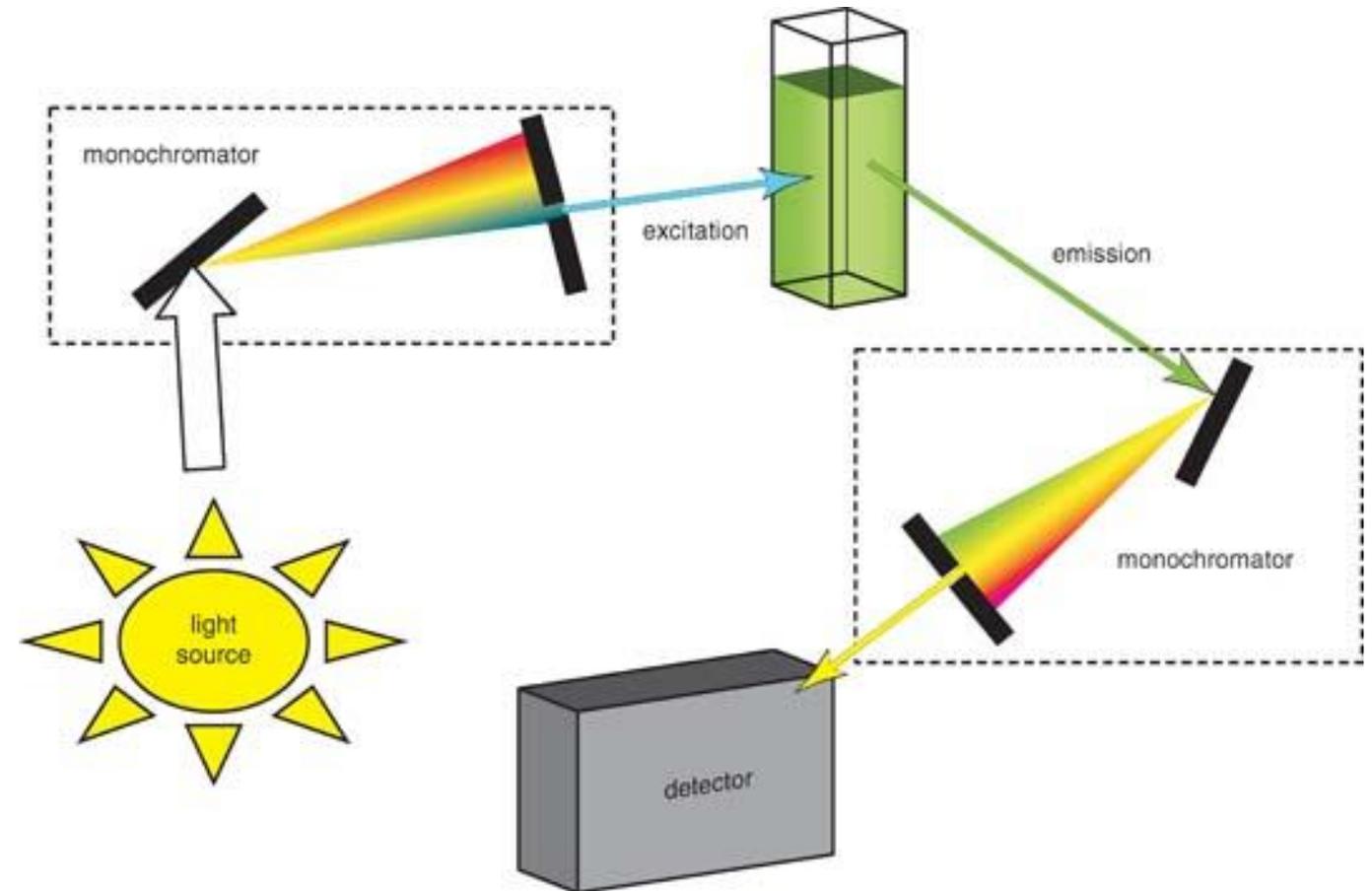
4.2. Espectroscopía de Fluorescencia:

Los rayos incidentes de una fuente de luz ultravioleta o visible son absorbidos por las moléculas de una muestra. Consiste en dos procesos:

- ✓ Excitación: La muestra absorbe fotones de luz, lo que eleva los electrones a un estado de mayor energía.
- ✓ Emisión: Los electrones excitados pierden energía y emiten fotones de luz a medida que regresan a su estado basal.

La fluorescencia se utiliza para analizar la calidad de frutas, diagnosticar enfermedades de las plantas y analizar stress en hojas.

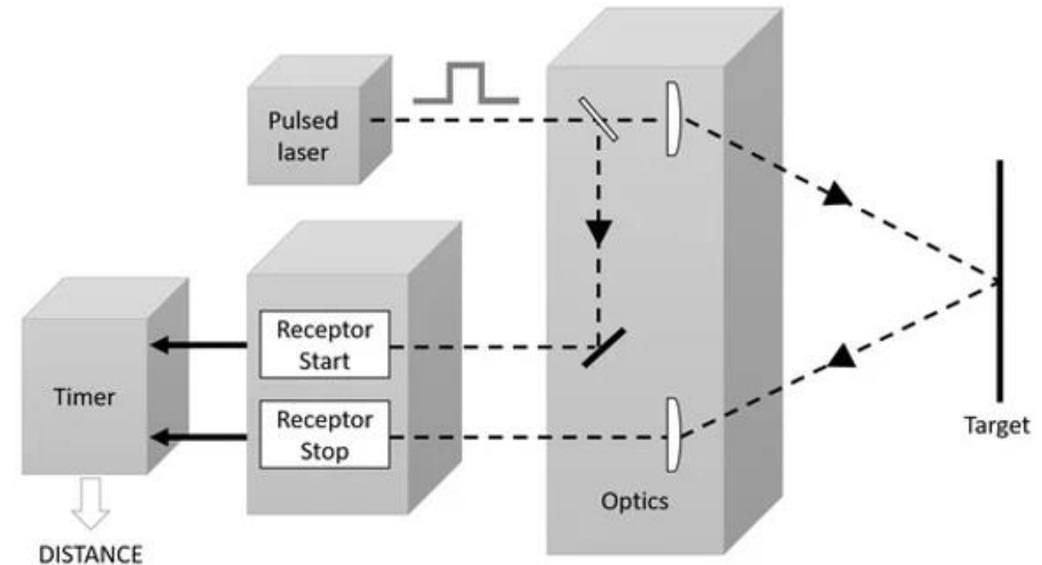
[1.11: Espectroscopia de Fluorescencia - LibreTexts Español](#)



4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

4.3. Espectroscopía LIDAR

- ✓ Utiliza pulsos de láser para medir distancias y obtener información detallada sobre la superficie terrestre y otros objetos.
- ✓ Un dispositivo LiDAR emite pulsos de luz láser hacia un objetivo.
- ✓ Estos pulsos se reflejan en el objetivo y regresan al sensor.
- ✓ El tiempo que tarda el pulso en regresar se utiliza para calcular la distancia entre el sensor y el objetivo



4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

4.3. Espectroscopía LIDAR

[LiDAR: principio de funcionamiento y principales aplicaciones - Pyroistech](#)



4. Técnicas de espectroscopía en agricultura



Spectral Range	350-2500nm
Spectral Resolution	2.8nm@700nm 8nm@1500nm 6nm@2100nm
Spectral Sampling Bandwidth (nm)	Data output in 1nm increments; 2151 channels reported
Detector(s)	512-element Si Array Two 256-element TE-cooled InGaAs Arrays
Calibration	Spectral and radiometric calibration for radiance/irradiance measurements using NIST traceable sources.
Noise Equivalence Radiance W/cm2/nm/sr (1.2m fiber optic)	0.5x10 ⁻⁹ @ 400nm 0.8x10 ⁻⁹ @ 1500nm 1.0x10 ⁻⁹ @ 2100nm
Software Included	DARWin™ SP Data Acquisition
Power (volts/watts)	7.5v, 22.5w

4. Técnicas de espectroscopía en agricultura



Software Included	DARWin™ SP Data Acquisition
Power (volts/watts)	7.5v, 22.5w
Dimensions (in/mm)	8.5 x 11.5 x 3.5 (in) 215.9 x 292.10 x 82.5 (mm)
Weight (lbs/kg)	7.6 lbs 3.5 kg
Interface	USB, Wireless Connection
Minimum Scan Speed	100ms
Wavelength Reproducibility (nm)	0.1nm
Wavelength Accuracy (nm)	±0.5nm bandwidth
Automatic Data	Data Optimization One Touch Operation Automatic Exposure Detector Integration Dark Current Correction
Input	4° lens as standard optic; optional fore optics and fiber optic cables available
Operational temperature range (°C)	0 to 40 degrees
Maximum Radiance	VNIR 2x Solar SWIR 10x Solar

4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

MODEL	PSR-1100f	RS-3500	PSR+	RS-8800	NaturaSpec	NaturaSpec Ultra
						
	<ul style="list-style-type: none"> · Smallest and lightest portable instrument · Spectral range is ideal for vegetation and water analysis · Internal memory – no need for external PC to operate · Tripod mountable · Compatible with all fore optics and accessories 	<ul style="list-style-type: none"> · Tried and true full-range model · Standard spectral resolution · Lightweight and portable for field research · Compatible with all fore optics and accessories 	<ul style="list-style-type: none"> · Lightest, most portable full-range instrument · Internal memory & onboard controls - no need for external PC to operate · Option for direct attach lens or fiber optic · Tripod mountable · Compatible with all fore optics and accessories 	<ul style="list-style-type: none"> · Built-in computer with IoT operating system to control instrument with smartphone · See field of view in real-time & record GPS, distance to target, solar elevation angle, and capture picture of fov with exclusive accessory Sensaprobe™ · Compatible with all fore optics and accessories 	<ul style="list-style-type: none"> · Best signal to noise compromise in a field instrument · High resolution & sensitivity · Better data quality of any field spectrometer · The new standard for remote sensing 	<ul style="list-style-type: none"> · The highest spectral resolution of any field spectroradiometer · Enables field validation and calibration of even the highest resolution hyperspectral cameras and satellites by bringing lab quality hyperspectral data into the field. · The optimum instrument to build high-resolution libraries and to push the limits of spectral analysis
Spectral Range	320-1100nm	350-2500nm	350-2500nm	350-2500nm	350-2500nm	350-2500nm
Spectral Resolution	3.0nm@600nm	2.8nm@700nm 8nm@1500nm 6nm@2100nm	2.8nm@700nm 8nm@1500nm 6nm@2100nm	3nm@700nm 8nm@1500nm 6nm@2100nm	2.7nm@700nm 5.5nm@1500nm 5.8nm@2100nm	1.5nm@700nm 3nm@1500nm 3.8nm@2100nm
Detector(s)	512-element Si Array	512-element Si Array Two 256-element TE-cooled InGaAs Arrays	512-element Si Array Two 256-element TE-cooled InGaAs Arrays	512-element Si Array Two 256-element TE-cooled InGaAs Arrays	1024-element UV-enhanced Si Array 512-element TE-cooled InGaAs Array 512-element extended TE-cooled InGaAs Arrays	1024-element UV-enhanced Si Array 512-element TE-cooled InGaAs Array 512-element extended TE-cooled InGaAs Arrays

4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

4.5. Espectrómetro OCEAN INSIGHT VIS-NIR

Ocean Optics. Espectrómetro SR-4VN500-25. SR4 es altamente configurable, con modelos que cubren diferentes rangos de longitud de onda desde aproximadamente 190-1100 nm y opciones de ranura de entrada en anchos de 5 μm a 200 μm . SR4 demuestra resultados efectivos para aplicaciones que van desde la medición de picos espectrales distintos dentro de plasmas y fuentes de emisión hasta la detección de cambios sutiles en la absorbancia en ADN, proteínas y otras muestras biológicas.



- Rango de longitud de onda: 190nm - 1,04 μm
- Longitud de onda del resplandor: 500 nm
- Resolución óptica: 1,2 nm
- Píxeles: 3648
- Ranura de entrada: 25 μm . Ref:SR-4VN500-25

Ref: SR-4VN500-25

4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

4.5. Espectrómetro OCEAN INSIGHT VIS-NIR

Ocean Optics. Estándar de reflectancia difusa, PTFE. El WS-1 utiliza un difusor óptico de PTFE, un material lambertiano que se distingue por su acabado blanco mate y una reflectividad >98 % entre 250 y 1500 nm y >95 % entre 250 y 2200 nm. Ref: WS-1.



4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

4.5. Espectrómetro OCEAN INSIGHT VIS-NIR

Ocean Optics. Fibra óptica resistente a la solarización. Nuestros ensambles de fibra óptica de primera calidad son latiguillos duraderos y de alta calidad que brindan resultados uniformes con una variación mínima de la señal. Los latiguillos de primera calidad actúan como fibras de iluminación y lectura y se conectan fácilmente a los espectrómetros, fuentes de luz y accesorios de muestreo Ocean Insight.



- Rango de longitud de onda: 200 nm - 1,1 μm
- Tamaño del núcleo de fibra: 600 μm
- Longitud: 2 m
- Recubrimiento: acero inoxidable BX

Ref: QP600-2-SR-BX

4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

4.5. Espectrómetro OCEAN INSIGHT VIS-NIR

Ocean Optics. Juego de tubos Gershun. El Gershun Tube Kit es un conjunto óptico que se conecta a un espectrómetro o fibra óptica con terminación SMA 905 para controlar el FOV de la configuración. Cada conjunto comprende una base cónica y cilindros central y externo que se enroscan entre sí. Se pueden instalar aperturas intercambiables por el usuario para ajustar el FOV en diferentes incrementos de 1° a 28°.



- Conector: espectrómetro o fibra óptica con terminación SMA 905
- Material: Aluminio anodizado negro

Ref:GER-KIT

4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

4.6. Procesamiento de espectros en software libre Python

1. CARGAR ARCHIVO DESDE DIRECTORIO
2. GRÁFICO DEL ESPECTRO
3. LECTURA DE DATOS DEL ESPECTRO
4. CALCULO DE VALORES DE REFLECTANCIA A LONGITUDES DE ONDA DE INTERES
- 5. CALCULO DE INDICES DE VEGETACIÓN
- 5.1. LOS QUE "COINCIDEN" CON LOS DE DRON COMERCIAL (3)
- 5.2. OTROS INDICES DE VEGETACIÓN (26)
- 6. SPECTRUM SLICING: CALCULO DE PENDIENTE EN LONGITUD DE ONDA REDEDGE
- 7. SPECTRUM SLICING: CALCULO DE LONGITUD DE ONDA EN EL VERDE (GREEN: G)
- 8. GUARDAR DATOS

4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

4.6. Procesamiento de espectros en software libre Python

PROGRAMA PARA PROCESAMIENTO DE ESPECTROS CARACTERIZACION DE LA FIRMA ESPECTRAL SATREPS - F7 (Fase 7).
PROYECTO MINCIENCIAS PROCESANDO ESPECTRO

```
import numpy as np
import polars as pl
import matplotlib.pyplot as plt
import os
import seaborn as sns
import sys
#import pathlib

if not sys.warnoptions:
    import warnings
    warnings.simplefilter("ignore")
```

✓ 0.0s

Python

1. [CARGAR ARCHIVO DESDE DIRECTORIO](#)

markdown

```
%matplotlib inline
%config InlineBackend.figure_format='retina'
plt.style.use('ggplot')
```

4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

4.6. Procesamiento de espectros en software libre Python

```
Map = {"column_1": "lambda(nm)", "column_2": "%R"}

def MapElements(t):
    return t[0].replace(",", "."), t[1].replace(",", ".")

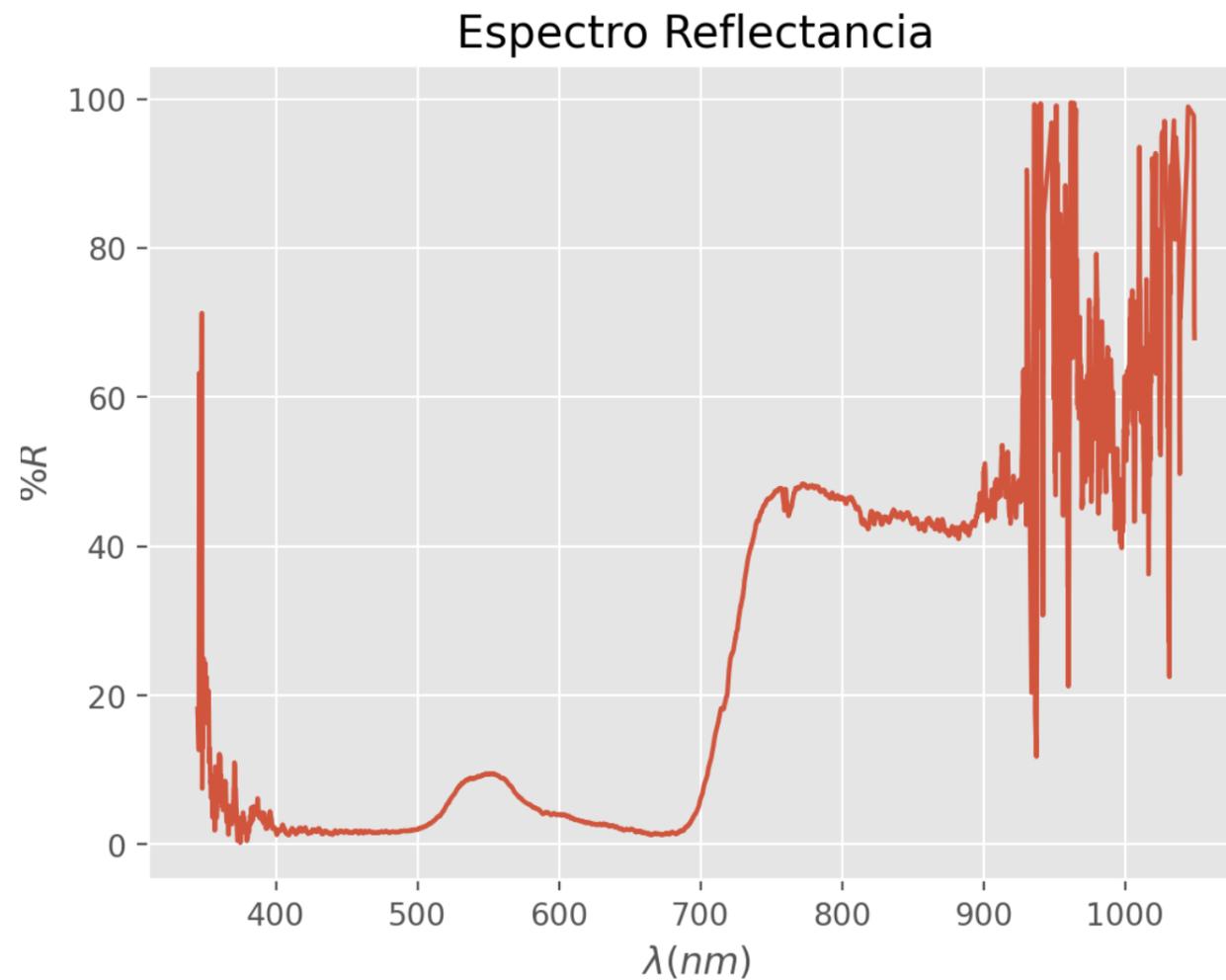
Data = pl.scan_csv("1.txt", skip_rows=14, has_header=False, separator="\t").rename(Map).with_columns(
    pl.col("lambda(nm)").str.replace(",", ".").cast(pl.Float32), pl.col("%R").str.replace(",", ".").cast(pl.Float32) ).filter(
    (pl.col("%R") <= 100) & (pl.col("%R") >= 0) )
sns.lineplot(data=Data.collect(), x="lambda(nm)", y="%R")
plt.xlabel(r"\lambda (nm)")
plt.ylabel(r"%R")
plt.title("Espectro Reflectancia")
plt.show()
```

✓ 0.1s

Python

4. Técnicas de espectroscopía en agricultura

4.6. Procesamiento de espectros en software libre Python



Sensores Remotos Multi e Hiperespectrales de la Tecnología Agro 4.0: *Fundamentos Ópticos y Fotónicos*

Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2



5.1. Imágenes visibles y de infrarojo (IR)



5.2. Cámara del Mavic 3



5.3. Cámara del Phantom 4



5.4. Cámara del Matrice – Parrot Sequoia



5.5. Calculadora en Python de parámetros ópticos de drones comerciales



5.6. Generación de imágenes multispectrales en software libre Python.



5.7. Satélite Sentinel 2

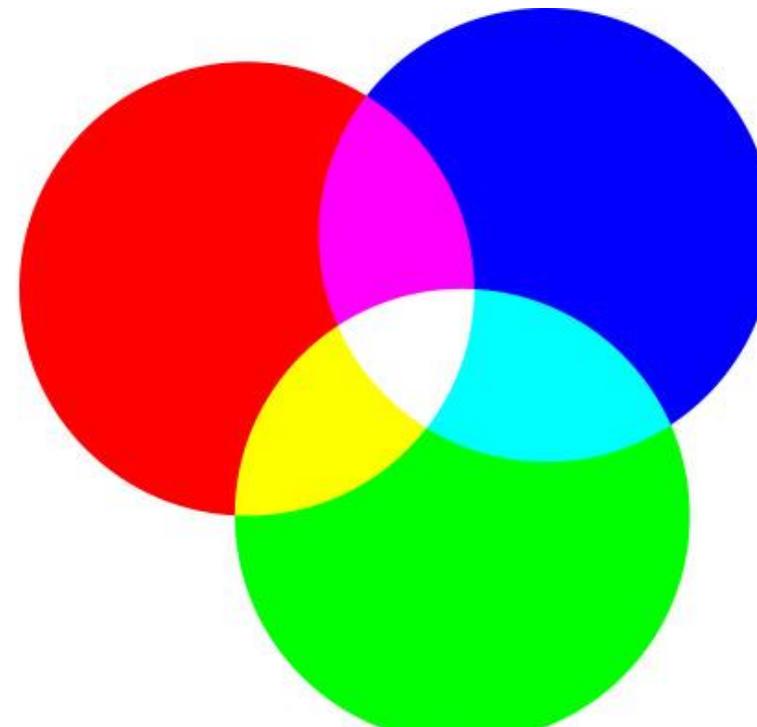


5.8. Manejo de Aplicación HYPERSATELLITE de HYPERCORN

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

5.1. Imágenes visibles y de infrarojo (IR)

Triada RBG



5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

ALMACENAMIENTO COMPUTACIONAL
(Ejemplo de Python que indica los tres (3) valores R-G-B)



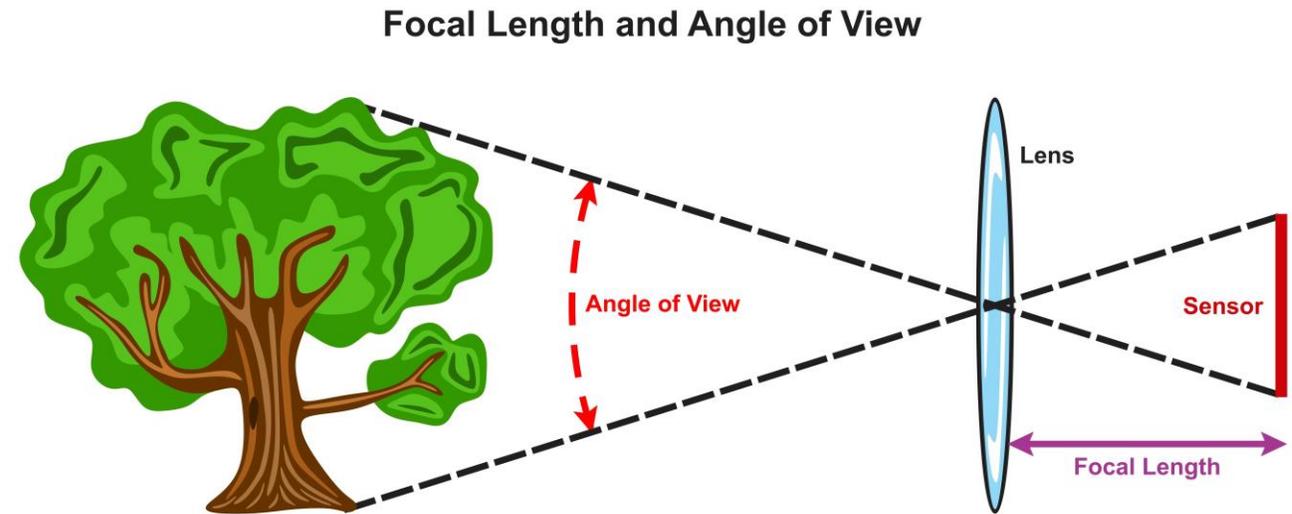
	5	8	5	8	10	30	15
	15	18	31	31	18	16	
		18	31	31	31		
	0		0				0
	0.0627		0.0627			0.0314	
	0.2902		0.0314				0
	0		0				1.0000
	0.2902		0.0627			0.0627	
	0.3882		0.0314			0.0941	
	0.4510		0.0627				0
	0.2588		0.1608			0.0627	
			:				

Cámara RGB



5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

5.1. Imágenes visibles y de infrarrojo (IR)



The greater the focal length, the closer the image and the less the angle of view
The less the focal length, the farther the image and the greater the angle of view

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

- Cámaras (dispositivos electrónicos) para la detección de la reflectancia en ciertas longitudes de onda óptica.
- Determinación de índices de interés en el análisis del estado de cultivos; por ejemplo *NDVI*, *NDRE*, entre otros.

Tecnología
Multispectral

- Cámaras para la detección de la reflectancia en un espectro de longitudes de onda óptica.
- Imágenes y registros de bandas de longitudes de onda para la diferenciación de enfermedades en cultivos a partir de determinar la banda discriminante (firma espectral)

Tecnología
Hiperespectral

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

- Detección de valor de reflectancia en cada coordenada (x,y) por longitud de onda $(\lambda_1, \lambda_2...)$

Tecnología
Multispectral

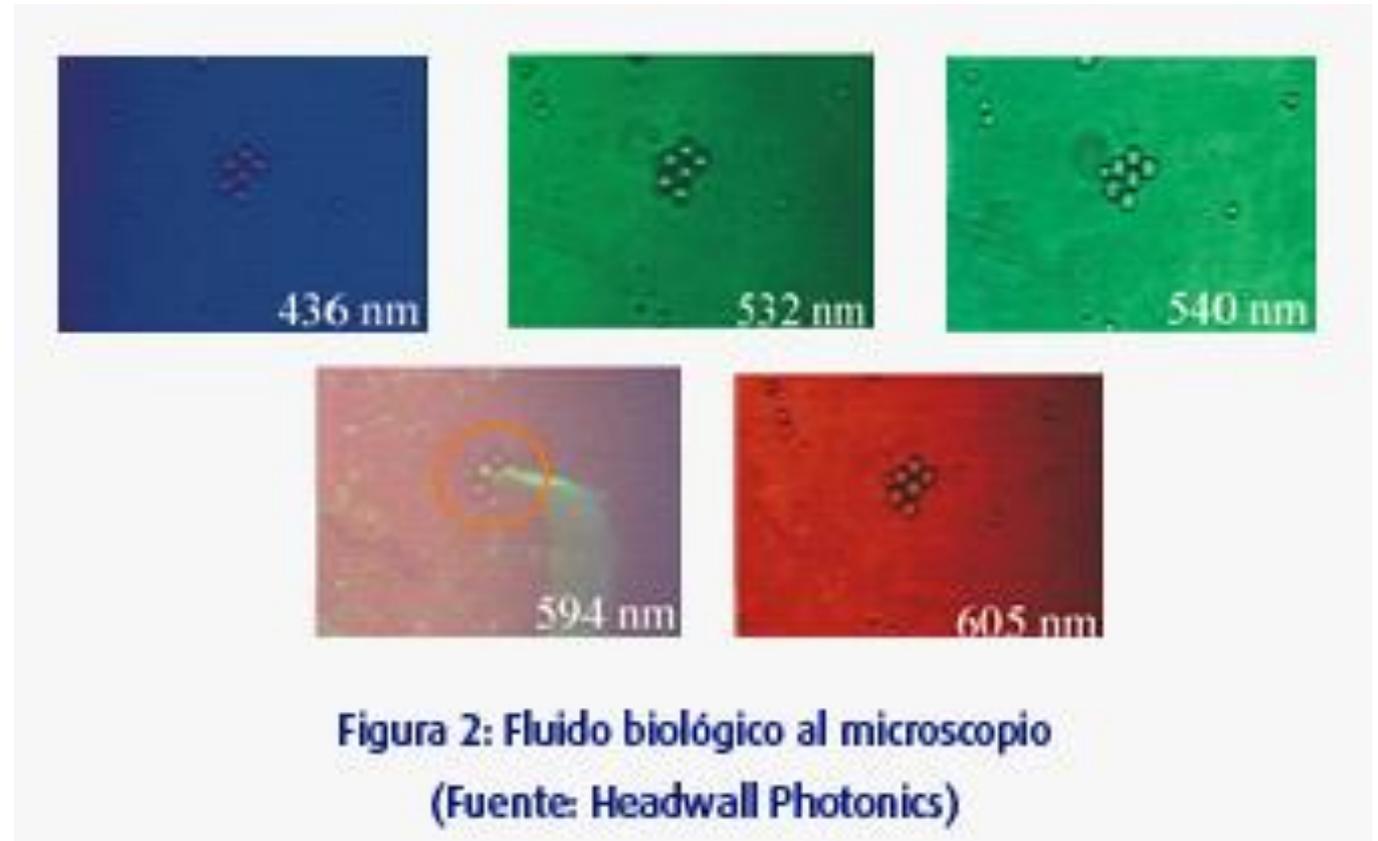
- Detección de valor de reflectancia en cada coordenada (x,y) por bandas de longitudes de onda $(\Delta\lambda)$:
Espectros Ópticos

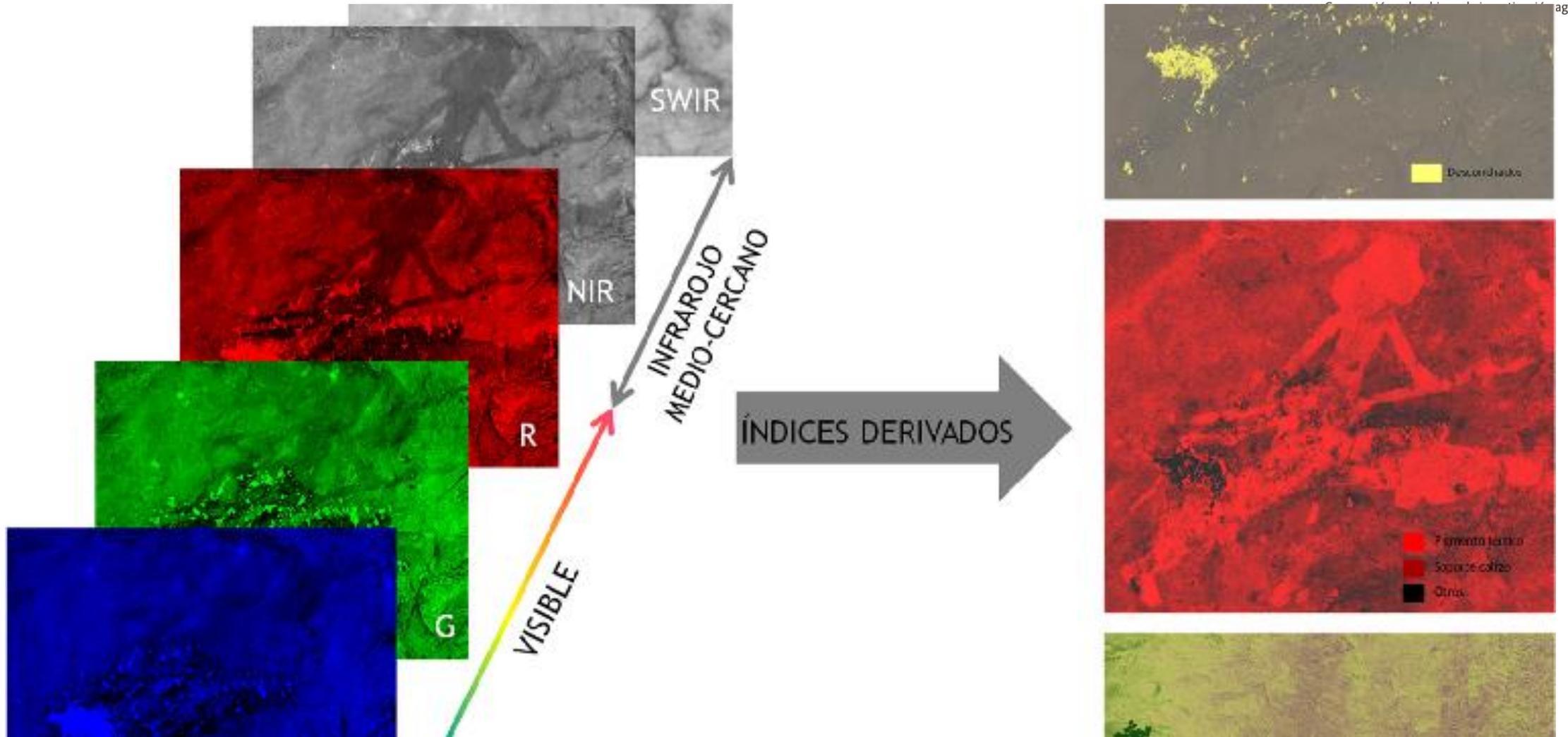
Tecnología
Hiperespectral

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

Cámara multispectral

Imágen espectral a cada longitud de onda tomada con un sensor. El conjunto conforma la imagen multispectral.





Cámara Hiperespectral





Multispectral Images
From 2 to 10 bands

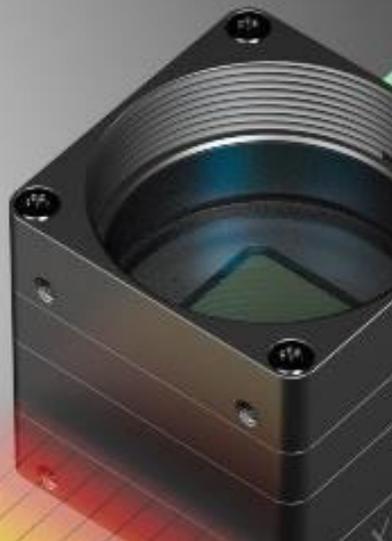


Hyperspectral Images
Hundreds of bands

xiSPEC hyperspectral

2Mpix multi-linescan
470-900nm

Learn more



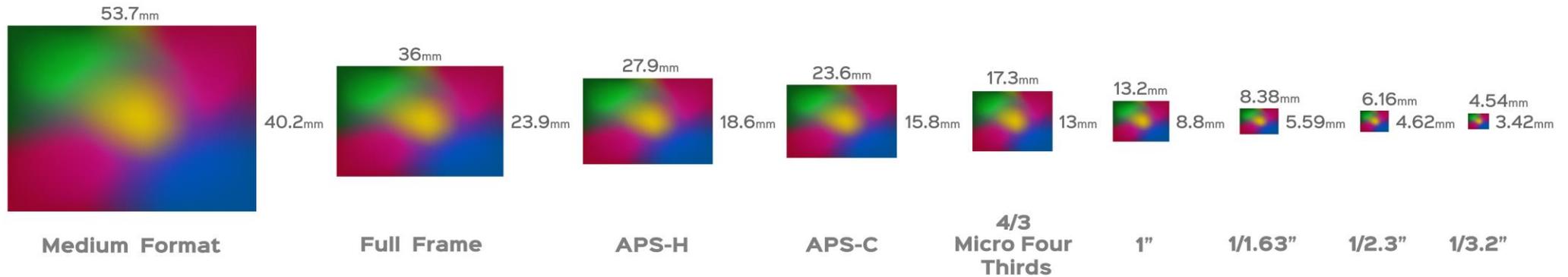
AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria



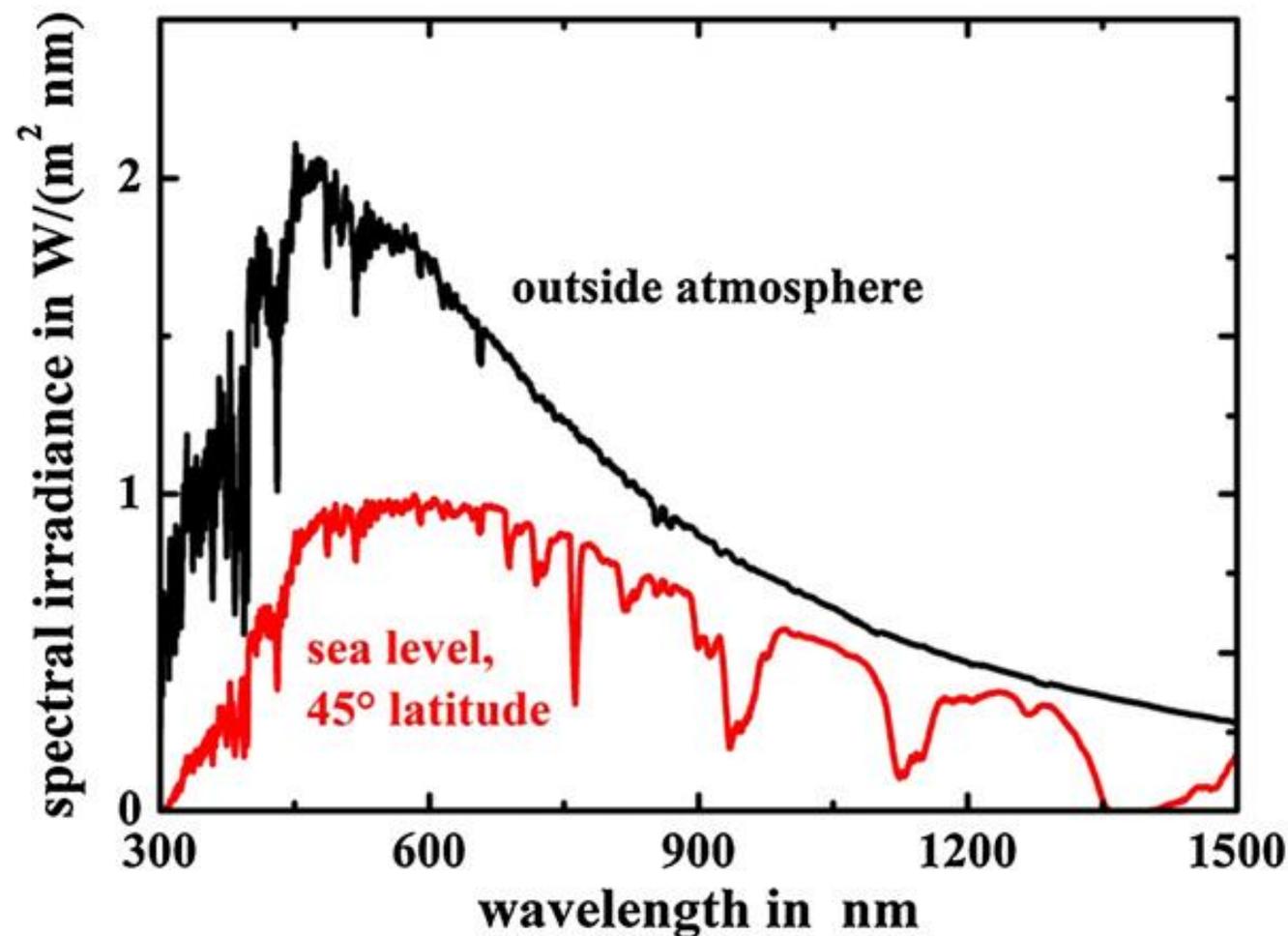
5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

Camera Sensor



5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

Ejemplo típico del espectro de luz solar disponible en la región VIS y NIR. Un ángulo cenital solar de 45°. La integral de toda la curva de la irradiación solar a la distancia media Tierra-Sol (fuera de la atmósfera de la Tierra) 1370 W m⁻².



5.1. Imágenes visibles y de infrarojo (IR)



(a)



(b)

Comparación de una fotografía VIS convencional (a) y su correspondiente fotografía NIR (b) de la misma escena grabada poco después, como se puede ver desde las sombras. Aparece vegetación verde espectacularmente brillante en el NIR y el contraste entre el cielo y las nubes es mucho mayor en comparación con a la fotografía del VIS. [The physics of near-infrared photography - IOPscience](#)

5.1. Imágenes visibles y de infrarojo (IR)



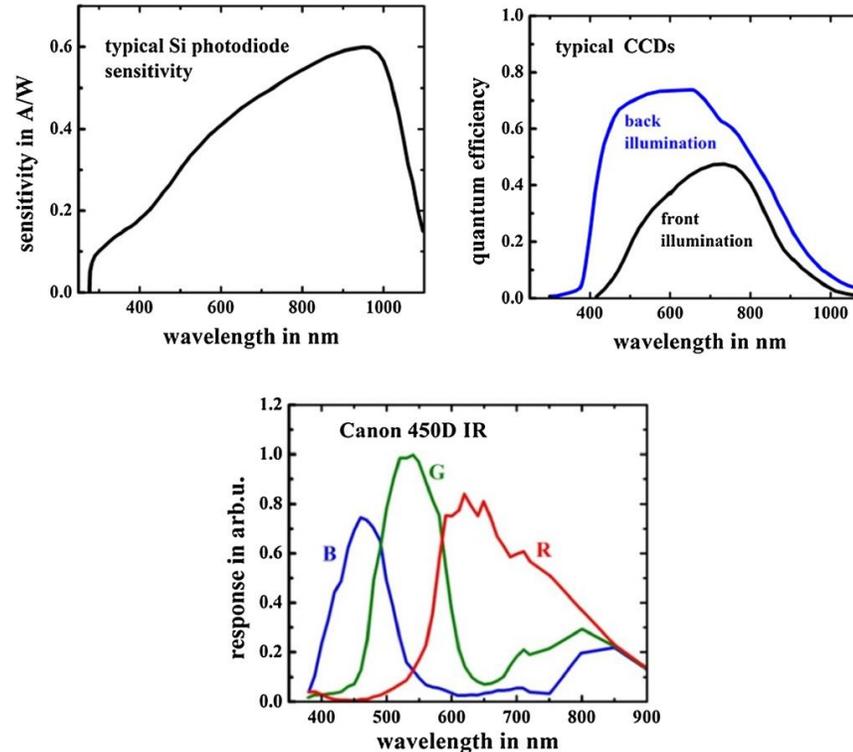
(a)



(b)

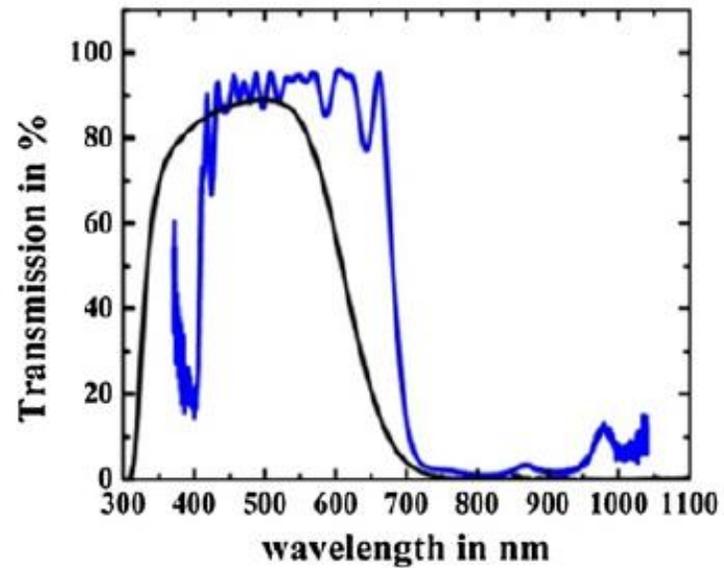
Otra escena urbana en VIS (a) y NIR (b) que muestra el mismo efecto de dispersión brillante de vegetación en el NIR. Nótese de nuevo el contraste del cielo y también las diferencias de reflexión en las ventanas de la casa a mano derecha.

5.1. Imágenes visibles y de infrarojo (IR)

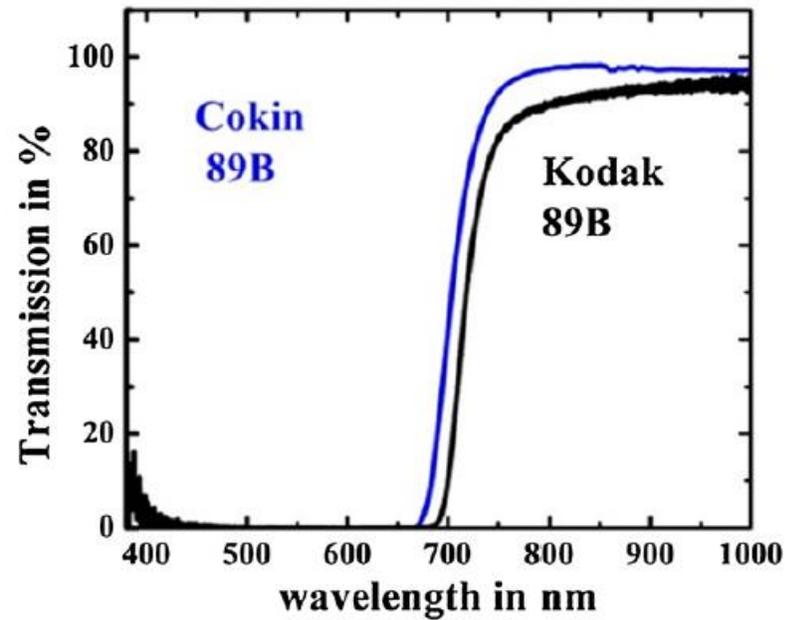


- a) Espectro de sensibilidad típico de un fotodiodo de silicio (según Hamamatsu S 2386). b) Espectros de eficiencia cuántica típicos de los modernos conjuntos de plano focal CCD utilizados en los sistemas modernos de cámaras. La mayoría de las cámaras tienen sensores CCD con iluminación frontal menos costosa, mientras que las cámaras científicas especializadas utilizan los sensores CCD retroiluminados más eficientes. (c) Sensibilidad típica del detector de una cámara réflex digital Canon EOS 450 sin un filtro de bloqueo de infrarrojos

5.1. Imágenes visibles y de infrarojo (IR)

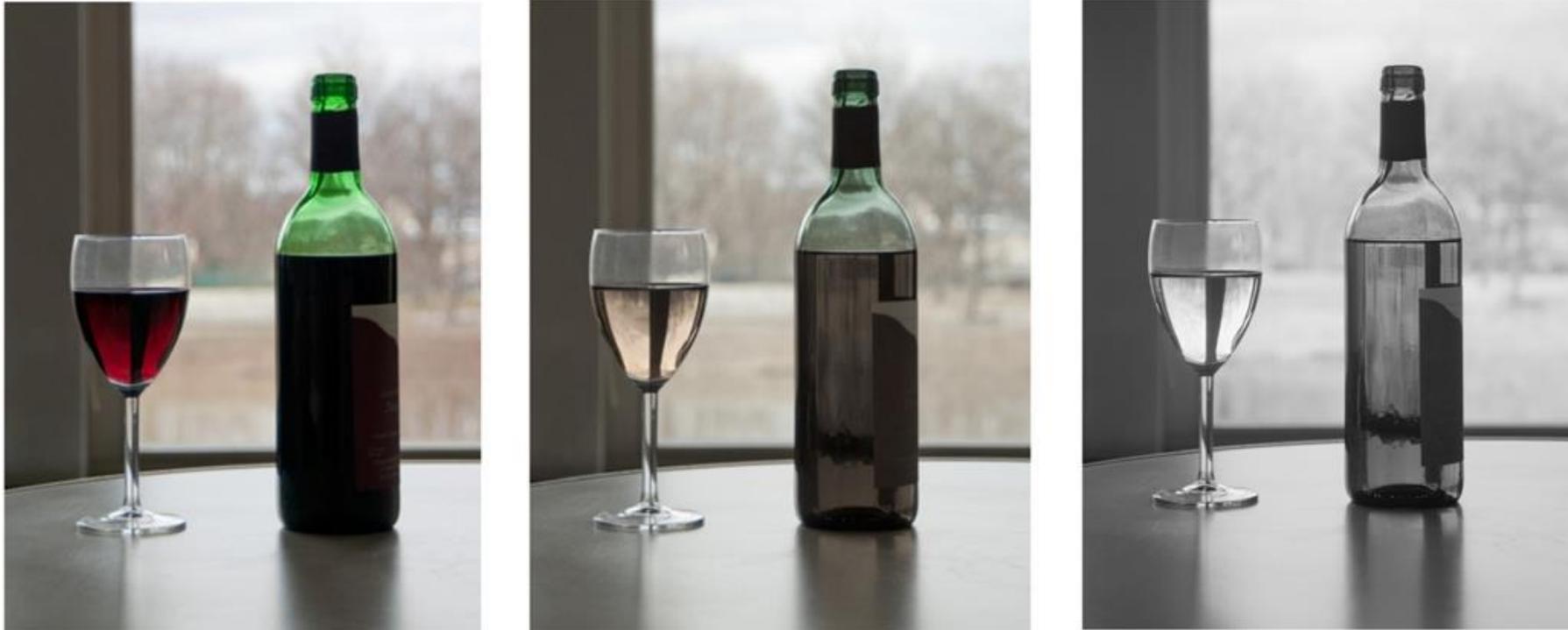


(a)



(a) Ejemplo de dos espectros de transmisión para los típicos filtros de bloqueo de infrarrojos utilizados en cámaras. (b) Transmisión típica de filtros de transmisión NIR, es decir, filtros de bloqueo VIS. (c) Filtros de bloqueo VIS (izquierda) y de bloqueo NIR (Izquierda)

5.1. Imágenes visibles y de infrarojo (IR)



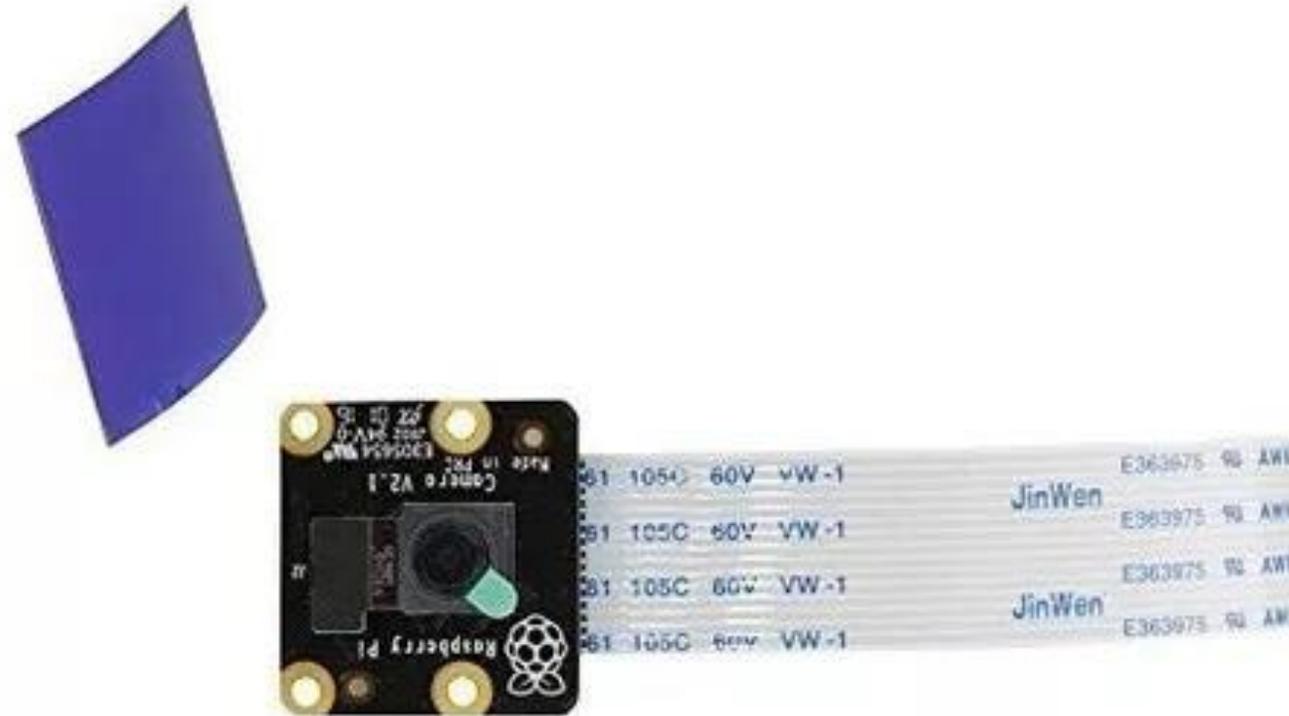
Imágenes de una botella y un vaso llenos de vino tinto grabadas solo para VIS light (izquierda), enteras rango VIS y NIR (medio) e IR solamente (derecha).

5.1. Imágenes visibles y de infrarojo (IR)



Ejemplo de una imagen NIR de las piernas de una mujer que muestra claramente las venas de abajo la superficie de la piel. Estos no se podían ver fácilmente en el VIS.

5.1. Imágenes visibles y de infrarojo (IR)



Cámara Pi NoIR (cámara con filtro infrarojo) para tableta de desarrollo Raspberry Pi. El filtro es la lámina azul.

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel

RGB Camera	
Sensor	4/3 CMOS; Effective pixels: 20 MP
Lens	FOV: 84° Format Equivalent: 24 mm Aperture: f/2.8-f/11 Focus: 1 m to ∞ (with autofocus)
ISO Range	100-6400
Shutter Speed	Electronic shutter: 8-1/8000 s Mechanical shutter: 8-1/2000 s
Max Image Size	5280×3956
Photo Shooting Mode	Single shot: 20 MP Timed: 20 MP JPEG: 0.7/1/2/3/5/7/10/15/20/30/60 s JPEG + RAW: 3/5/7/10/15/20/30/60 s Panorama: 20 MP (raw image)
Video Encoding and Resolution	H.264 4K: 3840×2160@30fps FHD: 1920×1080@30fps
Video Bitrate	4K: 130Mbps FHD: 70Mbps
Photo Format	JPEG/DNG (RAW)
Video Format	MP4 (MPEG-4 AVC/H.264)
Supported File System	exFAT
Digital Zoom	8x
Multispectral Camera	
Sensor	1/2.8" CMOS; Effective pixels: 5 MP
Lens	FOV: 73.91° Format Equivalent: 25 mm Aperture: f/2.0 Focus: N/A
Narrow Band Filter	Green (G): 560±16 nm, Red (R): 650±16 nm, Red edge (RE): 730±16 nm, Near-infrared (NIR): 860±26 nm
Gain Range	1x-32x
Shutter Speed	Electronic shutter: 1/30-1/12800 s



Mavic 3M

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel

DJI Mavic 3M User Manual

Max Image Size	2592×1944
Photo Shooting Mode	Single shot: 5 MP Timed: 5 MP TIFF: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
Video Encoding and Resolution	H.264 FHD: 1920×1080@30fps Video content: NDVI/GNDVI/NDRE
Video Bitrate	Stream 60Mbps
Photo Format	TIFF
Video Format	MP4 (MPEG-4 AVC/H.264)
Sensing	
Type	Omnidirectional binocular vision system, supplemented with an infrared sensor at the bottom of the aircraft.
Forward	Measurement Range: 0.5-20 m Detection Range: 0.5-200 m Effective Sensing Speed: Flight Speed ≤15 m/s FOV: Horizontal 90°, Vertical 103°
Backward	Measurement Range: 0.5-16 m Effective Sensing Speed: Flight Speed ≤12 m/s FOV: Horizontal 90°, Vertical 103°
Lateral	Measurement Range: 0.5-25 m Effective Sensing Speed: Flight Speed ≤15 m/s FOV: Horizontal 90°, Vertical 85°
Upward	Measurement Range: 0.2-10 m Effective Sensing Speed: Flight Speed ≤6 m/s FOV: Front and Back 100°, Left and Right 90°
Downward	Measurement Range: 0.3-18 m Effective Sensing Speed: Flight Speed ≤6 m/s FOV: Front and Back 130°, Left and Right 160°
Operating Environment	Forward, Backward, Lateral, and Upward: surface with a clear pattern and adequate lighting (lux >15) Downward: diffuse reflective surface with diffuse reflectivity >20% (e.g. walls, trees, people) and adequate lighting (lux >15)
Video Transmission	
Video Transmission System	DJI O3 Enterprise Transmission
Live View Quality	Remote Controller: 1080p/30fps
Operating Frequency ⁽²⁾	2.400-2.4835 GHz, 5.725-5.850 GHz
Transmitter Power (EIRP)	2.4 GHz: <33 dBm (FCC), <20 dBm (CE/SRRC/MIC) 5.8 GHz: <33 dBm (FCC), <14 dBm (CE), <30 dBm (SRRC)
Max Transmission Distance (unobstructed, free of interference) ⁽³⁾	15 km (FCC), 8 km (CE/SRRC/MIC)



Mavic 3M

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel

Rate of Data Collection	Max operating area of approx. 0.63 km ² for a single flight at an altitude of 180 m, i.e., GSD is approx. 9.52 cm/pixel, with a forward overlap rate of 80% and a side overlap ratio of 60%, during a flight that drains the battery from 100% to 30%.
Gimbal	
Controllable Range	Pitch: -90° to +30°
Vision System	
Velocity Range	≤ 31 mph (50 kph) at 6.6 ft (2 m) above ground with adequate lighting
Altitude Range	0 - 33 ft (0 - 10 m)
Operating Range	0 - 33 ft (0 - 10 m)
Obstacle Sensory Range	2 - 98 ft (0.7 - 30 m)
Operating Environment	Surfaces with clear patterns and adequate lighting (> 15 lux)
Infrared Sensing System	
Obstacle Sensory Range	0.6 - 23 ft (0.2 - 7 m)
FOV	70°(Horizontal), ±10°(Vertical)
Measuring Frequency	10 Hz
Operating Environment	Surface with diffuse reflection material, and reflectivity > 8% (such as wall, trees, humans, etc.)
Camera	
Sensors	Six 1/2.9" CMOS, including one RGB sensor for visible light imaging and five monochrome sensors for multispectral imaging. Each Sensor: Effective pixels 2.08 MP (2.12 MP in total)
Filters	Blue (B): 450 nm ± 16 nm; Green (G): 560 nm ± 16 nm; Red (R): 650 nm ± 16 nm; Red edge (RE): 730 nm ± 16 nm; Near-infrared (NIR): 840 nm ± 26 nm
Lenses	FOV (Field of View): 62.7° Focal Length: 5.74 mm (35 mm format equivalent: 40 mm), autofocus set at ∞ Aperture: f/2.2
RGB Sensor ISO Range	200 - 800
Monochrome Sensor Gain	1 - 8x
Electronic Global Shutter	1/100 - 1/20000 s (visible light imaging); 1/100 - 1/10000 s (multispectral imaging)
Max Image Size	1600x1300 (4:3.25)
Photo Format	JPEG (visible light imaging or multispectral index map) + TIFF (multispectral imaging)
Supported File Systems	FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB)
Supported SD Cards	microSD with a minimum write speed of 15 MB/s. Max Capacity: 128 GB, Class 10 or UHS-1 rating required
Operating Temperature	0° to 40° C (32° to 104° F)



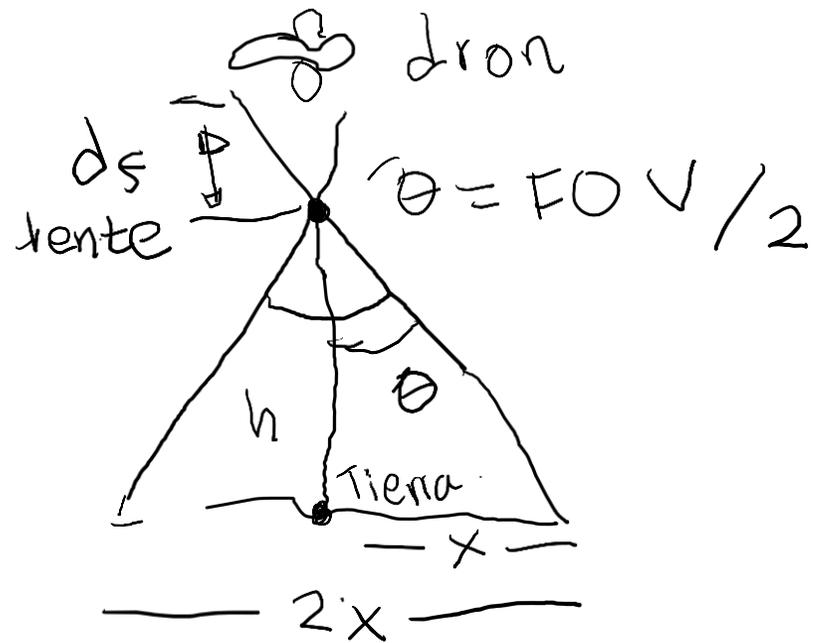
Phantom 4

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel

Peso:	231.9 g
Dimensiones:	8.7cm x 5.9cm x 4.54cm
Poder externo:	4.2 V DC – 15.6 V DC
Bandas espectrales	Azul, verde, rojo, borde rojo, cerca de IR (obturador global, banda estrecha)
Salida de color RGB:	Obturador global, alineado con todas las bandas.
Distancia de muestra en el suelo (GSD):	8 cm por píxel (por banda) a 120 m (~ 400 pies) AGL
Velocidad de captura:	1 captura por segundo (todas las bandas), RAW de 12 bits
Interfaces:	Serial, Ethernet 10/100/1000, Wi-Fi extraíble, disparador externo, GPS, SDHC
Campo de visión:	47.2 ° HFOV
Opciones de activación:	Modo de temporizador, modo de superposición, modo de disparo externo (PWM, GPIO, serie y opciones de Ethernet), modo de captura manual



Cámara del Matrice – RedEdge de MICASENSE



$$h \sim m$$

$$d_f \sim \underline{1mm} \quad (25mm)$$

$$\tan \theta = \frac{x}{h}$$

$$h = x / \tan(\theta)$$

$$x = \underline{\underline{50,100}} h$$

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel

5.5. Calculadora en Python de parámetros ópticos de drones comerciales

```
PROGRAMA DE ANALISIS DE CAMARA DE DRONES

1. DRON MAVIC 3.0
Camara RGB de 20 MPix, tipo CMOS 3/4', tamaño 17 mm x 13 mm, arreglo de 3956 x 5280 pixeles o aprox 20 MPX
Camara multispectral de 5 MPix, tipo CMOS 1/2,8', 5,14 mm x 3.86 mm, arreglo de 2592 x 1994 pixeles o aprox 5 MPX
2. DRON PHANTOM
Camara RGB y Multispectral 2MP, tipo CMOS 1/2,9', 4,98 mm x 3,74 mm, arreglo de 1600 x 1300 pixeles o aprox 2 MPX.
2. CAMARA MICASENSE para DRON MATRICE, tipo CMOS 1/3' que equivale a 4.8 mm x 3.6 mm, arreglo de 1028 x 960 pixeles o aprox 1.2 MPX,
#FOV 47.2

import numpy as np
#import matplotlib
import matplotlib.pyplot as plt

#PARAMETROS DE ENTRADA
#Parametros fijos
x_mm = np.array([17, 5.14, 4.98, 4.8]) #MAVIC RGB, MAVIC ME, PHATOM RGB Y ME, MICASENSE ME
y_mm = np.array([13, 3.86, 3.74, 3.6])
pixeles_x = np.array([5280, 2592, 1600, 1280])
pixeles_y = np.array([3956, 1994, 1300, 960])
#Parametros variables
altura_vuelo = np.array([50, 50, 50, 50])
```

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel

5.5. Calculadora en Python de parámetros ópticos de drones comerciales

PROGRAMA DE ANALISIS DE CAMARA DE DRONES

```
1. DRON MAVIC 3.0
Camara RGB de 20 MPix, tipo CMOS 3/4', tamaño 17 mm x 13 mm, arreglo de 3956 x 5280 pixeles o aprox 20 MPX
Camara multispectral de 5 MPix, tipo CMOS 1/2,8', 5,14 mm x 3.86 mm, arreglo de 2592 x 1994 pixeles o aprox 5 MPX
2. DRON PHANTOM
Camara RGB y Multispectral 2MP, tipo CMOS 1/2,9', 4,98 mm x 3,74 mm, arreglo de 1600 x 1300 pixeles o aprox 2 MPX.
2. CAMARA MICASENSE para DRON MATRICE, tipo CMOS 1/3' que equivale a 4.8 mm x 3.6 mm, arreglo de 1028 x 960 pixeles o aprox 1.2 MPX,
#FOV 47.2
```

```
import numpy as np
#import matplotlib
import matplotlib.pyplot as plt

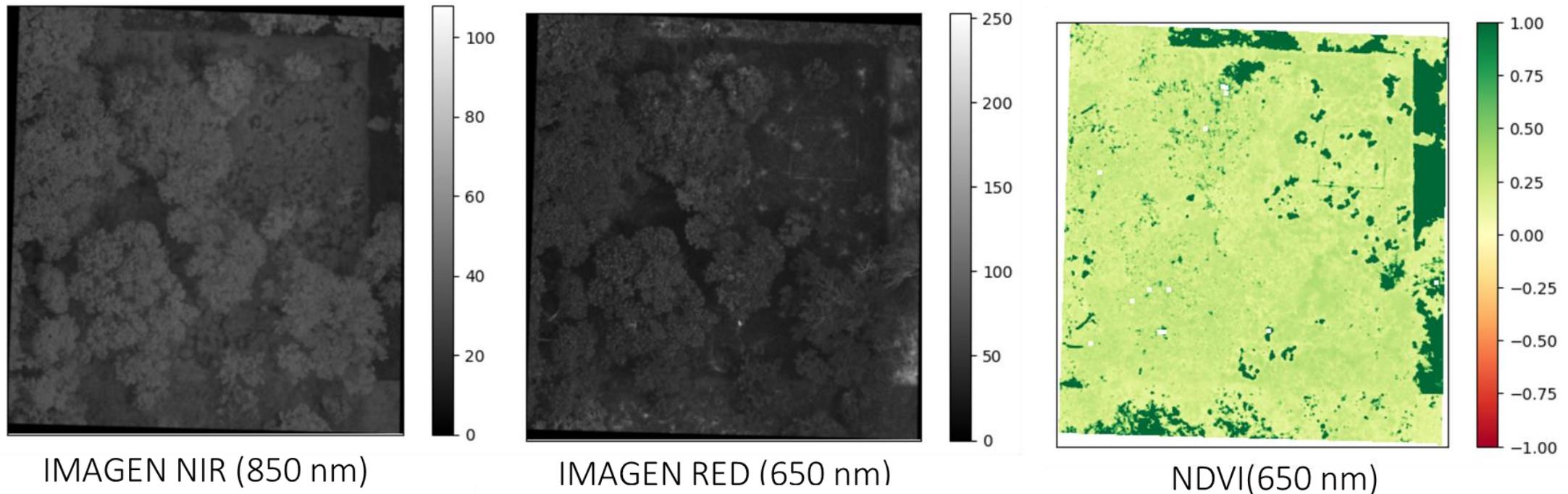
#PARAMETROS DE ENTRADA
#Parametros fijos
x_mm = np.array([17, 5.14, 4.98, 4.8]) #MAVIC RGB, MAVIC ME, PHATOM RGB Y ME, MICASENSE ME
y_mm = np.array([13, 3.86, 3.74, 3.6])
pixeles_x = np.array([5280, 2592, 1600, 1280])
pixeles_y = np.array([3956, 1994, 1300, 960])
#Parámetros variables
altura_vuelo = np.array([50, 50, 50, 50])
```

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel

5.5. Calculadora en Python de parámetros ópticos de drones comerciales

```
## IMPORTACION DE LIBRERIAS
from scipy import ndimage
from skimage import io
import os
import cv2
import numpy as np
from pathlib import Path
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib import colormaps
from matplotlib import colors
list(colormaps)
list(colormaps)
a='C:/Users/Asus/Documents/AGROSAVIA_2024/BASE_DATOS_MGSN5/ARBOL_DRON_SPECTRUM_SATELLITE_DATOS/LMGSC_DRON-2.3cmpix/5_MOMBASA_F7_13092024/
os.chdir(a)
os.listdir(a)
imagenNIR=cv2.imread('5_MOMBASA_F7_13092024_general_transparent_mosaic_nir.TIF')
imagenRED=cv2.imread('5_MOMBASA_F7_13092024_general_transparent_mosaic_red.TIF')
parametro=0
imagenNDVI=np.divide((imagenNIR[:, :, parametro]-imagenRED[:, :, parametro]), (imagenNIR[:, :, parametro]+imagenRED[:, :, parametro]))
#imgtest= cv2.cvtColor(imagenprueba, cv2.COLOR_BGR2RGB)
#Mostrar imagen
#IMAGEN NIR
plt.xticks([], plt.yticks([]))
plt.imshow(imagenNIR, cmap='gray', interpolation='bicubic')
plt.colorbar()
plt.show()
#IMAGEN RED
plt.xticks([], plt.yticks([]))
plt.imshow(imagenRED, cmap='gray', interpolation='bicubic')
plt.colorbar()
```

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2



$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Generación de imágenes multispectrales en software libre Python a partir de imágenes de reflectancia calibradas con blanco de reflectancia

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

ESA - SENTINEL 2

- ✓ Flota de satélites diseñada específicamente para proporcionar abundantes datos e imágenes.
- ✓ Sentinel 2 porta una innovadora cámara multispectral de alta resolución, con 13 bandas espectrales que aportan una nueva perspectiva de la superficie terrestre y la vegetación.



5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

[ESA - SENTINEL 2.](#)

- ✓ La misión se basa en una constelación de dos satélites idénticos en la misma órbita, separados por 180 grados, para lograr una cobertura y una descarga de datos óptimos. Cada cinco (5) días los satélites cubrirán todas las superficies terrestres.
- ✓ Objetivo es vigilar el crecimiento de las plantas, Sentinel-2 puede mapear el estado y los cambios de la superficie terrestre, observar las selvas, alertar de la contaminación en lagos y aguas costeras.

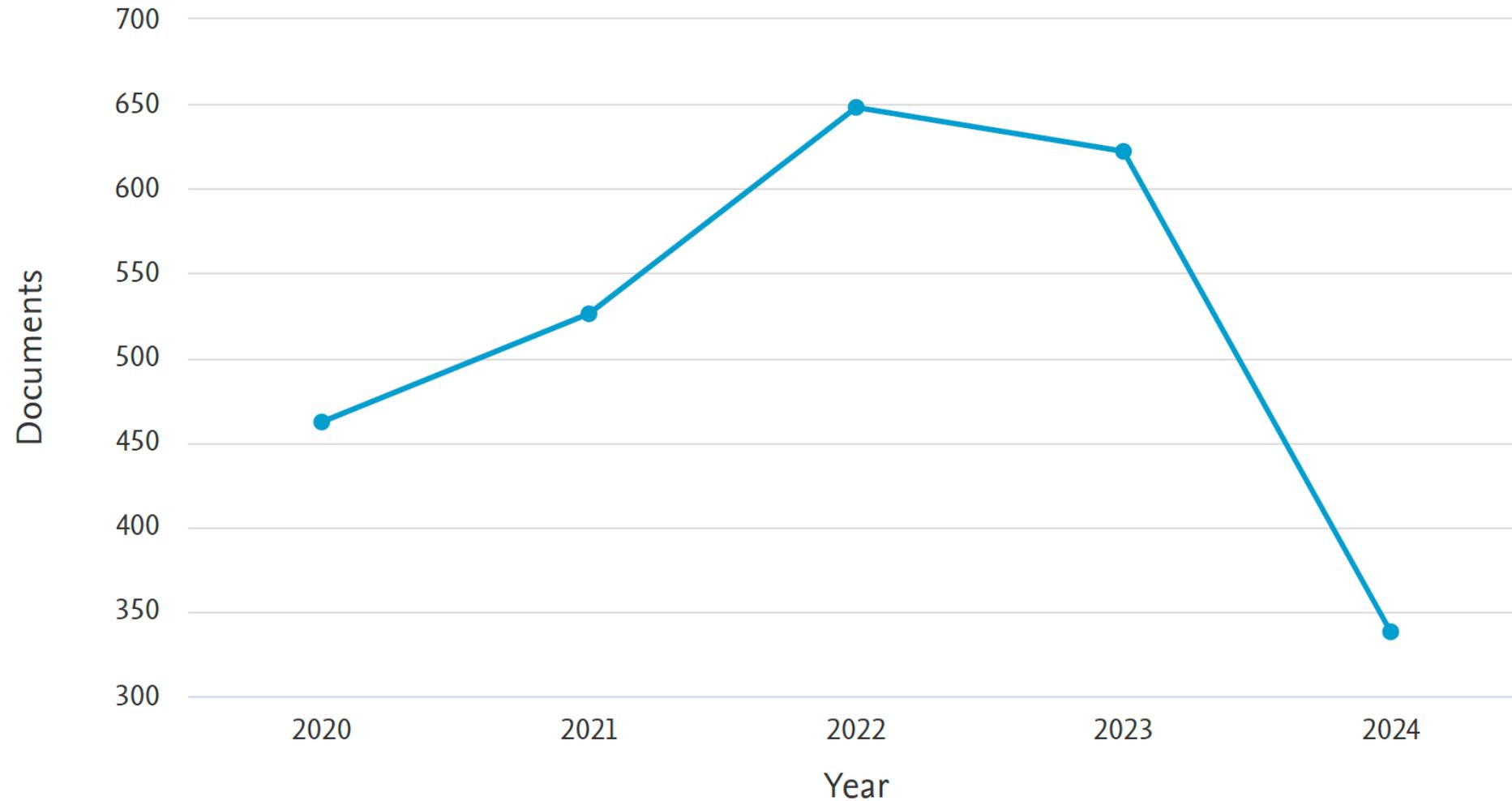


5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

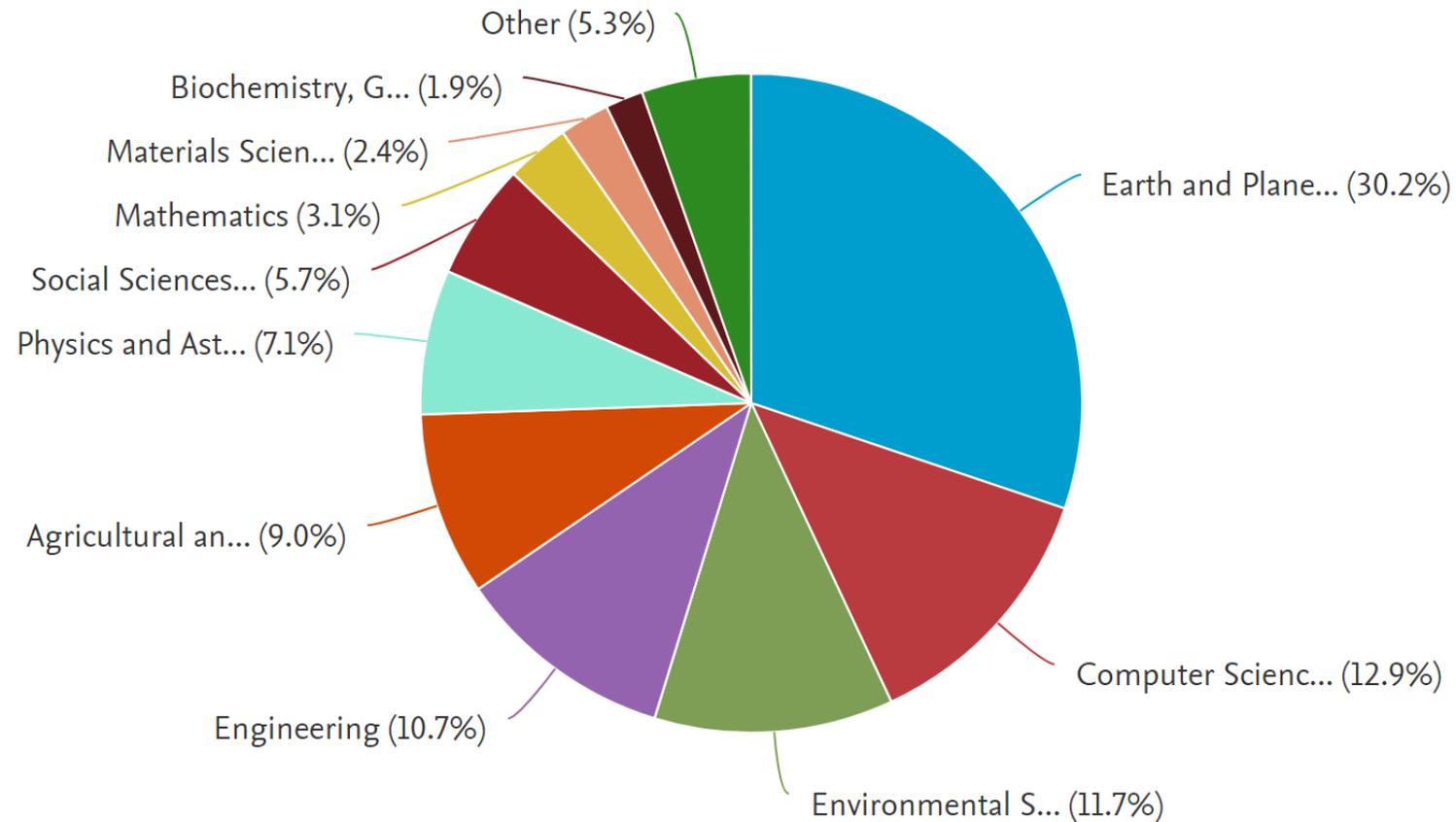
[ESA - SENTINEL 2](#)

- ✓ Opera desde el EOS Browser interactivo para descarga de imágenes desde un computador. Descarga gratuita de imágenes [Descarga gratuita de imágenes satélite de Sentinel 2 - Gis&Beers \(gisandbeers.com\)](#) [Imágenes De Satélite Gratis: Los Mejores Proveedores \(eos.com\)](#) cada 5 días.
- ✓ Operación por experto, por ejemplo, con un plug-in QGIS. No incluye programas para interpretación de imágenes. [Cómo descargar imágenes Sentinel con QGIS - MappingGIS](#)





No. de documentos por año reportados en Scopus. Ecuación: TITLE-ABS-KEY (sentinel AND (hyperspectral OR multispectral)) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2025. Consultado 17 Julio 2024 (2,596 documentos)



No. de documentos por año reportados en Scopus por Area temática. Ecuación: TITLE-ABS-KEY (sentinel AND (hyperspectral OR multispectral)) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2025. Consultado 17 Julio 2024 (2,596 documentos)



Análisis bibliométrico en plataforma VosViewer 2023

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

SATELITE SENTINEL 2

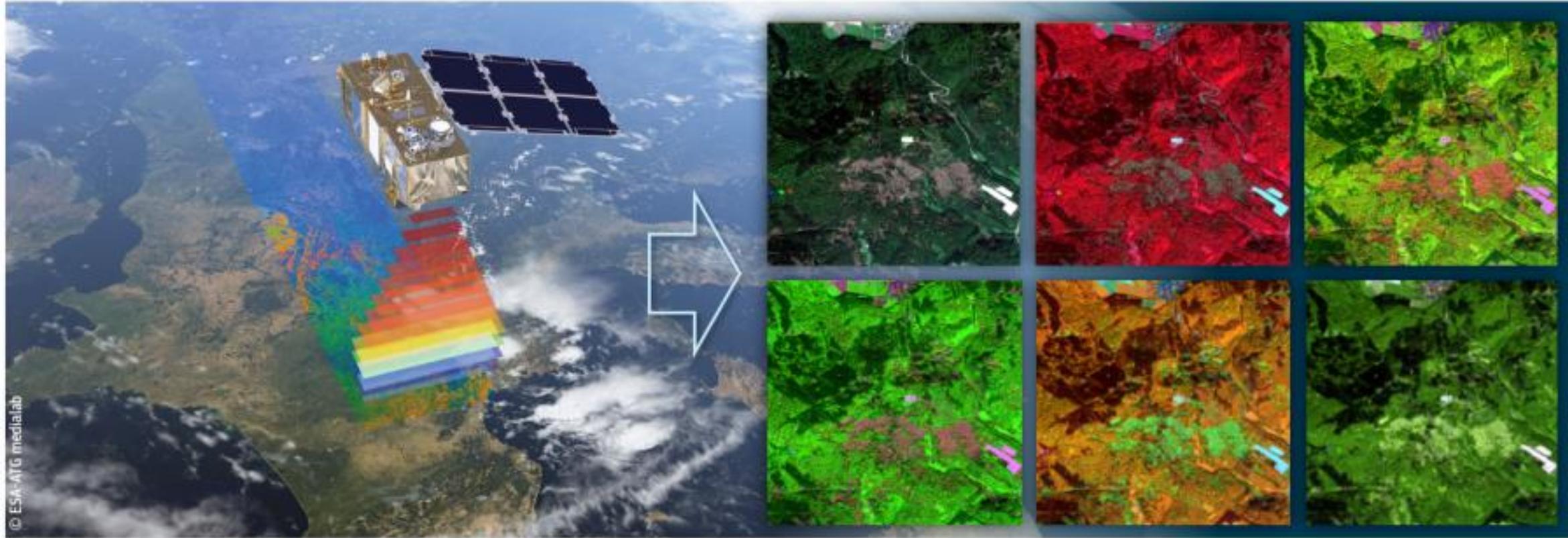
100 USD/mes (Uso comercial) a través de la API de Sentinel-2 disponible en [Pricing \(sentinel-hub.com\)](https://sentinel-hub.com)

Resolución del pixel de 10 m, 30 m, 60 m para imágenes multispectrales.

13 bandas

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

Banda	Resolución Espacial	Longitud de onda central	Descripción
B1	60 m	443 nm	Ultra azul (Costa y Aerosol)
B2	10 m	490 nm	Azul
B3	10 m	560 nm	Verde
B4	10 m	665 nm	Rojo
B5	20 m	705 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	Rojo de borde (RedEdge)
B9	60 m	940 nm	Vapor de Agua
B10	60 m	1375 nm	Cirrus
B11	20 m	1610 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)



Sentinel 2- Imagen Derecha: Ilustración, Imagen Izquierda imágenes de cada banda espectral e imagen visible. Resolución del pixel de 10 m, 30 m, 60 m para imágenes multiespectrales.

¿Cómo usar las imágenes del Sentinel 2 para que sean procesadas e interpretadas de manera rápida por personal no experto?

EQUIPO DE TRABAJO

THOMAS GOMEZ SERPA

Es un estudiante de matemáticas y física en la Universidad de los Andes en Colombia. También conocido en GitHub por su nombre de usuario Ratabart666 [Ratabart666 \(GitHub\)](#). Programador de proyecto HYPERCORN adaptando algoritmos de procesamiento de imágenes multiespectrales y procesamiento de espectros en Python. Su interés es la física teórica, física matemática, modelación matemática y ciencias computacionales. Aspira a ser doctor en Física y empresario de proyectos digitales en Inteligencia Artificial para agricultura.

Autor de App HYPERSATELLITE



EQUIPO DE TRABAJO

ANDRES FELIPE MENDOZA

Es un estudiante Ingeniería de Sistema en la Universidad de los Andes en Colombia. También conocido en GitHub por su nombre de usuario gordosaurio [gordosaurio \(github.com\)](https://github.com/gordosaurio); desarrollando proyectos Web y proyectos de transacciones financieras. Es programador de HYPERCORN creando backend, base de datos y frontend. Intereses en programación y arquitectura de software.

Autor de App HYPERSATELLITE



ARQUITECTURA

APP

ACCESO a la NUBE:

Que opera la API para permitir el acceso desde cualquier parte del mundo. A través de un "Docker" se empaquetan los códigos para correrlos como servicio WEB en AZURE.



INTERFAZ GRÁFICA:

Para Interacción del usuario en la NUBE de una manera personalizada y simple. Hace parte del FRONT END



JavaScript



API (interfaz de Programación de aplicaciones):

Devuelve los algoritmos de tal manera que se puedan conectar con interfaces gráficas. Se integra en el BACKEND



BASE DE DATOS:

En Microsoft SQL para configurar el acceso a los usuarios. Se integra al BACKEND



ALGORITMOS BÁSICOS:

Programas en Python que hacen parte del desarrollo científico, y son usados por el BACKEND



Versatilidad de la arquitectura



Modelos de machine learning para la estimación de parámetros relevantes en cultivos.



Análisis y procesamiento online de imágenes.



Detección de vegetación, seguimiento de deforestación y evolución de zonas verdes, detección de zonas con agua, seguimiento de emisiones.



Promoción de la conectividad para la gestión agrícola.

5. Óptica de las cámaras multispectrales de drones comerciales y del satélite Sentinel 2

[HYPERCORN \(@hypercorn\)](https://www.instagram.com/hypercorn) •
[Fotos y videos de Instagram](#)



Sensores Remotos Multi e Hiperespectrales de la Tecnología Agro 4.0: *Fundamentos Ópticos y Fotónicos*

6- Cámaras térmicas

6.1. El espectro IR lejano y térmico

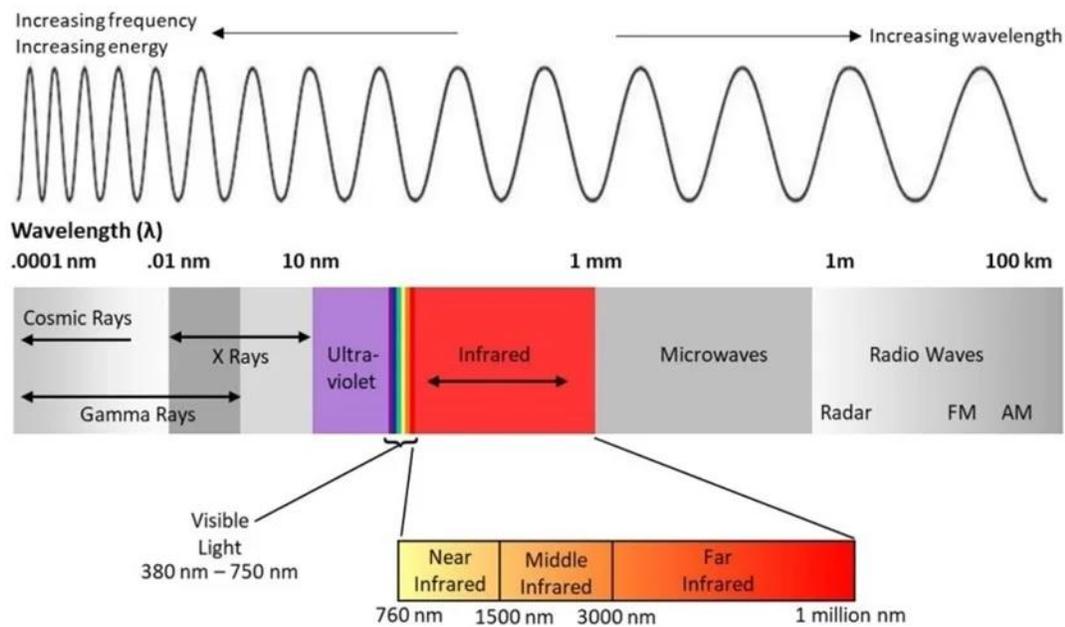
6.2. Ley de la radiación de un cuerpo negro de Planck y emisividad

6.3. Cámara térmica infrarroja FLIR

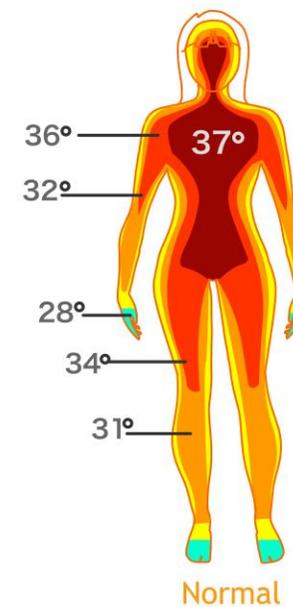
6.4. Herramientas IA y de procesamiento de imágenes.



6. Cámaras térmicas



Body Temperature



6. Cámaras térmicas

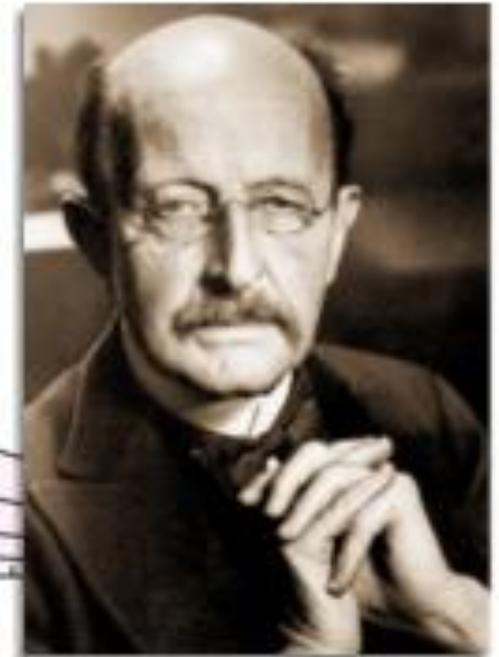
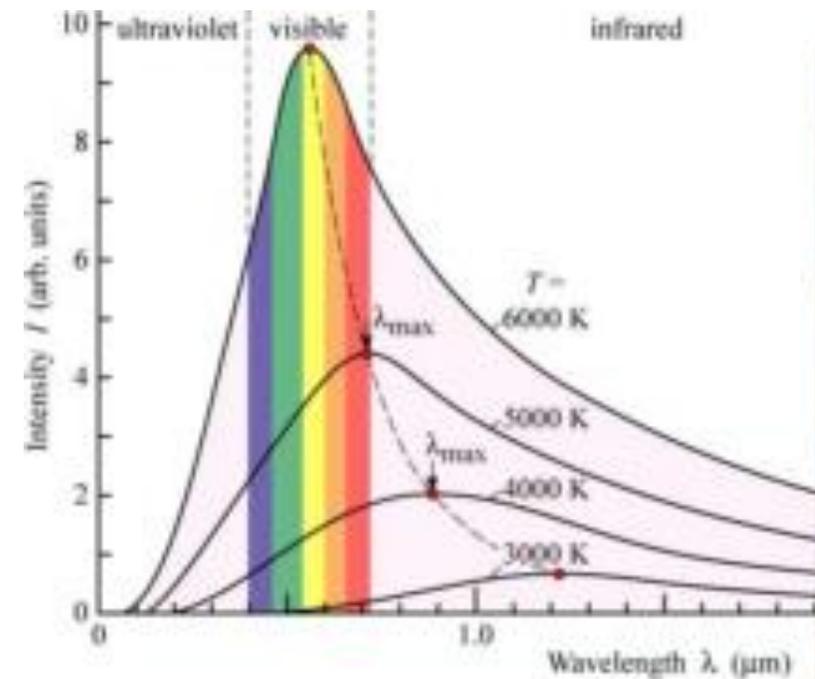
6.2. Ley de la radiación de un cuerpo negro de Planck y emisividad

Cuerpo Negro: Max Planck en 1900 describe cómo un cuerpo negro, que es un objeto idealizado que absorbe toda la radiación incidente, emite radiación electromagnética en función de su temperatura.

Postulados:

La superficie de cualquier cuerpo con temperatura por encima del cero absoluto emite energía en forma de radiación electromagnética. El correspondiente espectro de esta radiación, denominada «térmica», es continuo, y la distribución espectral depende de la temperatura absoluta T .

La emisión va acompañada de absorción: al incidir radiación sobre la superficie de un cuerpo, parte de ella se absorbe (y parte se refleja).



6. Cámaras térmicas

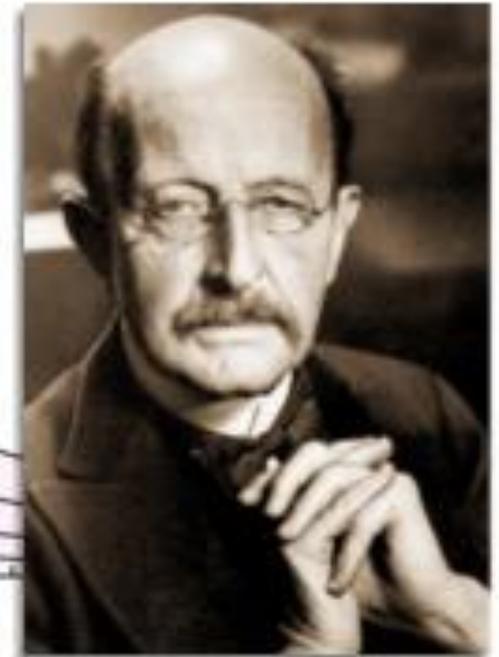
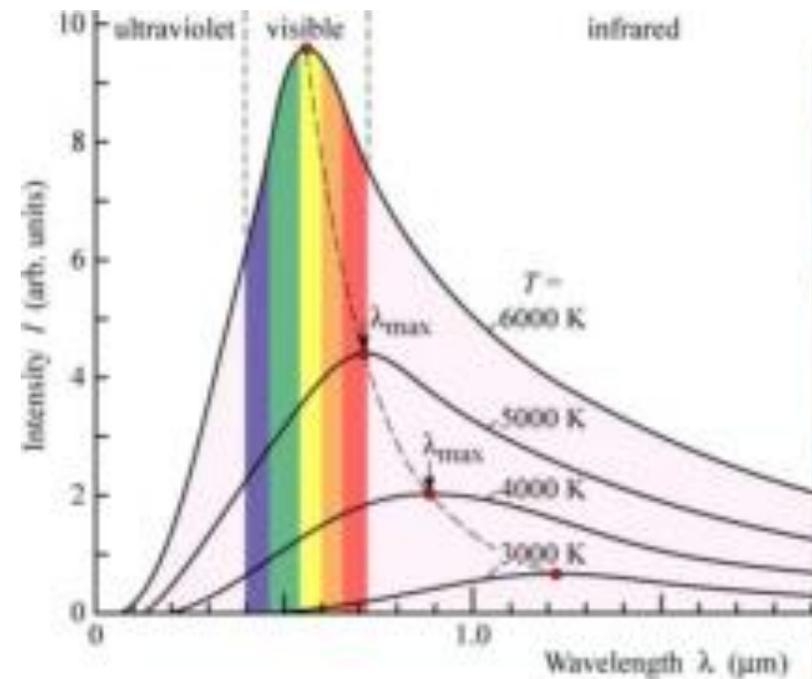
6.2. Ley de la radiación de un cuerpo negro de Planck y emisividad

Ley de Planck:

La ley de Planck describe la distribución espectral de la radiación emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico a una temperatura. La ecuación que da la densidad de energía emitida por unidad de superficie y por unidad de longitud de onda es:

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$

- $I(\lambda, T)$ es la radiancia espectral (energía por unidad de área, por unidad de tiempo, por unidad de ángulo sólido y por unidad de longitud de onda).
- h es la constante de Planck ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J}$)
- c es la velocidad de la luz en el vacío ($3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$)
- λ es la longitud de onda de la radiación.
- k_B es la constante de Boltzmann ($1.381 \times 10^{-23} \text{ J}$)
- T es la temperatura absoluta del cuerpo en Kelvin.



6. Cámaras térmicas

6.2. Ley de la radiación de un cuerpo negro de Planck y emisividad

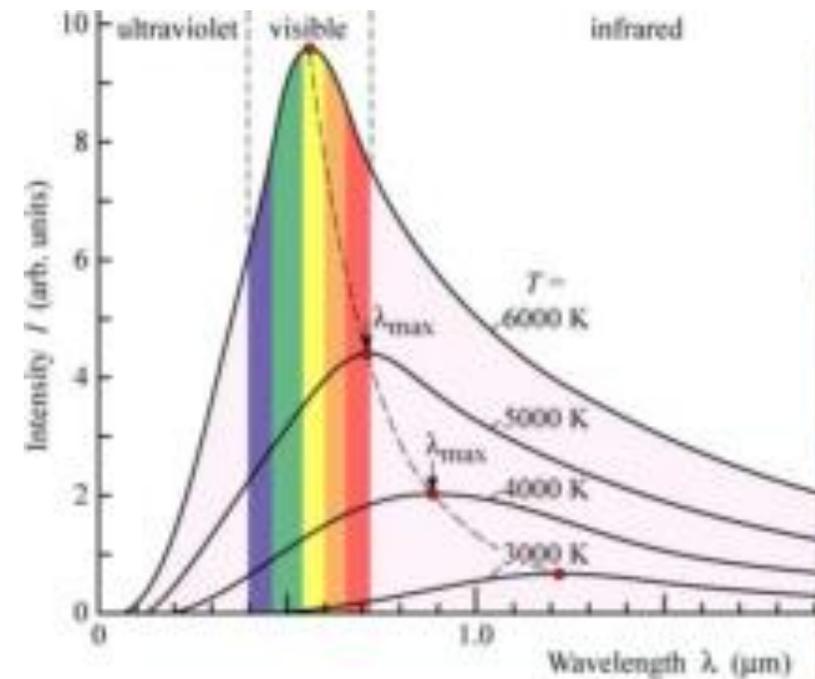
Ley de Stefan – Boltzman

$$E = \sigma (T_e)^4$$

potencia emitida (W/m²) de un cuerpo negro (o radiador ideal) es proporcional a su temperatura absoluta a la cuarta potencia.

La potencia emitida superficial de una superficie real es menor que el de un cuerpo negro a la misma temperatura y está dada por:

$$E = \varepsilon \sigma (T_e)^4$$

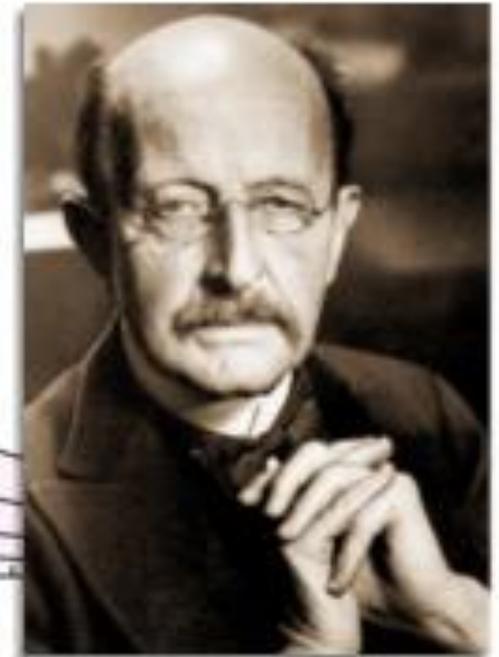
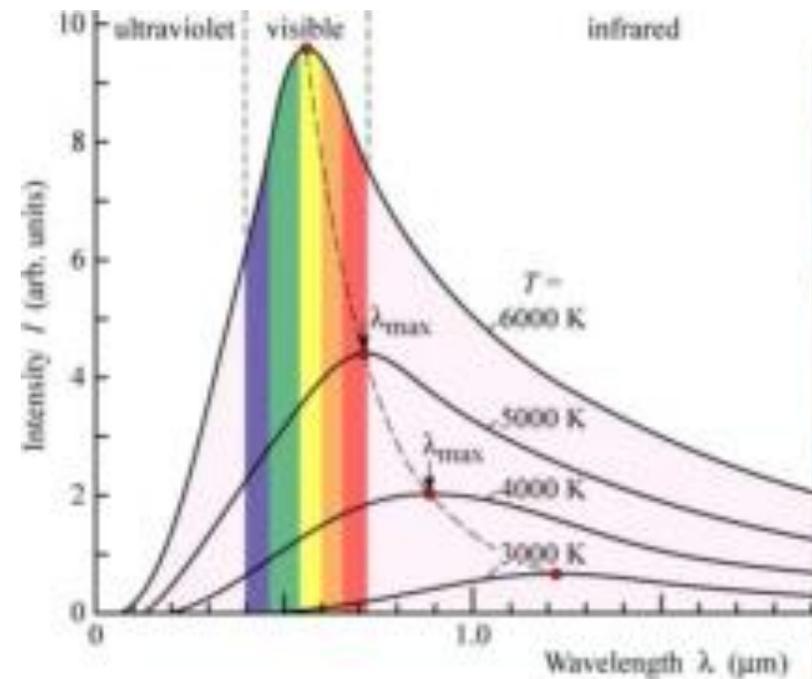


6. Cámaras térmicas

6.2. Ley de la radiación de un cuerpo negro de Planck y emisividad

Donde ϵ es una propiedad radiativa de la superficie denominada **emisividad**. Con valores en el rango ($0 \leq \epsilon \leq 1$), esta propiedad es la relación entre la radiación emitida por una superficie real y la emitida por el cuerpo negro a la misma temperatura. Esto depende marcadamente del material de la superficie y de su acabado, de la longitud de onda, y de la temperatura de la superficie.

La **emisividad** (ϵ) de un cuerpo es una medida de su capacidad para emitir radiación en comparación con un cuerpo negro ideal. Un cuerpo negro tiene una emisividad de 1, es decir, emite la máxima cantidad posible de radiación a una temperatura dada. Para objetos reales, la emisividad es un valor entre 0 y 1.



6. Cámaras térmicas

Características técnicas

Características Comunes

- Alta sensibilidad térmica (NETD) — Ofrece una alta resolución necesaria para encontrar problemas más rápido y fácil
- Galería de miniaturas — Permite la búsqueda rápida de imágenes guardadas
- Imágenes radiométricas JPEG — Usa tecnología patentada para guardar todos los pixeles térmicos de cada imagen en formato estándar JPEG y facilitar el envío electrónico y análisis con el software QuickReport™ (incluso)
- Batería recargable de Li-Ion — Batería reemplazable de larga duración
- Incluye — Tarjeta de memoria, batería recargable Li-Ion, adaptador/cargador CA, software QuickReport™, cable USB, correa; FLIR Serie i, Serie b incluye estuche rígido y protector de lente

Cámara FLIR i7



6. Cámaras térmicas

Características técnicas: Captan radiación de 3-14 um

Modelo	FLIR i5/FLIR i7
Tipo de la Cámara	Compactas
Rango de temperatura	-20°C a 250°C
Precisión	2%
Sensibilidad térmica (NETD)	0.1°C a 25°C
Dimensiones pantalla a color	2.8", LCD
Resolución del detector (píxeles)	80 x 80/120 x 120
Punto/Área	Punto (i5, i7), Área (i7), Isoterma (i7)
Detecta temperatura alta/baja	—
Lentes	Integrado
Enfoque	Automático
Puntero láser	—
Marcador láser en IR/Visual	—
Zoom Digital	—
Almacenamiento de imágenes (SD)	5000 imágenes

Cámara FLIR i7: Sensores fabricados en telururo de cadmio y mercurio (CdHgTe o CMT -siglas en inglés-) y el antimonio de indio (InSb)



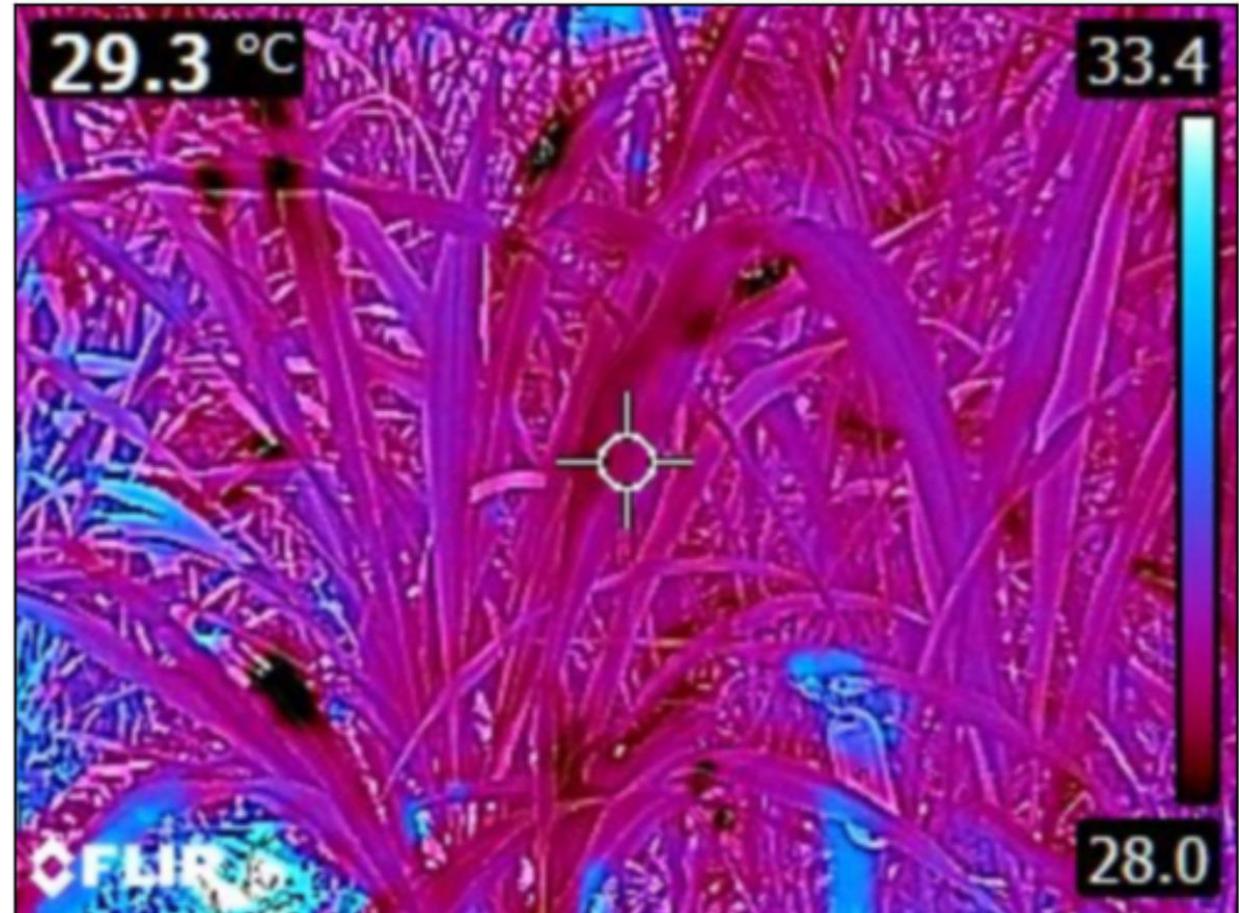
6. Cámaras térmicas

Programa de lectura de imágenes en Python

```
#PROGRAMA PARA VISUALIZAR IMAGENES TERMICAS
## IMPORTACION DE LIBRERIAS
from scipy import ndimage
from skimage import io
import os
import cv2
import numpy as np
from pathlib import Path
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib import colormaps
from matplotlib import colors
list(colormaps)
a='C:/Users/Asus/Documents/AGROSAVIA_2024/BASE_DATOS_MGSN5/EXPERIMENTAL_DATA_MGSN5/2-23Ag2024/Thermal_Images'
os.chdir(a)
os.listdir(a)
imagenTER=cv2.imread('5.jpg')
#IMAGEN NDVI
print(np.nanmin(imagenTER))
print(np.nanmax(imagenTER))
np.seterr(divide='ignore', invalid='ignore')
plt.xticks([], plt.yticks([]))
plt.imshow(imagenTER, cmap='plasma', interpolation='bicubic')#, vmin=-1, vmax=1)
#plt.colorbar()
plt.show()
✓ 0.1s
```

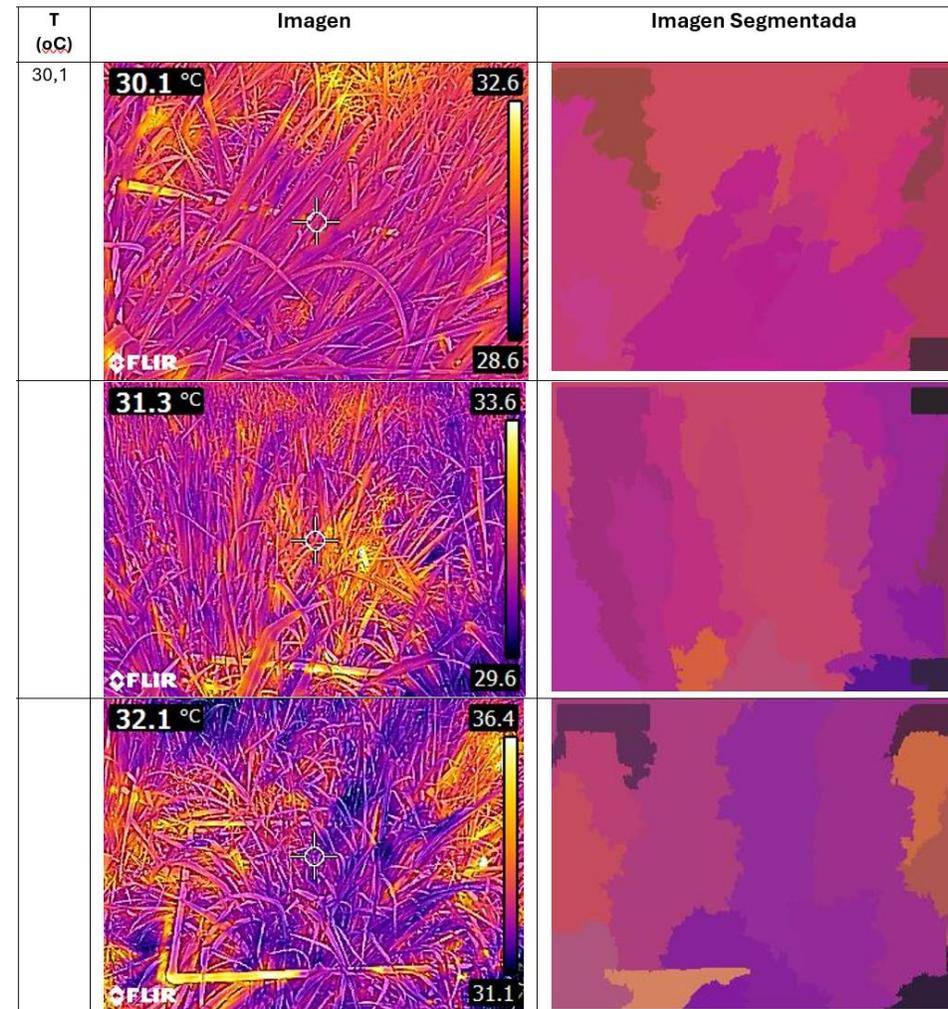
6. Cámaras térmicas

6.4. Herramientas IA y de procesamiento de imágenes



6. Cámaras térmicas

Segmentación de imágenes usando algoritmo k-means (no supervisado) basado en clusterización



Obrigado Mamana Juspa Mochchakkeram Raibh Maith Agat Obrigado
MATONDO SPASIBO KIITOS Terma Kasih SPASIBO MERCI
Obrigado DANK JE SPASIBO Ua Tsaug Rau Koj
Kia Ora Kiitos Thank You DANK JE SPASIBO Grazie
SPASIBO Niringrazzjak welalin MAAKE Maake Dankon Kiitos DANK JE yon vinaka DANK JE SPASIBO
ASANTE Mamana Grazie Kiitos Multumesc Matondo ASANTE Obrigado Mochchakkeram Multumesc Matondo
Matur Nuwun SPASIBO
Obrigado Mochchakkeram SPASIBO Chokrane
NIRRINGRAZZJAK MAAKE Chokrane Raibh Maith Agat Kiitos
Raibh Maith Agat Obrigado SPASIBO Matur Nuwun Salamat Multumesc
Kiitos Matondo MAAKE Matur Nuwun Chokrane
Salamat MAAKE Matur Nuwun Chokrane
Obrigado Mochchakkeram