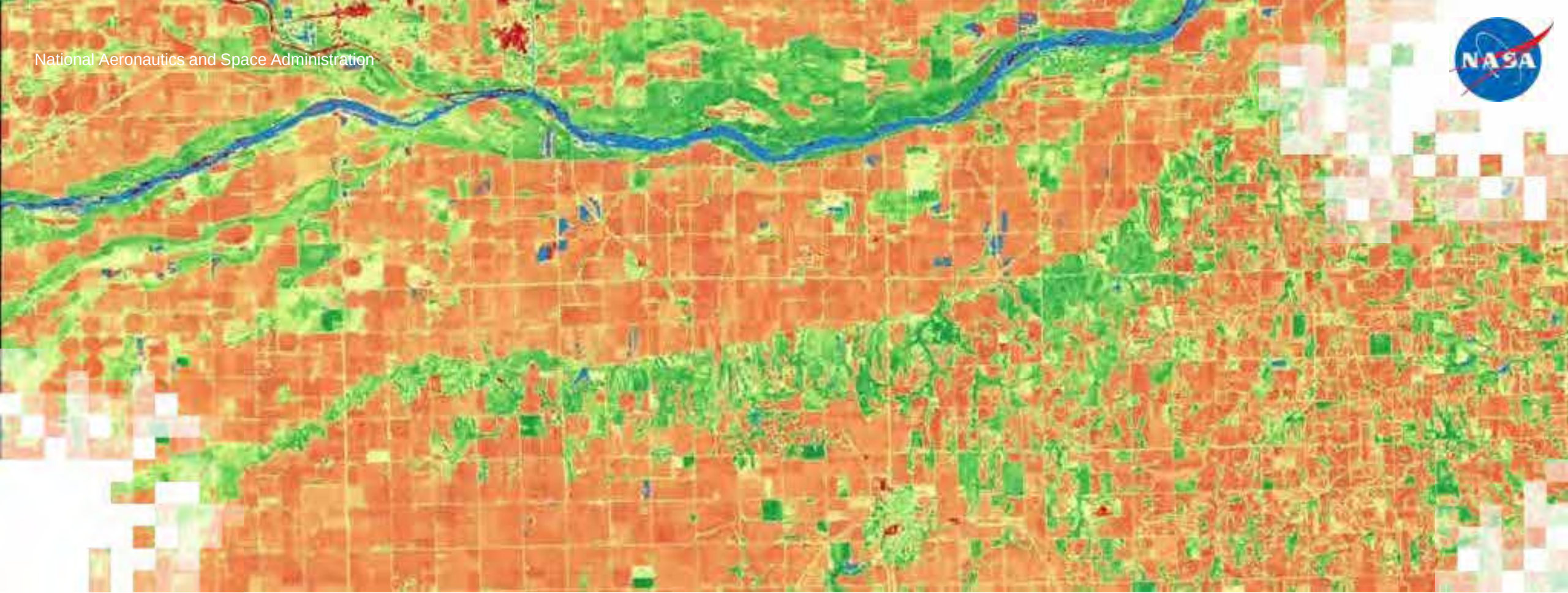




Índices Espectrales para Aplicaciones Terrestres y Acuáticas

Sesión 2: Spectral Indices Used for Aquatic Applications

Juan L. Torres-Pérez (NASA ARC), Amber McCullum (BAERI), Britnay Beaudry (BAERI) y Sativa Cruz (BAERI)

2 de noviembre 2023



Propósito de esta Capacitación

- Proporcionar una visión general de los índices espectrales comúnmente utilizados para aplicaciones terrestres y acuáticas.
- Los participantes verán ejemplos de cálculos de índices espectrales con diversos sensores, incluidos Landsat 9 (OLI-2), Sentinel-2 MSI y los conjuntos de datos Landsat Sentinel-2 armonizados.
- Habrá demostraciones con Google Earth Engine para aplicaciones terrestres y acuáticas.



Objetivos de Aprendizaje de la Capacitación

Al final de capacitación en serie, las/ los participantes podrán:

- Reconocer los índices espectrales de uso común en ambientes terrestres y acuáticos.
- Distinguir entre índices espectrales para seleccionar los más adecuados para un sistema terrestre o acuático determinado de interés
- Realizar los cálculos de índices espectrales en áreas de interés apropiadas
- Adquirir productos de índices espectrales de una variedad de fuentes



Prerrequisitos

- Fundamentos de la Percepción Remota (Teledetección)
 - O contar con experiencia equivalente



Esquema de la Capacitación

Sesión 1

Resumen General
de los Índices
Espectrales

26 de octubre de
2023

11-12 y 15-16 ET

Sesión 2

Índices Espectrales
para Aplicaciones
Acuáticas

2 de noviembre de
2023

11-12 y 15-16 ET

Sesión 3

Índices Espectrales
para Aplicaciones
Terrestres

9 de noviembre de
2023

11-12 y 15-16 ET

Tarea

Abre el 9 de noviembre – Fecha límite: 23 de noviembre – Publicada en la Página Web de la Capacitación

Se otorgará un certificado de finalización de curso a quienes asistan a las tres sesiones en vivo y completen la tarea dentro del plazo estipulado.



Sesión 2 – Formadores

Britnay Beaudry

Instructora
Conservación
Ecológica



**Amber Jean
McCullum**

Jefa de Equipo
Conservación
Ecológica



Juan Torrez-Perez

Instructor
Conservación
Ecológica



Sativa Cruz

Instructora
Conservación
Ecológica



Sesión 2- Objetivos

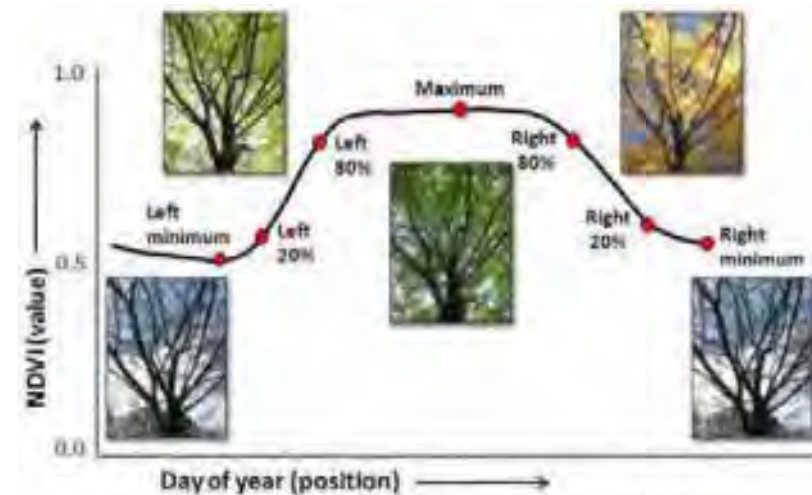
Al final de la 2^{da} Parte, las/los participantes podrán:

- Reconocer índices espectrales comunes para aplicaciones acuáticas
- Distinguir algunas diferencias básicas entre los índices espectrales desarrollados para aplicaciones acuáticas y aquellos desarrollados para aplicaciones terrestres
- Reconocer las principales regiones del espectro electromagnético útiles para aplicaciones acuáticas
- Examinar algunos ejemplos recientes sobre el uso de índices espectrales para aplicaciones costeras y oceánicas



Repaso de Conocimiento Previamente Adquirido

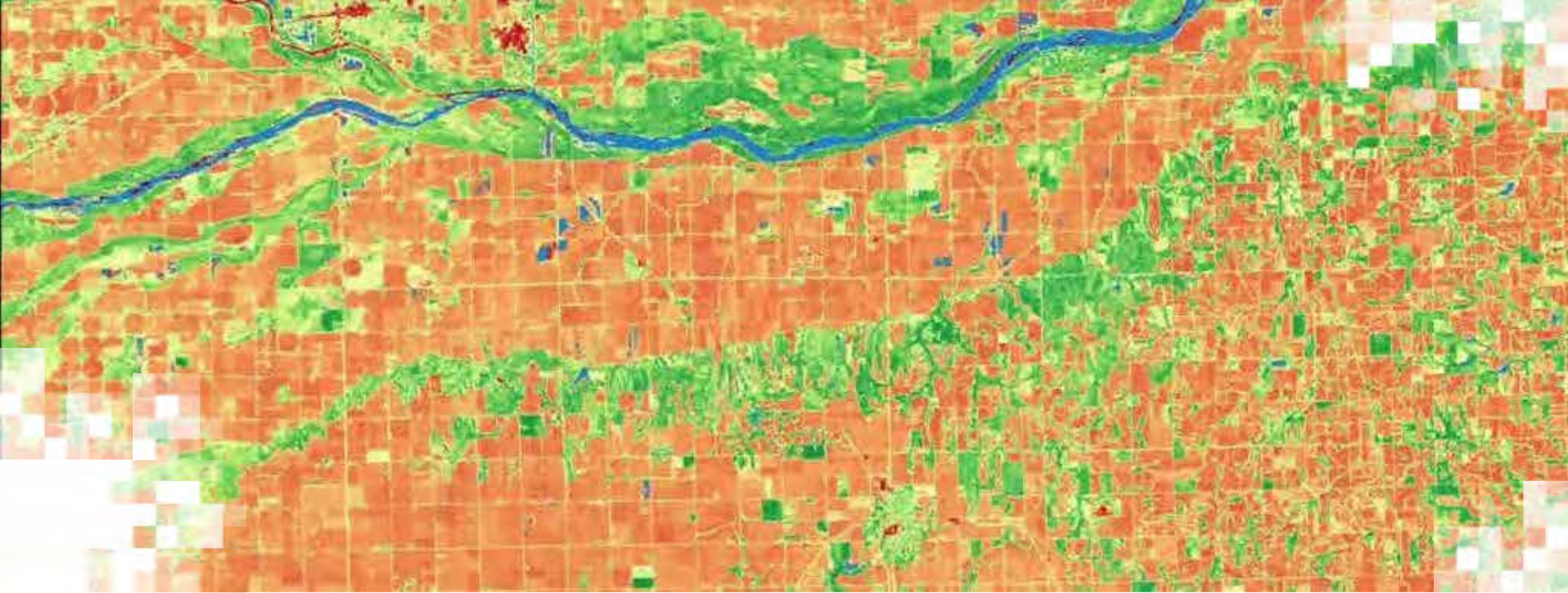
- Cada superficie de la Tierra refleja y absorbe energía de diferentes maneras.
 - Las plantas, por ejemplo, absorben en el azul y el rojo y se reflejan en el verde y el NIR (infrarrojo cercano, por sus siglas en inglés).
- Diferentes superficies tienen diferentes firmas espectrales.
- Los índices espectrales son relaciones de banda simples que resaltan un proceso o propiedad específica en la superficie terrestre o acuática.
- El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es uno de los índices más utilizados para analizar la salud de la vegetación.
 - Es una relación simple entre las regiones Rojo y NIR del espectro.



Cómo Hacer Preguntas

- Por favor escriba sus preguntas en la casilla denominada “Questions” y las responderemos al final de este webinar.
- No dude en escribir sus preguntas mientras vayamos avanzando. Intentaremos responder todas las preguntas durante la sesión para preguntas y respuestas después del webinar.
- Las demás preguntas las responderemos en el documento de preguntas y respuestas, el cual será publicado en la página web de la capacitación aproximadamente una semana después de esta sesión.

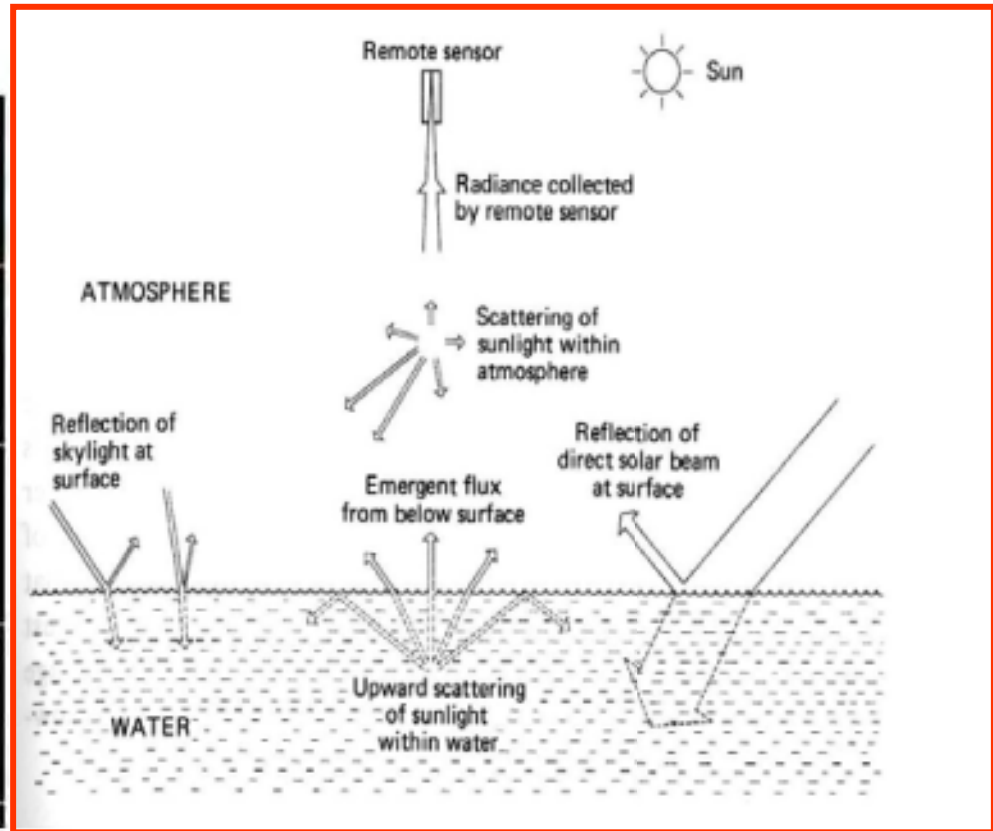
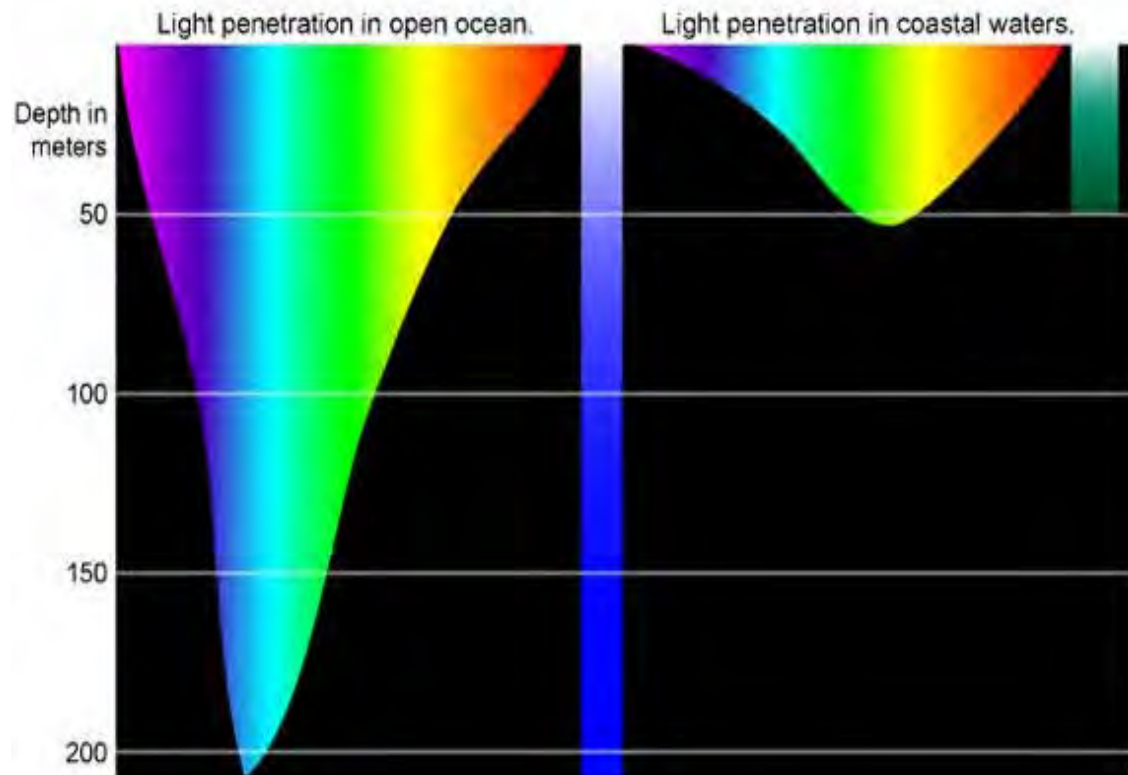




Sesión 2:
**Índices Espectrales para Aplicaciones
Acuáticas**

La Calidad del Agua Afecta las Propiedades Ópticas de Esta

El agua natural contiene material que es ópticamente activo. El monitoreo de la reflectancia de la luz de la superficie del agua con teledetección puede indicar la calidad del agua.



Cómo Interactúa la Luz con el Agua



Reflectancia de teledetección (R_{rs}) o Color del océano

$$R_{rs}(\lambda, 0^+) \cong C \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)} = \frac{L_w(\lambda)}{E_d(\lambda, 0^+)}$$

Propiedades ópticas inherentes:

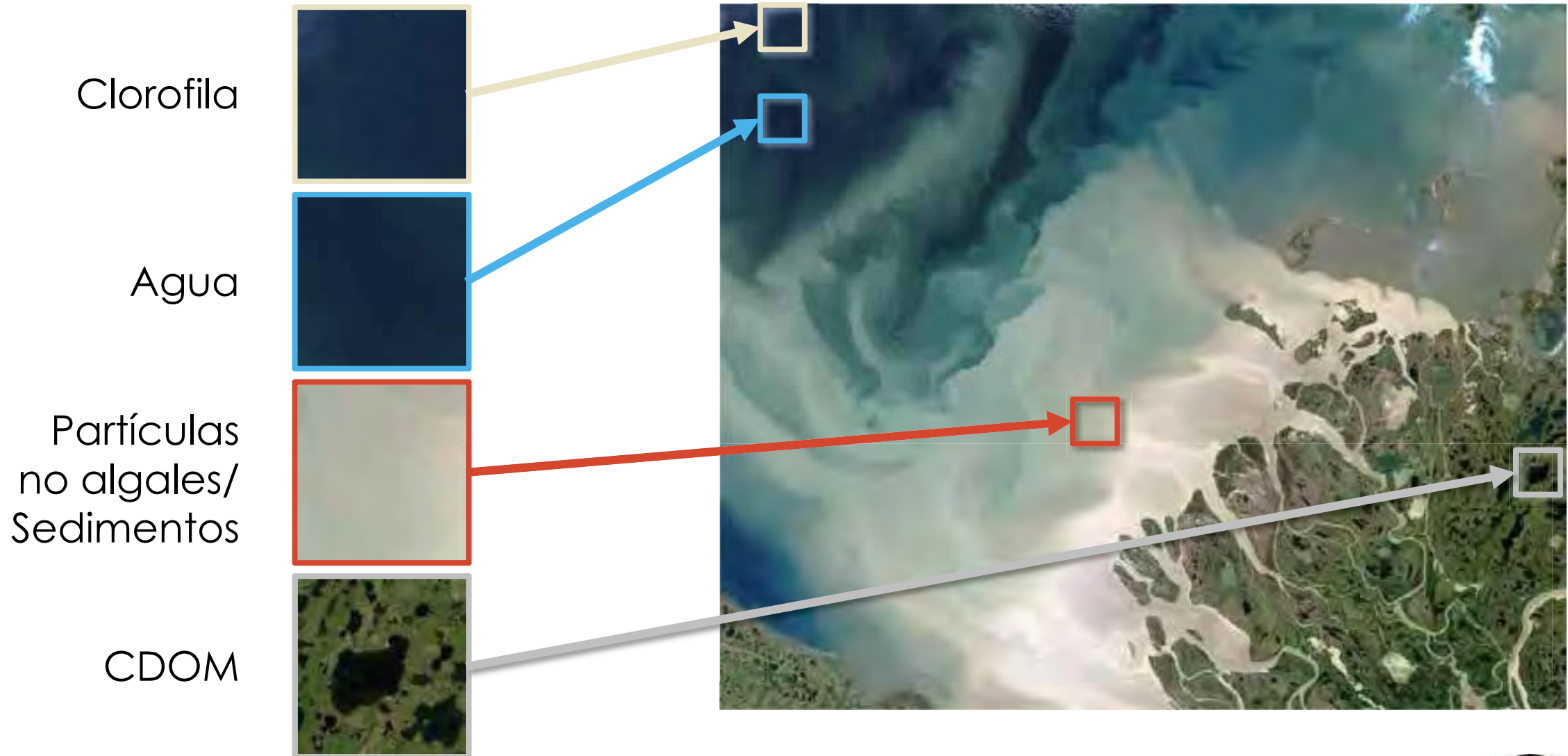
- a = Absorción por...
 - Fitoplancton (ph)
 - Partículas No-Algales (nap)
 - Materia Orgánica Disuelta
 - Coloreada (CDOM)
 - Agua (w)
- b = Dispersión hacia adelante (f) y en sentido contrario (b)

Propiedades ópticas aparentes:

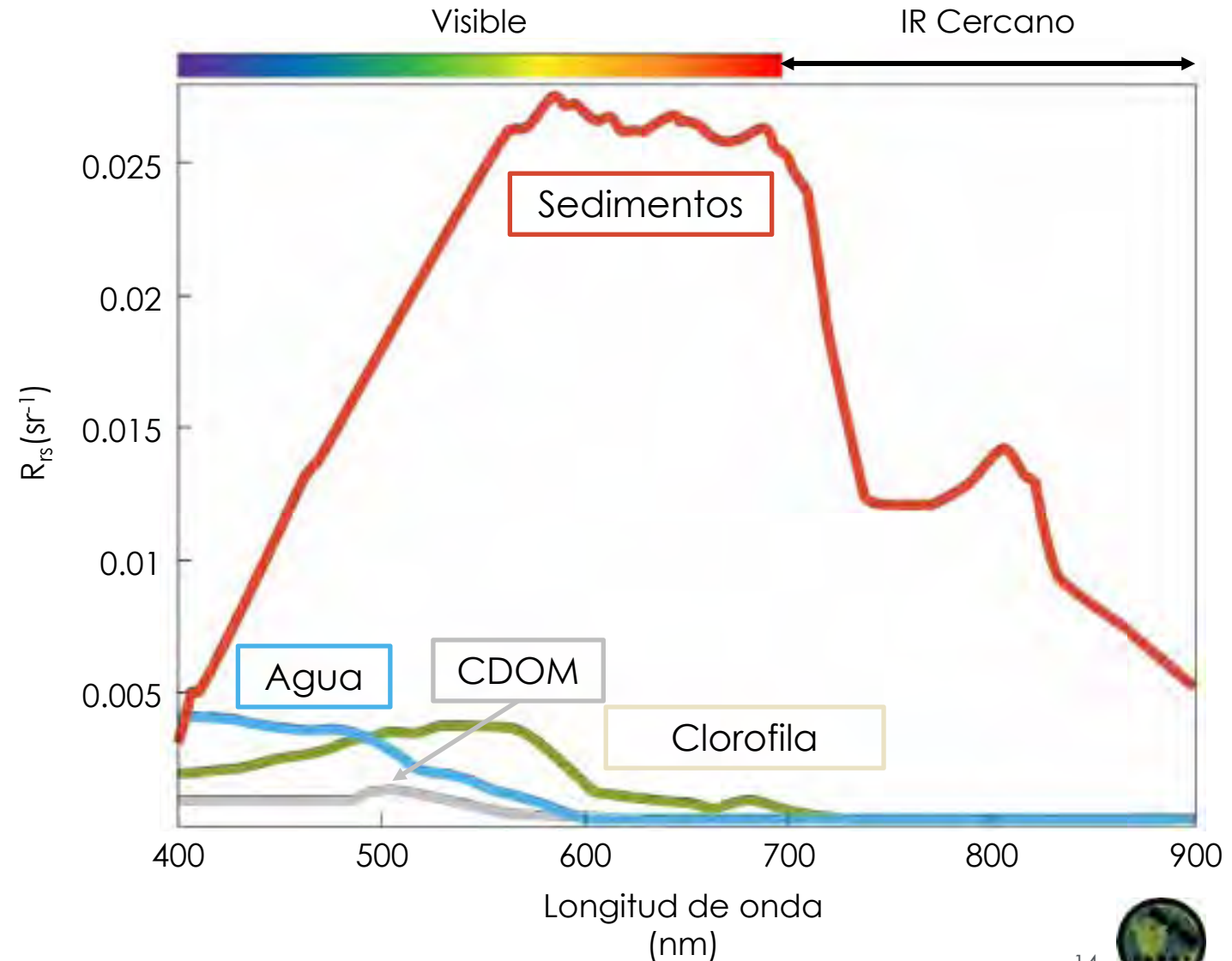
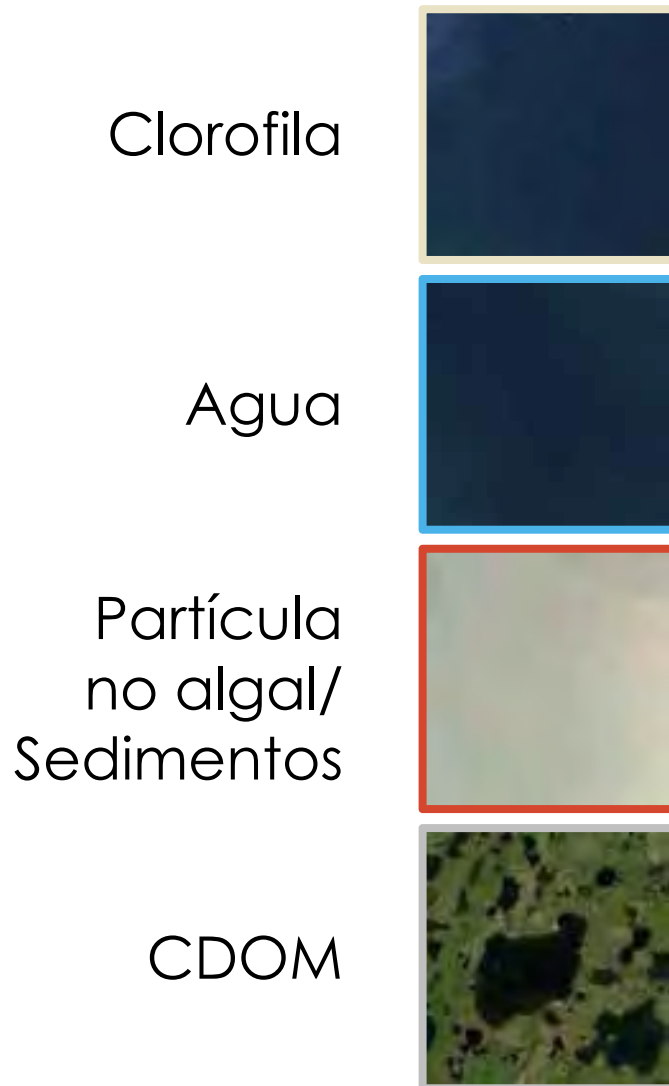
- L_w = Radiancia partiendo del agua
- L_u = Radiancia ascendente
- E_d = Irradiancia descendente
- R_{rs} = Reflectancia de teledetección(rs)



Propiedades Ópticas Inherentes (IOPs) y el 'Color' del Agua



Propiedades Ópticas Inherentes (IOPs) y el 'Color' del Agua



Algunos Indicadores de la Calidad del Agua Que los Satélites Pueden Observar

- Materia Orgánica Disuelta Coloreada (CDOM por sus siglas en inglés)
- Temperatura Superficial Marina (SST)
- Clorofila-a (Fitoplancton)
- Salinidad
- Sólidos en Suspensión Totales (TSS)
- Altura de la Línea de Fluorescencia
- Profundidad Eufótica
- Atenuación de la Luz Difusa

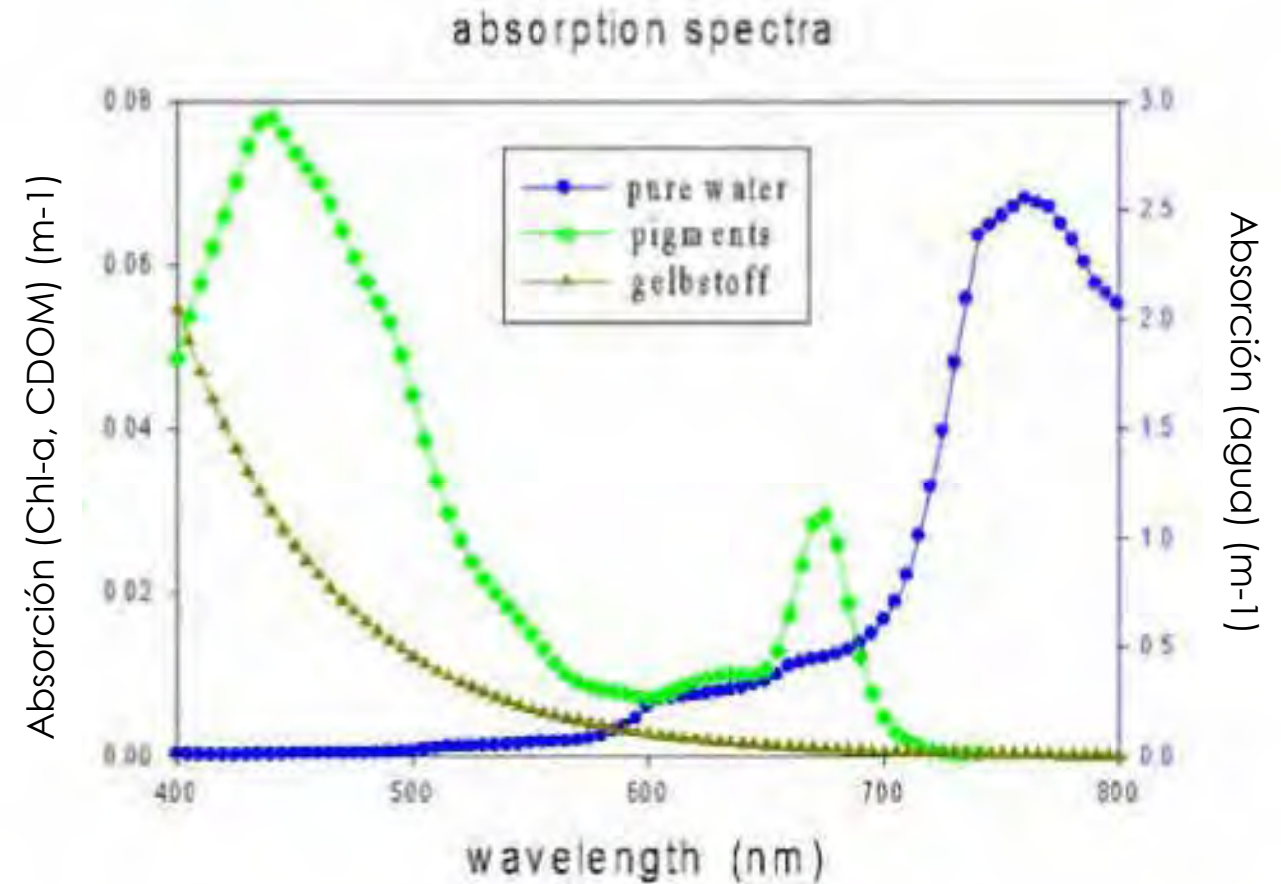


Fuente de la Imagen: A blackwater river meets the sea [Text.Article]. (2018, October 27). Fuente: [NASA Earth Observatory](#)



Absorción por Parte del de Agua, CDOM y Fitoplancton

- El agua absorbe fuertemente en el rojo, NIR y SWIR.
- El CDOM absorbe fuertemente en la región azul.
- El fitoplancton (Chl a) absorbe fuertemente en las regiones azul y roja del espectro.



Fuente: El Laboratorio de Oceanografía Bio-
óptica de la U. de Puerto Rico

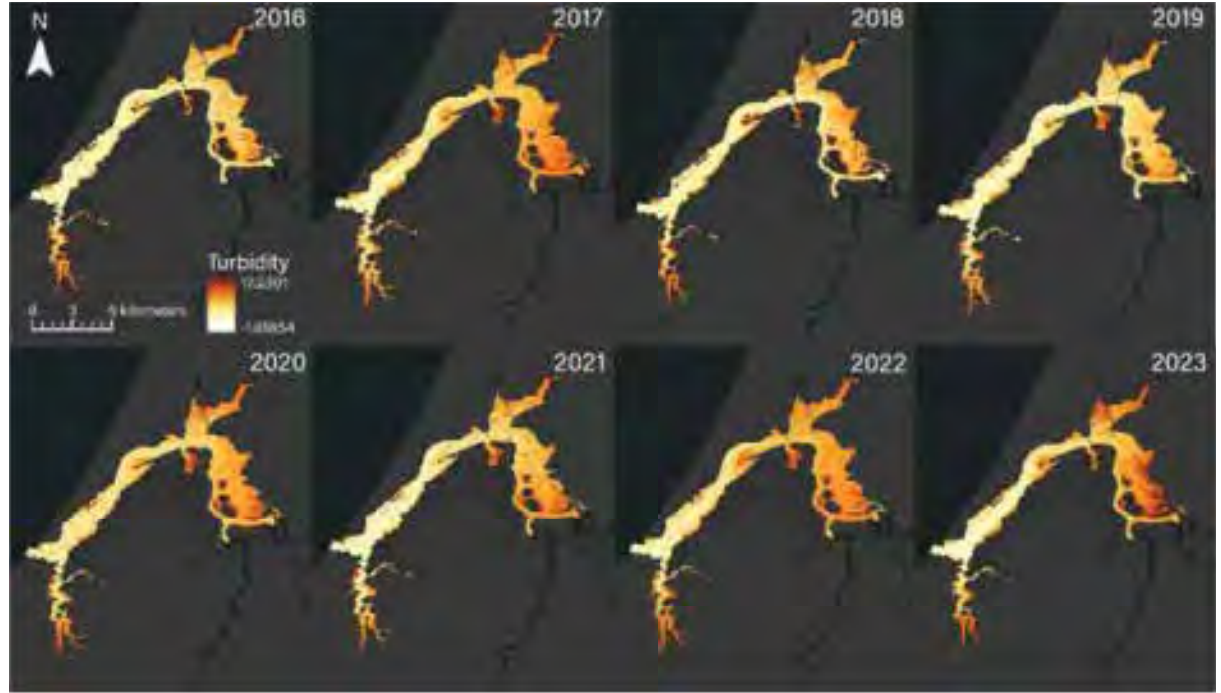


Índice de Turbidez de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Turbidity Index o NDTI)

- Desarrollado originalmente por Lacaux et al (2007) para la evaluación de la calidad del agua en estanques y pequeños cuerpos de agua continentales
- Se utilizaron las imágenes SPOT-5 de Nivel 2 (resolución espacial de 10 m)
- Se ha aplicado con cierto éxito a otros cuerpos de agua utilizando otros sensores (Landsat 8 OLI; Sentinel-2 MSI)

$$NDTI = \frac{(Red - Green)}{(Red + Green)}$$

Lacaux et al (2007), Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal, Remote Sensing of Environment, 106, 66-74.

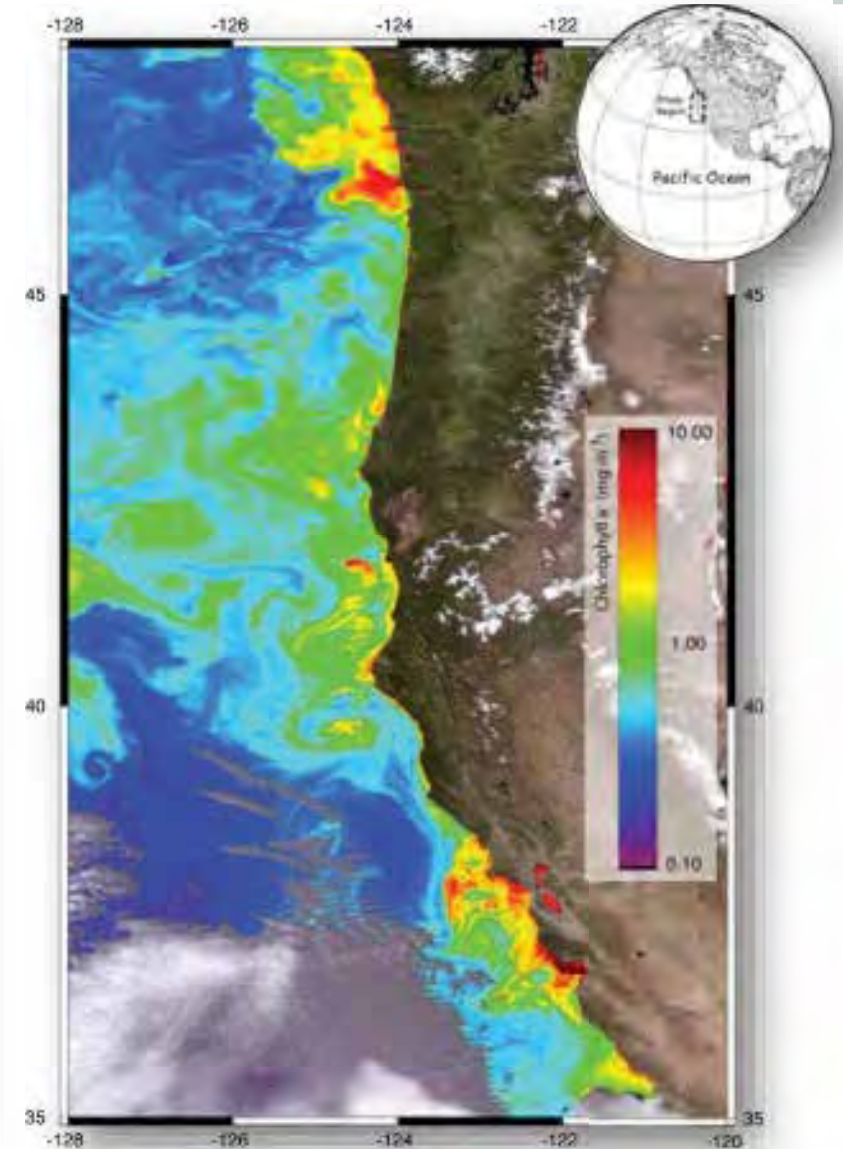
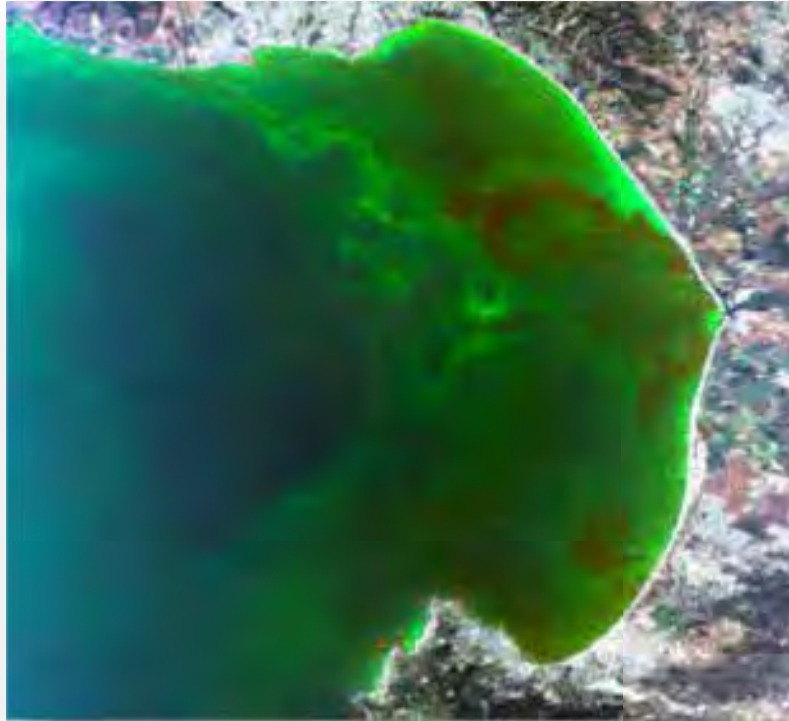


Fuente: NASA DEVELOP Program Summer 2023 South Slough Water Resources Project



Clorofila a

- Indicador de biomasa y floraciones de fitoplancton
- Indicador indirecto de nutrientes



Fuente: Liane Guild (NASA), Raphe Kudela (UC Santa Cruz)

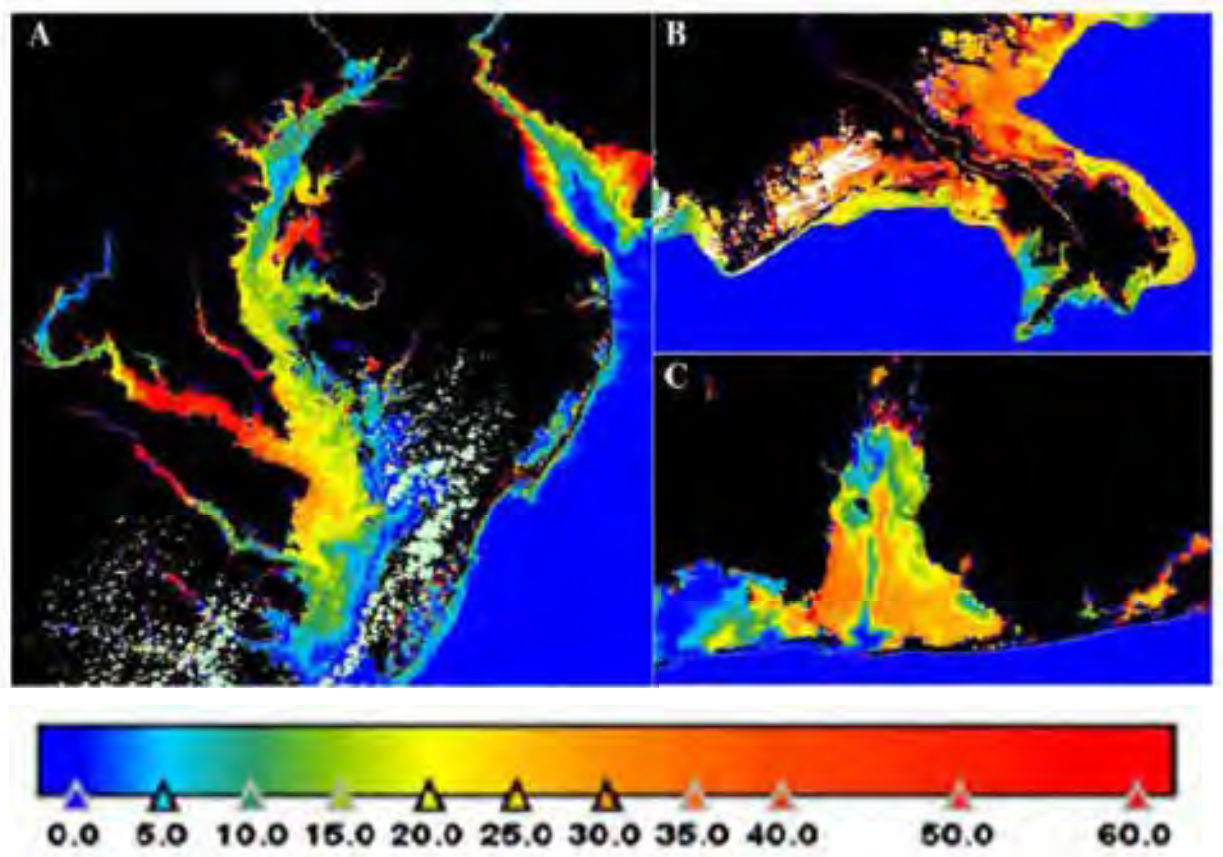


Índice de Clorofila de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Chlorophyll Index o NDCI)

- Propuesto por Mishra y Mishra en 2012 para predecir las concentraciones de Chl-a en aguas turbias (Caso 2) en áreas costeras y estuarinas con conjuntos de datos de MERIS.
- Se probó el algoritmo con datos de varias regiones de estudio en los EE. UU. (Bahía de Delaware, Bahía de Chesapeake, Delta del río Mississippi, Bahía de Mobile) con un sesgo promedio del 12%.

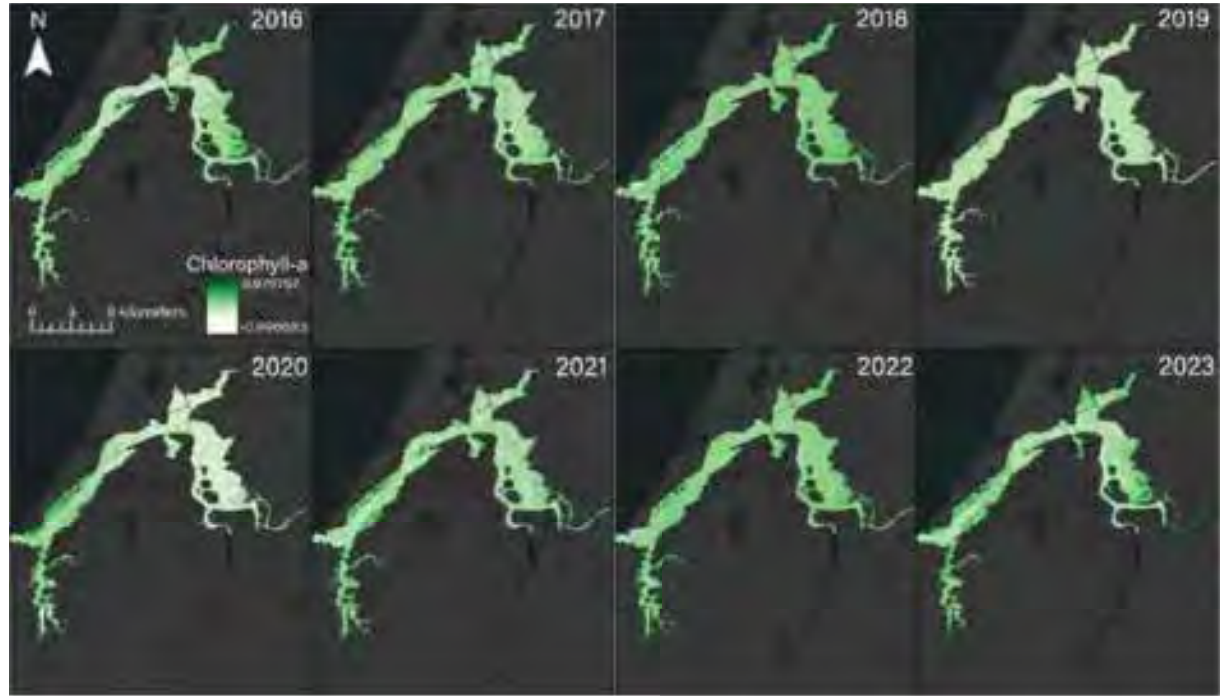
$$C_{chl-a} \propto \frac{[R_{rs}(708) - R_{rs}(665)]}{[R_{rs}(708) + R_{rs}(665)]}$$

Mishra y Mishra (2012). Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. Remote Sensing of Environment, 117, 394-406.



Aplicación del NDCI a Aguas Estuarinas en el Oeste de EE. UU.

- Los valores altos del NDCI pueden ser indicativos de regiones afectadas por el enriquecimiento de nutrientes.
- En general, el NDCI dará una idea de la concentración de comunidades de fitoplancton en la columna de agua.
- Pero... en aguas relativamente claras y poco profundas, puede verse influenciado por la presencia de vegetación bentónica como hierba marina o algas verdes.

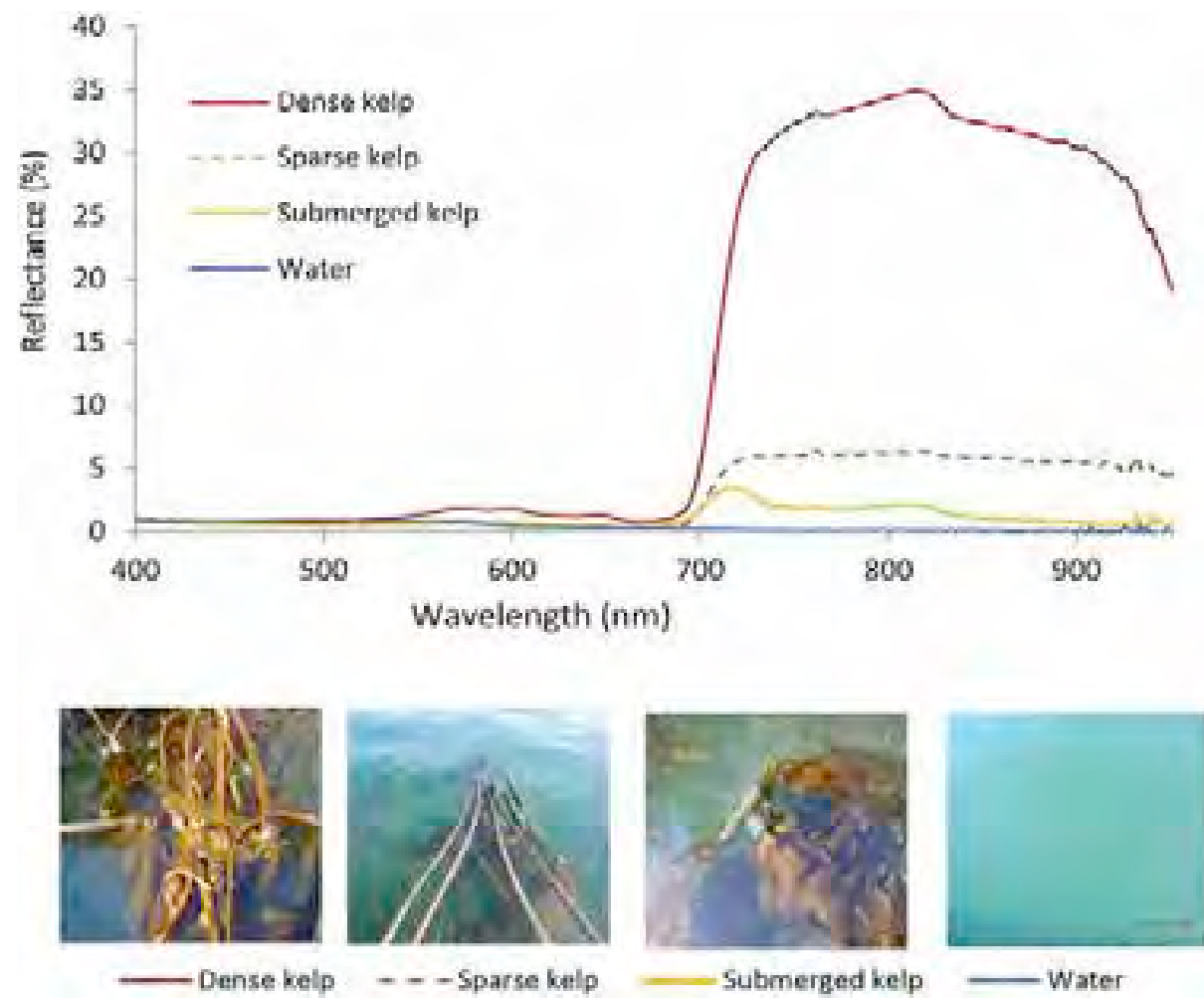


Fuente: NASA DEVELOP Program Summer 2023 South Slough Water Resources Project



Discriminación de Kelpos en la Superficie del Agua

- El kelpo denso en la superficie del agua se refleja fuertemente en el Infrarrojo cercano.
- Las señales del kelpo escaso y sumergido reflejan la gran influencia de la absorción del agua del infrarrojo cercano, incluso en los primeros centímetros de la columna de agua.
- Las señales también están influenciadas por la presencia de fitoplancton, sedimentos suspendidos y Materia Orgánica Disuelta Coloreada (CDOM).



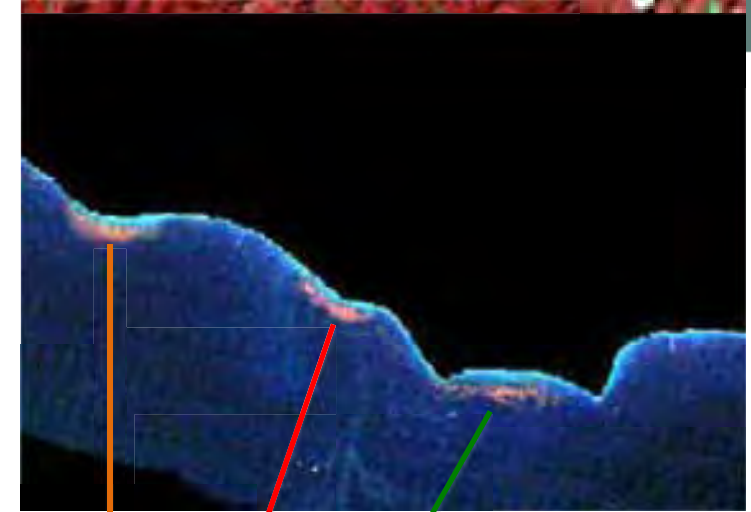
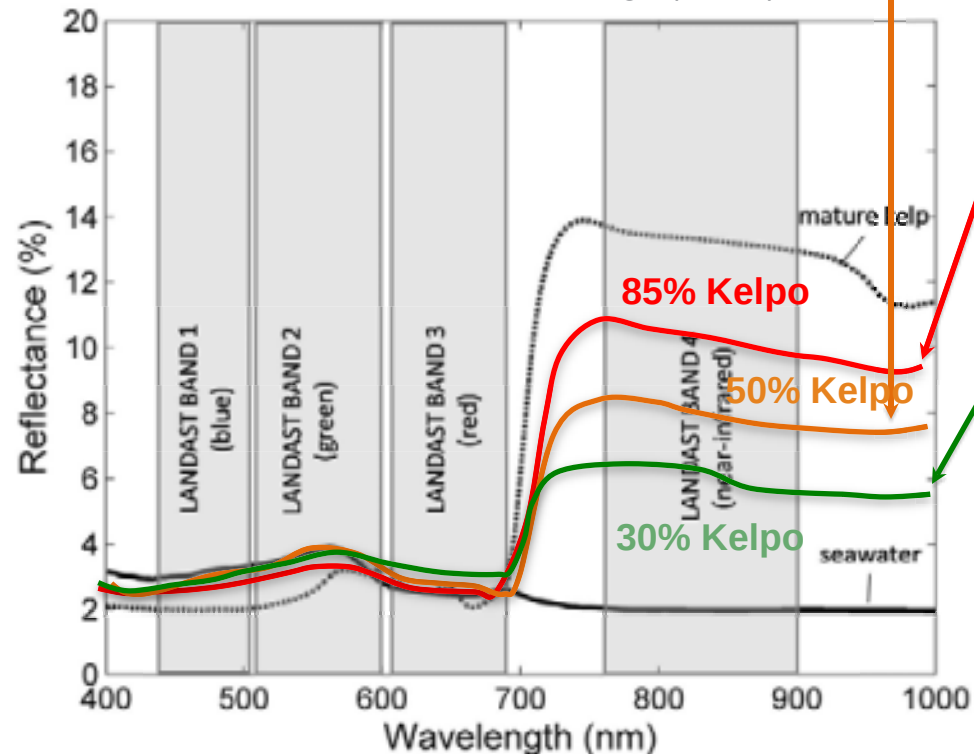
Schroeder et al (2019) Global Ecol. Cons.



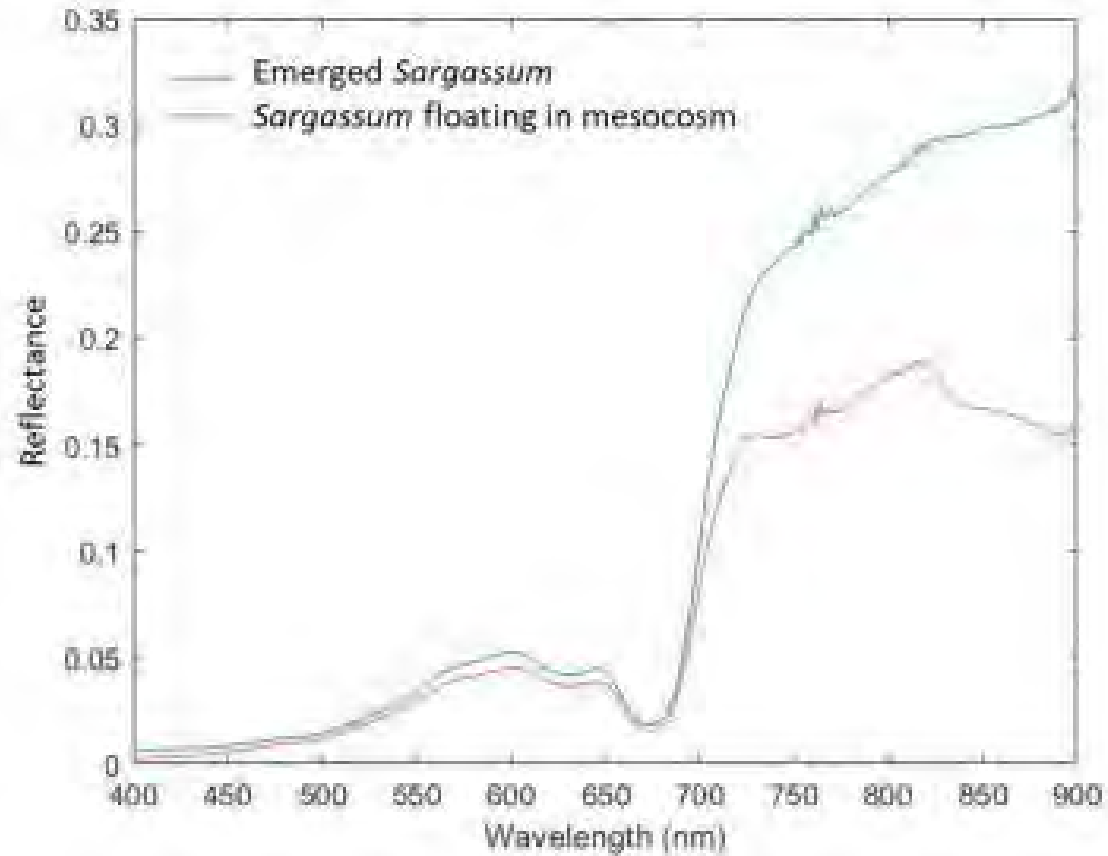
Desmezcla Espectral de Datos de Landsat

- Cada píxel debe modelarse como una combinación de agua y miembros de kelpo en los extremos
- Debido al tamaño de píxel de Landsat (30 m) y la cobertura de dosel heterogénea en la superficie del agua

Fuente: Kyle Cavanaugh (UCLA)



Aprovechando la Firma Espectral de la Vegetación para Detectar Sargazo



De: Descloitres et al. (2021)



Sensores para el Sargazo de Resolución Media

	MODIS (A & T)	VIIRS
Spatial Resolution	1 km	750 m
Temporal Resolution	1 day	1 day
Cross Track	2 330 km	3 040 km
Algae Index	AFAI ¹	AFAI ¹
Radiometric data*	Rayleigh-corrected reflectance**	Rayleigh-corrected reflectance**
Wavebands	$\lambda_1 = 667 \text{ nm}$	$\lambda_1 = 671 \text{ nm}$
	$\lambda_2 = 748 \text{ nm}$	$\lambda_2 = 745 \text{ nm}$
	$\lambda_3 = 869 \text{ nm}$	$\lambda_3 = 862 \text{ nm}$

De: Ody et al. (2019)



Índice de Algas Flotantes (Floating Algae Index o FAI)

- $R_{rc, (RED, NIR, SWIR)}$ = Reflectancia molecular (Rayleigh) corregida para tomar en cuenta la dispersión en las regiones de rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta
- $R'_{rc, NIR}$ = Reflectancia de referencia en el NIR derivada de una interpolación lineal entre las bandas roja y SWIR (Infrarrojo de onda corta)
- $\lambda_{RED} = 645nm$
- $\lambda_{NIR} = 859nm$
- $\lambda_{SWIR} = 1240nm$

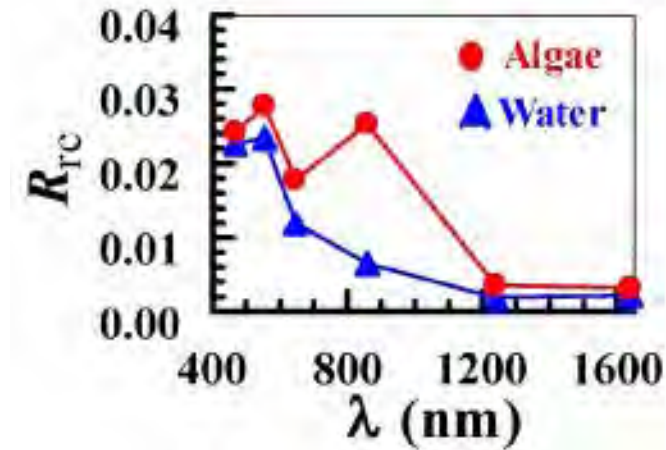
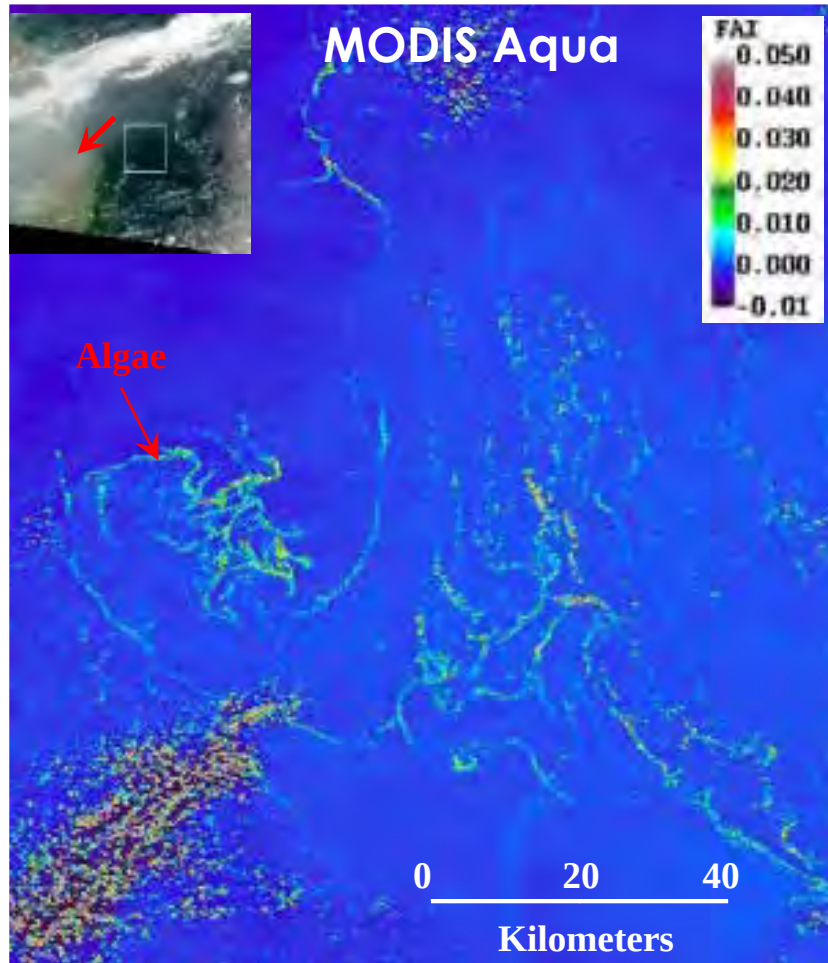
$$FAI = R_{rc, NIR} - R'_{rc, NIR}$$

$$R'_{rc, NIR} = R_{rc, RED} + (R_{rc, SWIR} - R_{rc, RED}) \times (\lambda_{NIR} - \lambda_{RED}) / (\lambda_{SWIR} - \lambda_{RED})$$

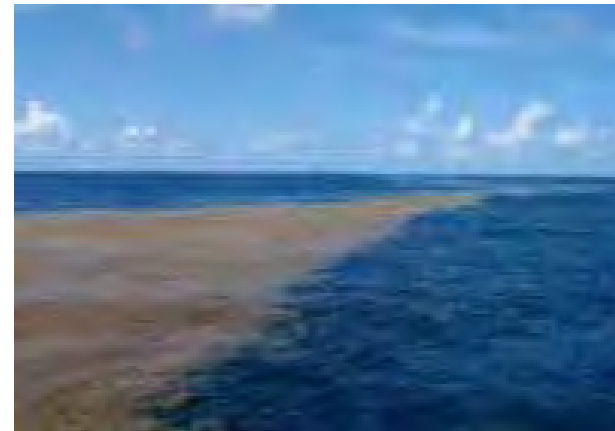
Hu, C. (2009). A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. Remote Sensing of Environment, 113, 2118–2129.



Índice de Algas Flotantes (Floating Algae Index o FAI)



From: Hu (2009)



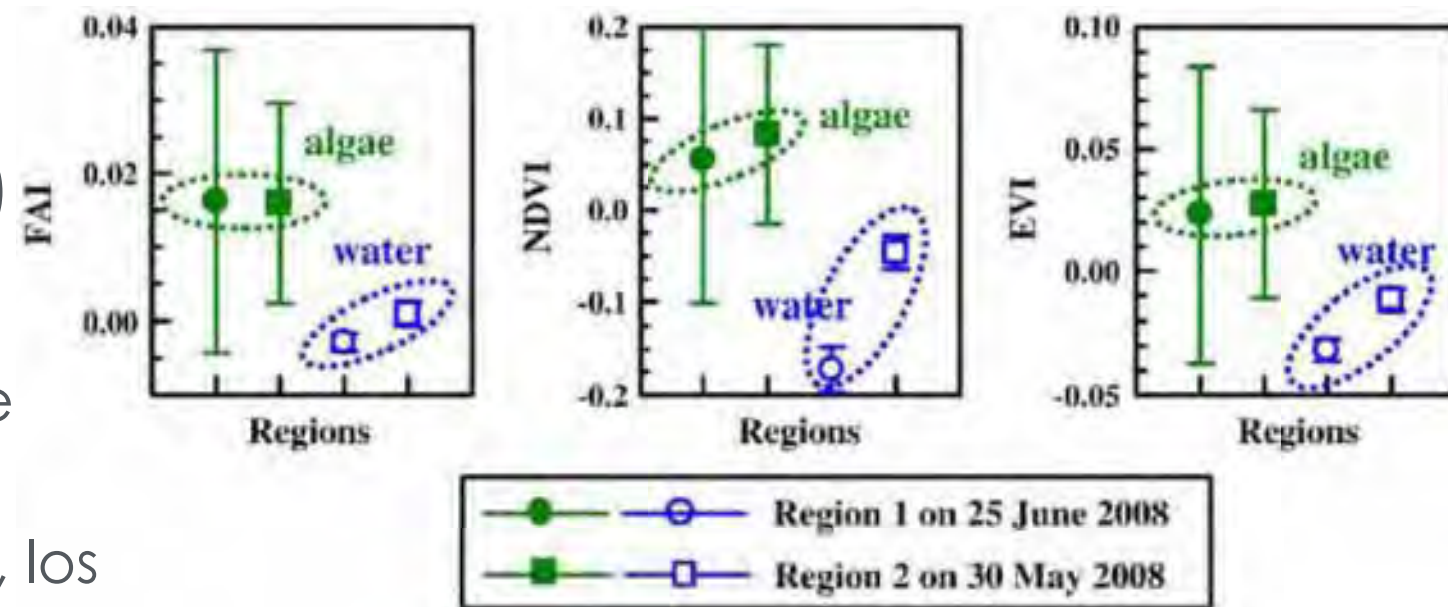
Bandas Espectrales del FAI: $\lambda_{RED} = 645\text{nm}$, $\lambda_{NIR} = 859\text{nm}$, $\lambda_{SWIR} = 1240\text{nm}$

Hu, C. (2009). A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. Remote Sensing of Environment, 113, 2118–2129.



FAI Comparado con el NDVI y EVI Aplicado a la Detección de Algas

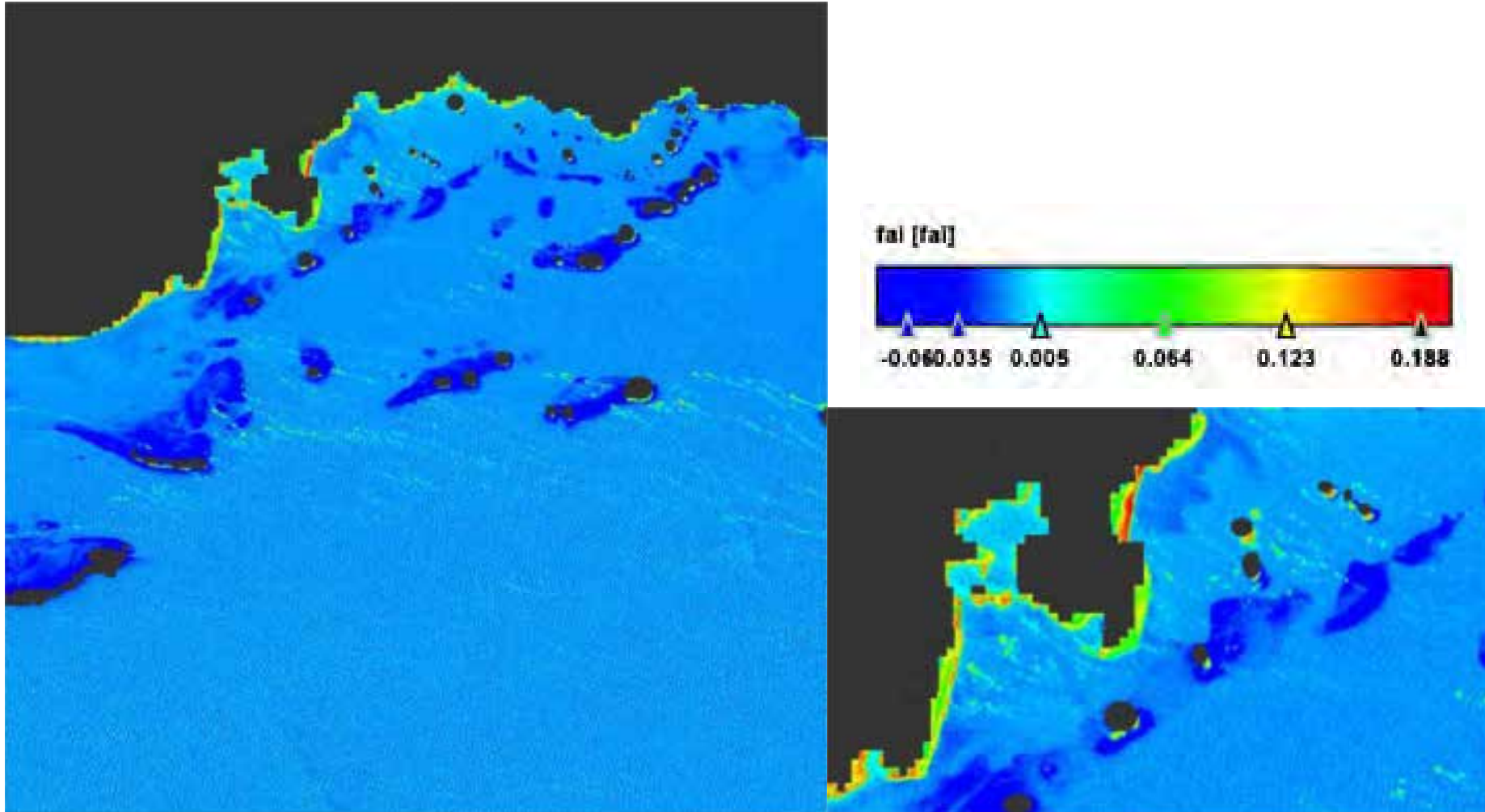
- Hu (2009) también aplicó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) basados en MODIS a la misma floración de algas en China.
- En ambas regiones de estudio, los valores del FAI parecían más estables que los de NDVI y EVI sobre píxeles de "algas" y "agua".



Hu, C. (2009). A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. *Remote Sensing of Environment*, 113, 2118–2129.



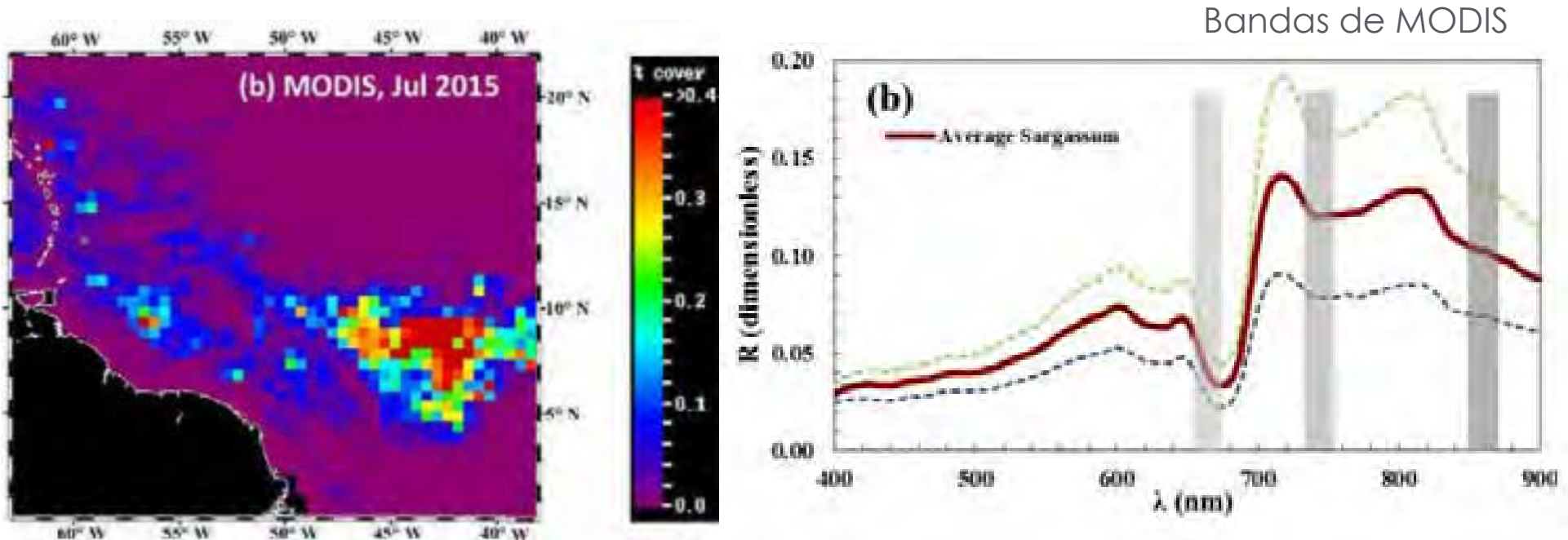
Sentinel 2 MSI (10m) FAI, La Parguera, Suroeste de Puerto Rico



Fuente de la Imagen: Jennifer Perez Univ. de PR-Recinto Mayagüez



Índice de Algas Flotantes Alternativo (Alternate Floating Algae Index o AFAI)



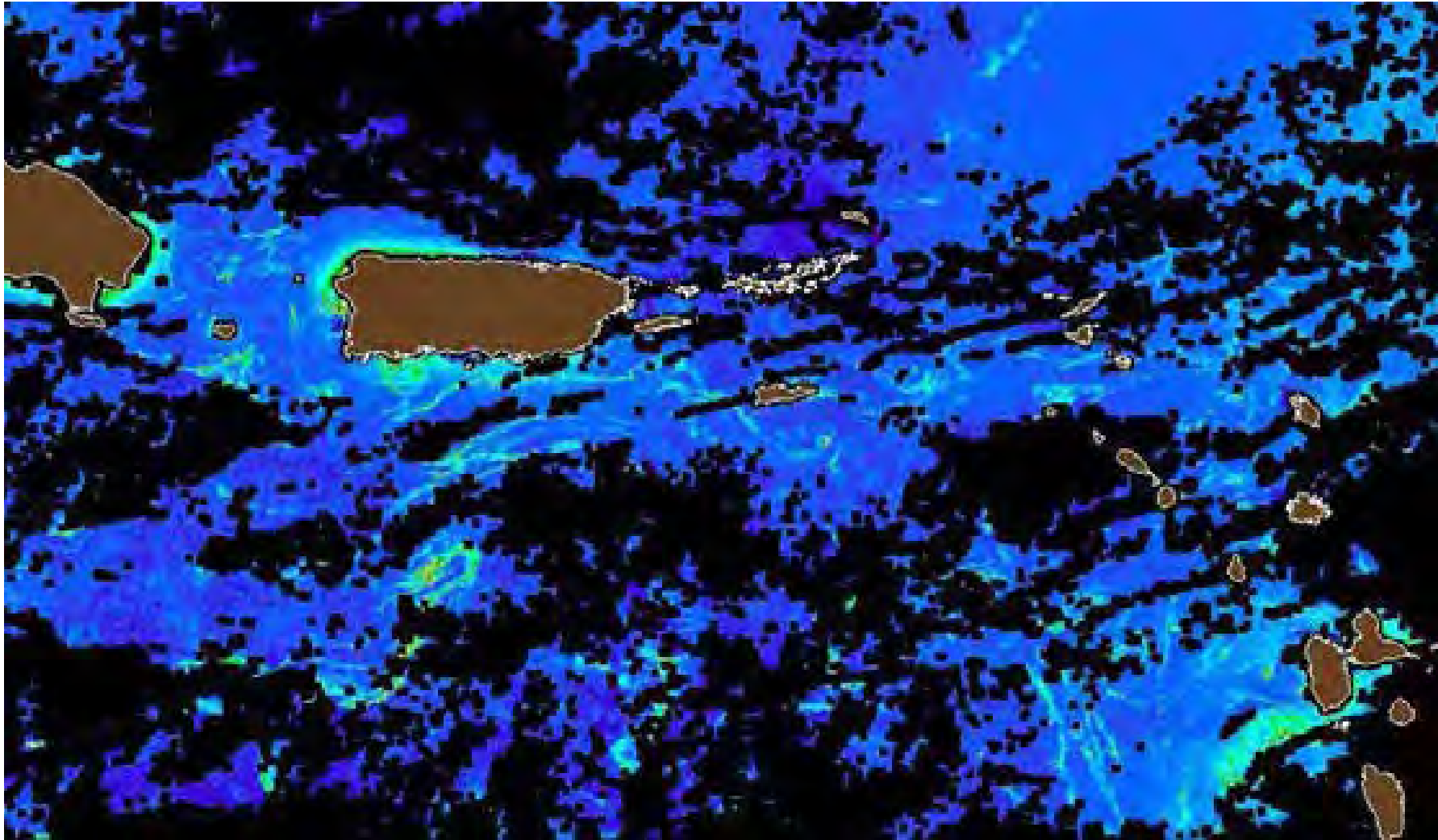
Adaptado de Wang y Hu 2016

Bandas Espectrales del AFAI : ($\lambda_{\text{RED}}=667\text{nm}$, $\lambda_{\text{NIR}}=748\text{nm}$, $\lambda_{\text{SWIR}}=869\text{nm}$)

Wang, M y Hu, C. Mapping and quantifying Sargassum distribution and coverage in the Central West Atlantic using MODIS observations, Remote Sensing of Environment, Volume 183, 2016, Pages 350-367, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.019>.



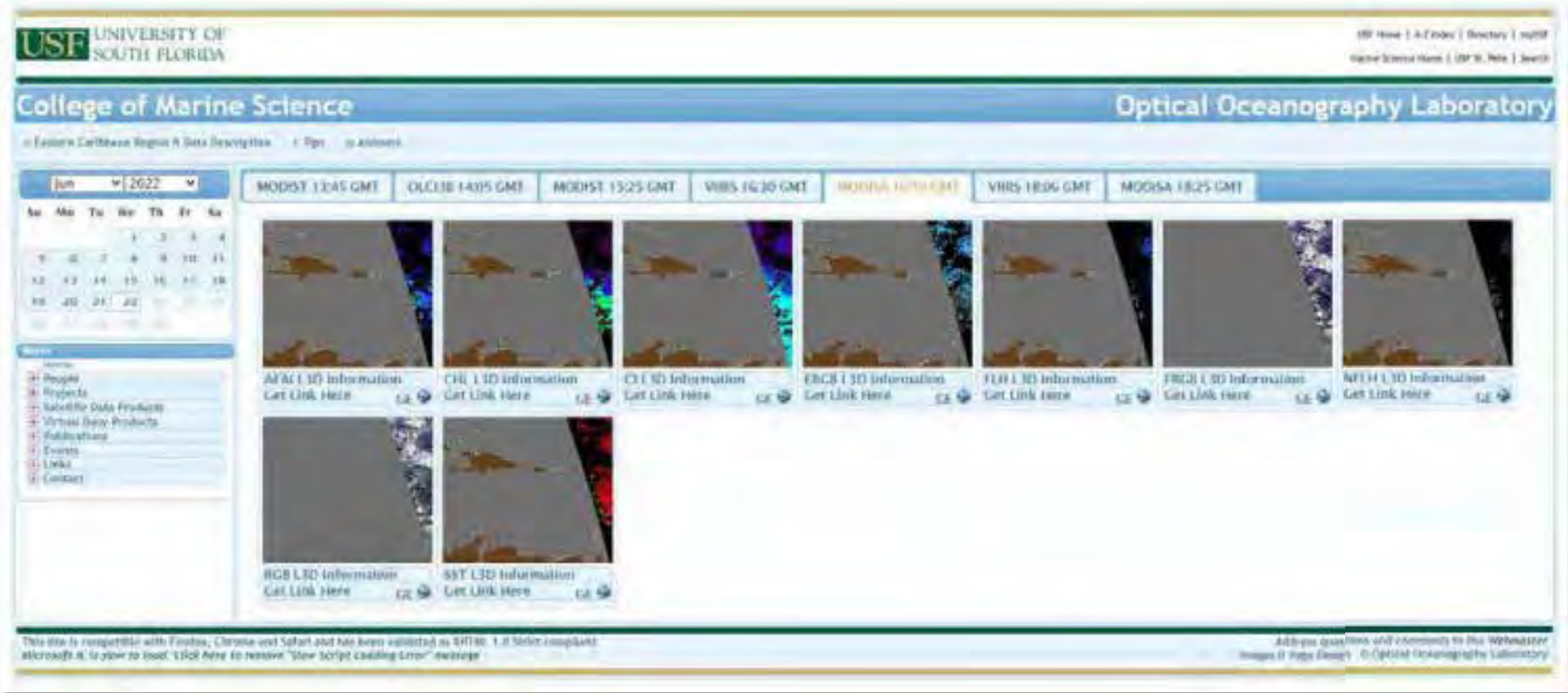
Índice de Algas Flotantes Alternativo (Alternate Floating Algae Index o AFAI)



May 4, 2022, Courtesy of: <https://optics.marine.usf.edu/projects/SaWS.html>



Sistema de Vigilancia del Sargazo (Sargassum Watch System o SaWS)



<https://optics.marine.usf.edu/projects/SaWS.html>



Fuentes de Datos Adicionales

- MODIS/VIIRS
 - Navegador Ocean Color Web Nivel 2 de la NASA
 - Procesados con SEADAS usando L2 gen
 - <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>
- Sentinel-3 OLCI
 - Productos de 2do Nivel
 - Procesados con software de procesamiento de SNAP
 - <https://scihub.copernicus.eu/>

[ARSET- Monitoreo de la Calidad de Aguas Costeras y Estuarinas, La Transición de MODIS a VIIRS](#)

[ARSET- Monitoreo de la Calidad de Aguas Costeras y Estuarinas Usando Datos de Teledetección e In Situ](#)



Índice de Vegetación Acuática de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Aquatic Vegetation Index o NDAVI)

- Introducido por Villa et al (2014)
- Diseñado para utilizar las bandas de Landsat TM/ETM+ 1 (azul; centrado a 480 nm) y 4 (NIR; centrado a 830 nm)

$$\text{NDAVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}(0.76-0.90 \mu\text{m})} - \rho_{\text{BLUE}(0.45-0.52 \mu\text{m})}}{\rho_{\text{NIR}(0.76-0.90 \mu\text{m})} + \rho_{\text{BLUE}(0.45-0.52 \mu\text{m})}}$$

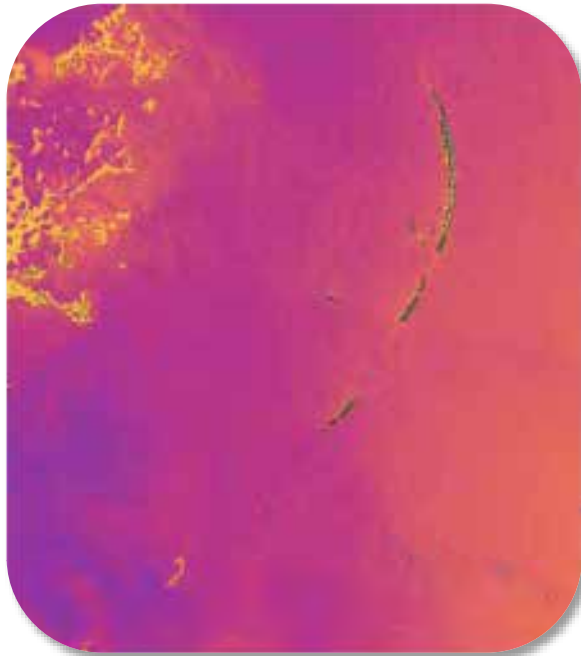
- Donde ρ = Reflectancia superficial

Villa et al (2014), Aquatic vegetation indices assessment through radiative transfer modeling and linear mixture simulation. Int. J. Appl. Earth Obs. And Geoinformation, 30, 113-127.



NDAVI – Un Índice Espectral Útil para el Monitoreo de Hierbas Marinas

Banda Infrarroja Cercana (NIR)



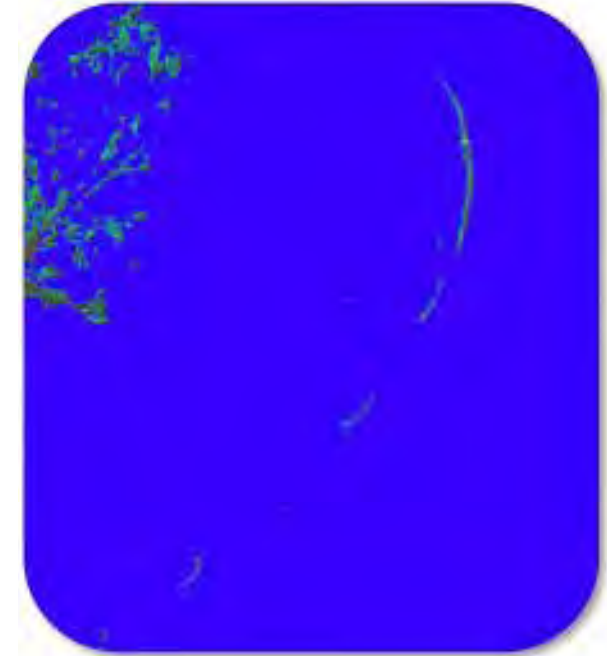
Banda Azul



+

=

Vegetación Acuática



NDAVI



Primavera 2019 sobre la bahía de Chateleux

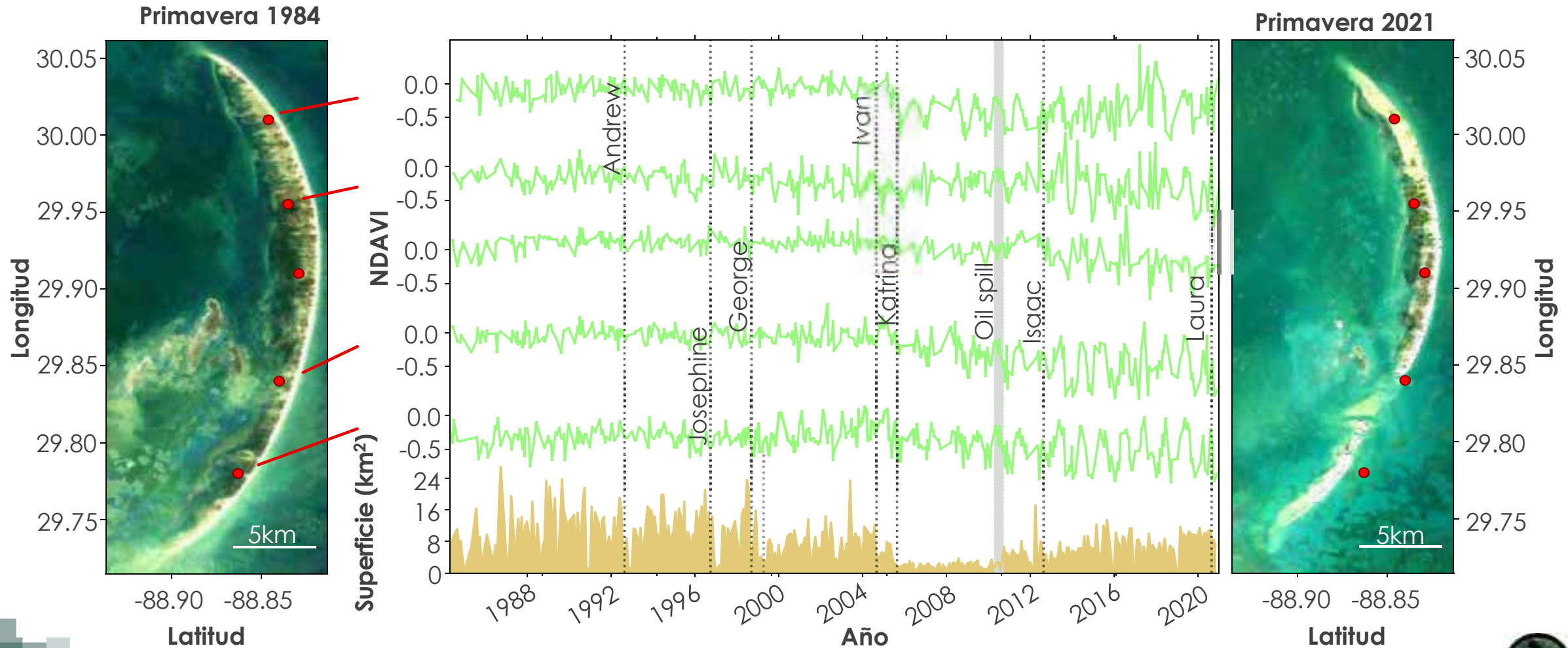
Índice de Vegetación Acuática de Diferencia Normalizada = $(\text{NIR} - \text{Azul}) / (\text{NIR} + \text{Azul})$

Índice de Vegetación Acuática de Diferencia Normalizada = $(\text{IR cercano} - \text{Azul}) / (\text{IR cercano} + \text{azul})$



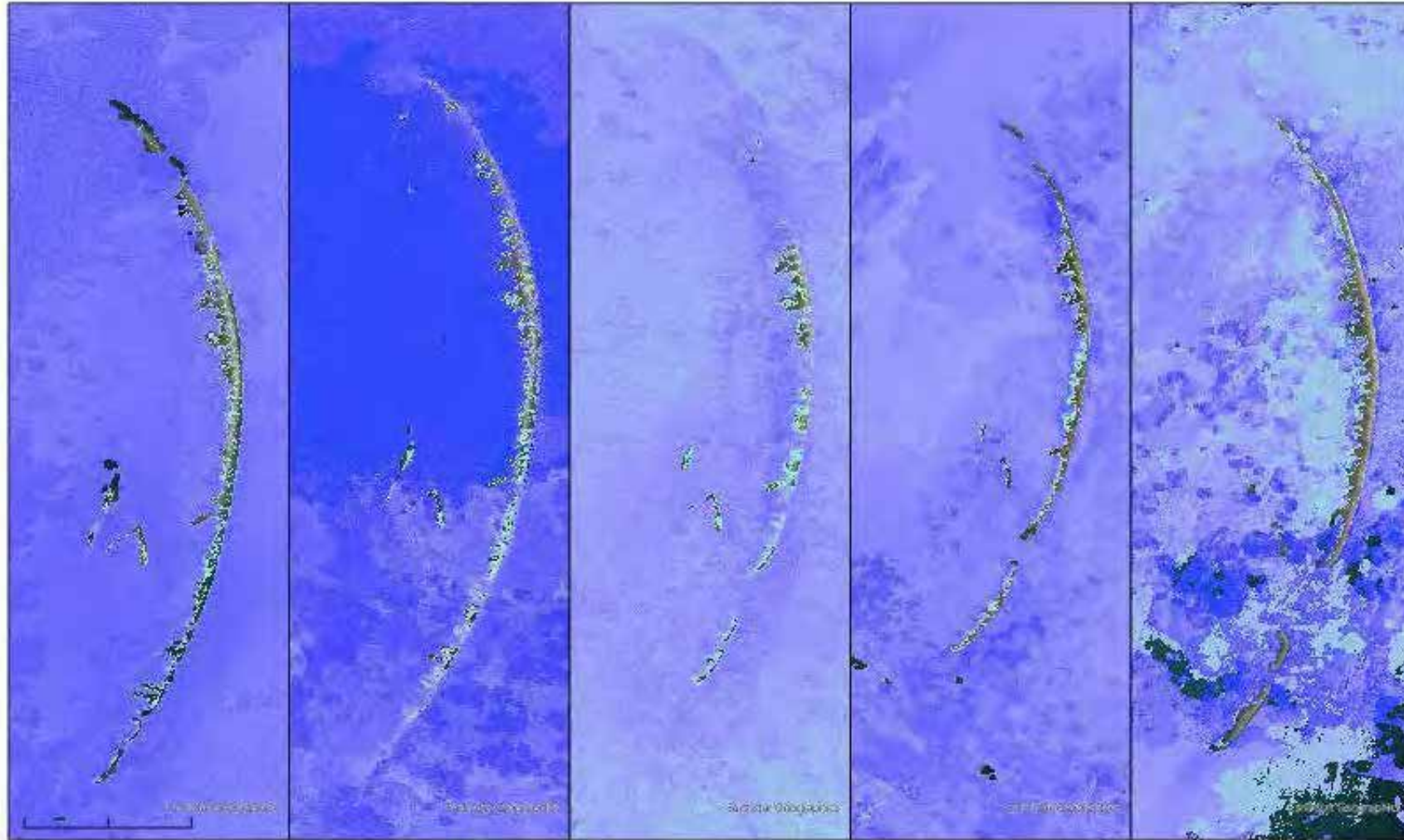
El NDAVI Seguirá los Efectos de Eventos Climáticos/Humanos en las Hierbas Marinas

NDAVI y superficie Terrestre de 1984 a 2021 en cinco ubicaciones a lo largo de las islas.



El NDAVI Seguirá los Efectos de Eventos Climáticos/Humanos en las Hierbas Marinas

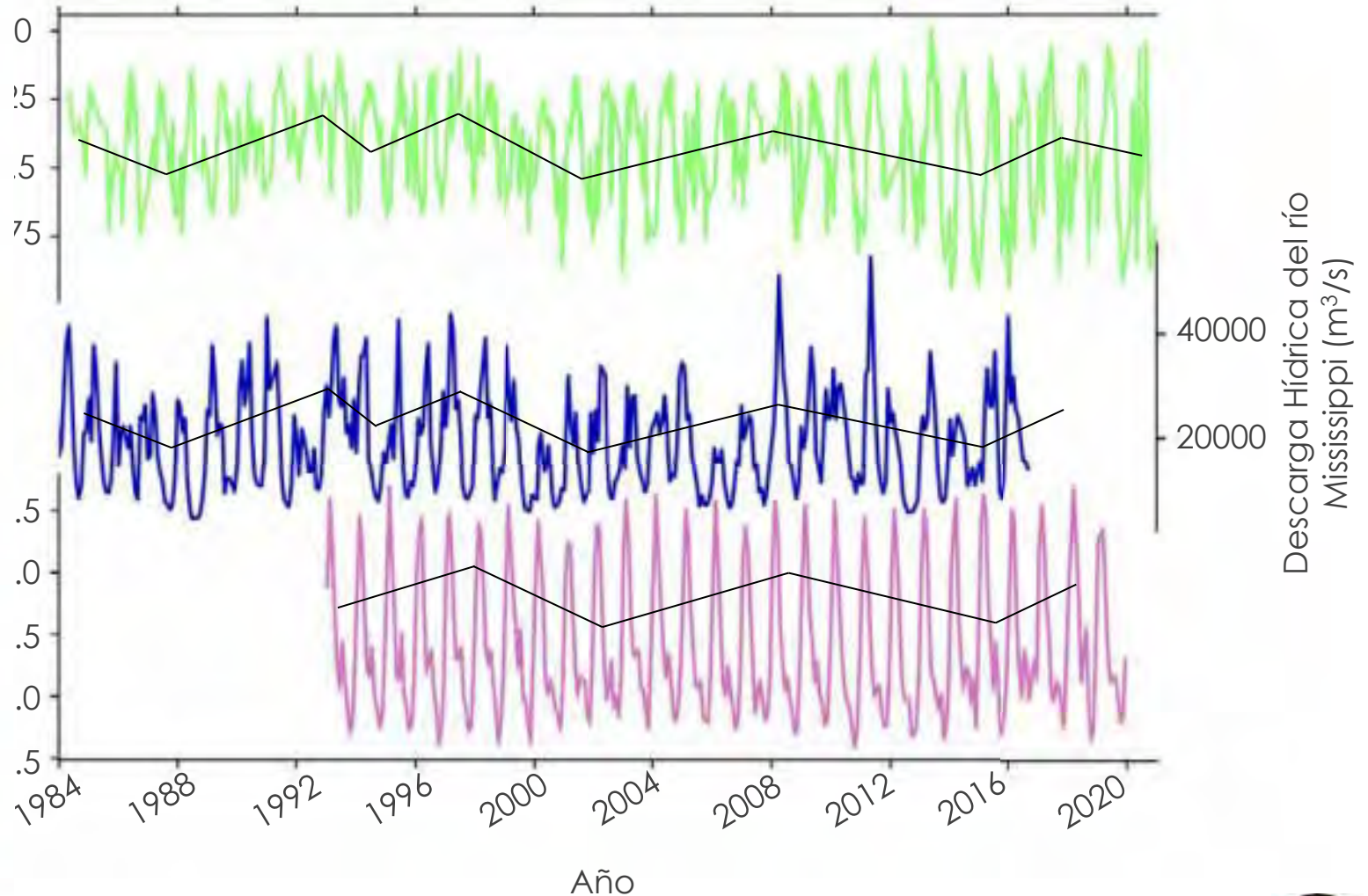
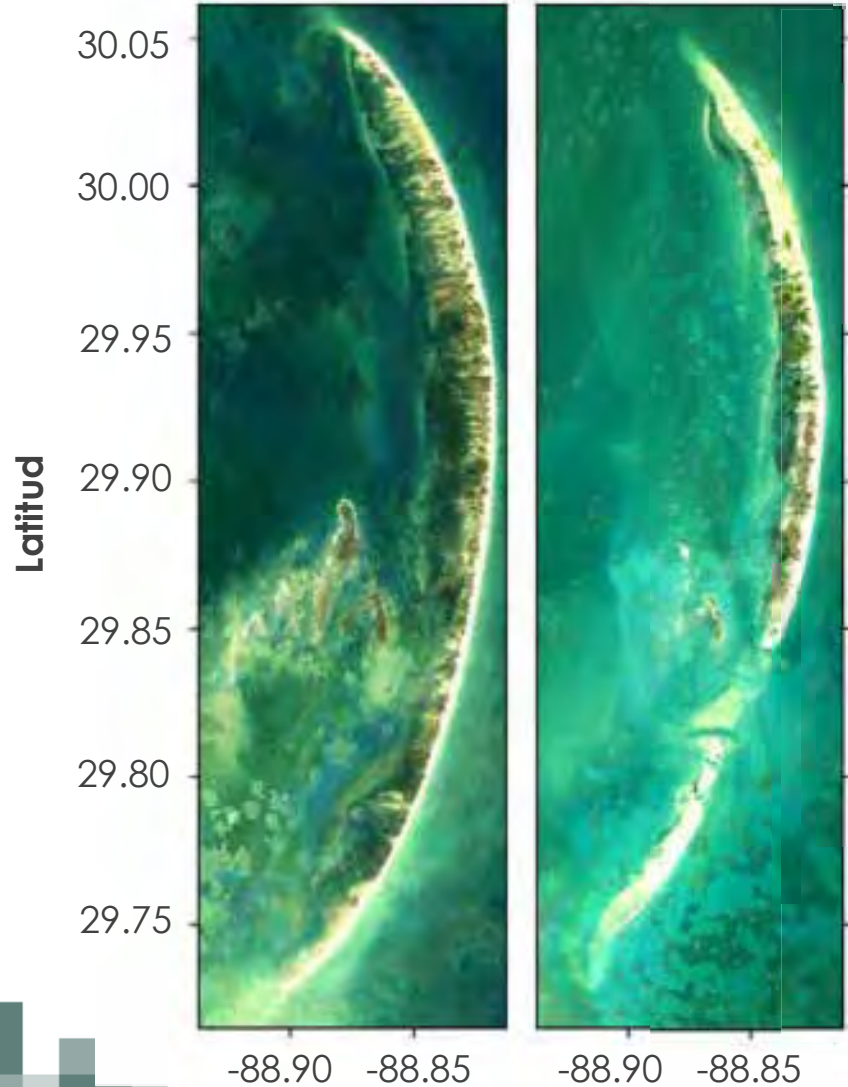
NDAVI alrededor de las islas Chandeleur del Verano 2000 al Verano 2020



El NDAVI Seguirá los Efectos de Eventos Climáticos/Humanos en las Hierbas Marinas

Primavera 1984

Primavera 2021

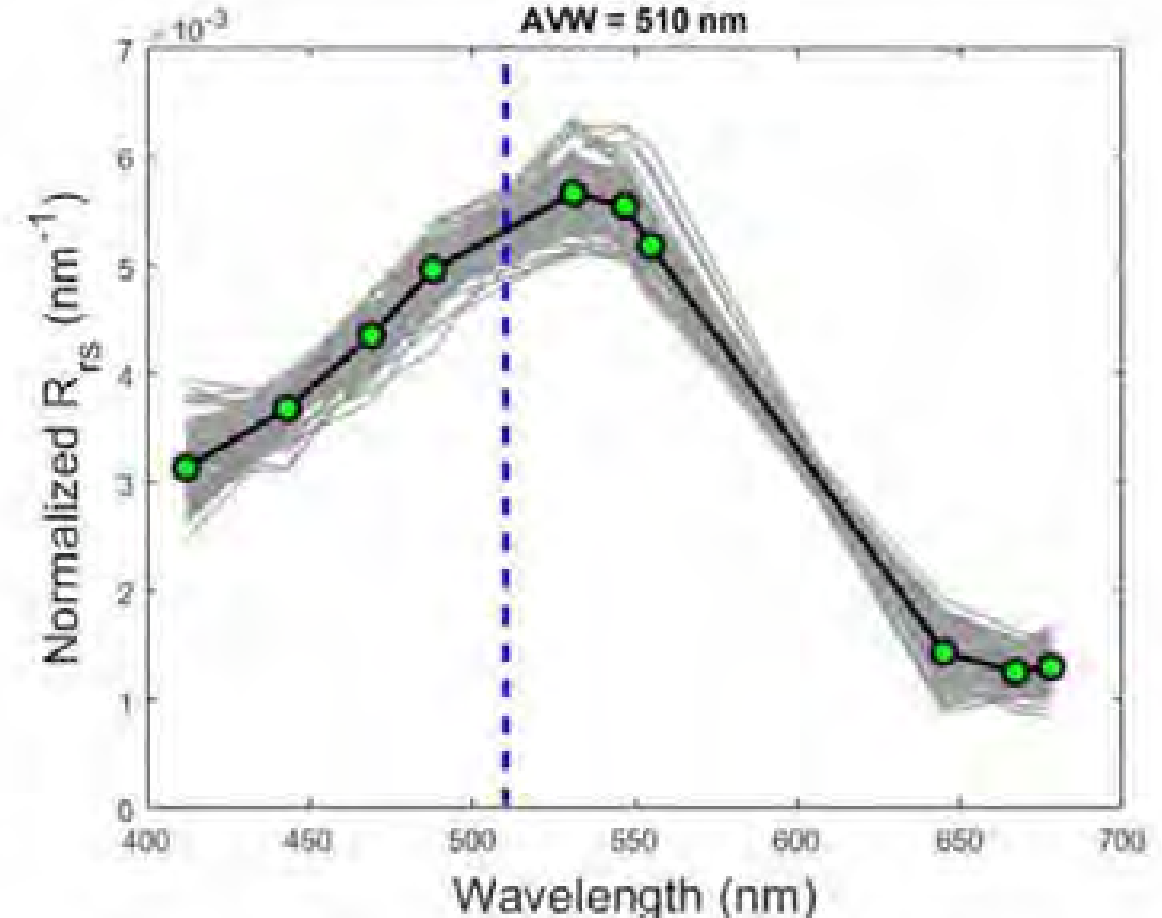


Longitud de Onda visible aparente (Apparent Visible Wavelength o AVW)

Additional Information At: [NASA Ocean Color](https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/)

$$AVW = \frac{\sum_{i=\lambda_1}^{\lambda_n} R_{RS}(\lambda_i)}{\sum_{i=\lambda_1}^{\lambda_n} \frac{R_{RS}(\lambda_i)}{\lambda_i}} = \left(\frac{\sum_{i=\lambda_1}^{\lambda_n} \lambda_i^{-1} R_{RS}(\lambda_i)}{\sum_{i=\lambda_1}^{\lambda_n} R_{RS}(\lambda_i)} \right)^{-1}$$

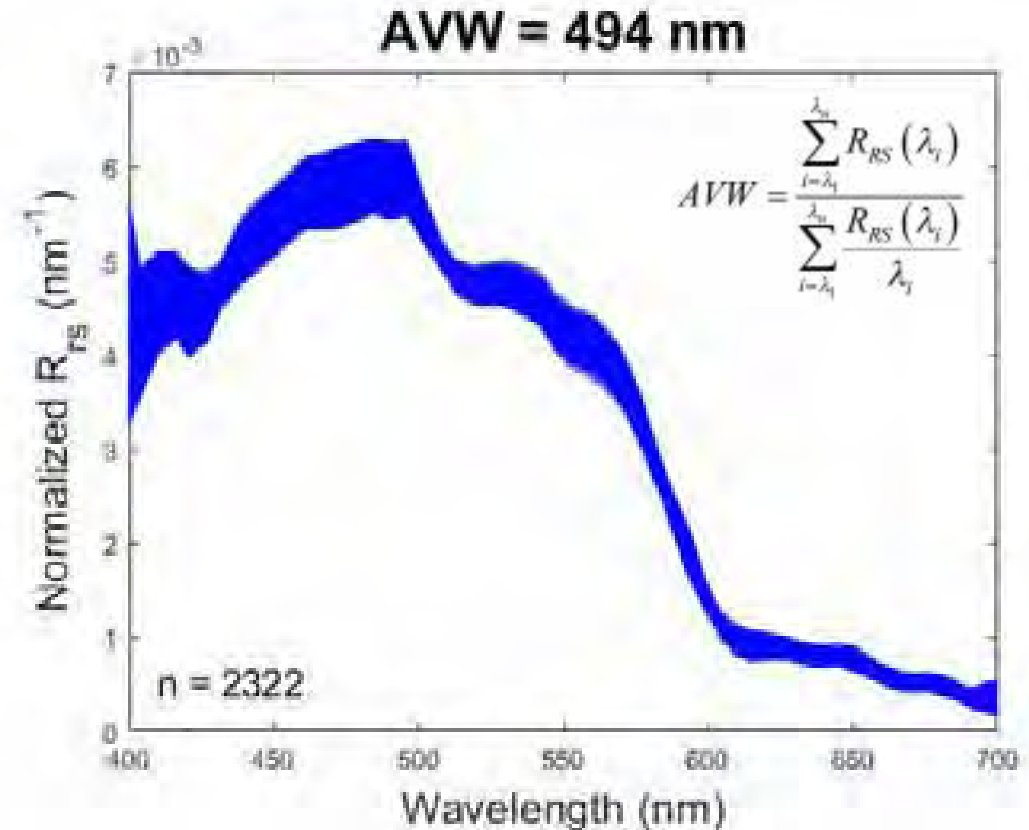
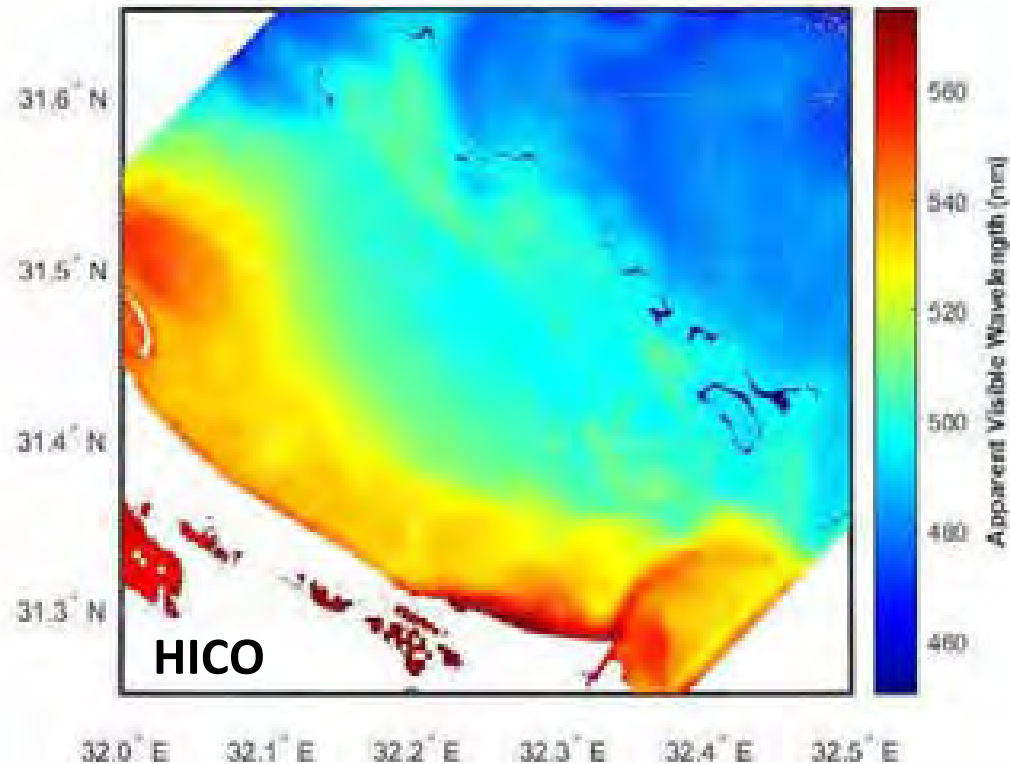
La media armónica ponderada de las longitudes de onda RRS, emite una **longitud de onda visible aparente, AVW** (en nm). La derivación de la AVW es simplemente una medida de primer orden del color dominante del agua, determinado por el peso que cada canal medido contribuye a la reflectancia en el rango visible del espectro.



Vandermeulen et al. (2020). 150 Shades of Green: Using the full spectrum of remote sensing reflectance to elucidate color shifts in the ocean. Remote Sensing of Environment. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111900>



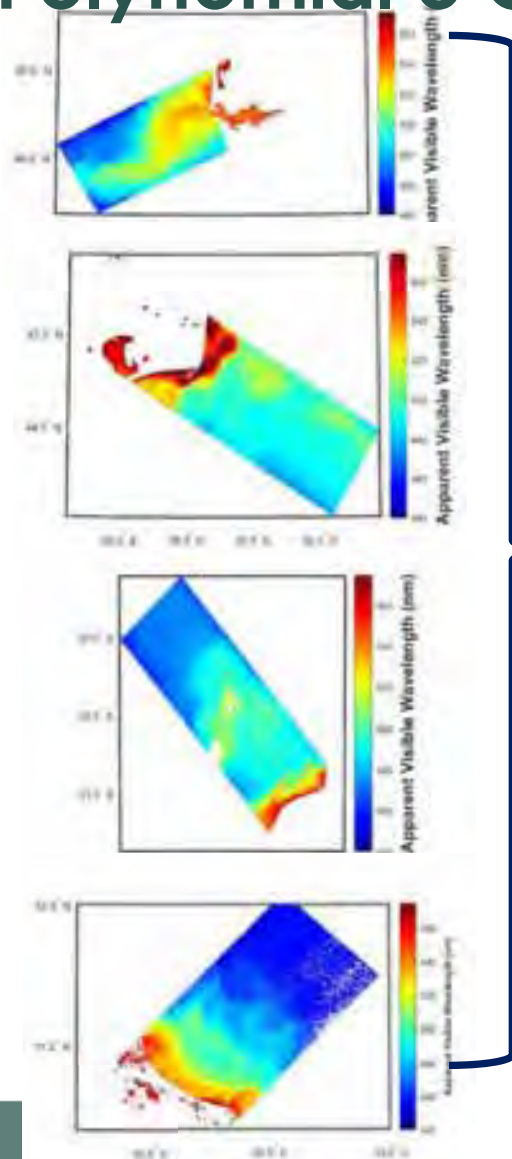
Longitud de onda visible aparente (Apparent Visible Wavelength (AVW))



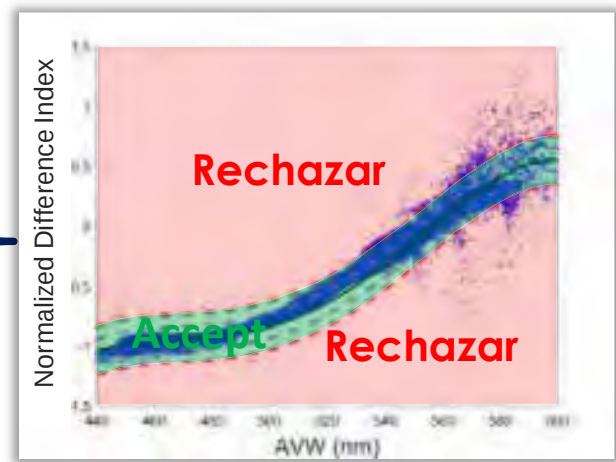
El uso de información espectral completa representa un enfoque más holístico para desentrañar la variabilidad espectral, asegurando que se consideren las señales de diagnóstico presentes y, por lo tanto, puede ayudar a maximizar el potencial de la información espectral incorporada en los datos de teledetección.



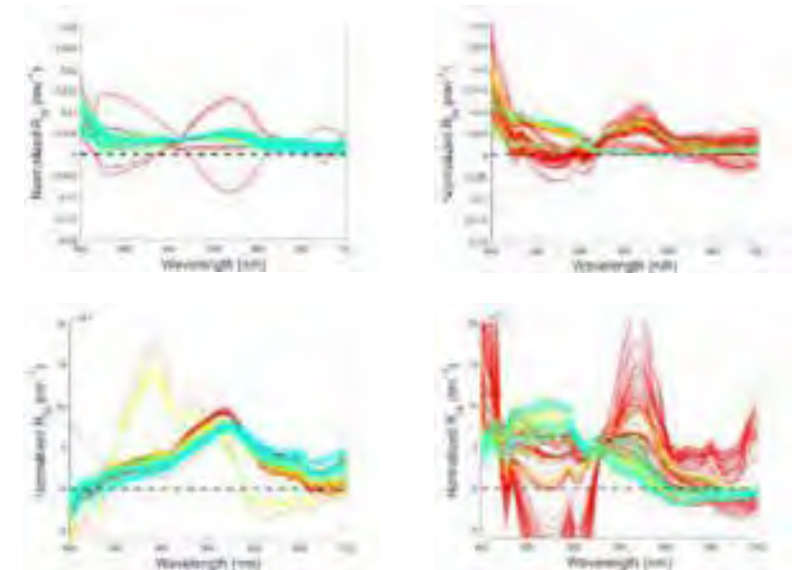
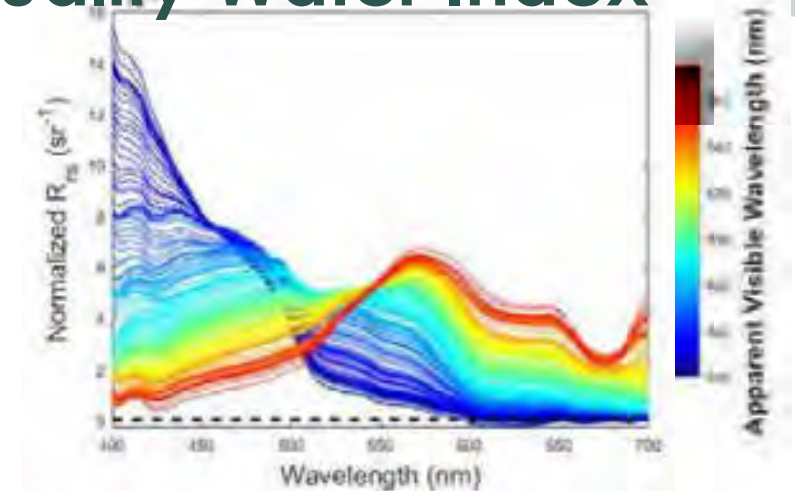
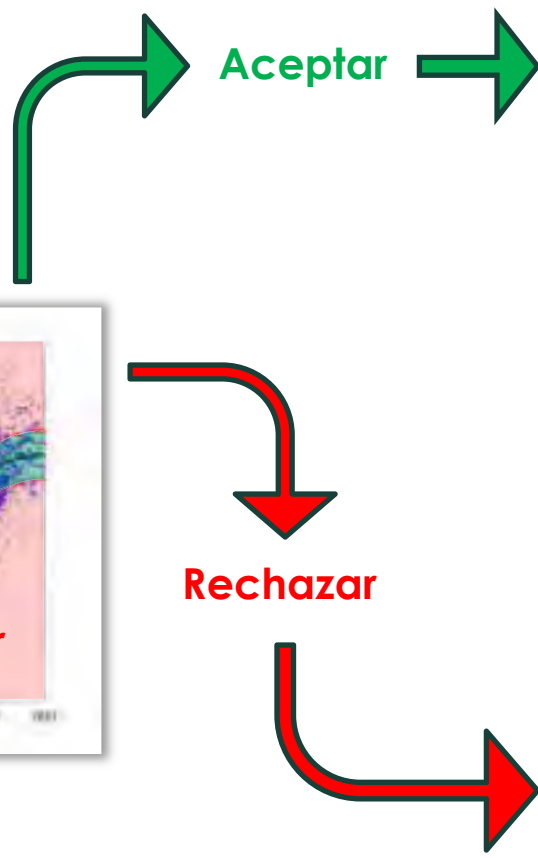
Polinomio del Índice de Calidad del Agua (Quality Water Index Polynomial o QWIP)



Control de Calidad de
Imágenes Satelitales
Hiperespectrales
Automatizado



Dierssen et al (2022), QWIP: A quantitative metric for quality control of aquatic reflectance spectral shape using the apparent visible wavelength, *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 869611.



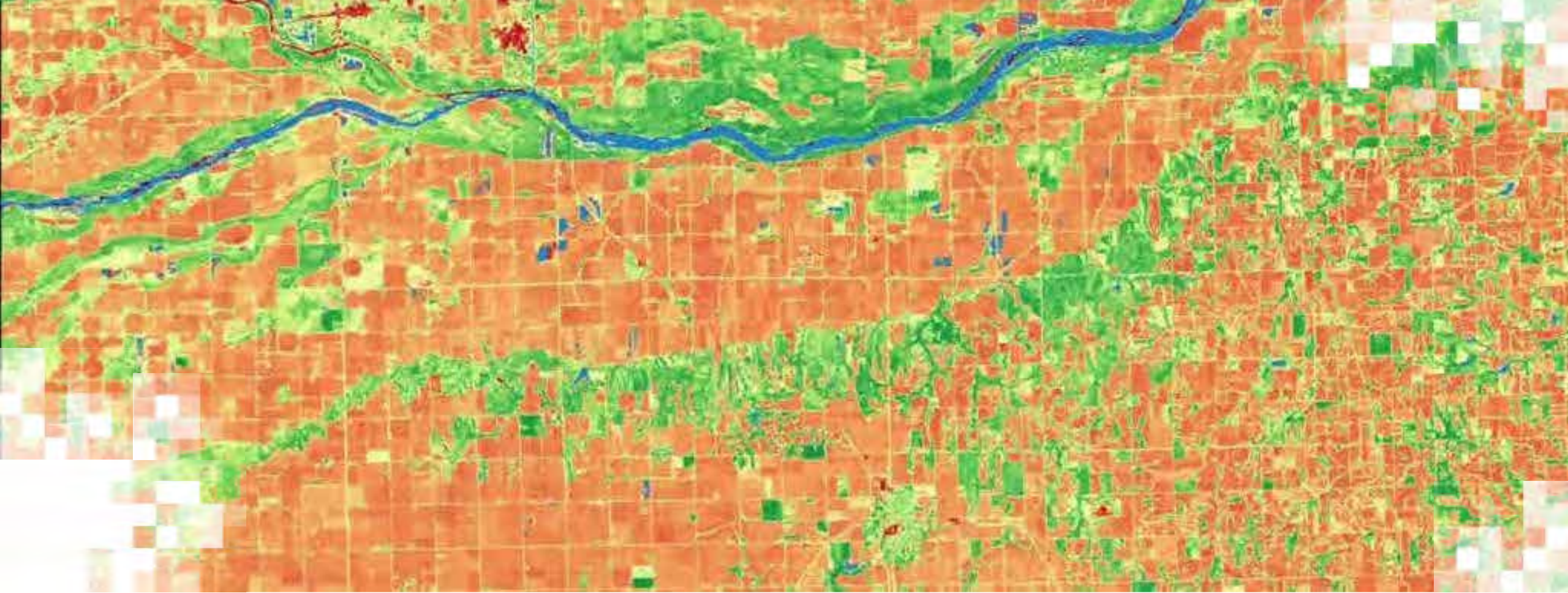
Imágenes HICO

NASA ARSET – Spectral Indices for Land and Aquatic Applications

Puntaje de Desviación del QWIP:	0.2 – 0.25	0.25 – 0.35	> 0.35
---------------------------------	------------	-------------	--------

Fuente: Ryan Vandermeulen (NOAA Fisheries)

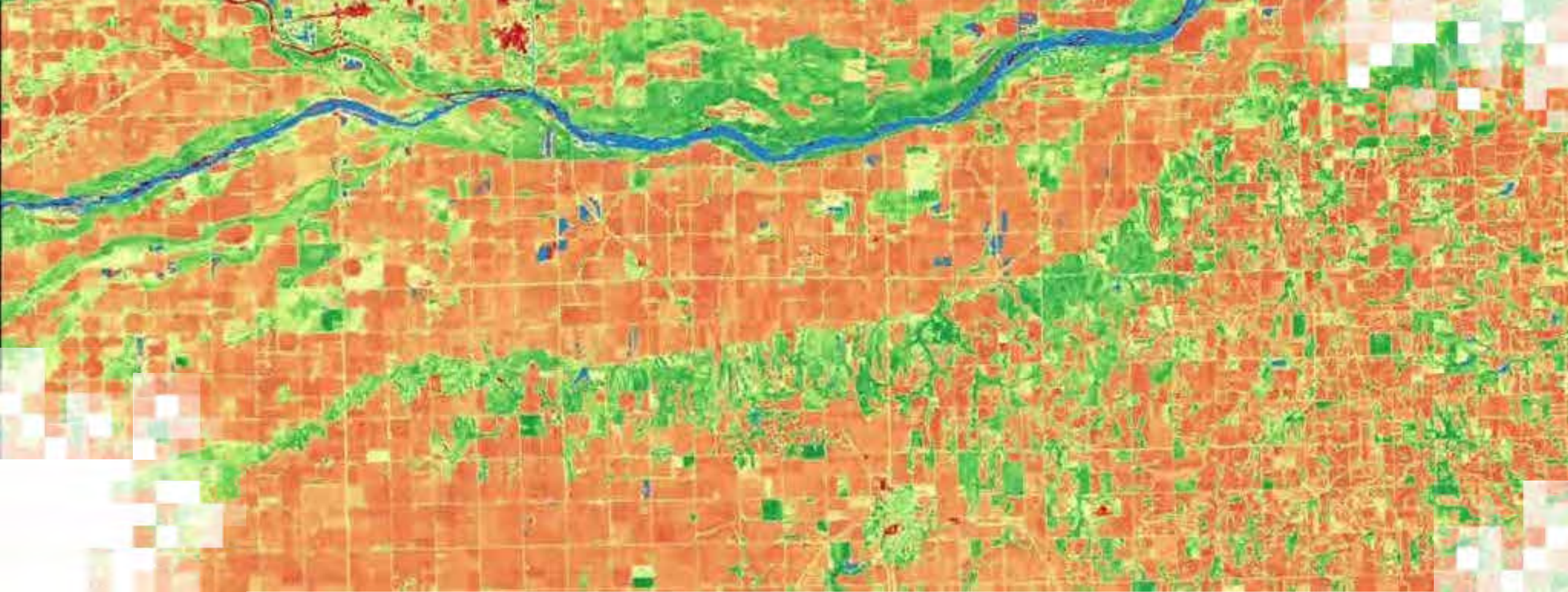




Cálculo de Índices en Google Earth Engine

CODE LINK:

<https://code.earthengine.google.com/9a316de7092e6af4a9f2fde33baea8c4>



Sesión 2: **Resumen**

Resumen

- En las últimas décadas se ha desarrollado una serie de índices espectrales sencillos, principalmente para conjuntos de datos multiespectrales.
- Determinadas longitudes de onda (como NIR o SWIR) no penetran mucho en la columna de agua e influyen en el índice específico a utilizar.
- Es importante asegurarse de que se haya aplicado el algoritmo de corrección atmosférica adecuado a las imágenes durante el preprocesamiento antes de aplicar un índice espectral. Esto es particularmente importante con los objetivos acuáticos.
- Algunos índices son específicos a sensores particulares, mientras que otros se pueden aplicar a varios sensores.
- Los nuevos algoritmos (o índices) pueden ser aplicables tanto a conjuntos de datos multiespectrales como hiperespectrales.



Mirando Hacia la Sesión 3

- Les recordamos que en la Parte 3 de esta serie de seminarios web, nos concentraremos en los índices espectrales terrestres, incluidos el Índice de Vegetación Mejorada (Enhanced Vegetation Index o EVI), el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (Soil Adjusted Vegetation Index o SAVI) y la Proporción de Quema Normalizada (Normalized Burn Ratio o NBR).
- Al igual que en la sesión de hoy, se presentarán breves demostraciones sobre cómo aplicar algunos de estos índices en Google Earth Engine.



Tarea y Certificados

- **Tarea:**

- Habrá una tarea asignada
- Abre el 09/11/2023
- Se puede acceder desde la [pagina web de la capacitación](#)
- Debe enviar sus respuestas a través de Google Form
- **Fecha límite el 23 de noviembre de 2023**

- **Certificado de Finalización de Curso:**

- Asistir a las tres sesiones en vivo (su asistencia se registra automáticamente)
- Completar la tarea dentro del plazo estipulado
- Recibirán sus certificados aproximadamente dos meses después de la conclusión del curso .



Datos de Contacto

Formadores:

- Amber McCullum
 - amberjean.mccullum@nasa.gov
- Juan L. Torres-Pérez
 - juan.l.torresperez@nasa.gov
- Britnay Beaudry
 - britnay.beaudry@nasa.gov
- Sativa Cruz
 - sativa.cruz@nasa.gov

- [ARSET – Pagina Web](#)
- Síganos en Twitter!
 - [@NASAARSET](#)
- [ARSET YouTube](#)

Visite nuestros Programas Hermanos:

- [DEVELOP](#)
- [SERVIR](#)





¡Gracias!

