



Monitoreo de la Vegetación Acuática con Teledetección

Juan L. Torres-Pérez, Amber McCullum

12 de julio de 2022



Estructura y Materiales del Curso

- Tres sesiones de 1.5 hora los días 12, 14 y 19 de julio
- Se presentará el mismo contenido en dos diferentes horarios cada día:
 - Sesión A: 11h-12h30 Horario Este de EE.UU. (UTC-4) (inglés)
 - Sesión B: 14h-15h30 Horario Este de EE.UU. (UTC-4) (español)
 - **Por favor inscribise y asista a solo una sesión por día.**
- Las grabaciones de las presentaciones, los archivos PowerPoint y la tarea asignada se podrán encontrar después de cada sesión en la siguiente página:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-monitoreo-de-la-vegetacion-acuatica-con-teledeteccion>
- Preguntas y respuestas después de cada presentación y/o por correo electrónico a:
 - juan.l.torresperez@nasa.gov o
 - amberjean.mccullum@nasa.gov



Tarea y Certificados

- **Tarea:**

- Se asignará una tarea
- Debe enviar sus respuestas vía Formularios de Google
- **Fecha límite para hacer la tarea: Martes 2 de agosto**

- **Certificado de Finalización**

- Asista a las tres sesiones en vivo
- Complete la tarea asignada en el plazo estipulado (acceder desde la página de ARSET)
- Recibirán sus certificados aproximadamente dos meses después de la conclusión del curso de: marines.martins@ssaihq.com



Prerrequisitos

- Prerrequisitos:
 - Por favor complete las [Sesiones 1 y 2A de Fundamentos de la Percepción Remota \(Teledetección\)](#) o cuente con experiencia equivalente.
- Materiales del Curso:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-monitoreo-de-la-vegetacion-acuatica-con-teledeteccion>

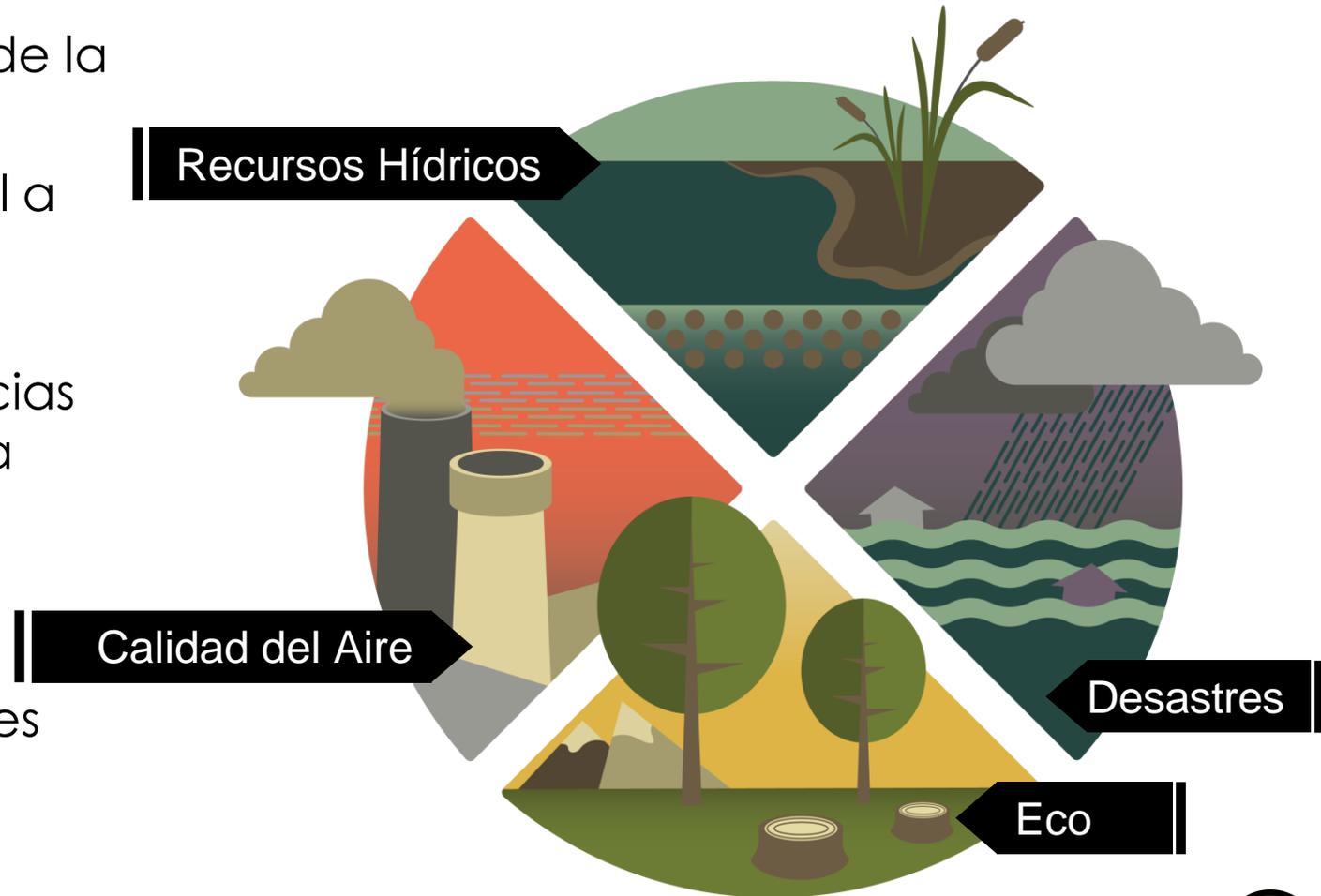


NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET)

(Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada de la NASA)

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

- Parte del Programa de Fomento de Capacidades Científicas Aplicadas de la NASA
- Empoderando a la comunidad global a través de la capacitación de teledetección en línea y presencial
- Procura fomentar el uso de las ciencias terrestres en la toma de decisiones a través de la capacitación para:
 - Formuladores de políticas
 - Gestores ambientales
 - Otros profesionales en los sectores público y privado



Objetivos de Aprendizaje

Al finalizar esta sesión, estarán familiarizadas/-os con:

- Especies de vegetación acuática costera/marina sumergida y flotante de aguas templadas y tropicales (hierba marina, kelpo, sargazo)
- Los principales satélites/sensores utilizados para estudiar la vegetación acuática de manera remota
- Las firmas espectrales de plantas y algas
- La teledetección de praderas marinas



Mezcla de hierba marina y algas verdes en el norte de Puerto Rico.
Fuente: Juan L. Torres-Pérez





Breve Descripción de Algunos Tipos
Importantes de Vegetación Acuática
Sumergida (SAV por sus siglas en inglés)

Praderas Marinas

- Reino: Plantae (Angiospermas) – Plantas con flores
- Cerca de 60 especies descritas en cuatro familias diferentes
- Evolucionaron a partir de plantas terrestres que recolonizaron el océano hace unos 70 a 100 millones de años
- La mayoría de las especies se encuentran en zonas costeras poco profundas y protegidas, ancladas en fondos arenosos o fangosos
- Los rizomas o tallos subterráneos ayudan a anclar las plantas.



Turtle Grass (*Thalassia testudinum*). Fuente: Juan L. Torres-Pérez



Praderas Marinas

Ecología:

- Están comúnmente asociadas con otros ecosistemas costeros tropicales como los arrecifes de coral y los bosques de manglares.
- Ecosistemas de aguas poco profundas extremadamente importantes en los trópicos
- Proporcionan un hábitat para la reproducción y la crianza de invertebrados, peces, reptiles y mamíferos marinos, incluso tiburones, tortugas marinas y manatíes
- Los rizomas y el sistema de raíces ayudan a atrapar los sedimentos y reducen la resuspensión de material particulado.



Sup.: Coral Estrella (*Orbicella annularis*);
Inf.: Estrella de Mar Reticulada (*Oreaster reticulatus*). Fuente: Juan L. Torres-Pérez



Praderas Marinas

Beneficios para los Humanos:

- Son altamente importantes en el secuestro de carbono
- Brindan protección costera
- Funcionan como barreras naturales contra la acción de las olas y mareas tormentosas
- Son una fuente directa de alimentación para especies de peces y mariscos comercialmente importantes y otras en peligro de extinción
- Recreación
- Turismo
- Sirven de fuente de alimentación para millones de personas



Hierba de manatí (*Syringodium filiforme*). Fuente: Juan L. Torres-Pérez



Bosques de Kelpo

- Clase: Phaeophyceae (Algas pardas)
- Una de las clases de vegetación acuática sumergida bentónica más importantes en los mares templados alrededor del mundo
- Ocurren en arrecifes rocosos submareales poco profundos
- Cada "planta" vive aproximadamente 2,5 años
- Cada fronda vive aproximadamente 4 meses
- Bajo condiciones ideales, ¡las plantas individuales pueden crecer hasta 0,5m por día!
- Muchas especies tienen neumatocistos (vejigas llenas de gas) que ayudan en su flotabilidad
- ¡Las especies gigantes como *Macrocystis* pueden llegar a medir más de 30m de longitud!



Fuente: Kyle Cavanaugh (UCLA)



Bosques de Kelpo

Ecología:

- Son los ingenieros y especies fundacionales de los ecosistemas
- Albergan una diversidad de otros organismos incluyendo invertebrados, peces, aves y mamíferos marinos.
- Muchos mamíferos y aves utilizan los bosques de kelpo para refugiarse y encontrar comida.
- Son reconocidos como uno de los ecosistemas más productivos y dinámicos del planeta.



Fuente: www.flickr.com



Bosques de Kelpo

- Beneficios para los Humanos:
 - Protección contra la acción de las olas en áreas costeras
 - Pesca
 - Fuente de alimentos
 - Productos comerciales como jabón, producción de vidrio
 - Recreación
 - Turismo
 - Aspectos simbólicos y espirituales de sistemas culturales indígenas



Sup.: Anémóna de mar (*Anthopleura* sp.). Inf.: Sistema de anclaje del kelpo.
Fuente: Juan L. Torres-Pérez



Mantos Flotantes de Sargazo

- Clase: Phaeophyceae (algas pardas)
- La mayoría de las especies son planctónicas (flotan libremente); algunas son bentónicas.
- Nombrado originalmente por marineros portugueses que lo encontraron en el Mar de los Sargazos en el Océano Atlántico.
- Algunas especies tienen vejigas llenas de gas que parecen a bayas para ayudar en la flotación.
- Las plantas individuales pueden crecer hasta varios metros de longitud.



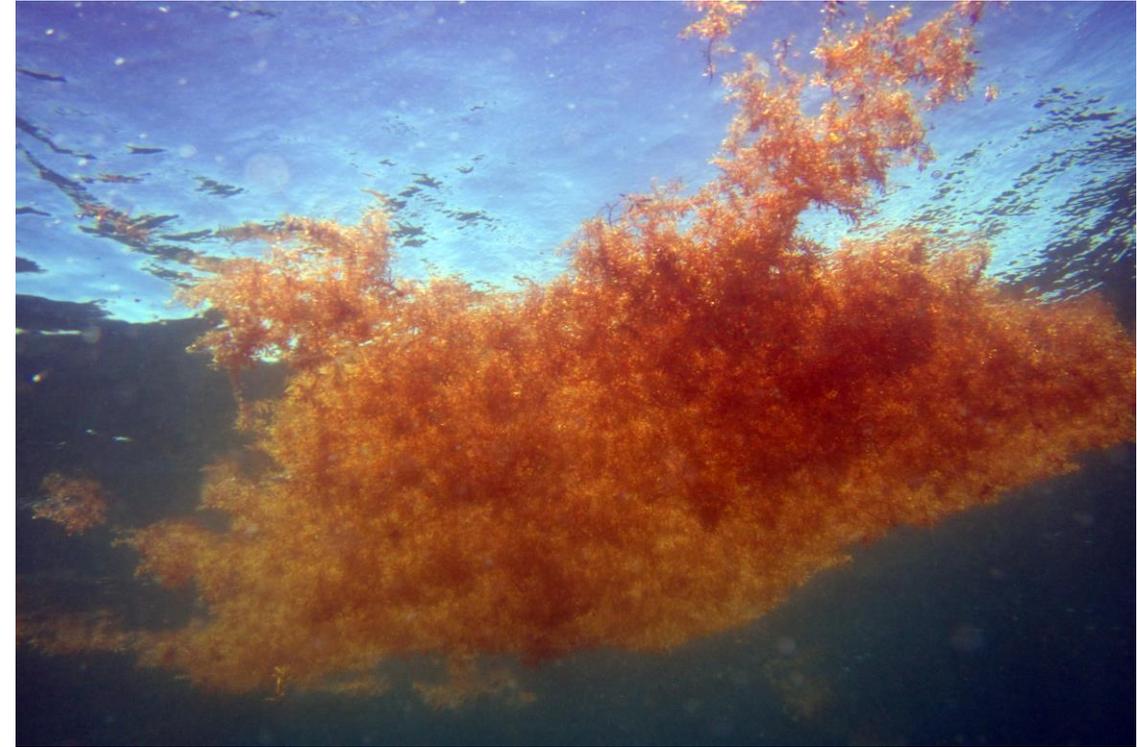
Fuente: Juan L. Torres-Pérez



Mantos Flotantes de Sargazo

Ecología:

- Los mantos de sargazo sirven de hábitat para muchos invertebrados y peces.
- Los taxones superiores (p. ej., las tortugas marinas) se alimentan de invertebrados y comunidades de peces asociados con el sargazo.
- El Mar de los Sargazos juega un papel importante en la migración de algunas especies de anguilas catádromas de Europa y Norte América.
- Los mantos masivos pueden bloquear la penetración de la luz, afectando así a importantes organismos bentónicos como los corales y las praderas marinas.



Fuente: Juan L. Torres-Pérez



Mantos Flotantes de Sargazo

Impacto para la Sociedad/Economía:

- Desde 2011, se han producido eventos masivos desde el Caribe Sur hasta México y la Florida.
- Impactos en la pesca local, el turismo y las economías.
- Los gobiernos locales gastan millones de dólares cada año en actividades de limpieza.
- La descomposición del sargazo crea gas de sulfuro de hidrógeno que afecta la salud humana.



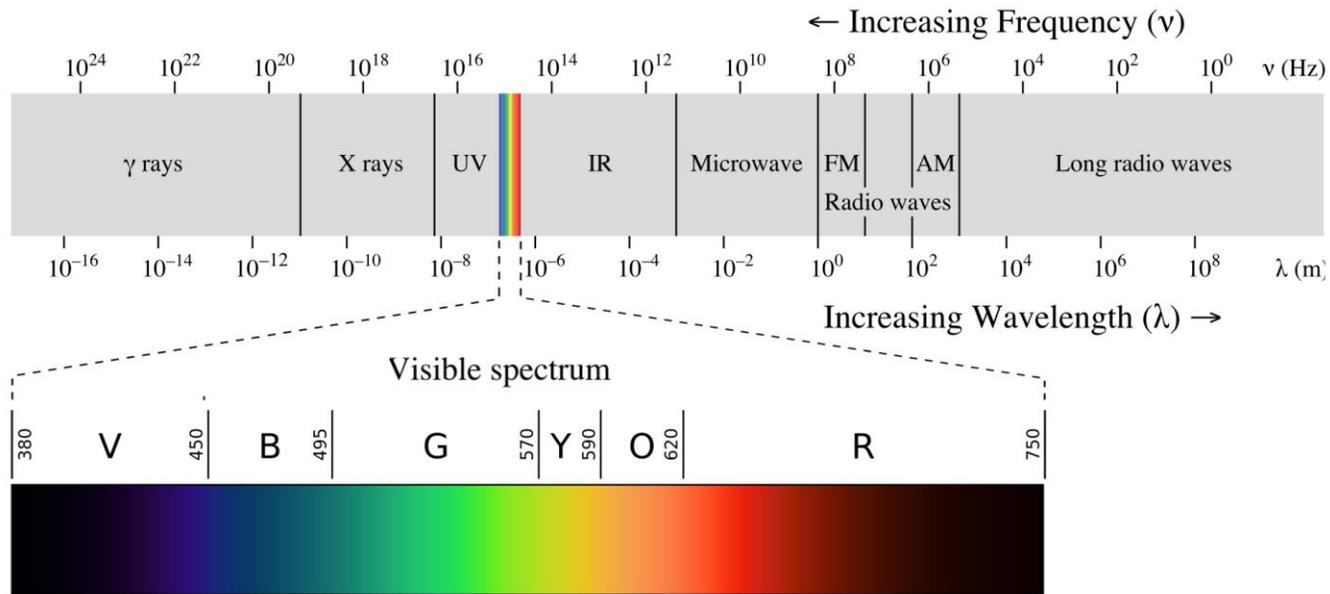
Fuente: Pixabay



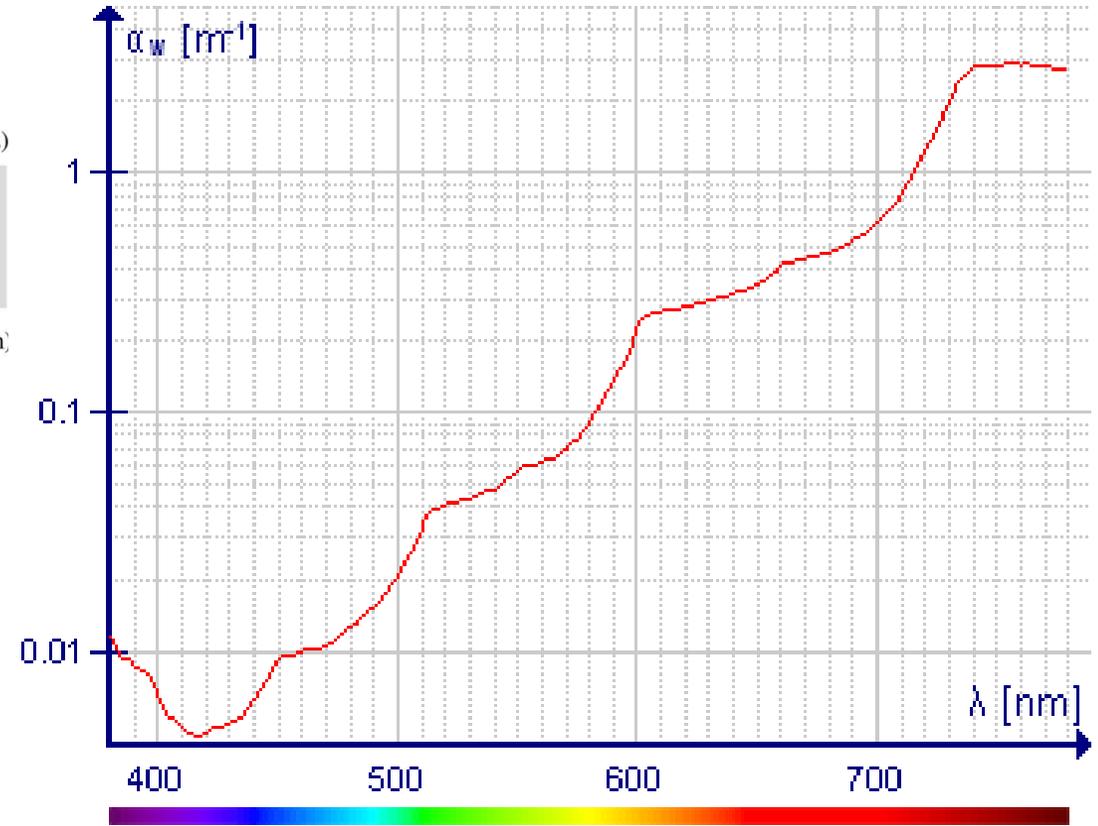


Consideraciones sobre la Columna de Agua al
Mapear la Vegetación Acuática Sumergida (SAV)

La Luz en el Entorno Acuático



Fuente: Wikimedia Commons

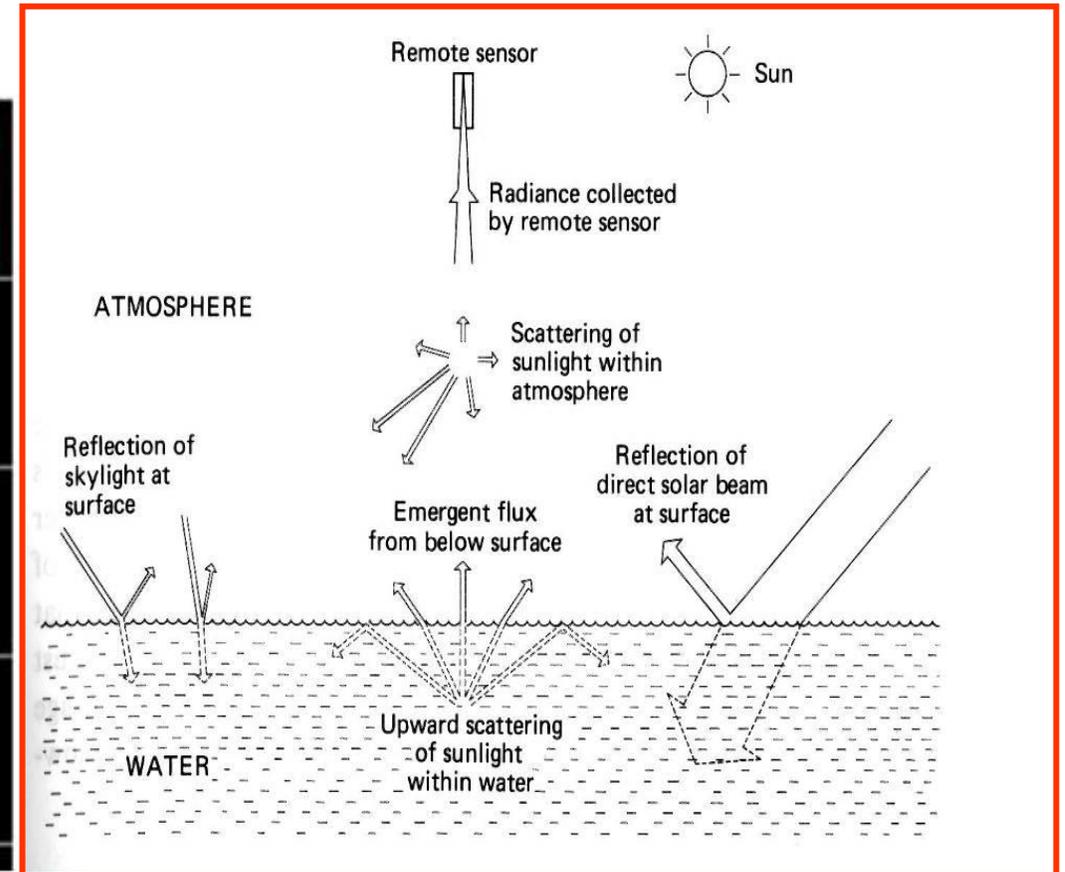
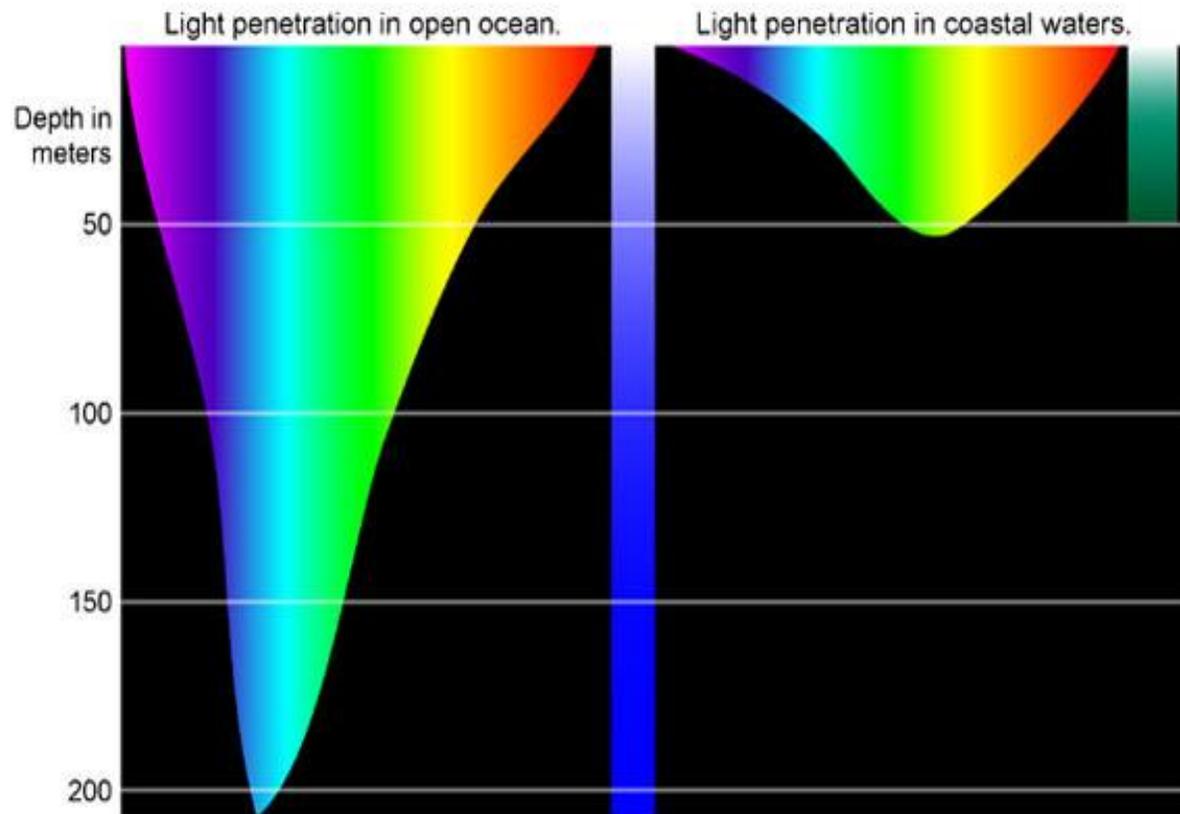


Fuente: Jonasz 2007

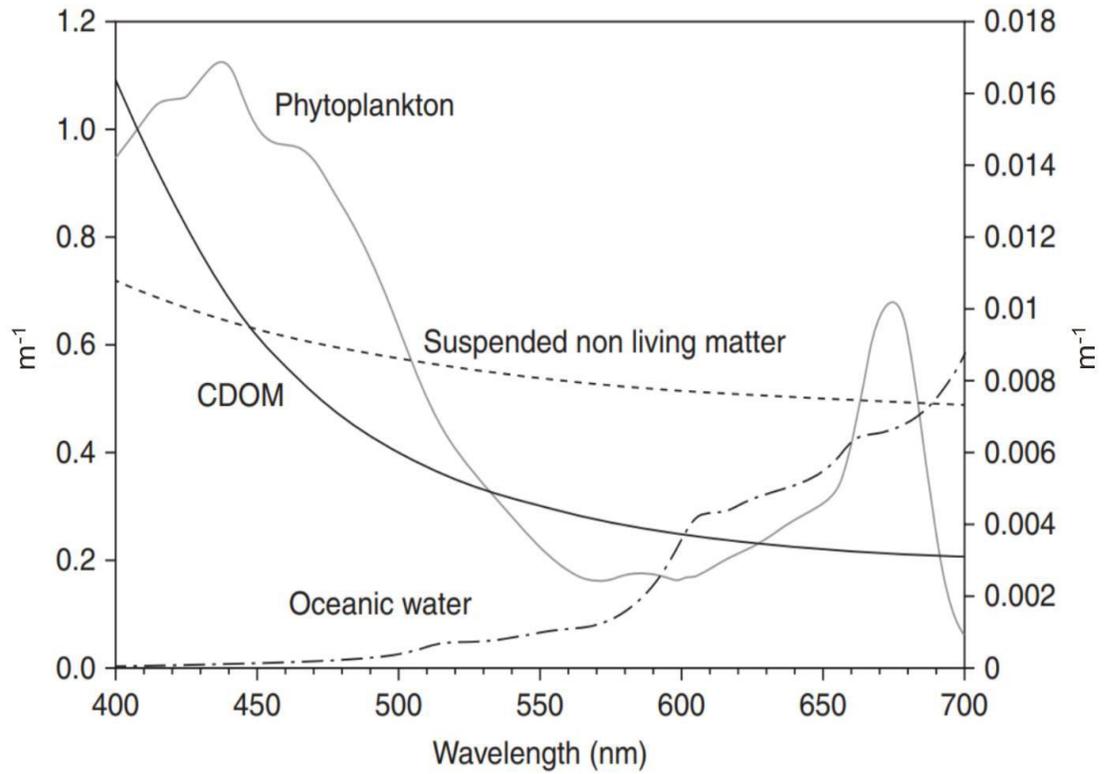


La Luz en el Entorno Acuático

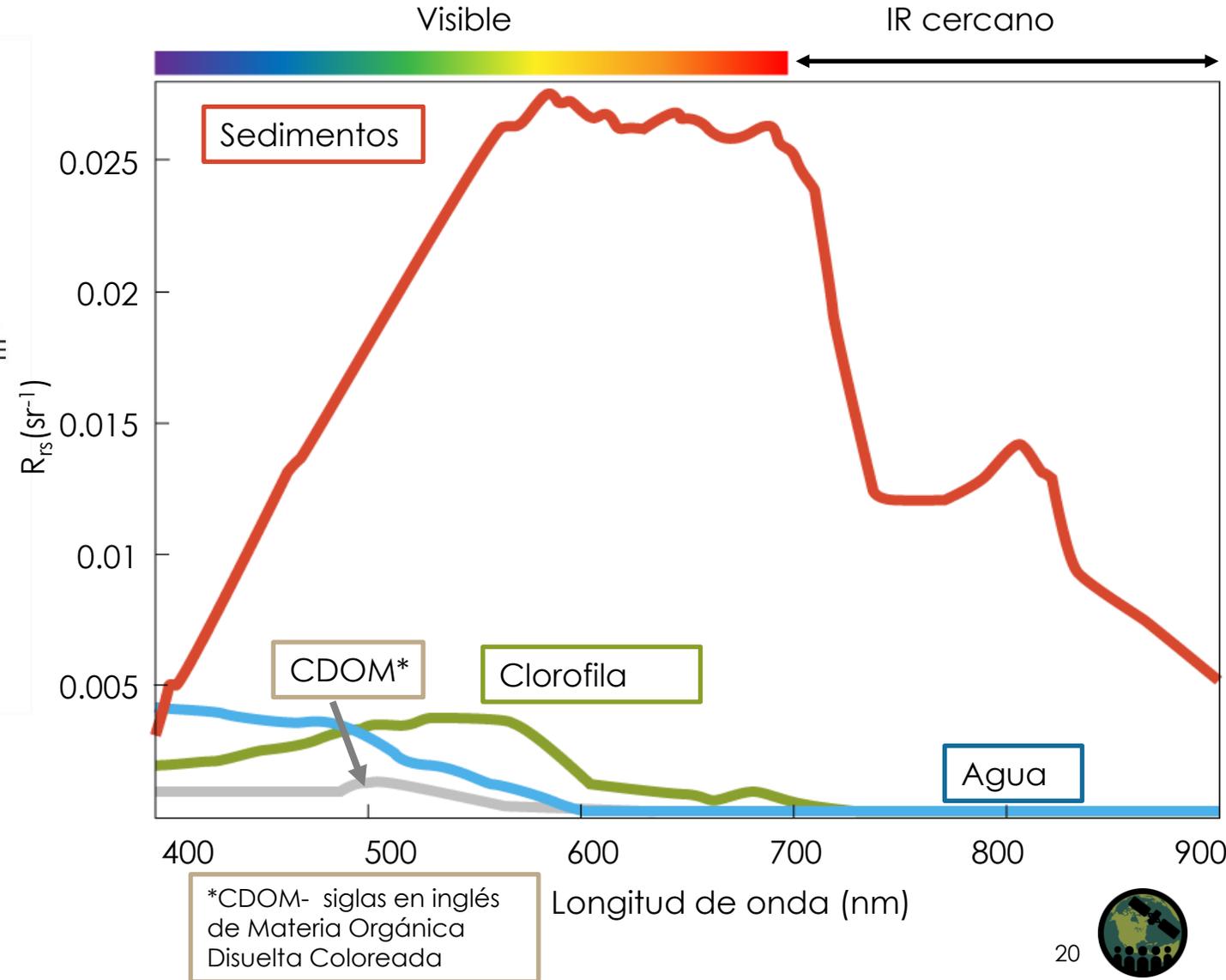
La columna de agua contiene material ópticamente activo. El monitoreo de la SAV desde la superficie del agua mediante la teledetección requiere corregir estos efectos.



Absorción de la Luz por Parte de los Componentes de la Columna de Agua



Fuente: Johnsen et al 2013



*CDOM- siglas en inglés de Materia Orgánica Disuelta Coloreada



Corrección de la Columna de Agua

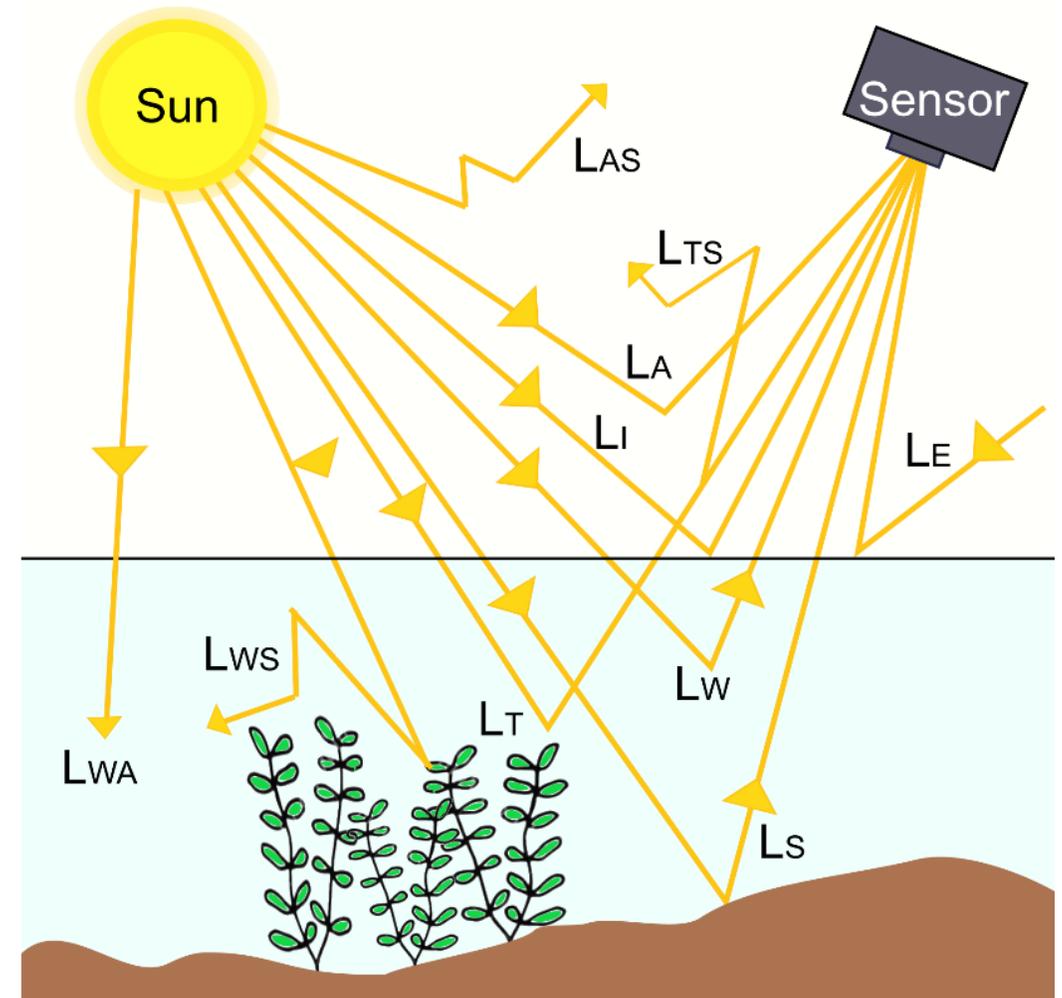
- A menos que la SAV esté expuesta, es necesario llevar a cabo un proceso de corrección de la columna de agua para estimar la cantidad de atenuación de la luz y su efecto en la reflexión de los componentes bentónicos como hierbas marinas, algas marinas y otros tipos de SAV.
- Uno de los métodos más comunes es aquel propuesto por Lyzenga (1978, 1981, 1985 y Lyzenga et al 2006), quien sugirió el cálculo de un índice de profundidad invariante (DII por sus siglas en inglés) para eliminar los efectos de la dispersión y absorción dentro de la columna de agua.
 - El DII funciona bien en aguas claras (Caso I) pero es menos fiable en aguas más complejas (Caso II).
- Más recientemente, Sagawa et al (2010) propusieron una alternativa como Índice de Reflectancia del Fondo (Bottom Reflectance Index (BRI) que parece que funciona mejor en aguas del Caso II.
- Otras metodologías comúnmente utilizadas incluyen la resta de un valor de reflectancia en aguas profundas de cada píxel (Louchard et al 2003) y el uso de una transformación logarítmica y un análisis de regresión para cada banda (Conger et al 2006).



Interacciones de la Luz en la Atmósfera, Columna del Agua y el Bentos

Radiancias reflejadas o dispersadas:

- LT = Por el objetivo (SAV)
- LTS = Por el objetivo y dispersada fuera de la trayectoria del sensor
- LS = Por la arena
- LA = Por la atmósfera al sensor
- LAS = Por la atmósfera
- LW = Por la columna de agua al sensor
- LWS = Por la columna de agua
- LI = Por la interfaz aire-agua
- LE = A la escena por el entorno ambiente



Fuente: Rowan y Kalacska 2021





Satélites Comúnmente Utilizados para Evaluar
la Vegetación Acuática

Consideraciones para Elegir Datos Satelitales Adecuados

- Resolución Temporal de la Adquisición de Datos – ¿Diaria? ¿Semanal? ¿Mensual?
- Resolución Espacial – Depende del satélite: de metros a km
- Resolución Espectral – Multiespectral vs. hiperespectral
 - ¿En qué parte del espectro electromagnético se encuentran las bandas satelitales?
¿Visible? ¿Infrarroja? ¿Infrarroja cercana?
- Longevidad de la Misión Satelital
 - Landsat tiene el registro de datos satelitales más largo (desde los 1970).
- Condiciones geográficas y atmosféricas en el sitio que se está estudiando
 - Los ecosistemas costeros en general tienden a ser pequeños (praderas marinas) o estrechos (playas).
 - En las zonas tropicales normalmente hay mayor cobertura de nubes durante todo el año.
- ¿Los datos son de disponibilidad gratuita, o hay algún costo asociado con la adquisición de estos?
- ¿Están planificando misiones para el futuro?
 - Surface Biology and Geology (SBG)
 - Plankton, Aerosol, Cloud, Ocean Ecosystem (PACE)



Ventajas de las Observaciones de Satélites

- Están disponibles para grandes regiones
 - La única fuente de información global para algunos parámetros
- Series temporales largas y continuidad de datos
 - Realizan un seguimiento del progreso
 - Establecen líneas de base y tendencias.
- Coherencia y comparabilidad
 - Entre varios países
- Diversidad de mediciones
 - Muchos parámetros físicos diferentes
- Complementan los métodos estadísticos tradicionales
 - Verificación cruzada con datos in situ
- Mayormente gratuitas y de acceso abierto

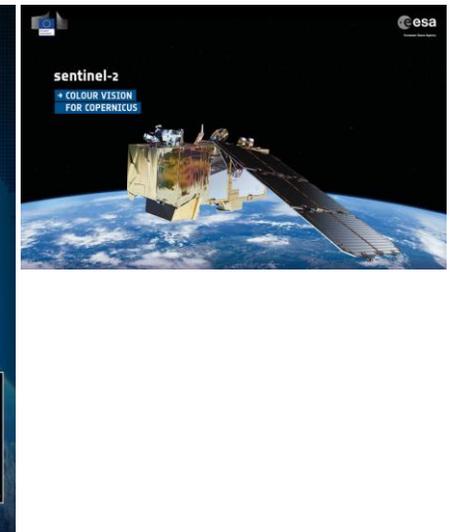
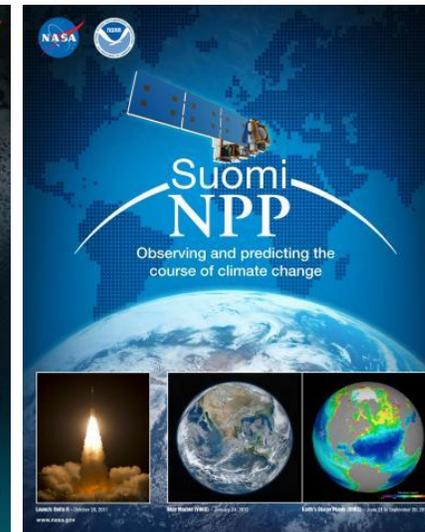
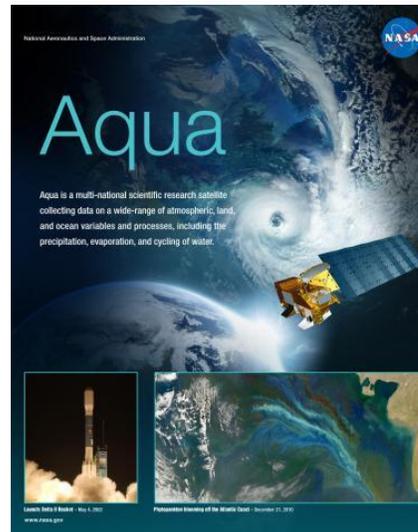
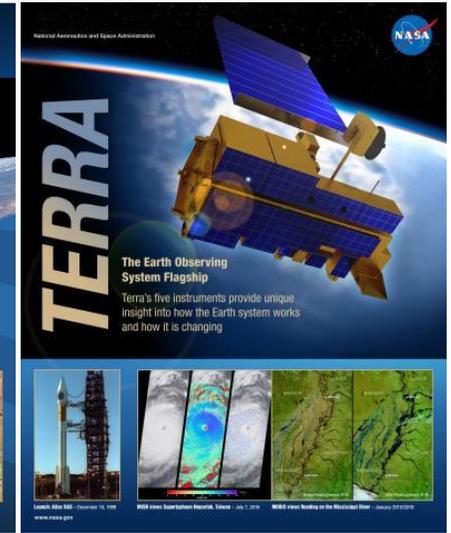
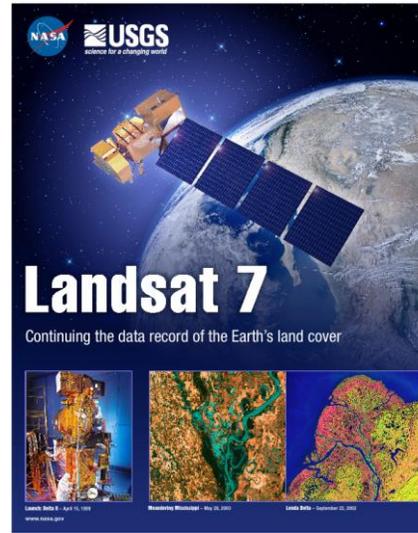


Isla Curtis, Australia. Fuente: NASA Earth Observatory



Misiones Satelitales Actuales

- Landsat 7 (15/4/1999 – Hoy)
- Landsat 8 (1/2/2013 – Hoy)
- Landsat 9 (31/10/2021 – Hoy)
- Terra (18/12/1999 – Hoy)
- Aqua (4/5/2002 – Hoy)
- Suomi National Polar Partnership (SNPP) (21/11/2011 – Hoy)
- Sentinel-2A (23/6/2015 - Hoy)
- Sentinel-2B (7/3/2017 – Hoy)
- Sentinel-3A (16/2/2016 – Hoy)



Especificaciones de Sensores Comúnmente Utilizados para la Vegetación Acuática

Satélites	Sensores	Resolución
Landsat 7	Enhanced Thematic Mapper (ETM+)	Franja de 185 km; 15 m, 30 m, 60 m; tiempo de revisita de 16 días
Landsat 8	Operational Land Imager (OLI)	Franja de 185 km; 15 m, 30 m, 60 m; tiempo de revisita de 16 días
Terra y Aqua	MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)	Franja de 2330 km; 250 m, 500 m, 1 km; tiempo de revisita de 1 a 2 días
Suomi NPP	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)	Franja de 3040 km; 375 m – 750 m; tiempo de revisita 1 a 2 días
Sentinel 2A y 2B	Multi Spectral Imager (MSI)	Franja de 290 km; 10 m, 20 m, 60 m; tiempo revisita de 5 días
Sentinel 3A	Ocean and Land Color Instrument (OLCI)	Franja de 1270 km; 300 m; tiempo de revisita de 27 días



La Resolución Espectral del Sensor

Multiespectral

- Lleva tiempo siendo lo normal con sensores satelitales
- Es limitada en cuanto al número de bandas espectrales que se pueden utilizar
- Tiene la ventaja de la longevidad de conjuntos de datos, en algunos casos (Landsat, MODIS)
- Resolución temporal bastante alta (días a semanas)

Hiperespectral

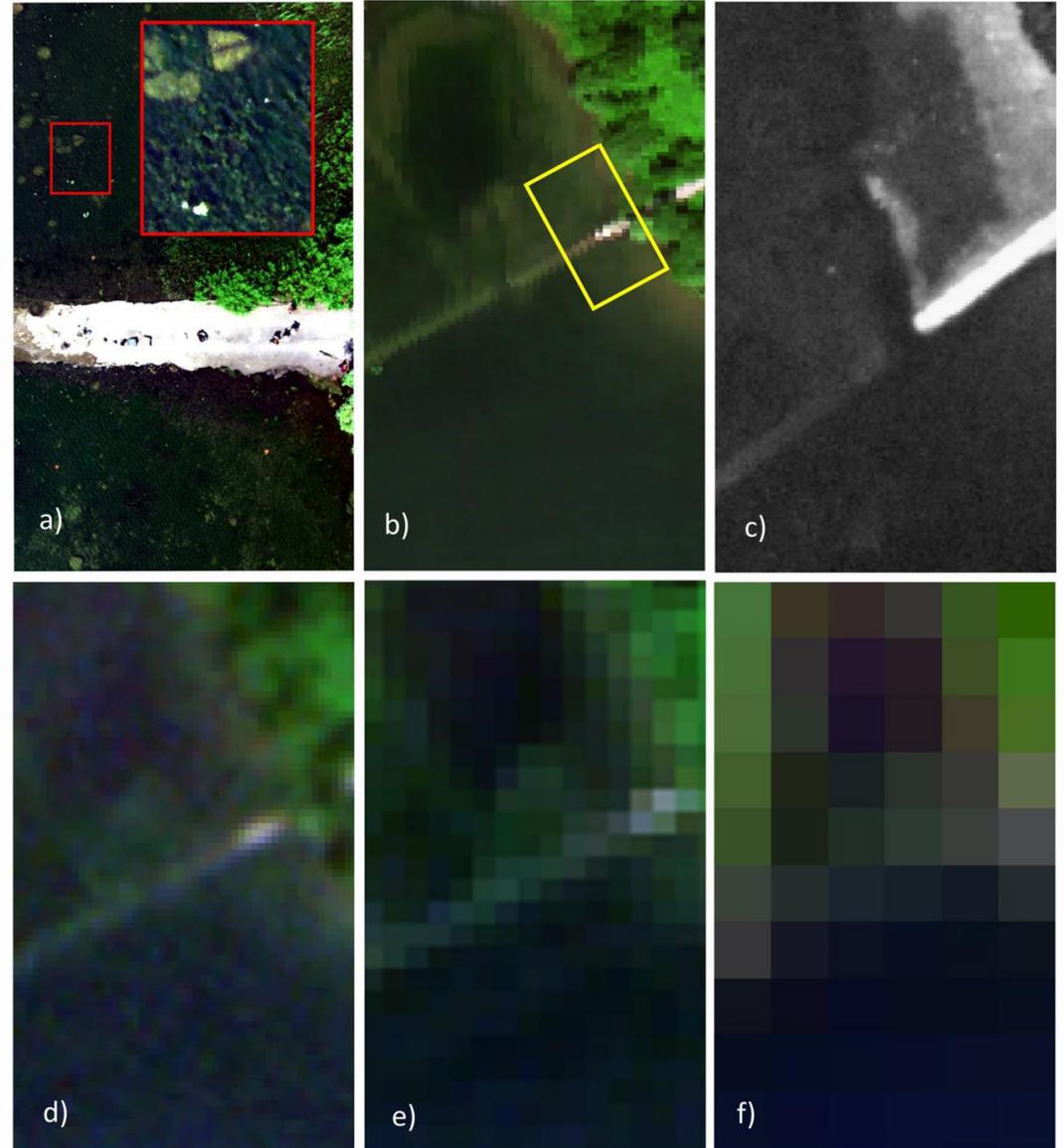
Hasta el momento, se utiliza en un número muy limitado de sensores satelitales

- Hyperion – (Decomisado en 2017); Resolución de 30m, 220 bandas a 10nm de anchura de banda
- Algunos casos son para misiones específicas
 - Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean (HICO); Conjunto de datos limitados (2009-2014)
- Sensores Aéreos
 - Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) y AVIRIS-New Generation (AVIRIS-NG)
 - Portable Remote Imaging Spectrometer (PRISM)
- Últimamente, el desarrollo de cámaras hiperespectrales para sistemas aéreos no tripulados (UAS por sus siglas en inglés) se ve prometedor



Efectos de la Resolución Espacial en la Clasificación de la SAV

- A. 3cm – Sensor hiperespectral CASI en plataforma aérea no tripulada (UAV)
- B. 1m – Sensor CASI (a mayor altitud) en plataforma UAV
- C. ~1-1,5m – Fotografía pancromática
- D. 3m – Imagen de Planet Scope
- E. 10m – Imagen de Sentinel-2
- F. 30m – Imagen de Landsat 8



Futuras Misiones Satelitales con Uso Potencial para el Monitoreo de la SAV

PACE: Plankton, Aerosol, Cloud, ocean Ecosystem

<https://pace.oceansciences.org/mission.htm>

- Lanzamiento planificado para 2023
- Espectrómetro óptico avanzado, Ocean Color Instrument (OCI)
 - Mediciones hiperespectrales para productos de la calidad del agua (gama ultravioleta al infrarrojo cercano)

SBG: Surface Biology and Geology

<https://sbg.jpl.nasa.gov/>

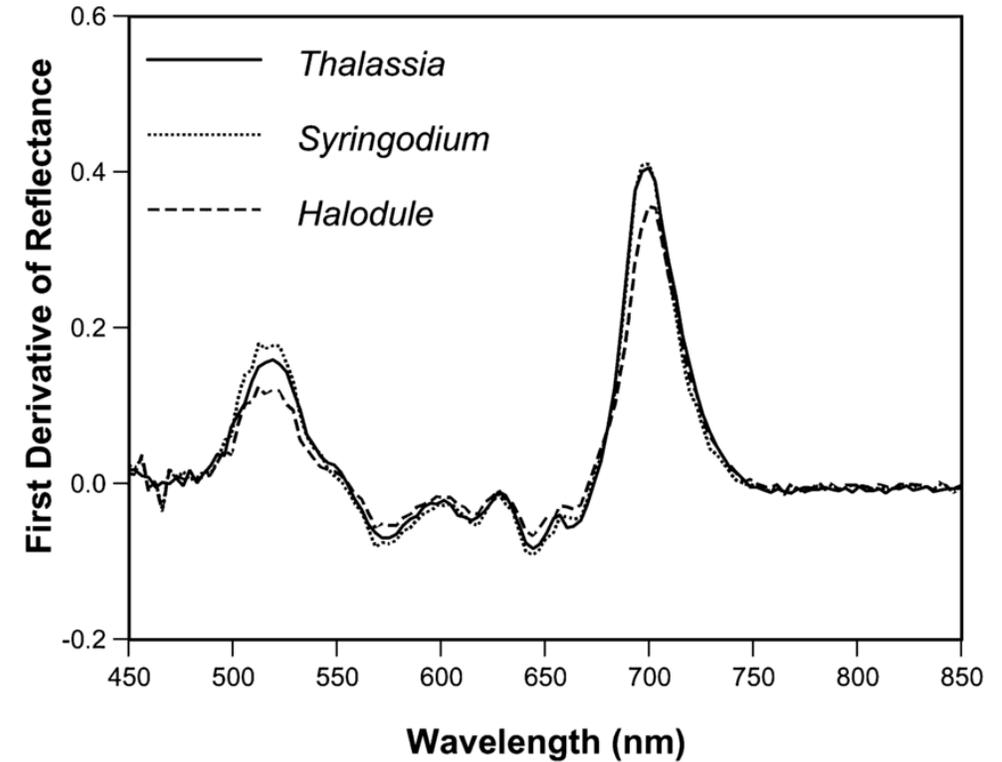
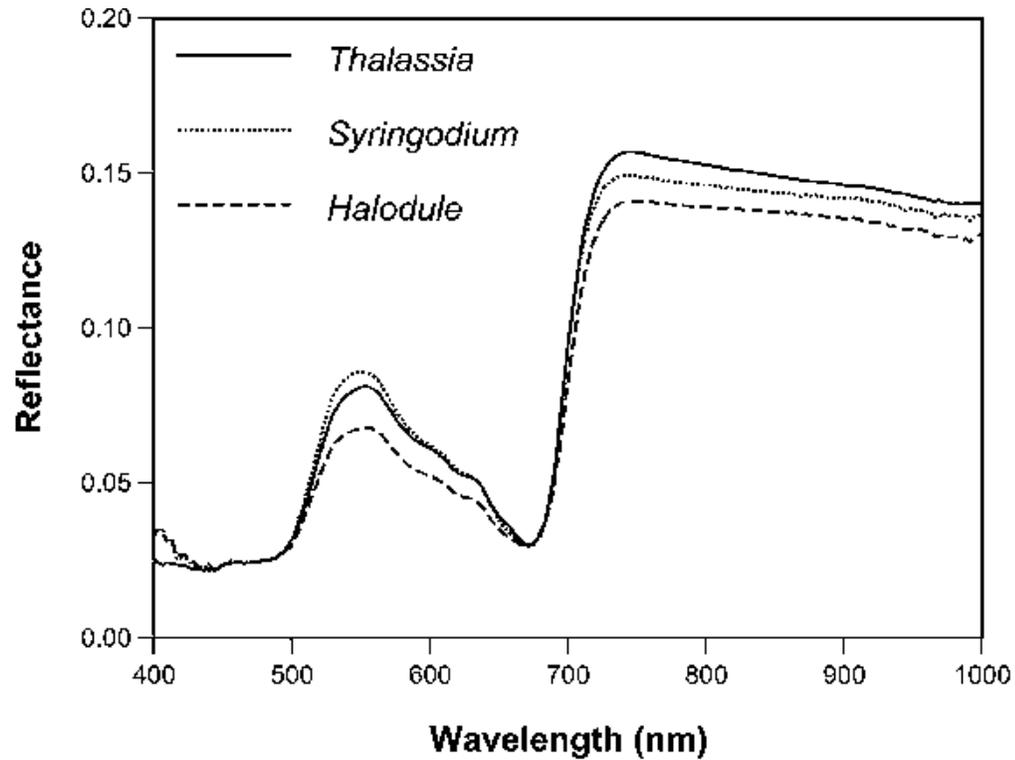
- En la fase inicial de desarrollo
 - Imágenes hiperespectrales en el visible e infrarrojo onda corta; imágenes multispectrales o hiperespectrales en el infrarrojo térmico





Teledetección de Praderas Marinas

Firmas Espectrales de Hierbas Marinas

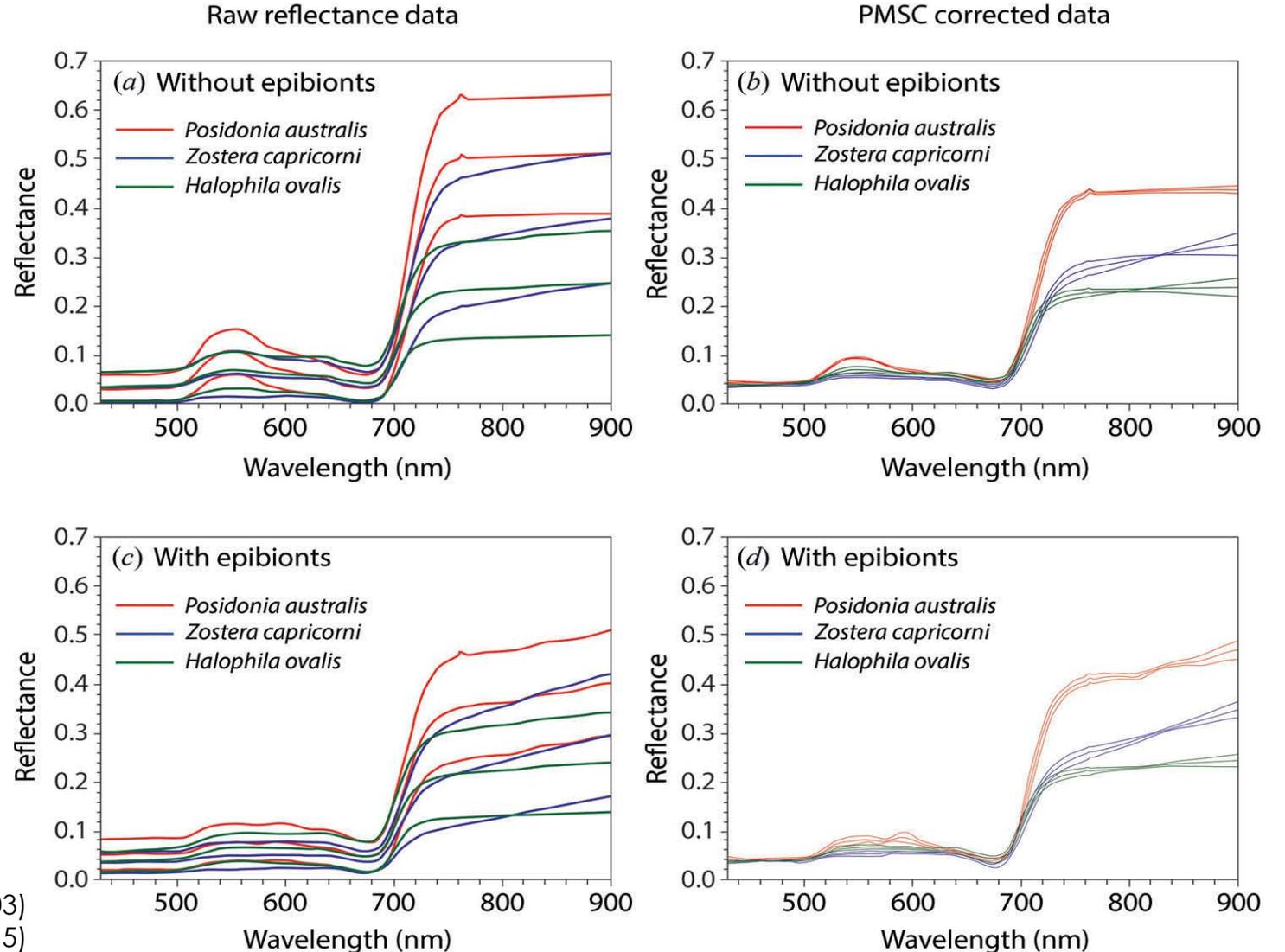


De: Thorhaug et al 2005 Int. J. Remote Sens.



Discriminación Espectral de Especies de Hierbas Marinas

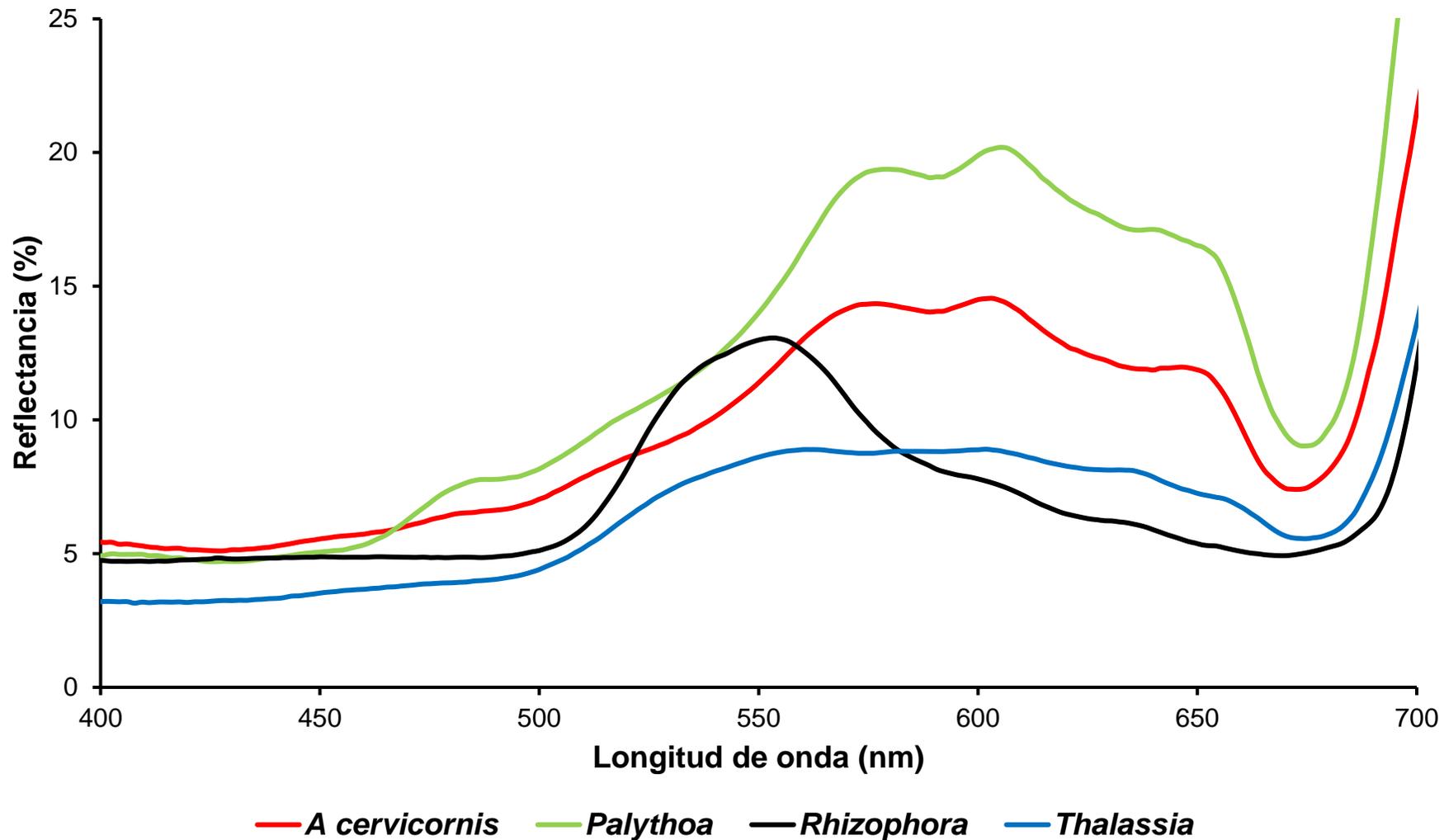
- La presencia/ausencia de epibiontes en las hojas de las fanerógamas marinas influye en la respuesta espectral y, por lo tanto, en la discriminación potencial entre especies.



Fuente: Datos de Fyfe (2003)
modificados por Hossain et al (2015)



Diferencias Espectrales de Componentes Costeros Sumergidos y Otros

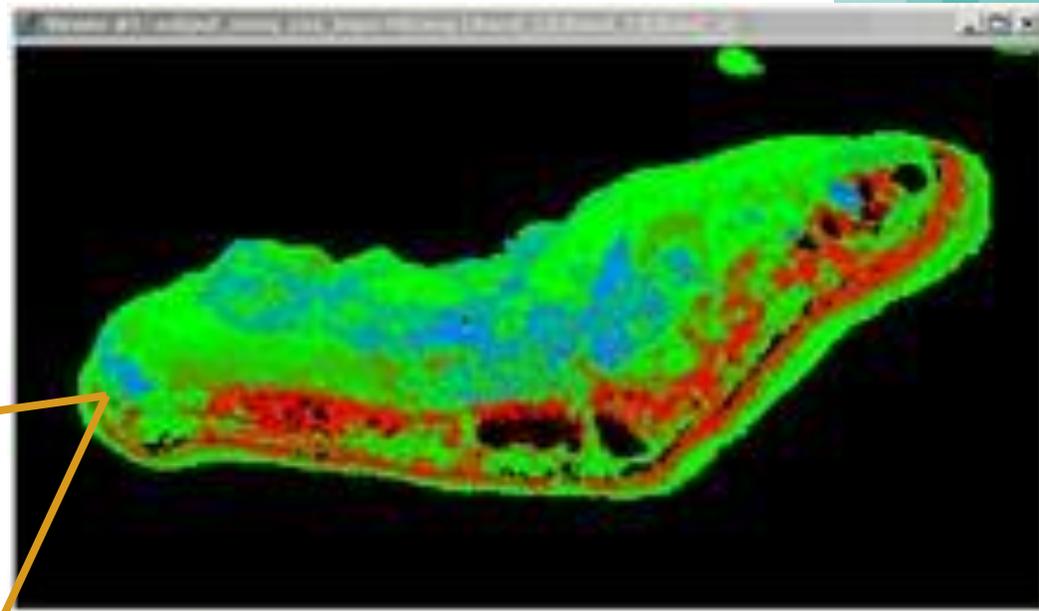


Fuente: Torres-Pérez (Datos no publicados)



Diferencias Espectrales de Componentes bentónicos Visualmente Similares

Puede que los componentes bentónicos tengan colores similares pero sean espectralmente distintos.

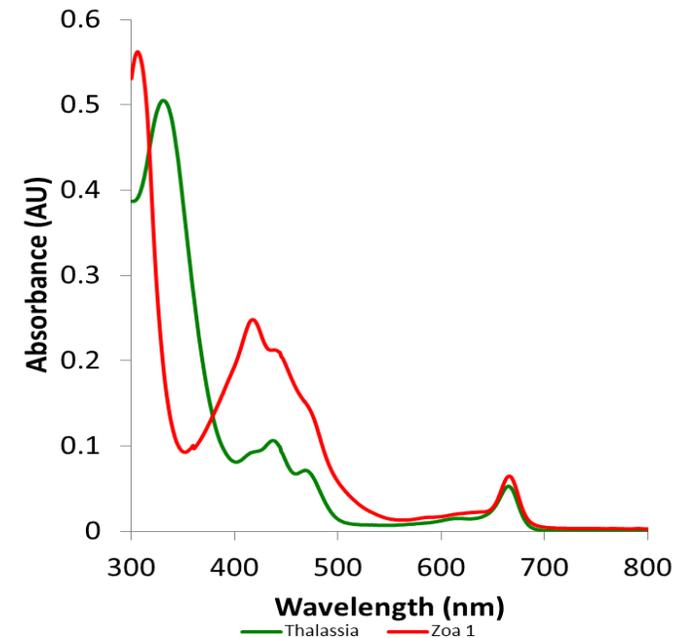


Hierba de tortuga (*Thalassia testudinum*)



Manto Verde Marino (*Zoanthus sociatus*)

Fuentes: Juan L. Torres-Pérez



Torres-Pérez (No publicado)

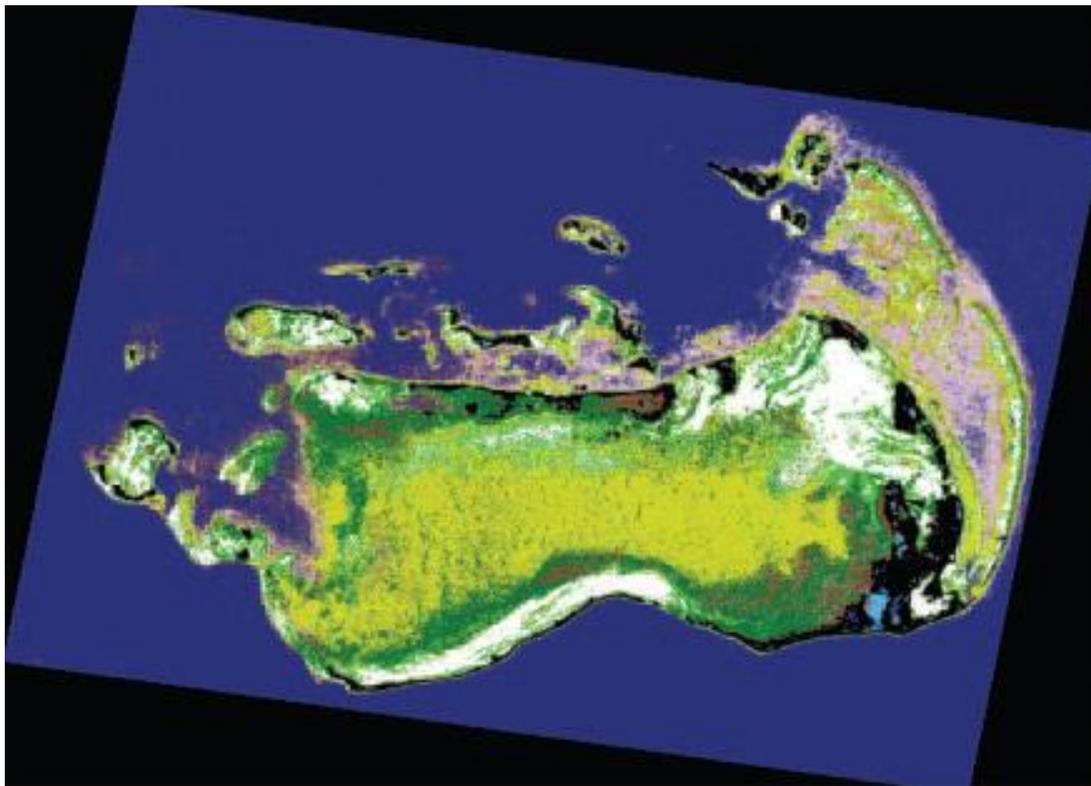


Métodos para Clasificar Hierbas Marinas

- En un extenso artículo de revisión sobre la teledetección de praderas marinas, Hossain et al (2015) encontraron que los métodos más comunes utilizados para la clasificación de hierbas marinas fueron:
 - Delineación manual (para fotos aéreas)
 - Clasificación supervisada
 - Modelación de la transferencia radiativa
- Recientemente, el uso de técnicas de desmezcla espectral lineal (Uhrin y Townsend 2016) y de aprendizaje automático (Pérez et al 2020) se han vuelto más comunes.

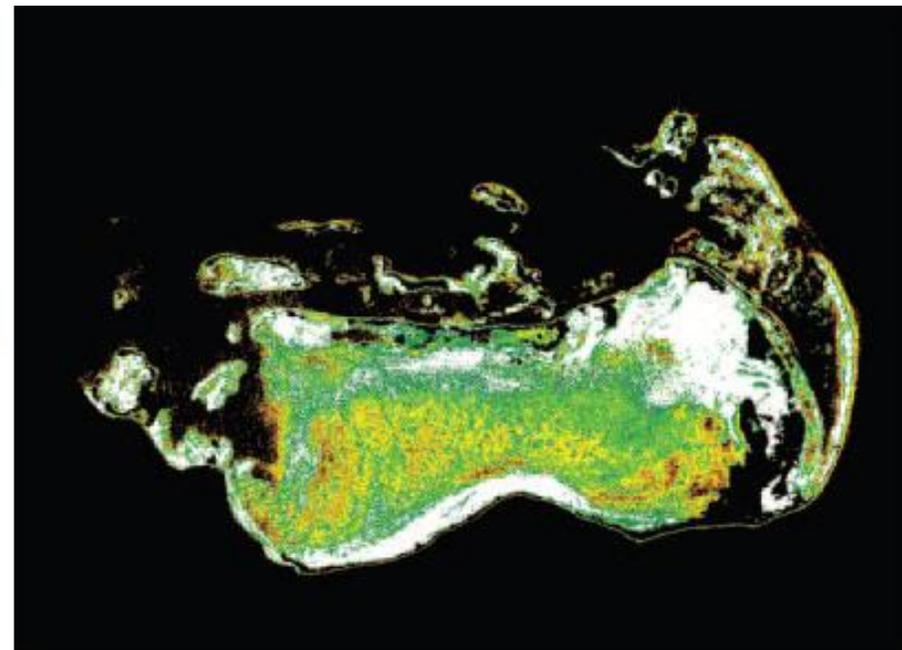


Clasificación de Hábitats de Hierbas Marinas con Landsat 7



Bottom habitat classification :

- Islands
- Sand bottom
- Disperse communities over deep sand bottom
- Deep water
- Dense seagrass meadows
- Disperse seagrass meadows over sand bottom
- Reef communities
- Mixed vegetation over muddy bottom
- Disperse communities over shallow sand bottom
- Lagoons



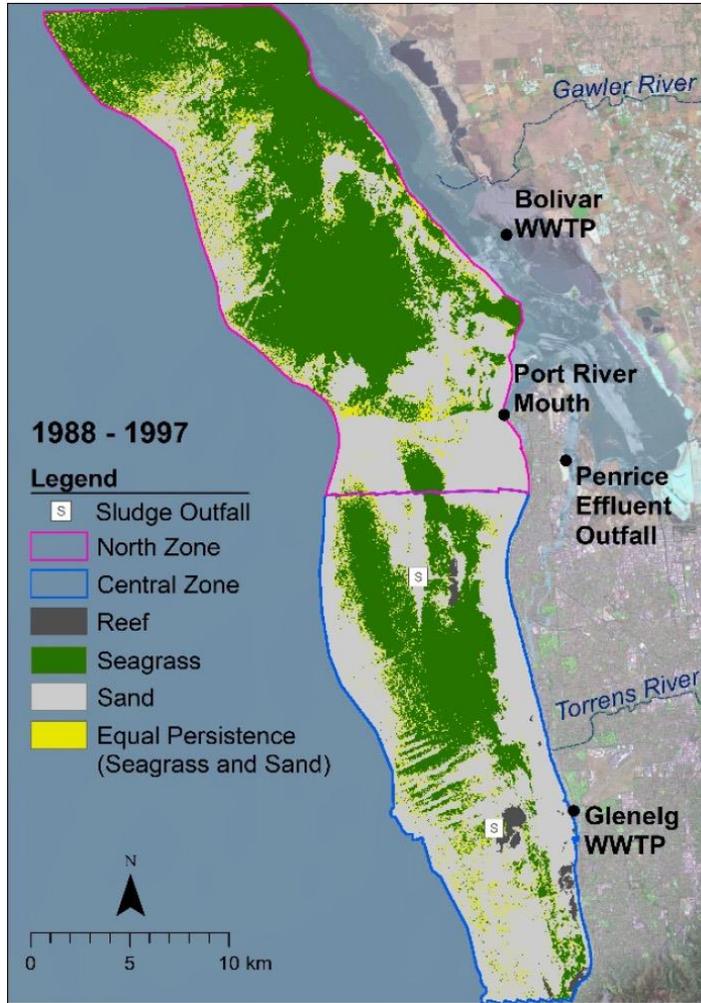
Submerged vegetation biomass (g/m^2)

- 128-160
- 86-128
- 64-86
- 32-64
- Sand
- Land and deep water

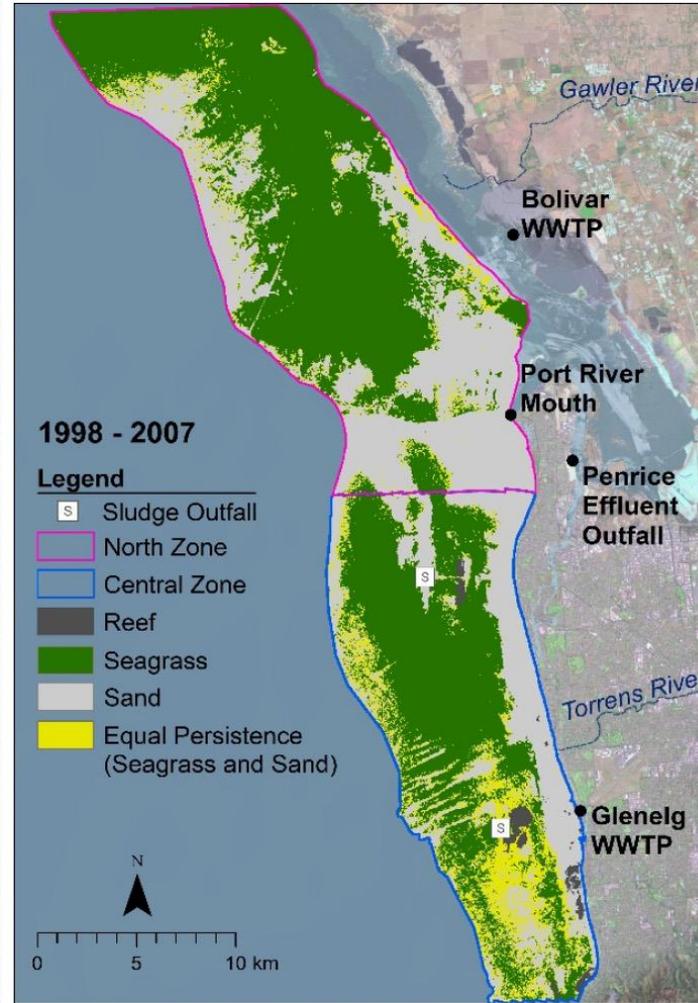
Fuente: Schweizer et al (2005)



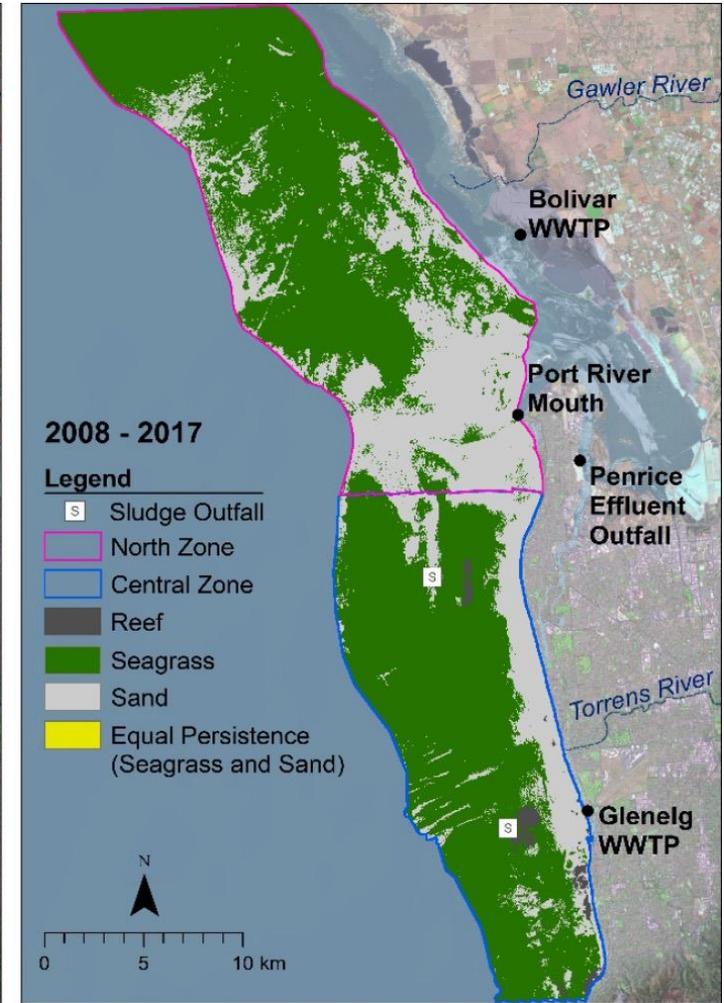
30 Años de Cambios en la Hierbas Marinas Monitoreados con Series de Landsat



(a)



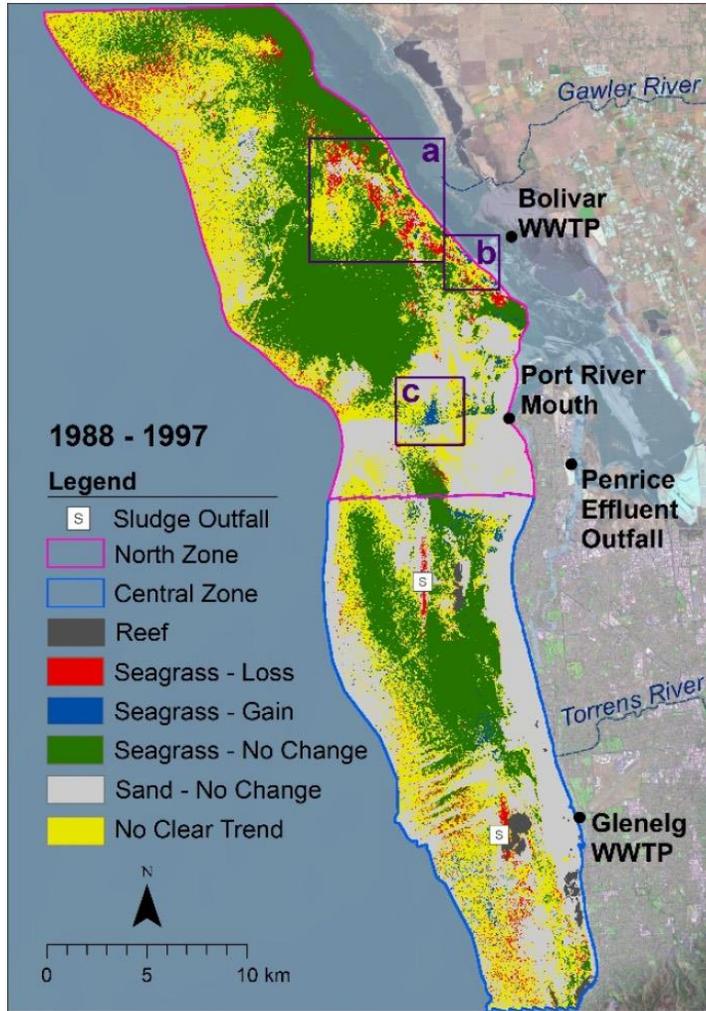
(b)



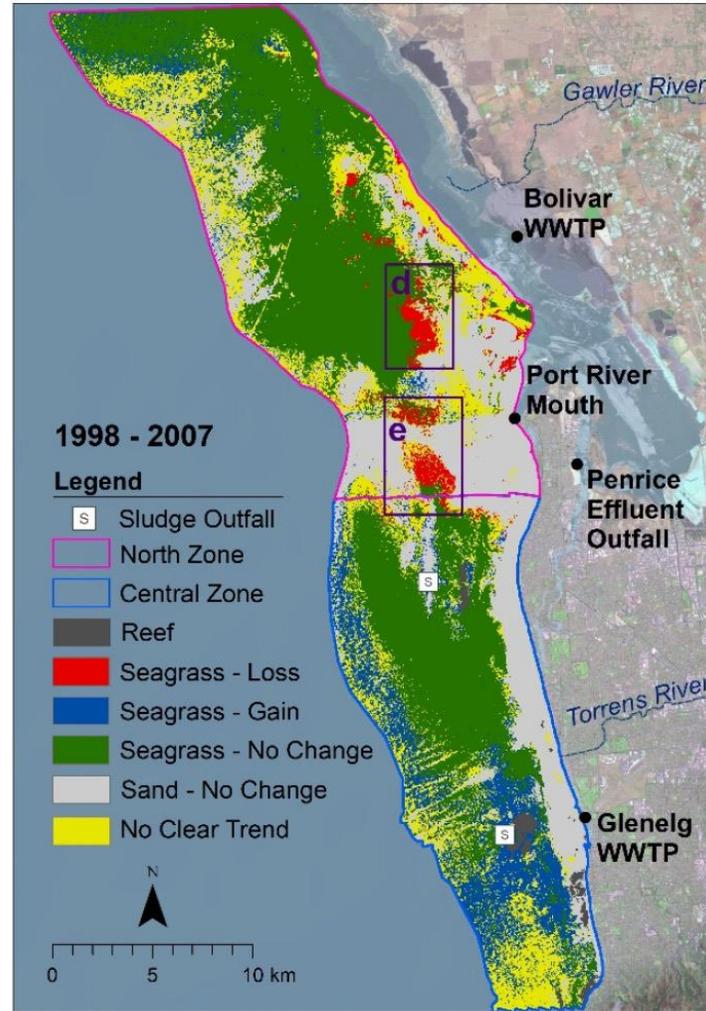
(c)



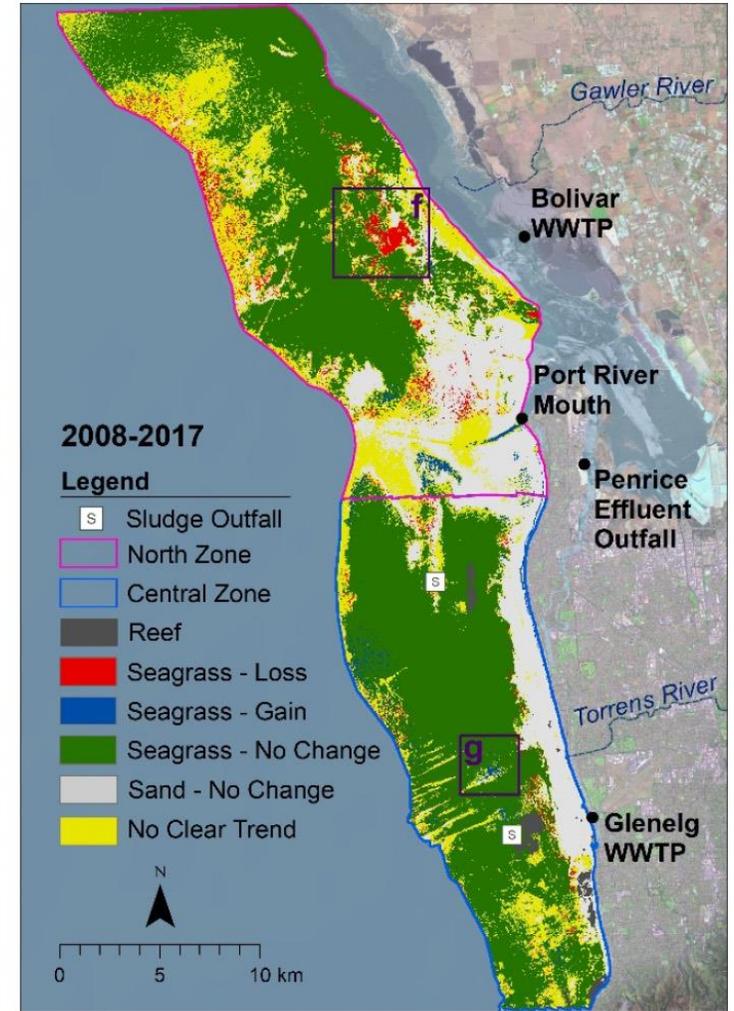
30 Años de Cambios en la Hierbas Marinas Monitoreados con Series de Landsat



(a)



(b)

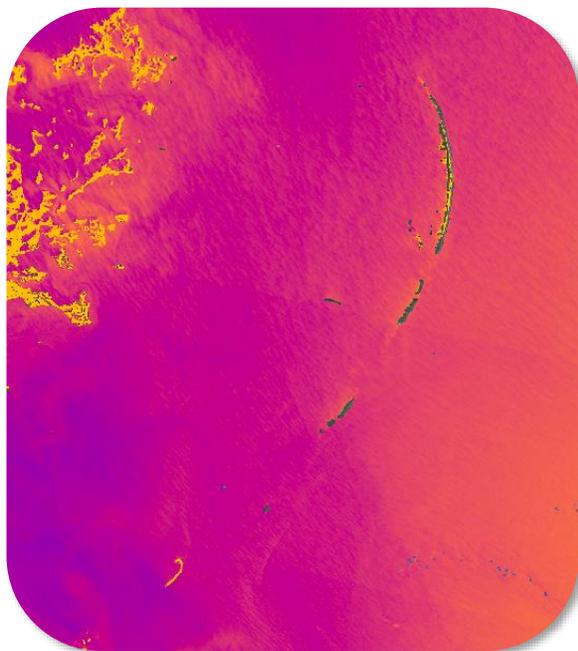


(c)

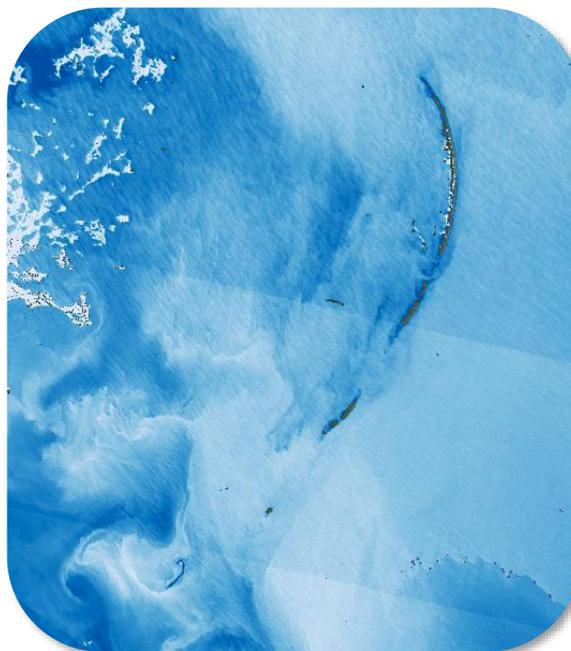


NDAVI – Un Índice Espectral Útil para el Monitoreo de Hierbas Marinas

Banda Infrarroja Cercana



Banda Azul



+

=

Vegetación Acuática



Primavera 2019 sobre la bahía de Chandeleur

NDAVI



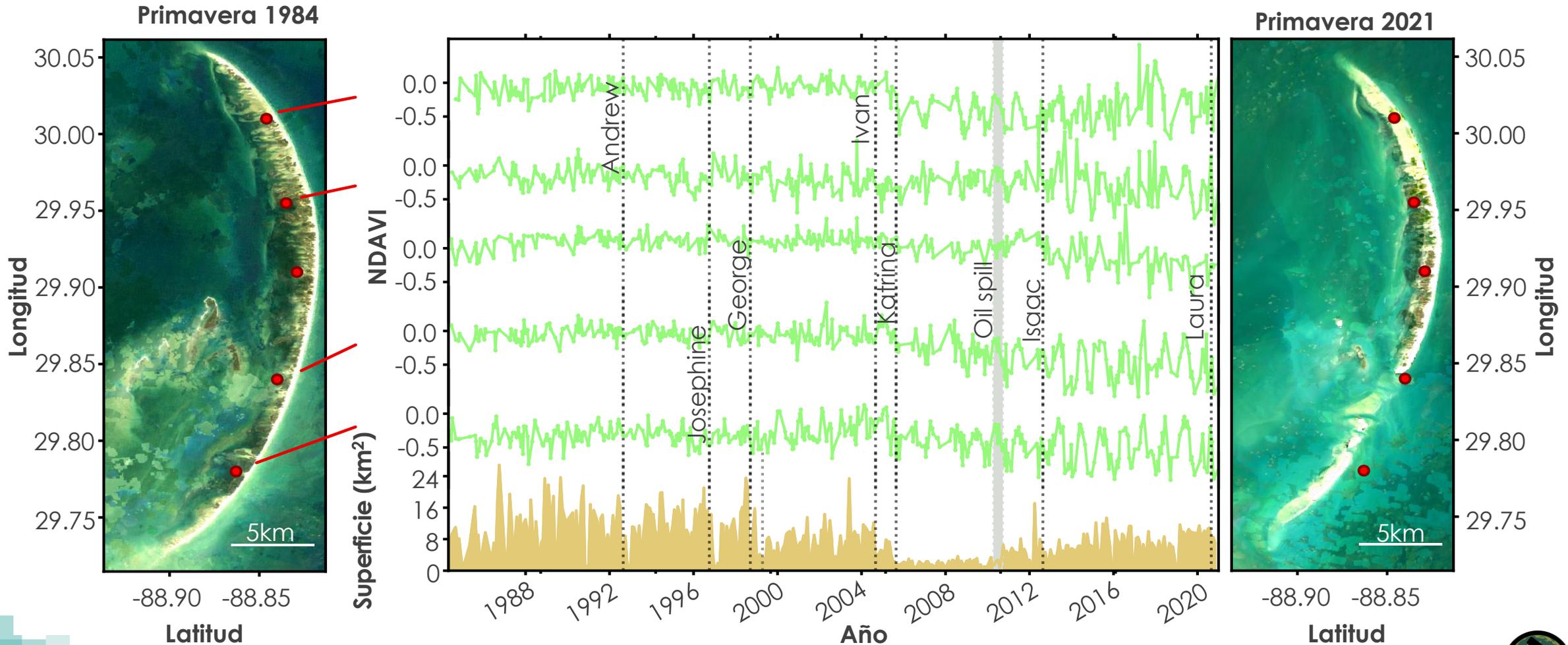
$$\text{Normalized Difference Aquatic Vegetation Index} = \frac{\text{NIR} - \text{Blue}}{\text{NIR} + \text{Blue}}$$

Índice de Vegetación Acuática de Diferencia Normalizada = (IR cercano – Azul) / (IR cercano + azul)



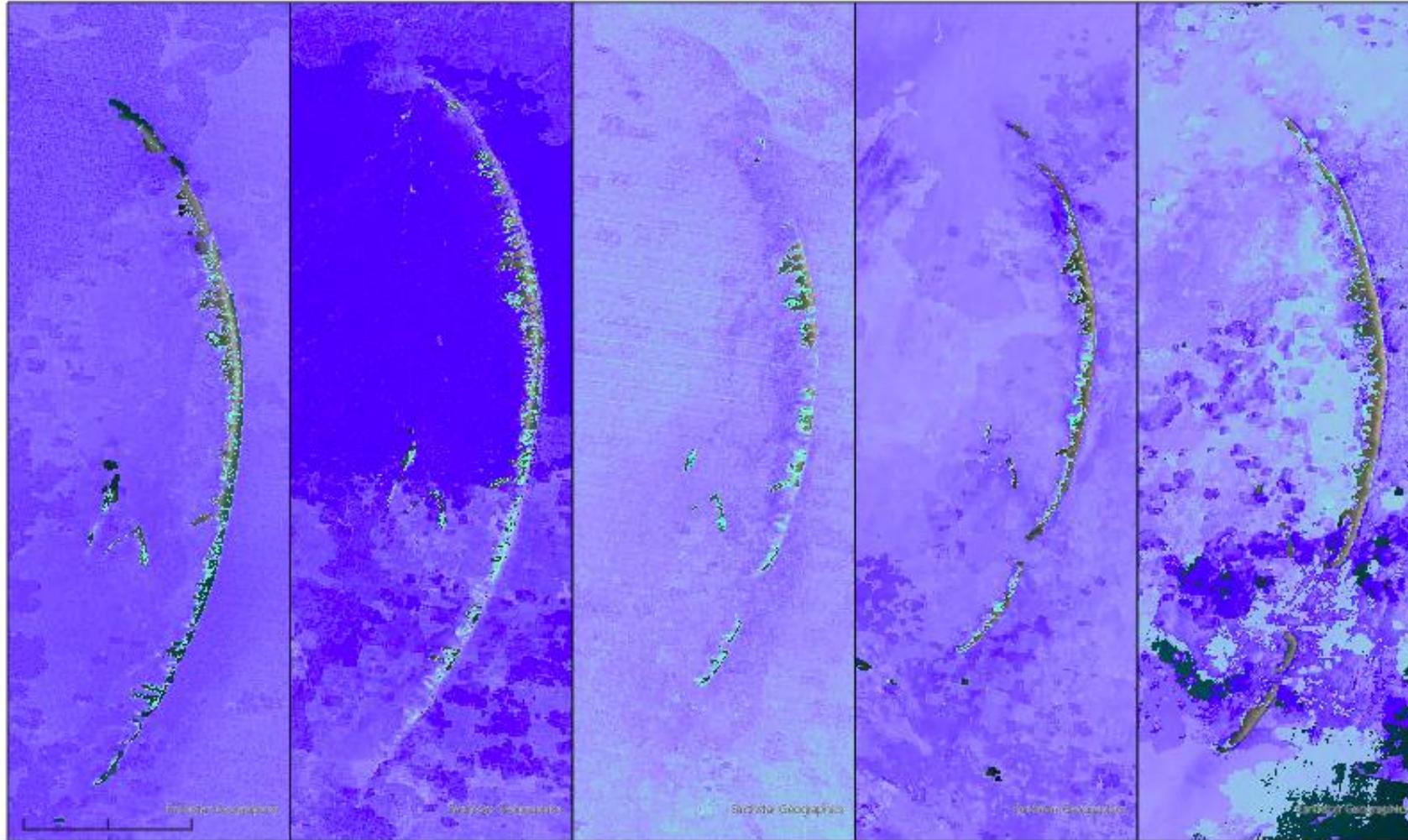
El NDAVI Seguirá los Efectos de Eventos Climáticos/Humanos en las Hierbas Marinas

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

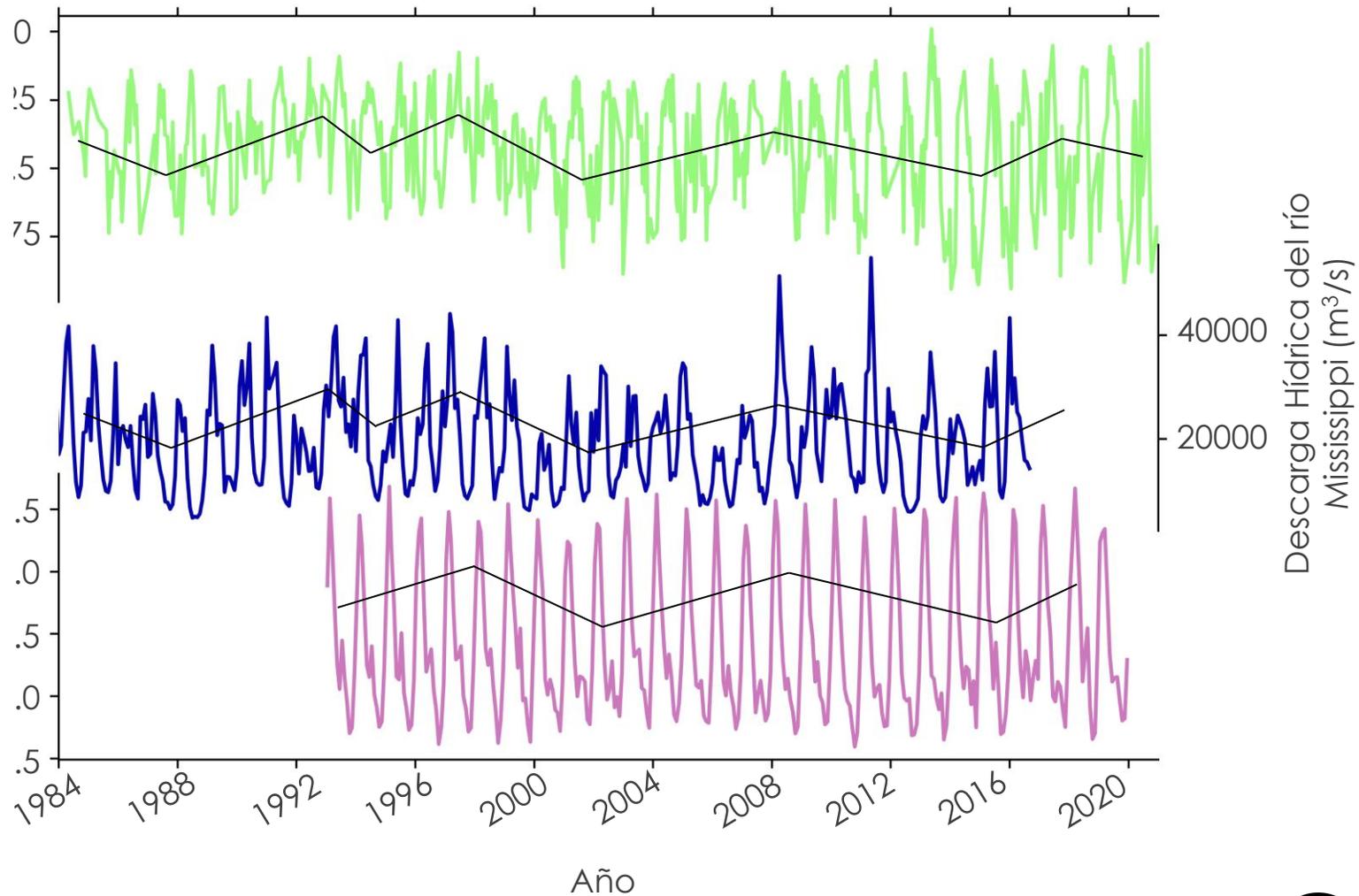
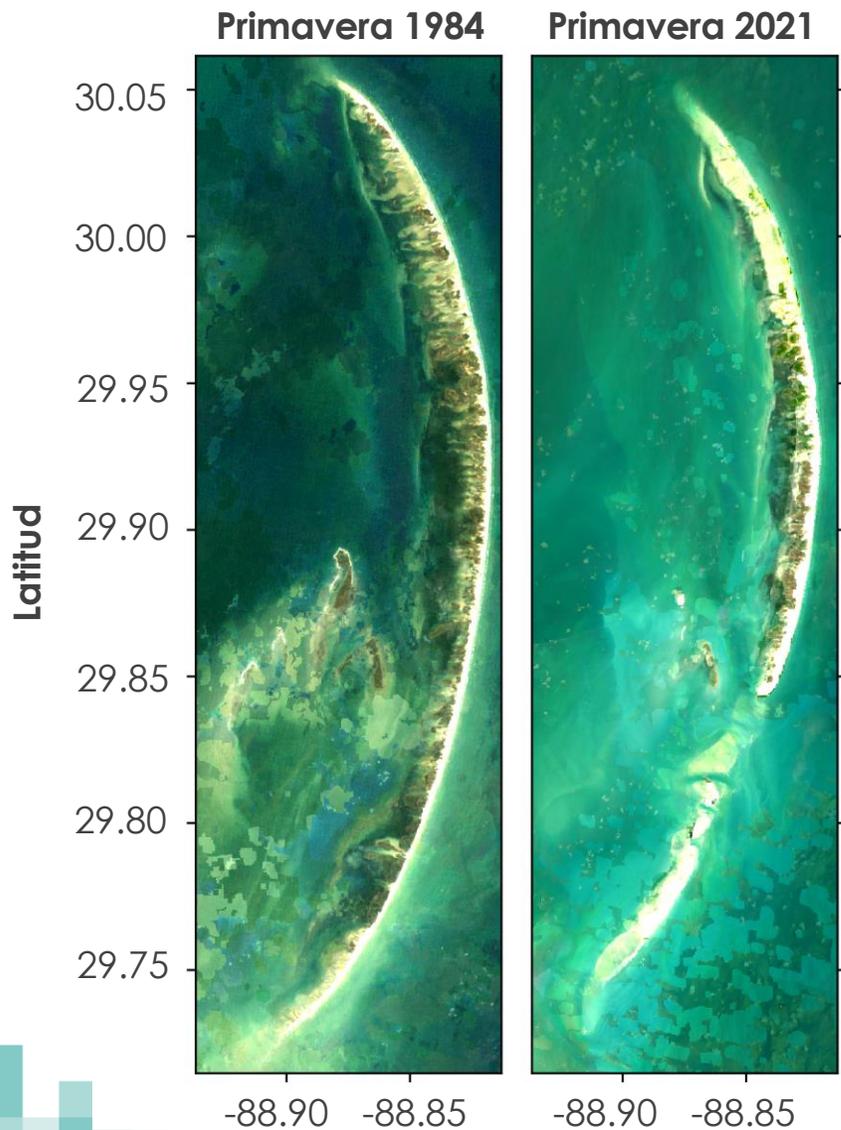


El NDAVI Seguirá los Efectos de Eventos Climáticos/Humanos en las Hierbas Marinas

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



Para Concluir

- La precisión del mapeo de hierbas marinas y otra vegetación acuática sumergida (SAV) dependerá de factores metodológicos como el uso de un algoritmo de corrección de la columna de agua apropiado, la corrección de la cobertura de nubes y la incorporación de otras consideraciones físicas, biológicas, químicas y geológicas en el análisis.
- A pesar de algunos esfuerzos a nivel local o regional, las bibliotecas espectrales de SAV aún son limitadas y necesitan ser expandidas. Estas también deben incluir datos que incorporen la presencia/ausencia de epibiontes y cómo se ven afectadas las firmas espectrales.
- Existe la necesidad de estandarizar los métodos de recolección de espectros de campo.
- Los datos satelitales actuales se pueden usar para el mapeo de la SAV en diferentes niveles, pero la incorporación de nuevas imágenes hiperespectrales basadas en satélites o desde el aire con resoluciones espaciales mayores puede resultar útil al mapear diferentes especies de SAV y otros componentes bentónicos.



Contactos

- Contactos de ARSET
 - Amber McCullum: AmberJean.Mccullum@nasa.gov
 - Juan Torres-Pérez: juan.l.torresperez@nasa.gov
- Página de ARSET:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/what-we-do/capacity-building/arset>

Consulte nuestros programas hermanos:



Síguenos en Twitter
[@NASAARSET](https://twitter.com/NASAARSET)





¡Gracias!

