



Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez

Análisis de Detección de Cambios en Praderas Marinas Mediante Teledetección en La Parguera,
P.R.

Darimar Dávila Ortiz
Karen Santana González
GEOL 6991

Introducción

Las comunidades de yerbas marinas son ecosistemas con una alta productividad primaria, son hábitat y viveros para muchos organismos marinos (Zieman, 1989). Además, secuestran una alta cantidad de carbono, estabilizan el sedimento y ayudan a atenuar el efecto de las olas (Fourqurean et al., 2012). La distribución de yerbas marinas puede ser afectada por diferentes factores ambientales como la disponibilidad de luz, la temperatura, tipos de sustrato, salinidad, turbidez, entre otras cosas. Recientemente, se ha visto que la acumulación de sargazo en la costa ha estado impactando ecosistemas de yerbas marinas en regiones del Caribe como lo es México (van Tussenbroek et al., 2017).

El sargazo es una macroalga marrón que se desplaza con las corrientes oceánicas y no se adhiere al sustrato. Desde el 2011 ha habido un aumento en la llegada y acumulación de sargazo en las regiones costeras de Puerto Rico (Johns et al., 2020). A pesar de que el sargazo es considerado un hábitat dinámico e importante para especies de tortugas, peces, cangrejos y otros invertebrados, ha traído muchos impactos negativos para ecosistemas como las yerbas marinas, los mangles y arrecifes de coral (van Tussenbroek et al., 2017). Cuando estas grandes cantidades de sargazo se acumulan en la costa, comienzan a crear una acumulación de sargazo descompuesto que produce condiciones hipóxicas y alteraciones de pH y niveles de nutrientes. Se cree que esto potencialmente está afectando las praderas de yerbas marinas (van Tussenbroek et al., 2017).

La percepción remota permite observar las comunidades de yerbas marinas y detectar cambios en su cobertura a través del tiempo (Hossain, Bujang, et al., 2015a, 2015b) de una manera costo efectiva. En la literatura existente se puede encontrar más información sobre los impactos del sargazo en ecosistemas marinos, sin embargo, hay una escasez de estudios locales y detallados que cuantifiquen el cambio en cobertura de yerbas marinas en esta región y periodo de tiempo (Hernández & Morell, 2020). En este estudio se intentó identificar cambios en cobertura de yerbas marinas utilizando imágenes de satélite de Landsat 7 y Landsat 8 en áreas de acumulación de sargazo. Para esto se exploró la herramienta de Change Detection Wizard de la plataforma de ArcGIS Pro (ESRI, 2024).

Objetivos

En este trabajo se utilizó ArcGIS Pro para determinar áreas de cobertura de yerbas marinas en La Parguera, P.R. Se compararán los cambios en el área de cobertura de las yerbas marinas en los años 2010 y 2023 en La Parguera. Las imágenes que serán utilizadas para realizar este análisis se obtendrán del sitio web *EarthExplorer* del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Se evaluará cuál de los métodos de clasificación de ArcGIS Pro funciona mejor para trabajos de esta índole.

Metodología

Las imágenes de satélite utilizadas para esta tarea se descargaron del sitio web *EarthExplorer*. La imagen del 25 de noviembre de 2010 proviene del sensor ETM+ del satélite Landsat 7. La imagen del 7 de diciembre de 2023 proviene del sensor OLI del satélite Landsat 8. Ambas fotografías tenían una resolución espacial de 30 metros, que se convirtió a una resolución de 15 metros en ArcGIS Pro utilizando las bandas pancromáticas. En ArcGIS Pro se agregó la conexión a la carpeta que contenía las imágenes satelitales de la parte suroeste de Puerto Rico. Al abrir los archivos de las bandas 2, 3, 4, 5 y 8 de la imagen de 2010, fusionamos las primeras cuatro bandas. En el área de Análisis, se seleccionó la herramienta *Raster Functions* para unir las bandas. En la sección de *Data Management*, se seleccionó la herramienta de Bandas Compuestas y luego se eligieron las bandas 2, 3, 4 y 5 para crear un nuevo *shapefile*. En *Raster Functions* seleccionamos la herramienta Pansharpen que se encuentra bajo de la sección de *Appearance* para lograr crearle una resolución más alta (15 m) a la imagen usando el *shapefile* creado anteriormente y el archivo de la banda 8 - pancromática. Este proceso se repitió utilizando la imagen del 2023.

En la pestaña *Imagery*, en el área de Clasificación de Imágenes, seleccionamos las herramientas de Clasificación y luego abrimos la herramienta *Training Sample Manager*. El siguiente paso fue crear las clases que habíamos decidido hacer previamente: Océano, Arena, Vegetación, Tierra y Sargazo. Usando la herramienta de polígonos, recopilamos varias muestras para cada una de las clases y guardamos cada muestra de entrenamiento. Las muestras de entrenamiento se guardaron como un nuevo archivo para luego usarlas con las distintas imágenes a las que queríamos realizar clasificación supervisada. Usando la herramienta *Classification Wizard*, que se encuentra en la pestaña *Imagery*, seleccionamos la clasificación Supervisada con un método basado en píxeles y utilizamos las muestras de entrenamiento realizadas previamente para crear las imágenes clasificadas. Usando nuevamente el *Classification Wizard*, seleccionamos la opción de clasificación No Supervisada con un método basado en píxeles y el esquema predeterminado. Finalmente, se eligió el método IsoCluster con 10 clases antes de procesar la imagen. Estos procesos para crear las imágenes de clasificación tanto Supervisadas y No Supervisadas se realizaron de la misma manera para las imágenes de ambos años.

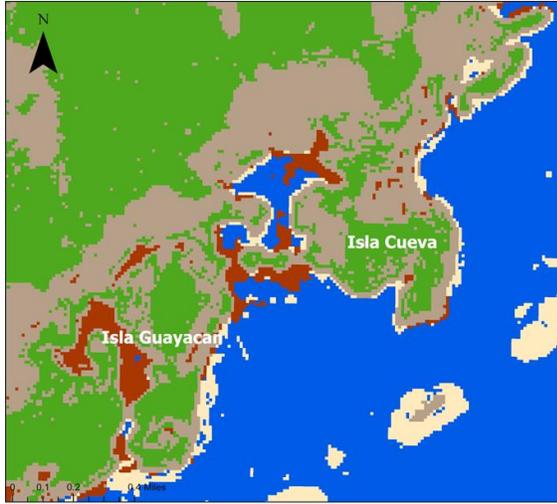
Por último, se seleccionaron las imágenes clasificadas previamente como entrada para el análisis de cambio utilizando la herramienta de Change Detection Wizard. Para esto, se eligió la opción de detección de cambios basada en píxeles para comparar las coberturas de las distintas clases (océano, arena, vegetación, tierra y sargazo) entre ambos años. Finalmente, la herramienta generó un mapa de cambio que permitió identificar las áreas con variaciones significativas en las coberturas, destacando los impactos recientes del sargazo y otros cambios en el ecosistema costero.

Resultados y Discusión

Las imágenes satelitales usadas en este estudio fueron procesadas utilizando distintos tipos de clasificación de clases para observar mejor los cambios ocurridos en las costas entre los años 2010 y 2023. Se utilizaron dos herramientas distintas de ArcGIS Pro para llevar a cabo los análisis en las imágenes. Las herramientas utilizadas fueron el *Classification Wizard* y el *Change Detection Wizard*. En el *Classification Wizard* se usaron dos métodos distintos de clasificación, clasificación supervisada, y clasificación no supervisada. Ambos métodos se realizaron a base de píxeles.

Classification Wizard

Analizando las imágenes resultantes de clasificación Supervisada podemos notar que en la del 2023 se puede observar más arena en las costas de la Isla Guayacán e Isla Cueva que en la del 2010. En la imagen del 2010 se observa sargazo en las costas, más que en el 2023. Esto es un error de la clasificación ya que gracias a investigaciones previas sabemos que en esa área aún no había tanta cobertura de sargazo ya que la invasión de sargazo en costas del Caribe ocurrió en el año 2011 (Louime, et al., 2017). La imagen del 2023 muestra sargazo mayormente alrededor de la Isla Guayacán y en ciertas partes del oeste de Isla Cueva, esto es más parecido a lo que realmente está ocurriendo. Cuando observamos las imágenes resultantes de la clasificación No Supervisada se puede observar en la imagen del 2010 que las dos clases que dominan la imagen es Océano profundo y Arena. La mayor parte de la isla, donde hay vegetación, fue clasificada como océano profundo mientras que el área de océano llano fue clasificada como arena. En algunas partes de la costa también se identificó sargazo lo que como mencionamos previamente no debería encontrarse durante este tiempo (Louime, et al., 2017). Observando la imagen del 2023 notamos que está clasificada con menos errores que la imagen anterior. La vegetación, océano llano y arena están mejor identificados. También se observa sargazo en lugares donde se esperaría que hubiera. Luego de comparar las imágenes de clasificación Supervisada y No Supervisada de los años 2010 y 2023 se determinó que las imágenes de clasificación supervisada mostraron resultados más relevantes para los análisis que queríamos realizar en este trabajo.

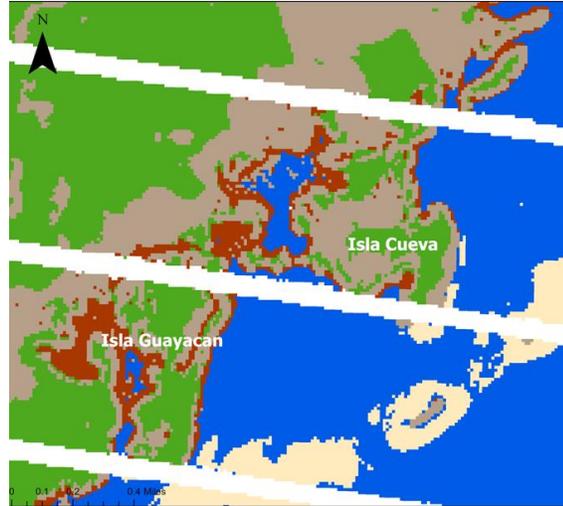


Legend

2023Sup.tif

Class_name

- Oceano
- Tierra
- Vegetacion
- Arena
- Sargazo

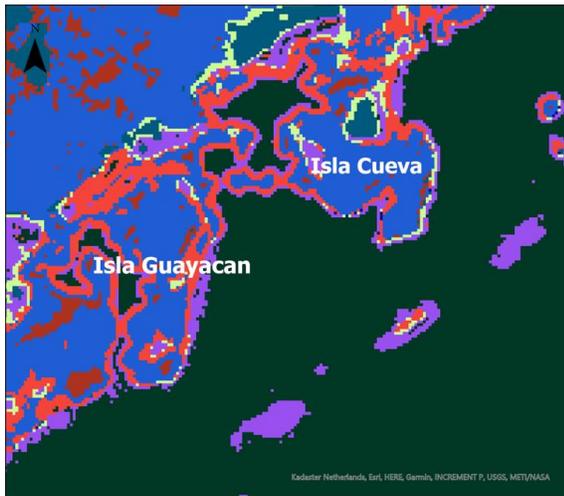


Legend

2010Sup.tif

Class_name

- Oceano
- Tierra
- Vegetacion
- Arena
- Sargazo

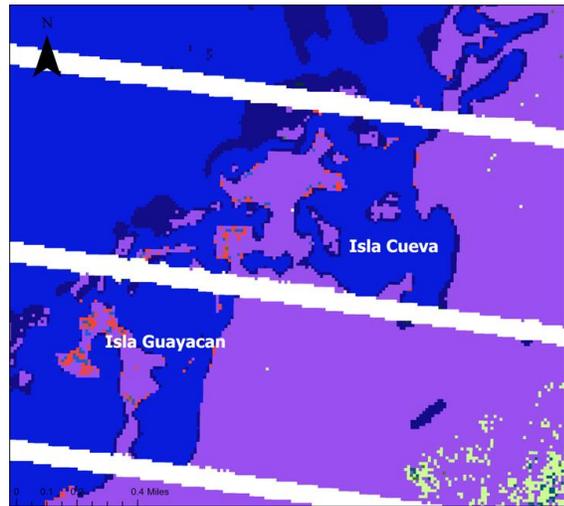


Legend

Clas2023Unsup.tif

Class_name

- Nubes
- Oceano Llano
- Vegetacion
- Bare ground
- Veg/Marron/Sargazo
- Nubes
- Oceano Profundo
- Vegetacion Densa
- Pinnac Medis



Legend

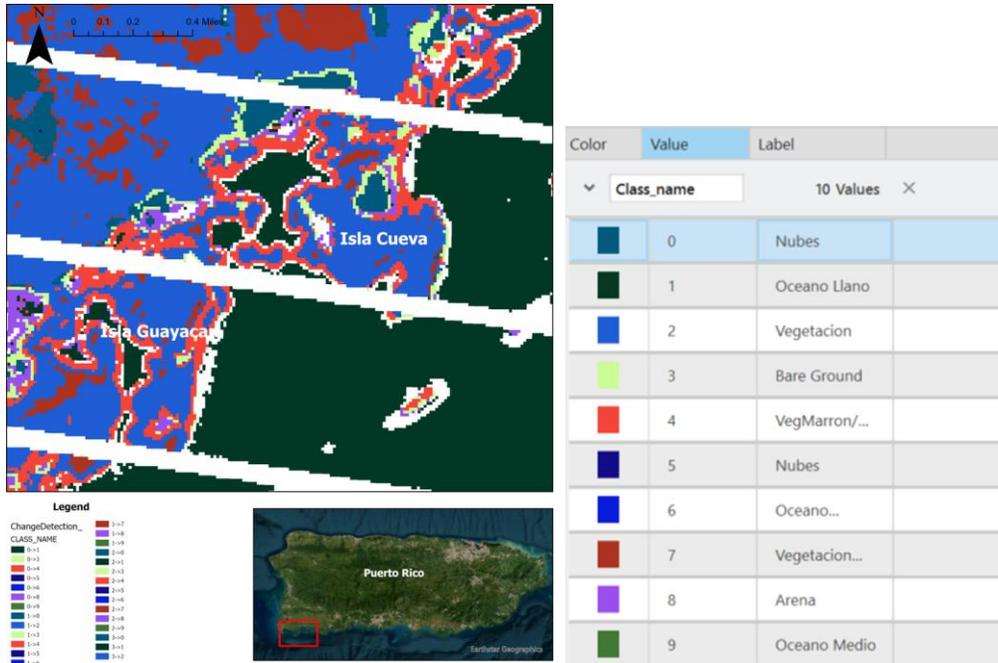
Clas2010Unsup.tif

Class_name

- Nubes
- Oceano Llano
- Vegetacion
- Bare ground
- Veg/Marron/Sargazo
- Nubes
- Oceano Profundo
- Vegetacion Densa
- Pinnac Medis



Change Detection Wizard



La imagen resultante del *Change Detection Wizard* muestra un análisis de detección de cambios basado en las coberturas entre dos imágenes satelitales clasificadas (2010 y 2023). Cada color en la imagen representa un cambio específico en las clases identificadas (por ejemplo, océano, arena, vegetación, sargazo), y los códigos de la leyenda indican la transición de una clase a otra (por ejemplo, "0->1" puede representar un cambio de océano a arena).

Las transiciones más relevantes en términos de área incluyen:

Clase	Posible razón	Área
3->6 (Bare Ground a Océano profundo)	Esto pudiera representar errores en la clasificación, interferencias en las imágenes satelitales, mala representación en las muestras de entrenamiento, propiedades ópticas del agua como la turbidez, reflexión del sol, entre otros.	4,068,532,125 unidades
9->6 (Océano Medio a Océano Profundo)	También pudiera ser por propiedades del agua como	3,520,753,650

	turbidez, cambios en sedimentos, oleajes, etc.	
4->6 (Sargazo a Océano Profundo)	Desplazamiento de sargazo o errores espectrales	2,829,099,375
No change	Una porción significativa de la imagen analizada no experimento cambios detectables durante el periodo de estudio.	1,018,151,100

Transiciones asociadas al sargazo y la arena:

Clase	Posibles Razones	Area
8->4 (Arena a Sargazo)	Lugares donde había arena clara en el fondo ahora tienen sargazo acumulado.	6,171,525
9->8 (Océano Medio a Arena)	Lugares donde el agua era oscura (quizás por presencia de yerbas) ahora es arena por su ausencia.	36,385,200
9->4 (Océano Medio a Sargazo)	Lugares donde tal vez ahora hay presencia o acumulación de sargazo.	3,539,925
6->4 (Océano Profundo a Sargazo)	Estas clases representan clases que pudieran tener pixeles similares y que pudieran haberse confundido. En un análisis más exhaustivo se pudieran evaluar estas clases más a fondo.	137,907,900
6->7 (Océano profundo a Vegetación)		674,130,375
1->7 (Océano llano a vegetación)		6,532,200
1->4 Océano llano a Sargazo		1,602,000
1->8 Océano llano a Arena		1,409,175

Conclusiones

El análisis realizado mediante herramientas de teledetección como Classification Wizard y Change Detection Wizard en ArcGIS Pro permitió identificar solo algunos cambios en las coberturas de las praderas marinas y ecosistemas costeros de La Parguera, Puerto Rico, entre los años 2010 y 2023. No se logró el objetivo de identificar cambios significativos en cobertura de yerbas marinas debido a que se necesitarían imágenes de satélite con mayor resolución.

A pesar de que la clasificación supervisada presentó una mayor precisión en la diferenciación de clases como arena, vegetación y sargazo, los métodos no supervisados también aportaron información relevante sobre patrones de cambio. Sin embargo, algunos errores de

clasificación y transiciones inesperadas resaltan la necesidad de utilizar imágenes satelitales con mayor resolución y complementar estos análisis con observaciones de campo para validar los resultados.

En general, los hallazgos reflejan la utilidad de las herramientas de detección de cambios y clasificación en la evaluación de dinámicas ecosistémicas complejas, destacando cómo el sargazo y otros factores ambientales están afectando los ecosistemas costeros. Sin embargo, se identificaron muchas limitaciones, particularmente la necesidad de utilizar imágenes de satélites de alta resolución, lo que restringió la capacidad de detectar cambios sutiles en la cobertura de yerbas marinas. Las transiciones de clases donde hubo mayor cambio no fueron las esperadas y es posible que sean resultado de errores, cambios en las propiedades del agua, baja resolución espacial, entre otras cosas. Además, las clases relacionadas con el sargazo y los diferentes fondos marinos (arena y yerbas marinas) mostraron algunos cambios esperados como 8>4 (Arena a Sargazo) pero muchos datos pudieron haberse confundido en la clasificación. Aunque se observaron cambios importantes, como la acumulación de sargazo y las dinámicas de la línea costera, es necesario un refinamiento en los métodos y las fuentes de datos para mejorar la precisión.

Recomendaciones

Para futuros trabajos, recomendamos realizar este tipo de análisis utilizando imágenes satelitales con una mayor resolución espacial, lo que permitiría una identificación más precisa de los cambios en las coberturas. Además, sería valioso explorar otros métodos de clasificación, como la clasificación basada en objetos (object-based classification), que podría mejorar la interpretación de los datos en áreas complejas. También sugerimos probar diferentes métodos de detección de cambios, como el image differencing, para complementar los resultados obtenidos.

Otro aspecto importante para considerar es la incorporación del cálculo de porcentajes de error y métricas de validación para las clasificaciones realizadas, lo que ayudaría a evaluar la precisión y confiabilidad de los resultados. Estas mejoras garantizarían análisis más robustos y facilitarían la toma de decisiones informadas en la conservación de ecosistemas costeros.

Referencias

- Bauer, L. J., Kimberly, E., Roberson, K. K. W., Kendall, M. S., Tormey, S., & Timothy A. Battista. (2012). Shallow-Water Benthic Habitats of Southwest Puerto Rico. NOAA Technical Memorandum NOAA NOS NCCOS, 155, 37.
http://aquaticcommons.org/14709/1/SWPR_mapping_final_report_tagged.pdf
- ESRI. (2024, December 11). *The Change Detection Wizard*. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/image-analyst/the-change-detection-wizard.htm>
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., Apostolaki, E. T., Kendrick, G. A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K. J., & Serrano, O. (2012a). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, 5(7), 505–509. <https://doi.org/10.1038/ngeo1477>
- Franks, J., Jhonson, D., Ko, D., Sanchez-Rubio, G., Hendon, J., & Lay, M. (2012). Unprecedented influx of pelagic Sargassum along Caribbean Island coastlines during summer 2011. Proceedings of the 64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute, November 8. http://www7320.nrlssc.navy.mil/IASNFS_WWW/.
- Hernandez, W. J., & Morell, J. (2020). *Final Report: Very High-Resolution Satellite Imagery and Drone Surveys to Quantify Sargassum Impacts to the Coastal Vegetation and Benthic Habitats in La Parguera Marine Reserve*. www.caricoos.org
- Hossain, M. S., Bujang, J. S., Zakaria, M. H., & Hashim, M. (2015a). Application of Landsat images to seagrass areal cover change analysis for Lawas, Terengganu and Kelantan of Malaysia. *Continental Shelf Research*, 110, 124–148.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.10.009>
- Hossain, M. S., Bujang, J. S., Zakaria, M. H., & Hashim, M. (2015b). The application of remote sensing to seagrass ecosystems: an overview and future research prospects. *International Journal of Remote Sensing*, 36(1), 61–114. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.990649>
- Johns, E. M., Lumpkin, R., Putman, N. F., Smith, R. H., Muller-Karger, F. E., T. Rueda-Roa, D., Hu, C., Wang, M., Brooks, M. T., Gramer, L. J., & Werner, F. E. (2020). The establishment of a pelagic Sargassum population in the tropical Atlantic: Biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event. *Progress in Oceanography*, 182(January), 102269. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102269>
- Lopez, C. B., Dortch, Q., Jewett, E. B., & Garrison, D. (2008). Scientific assessment of marine harmful algal blooms. Interagency Working Group on Harmful Algal Blooms, Hypoxia, and Human Health, December, 62.
- Louime, C., Fortune, J., & Gervais, G. (2017). Sargassum Invasion of Coastal Environments: A Growing Concern. *American Journal of Environmental Sciences*, 13(1), 58–64.
<https://doi.org/10.3844/ajessp.2017.58.64>

Otero, E., Detres, Y., Armstrong, R., Williams, S., & Hernandez, W. (2015). Integration of Field, Aerial Photography and Water Quality Measurements for the Assessment of Anthropogenic Impacts and Stressors in Southern Puerto Rico (Issue January).

Tracey Saxby, Integration and Application Network (ian.umces.edu/media-library).

van Tussenbroek, B. I., Hernández Arana, H. A., Rodríguez-Martínez, R. E., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H. M., González-Godoy, C. E., Barba-Santos, M. G., Vega-Zepeda, A., & Collado-Vides, L. (2017). Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057>

Zieman, J. C., Fourqurean, J. W., & Iverson, R. L. (1989). DISTRIBUTION, ABUNDANCE AND PRODUCTIVITY OF SEAGRASSES AND MACROALGAE IN FLORIDA BAY. In *BULLETIN OF MARINE SCIENCE* (Vol. 44, Issue 1).