

# Análisis de Imágenes de los Plumachos y de los Sedimentos en Áreas Costeras de Puerto Rico

Carlo Angleró, Jorge E<sup>1</sup>; Rivera Maldonado, Niwde M<sup>2</sup>; y Pérez Cuesta, John D<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geología, <sup>2</sup>Departamento de Física

Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez

## Resumen

Los sedimentos transportados por los ríos representan un componente esencial tanto en los ecosistemas de los ríos como en la influencia de estos en el área donde se encuentren, además de su efecto en su desembocadura y en el de su valle aluvial. Con el objetivo de comparar los tamaños de los plumachos de ríos en las costas de Puerto Rico, se procesaron imágenes de OLI y Sentinel-2. Los ríos que se estuvieron trabajando a través de la investigación lo fueron: Río Culebrinas, Río Grande de Añasco, Río Guanajibo, Río Camuy, Río Cocal, Río Cibuco, Desembocadura del Río Hondo y Río Bayamón, Río Pitahaya y Río Mameyes. Por ende, se utilizó la plataforma de ENVI para estudiar los cambios en el tamaño del plumacho de varios ríos ubicados en las regiones oeste y norte de Puerto Rico. Los datos del área se obtuvieron al aplicar dos métodos: el primer método consistió en el trazo de unos polígonos en base a lo que se consideró parte del plumacho. En cambio, el segundo método consistió en aplicar la clasificación supervisada de *Minimum Distance* a las imágenes en base a las regiones de entrenamiento: Menor concentración (de sedimentos), Mayor concentración (de sedimentos) y Agua.

**Palabras clave:** Plumachos, Sedimentos, ENVI

## Introducción

El agua líquida es el agente principal de la erosión en el planeta Tierra. Los ríos probablemente son el ejemplo mejor conocido. El sedimento transportado por los ríos es un componente importante en el ecosistema del río y de ecosistemas influenciados por el río, como el

del cuerpo de agua en el que desemboca y en el de su valle aluvial. La cantidad de sedimentos transportados por los ríos puede verse afectada por la actividad humana de varias formas, lo cual es causa de preocupación. Por un lado, la proliferación de superficies poco permeables y el pobre manejo de suelos puede aumentar la cantidad de sedimento que llega a los ríos. Por otro lado, las represas y la extracción del agua pueden disminuir el sedimento que alcanza la desembocadura. Es un tema que debe ser estudiado por muchos ángulos para entender su importancia y las consecuencias que la actividad humana puede tener por esta vía.

Para la comprensión del comportamiento de los ríos y sus plumachos, es importante conocer su origen geográfico y el lugar de su desembocadura. Por ende, es importante saber que la mayor parte de los ríos de nuestra isla nacen en la Cordillera Central, y es ahí donde se forman las cuatro vertientes principales, siendo estas: la del Norte o Atlántico, la vertiente del Este o del Pasaje de Vieques, la del Sur o del Mar Caribe, y por último, la del Oeste o del Paso de la Mona. Cada una se distingue por las características de su región; en la vertiente del Norte la gran cantidad de precipitación hacen que esta vertiente sea la más significativa en abundancia. De igual manera, en la vertiente del Este, la topografía del área causa que los ríos sean más cortos y se muevan entre los valles. A diferencia del Sur, los cuales a pesar de que los ríos son más cortos que los del Norte, la precipitación es escasa, por lo cual los caudales son de menor tamaño o se encuentran secos. También, está la vertiente del Oeste, los cuales se distinguen por ser extensos y con caudales de tamaño significativo debido al microclima del área (se desarrollan aguaceros de manera frecuente). Los ríos que se estuvieron trabajando a través de la investigación lo fueron: Río Culebrinas, Río Grande de Añasco, Río Guanajibo, Río Camuy, Río Cocal, Río Cibuco, Desembocadura del Río Hondo y Río Bayamón, Río Pitahaya y Río Mameyes.

Adicionalmente, los sensores utilizados en la investigación son el Operational Land Imager (OLI) y Sentinel-2. El OLI es un instrumento de percepción remota, que se encuentra a bordo del Landsat 8 y se lanzó el 11 de febrero de 2013. Por otra parte, el Sentinel-2 cuenta con una cámara multiespectral de alta resolución, con 13 bandas espectrales y es parte del programa Copernicus, de la Comisión Europea. Este último, comenzó el 23 de junio de 2015 a completar sus funciones, hasta la llegada de su último lanzamiento o toma de imágenes la cual fue el 7 de marzo de 2017. Ambos sensores, nos permiten observar con buena resolución los plumachos de los ríos para medir el área de los mismos utilizando dos metodologías diferentes. La primera metodología, se basa en la medición del plumacho mediante la observación (donde se ve el sedimento y hasta dónde llega), mientras que en la segunda metodología es el programa de ENVI el que calcula los datos de área.

### **Áreas de estudio**

1. Río Culebrinas ( $18^{\circ}24'22.02''N, 67^{\circ}10'38.30''W$ )
2. Río Grande de Añasco ( $18^{\circ}15'58.93''N, 67^{\circ}11'19.31''W$ )
3. Río Guanajibo ( $18^{\circ}10'6.02''N, 67^{\circ}10'52.19''W$ )
4. Río Camuy ( $18^{\circ}29'15.15''N, 66^{\circ}50'11.78''W$ )
5. Río Cocal ( $18^{\circ}28'4.76''N, 66^{\circ}11'53.13''W$ )
6. Río Cibuco ( $18^{\circ}29'8.72''N, 66^{\circ}22'42.51''W$ )
7. Desembocadura del Río Hondo y Río Bayamón ( $18^{\circ}27'10.96''N, 66^{\circ}9'43.69''W$ )
8. Río Pitahaya ( $18^{\circ} 22' 19.8'' N, 65^{\circ} 42' 38.6'' W$ )
9. Río Mameyes (..)

## Objetivo

Comparar los tamaños de los plumachos de ríos en las costas de Puerto Rico a través de los dos métodos.

## Metodología

Las imágenes que fueron seleccionadas para este estudio fueron capturadas por OLI de Landsat 8 y Sentinel-2, ambas de nivel 1 de preprocesamiento. Cabe señalar que el preprocesamiento de las imágenes tuvo la finalidad de corregir la influencia atmosférica. Primero, se aplicó una corrección atmosférica en base a la herramienta *Dark Subtract*. El producto de este procesamiento fue verificado con el cursor value, con tal de corroborar de que los valores de las bandas disminuyeron. Una vez se verificó todas las correcciones se realizaron múltiples subsets en cada imagen con la herramienta *Resize Data*.

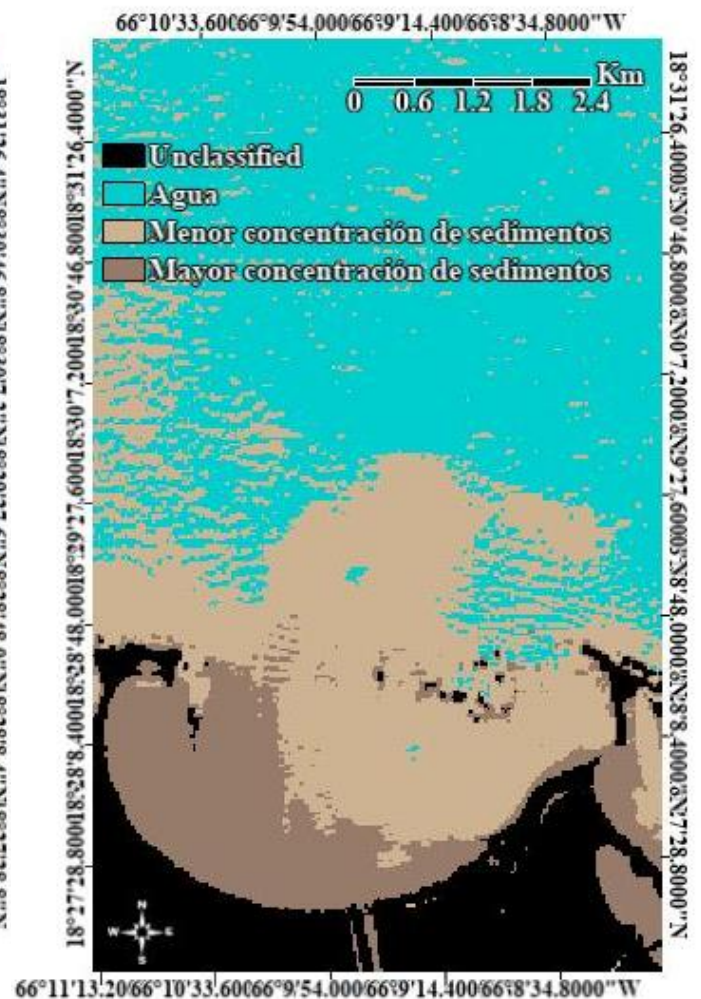
De antemano se aclara que el preprocesamiento de las imágenes fue el mismo, pero se utilizaron dos métodos para adquirir las medidas de los plumachos de ríos en Puerto Rico. El primer método consistió en el trazo de unos polígonos en base a lo que los investigadores consideraban como parte del plumacho. A partir de dichos polígonos se obtuvieron las medidas de área (km<sup>2</sup>) con la herramienta *Mensuration*, las cuales fueron tabuladas para sus respectivas fechas. Por otro lado, el segundo método consistió en aplicar la clasificación supervisada de *Minimum Distance* a las imágenes en base a las siguientes regiones de entrenamiento: *Menor concentración (de sedimentos)*, *Mayor concentración (de sedimentos)* y *Agua*. Es de suma importancia reconocer que la clasificación se aplicó utilizando las bandas del rojo y el infrarrojo cercano, ya que son en estas dos bandas donde se experimenta la mayor reflexión de radiación electromagnética. Además,

se aplicó una máscara en las nubes y en la tierra para presentar solamente el plumacho del río y el agua. Por último, se aplicaron nuevos polígonos a los resultados de la clasificación supervisada a fin de medir las áreas ( $\text{km}^2$ ) de los plumachos con la herramienta *Mensuration*.

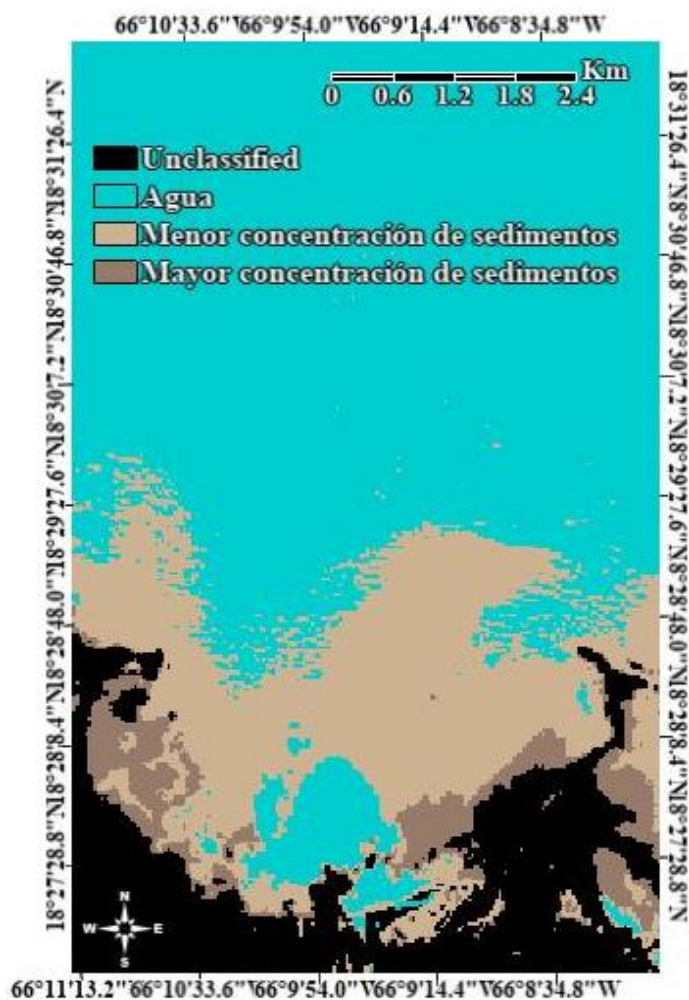
## Resultados



**Figura A.1:**  
Desembocadura del Río  
Hondo y Río Bayamón  
16/oct/2016



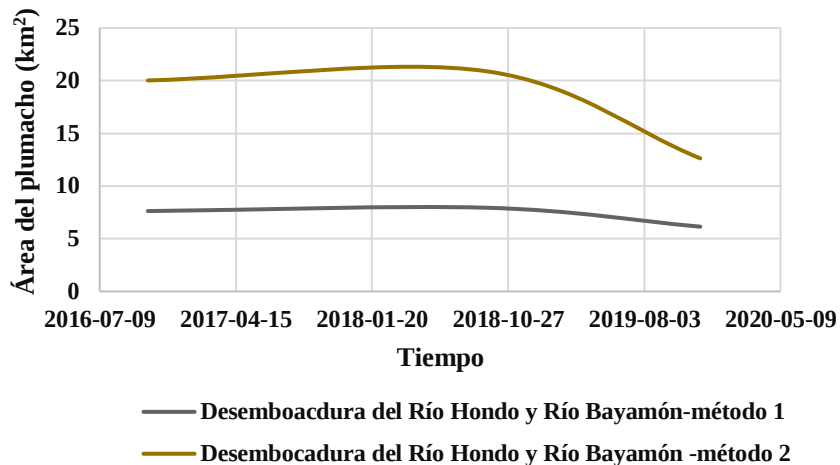
**Figura A.2:**  
Desembocadura del Río  
Hondo y Río Bayamón  
9/ dic/ 2018



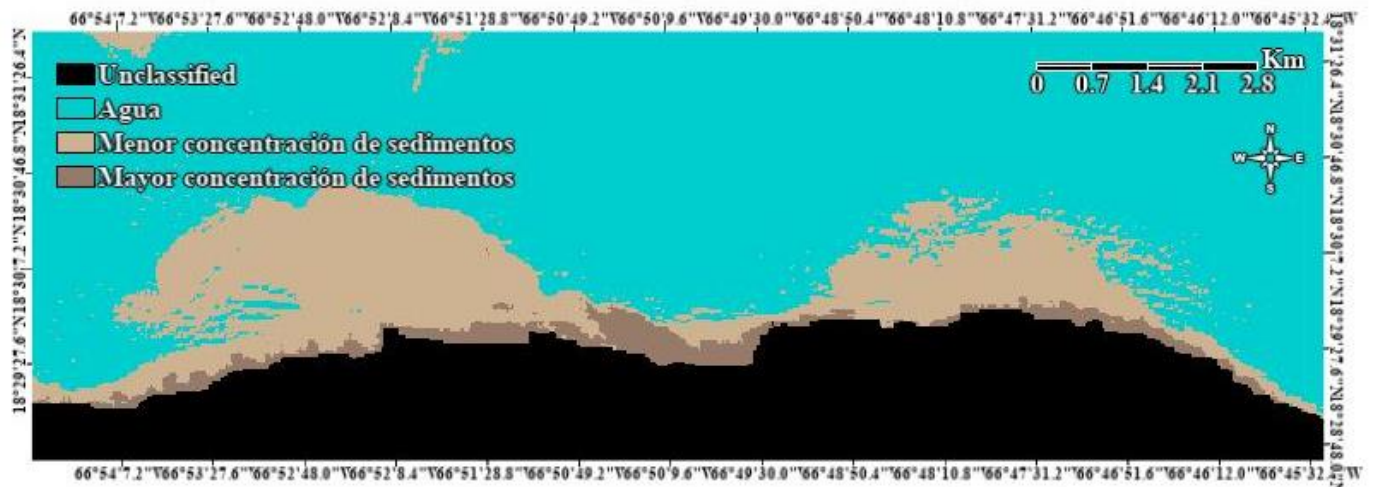
**Figura A.3:**  
Desembocadura del Río  
Hondo y Río Bayamón  
26/ nov/ 2019

**Tabla A.1** Medidas para la desembocadura del Río Hondo y Río Bayamón

| Fecha      | Método 1 (Km <sup>2</sup> ) | Método 2 (Km <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2016-10-16 | 7.6231                      | 20.0152                     |
| 2018-09-12 | 7.9389                      | 20.8914                     |
| 2019-11-26 | 6.1439                      | 12.6248                     |



**Figura A.4:** Diferencia entre las mediciones  
del plumacho de la desembocadura del Río  
Hondo y Río Bayamón



**Figura B.1:** Río Camuy  
16/oct/2016



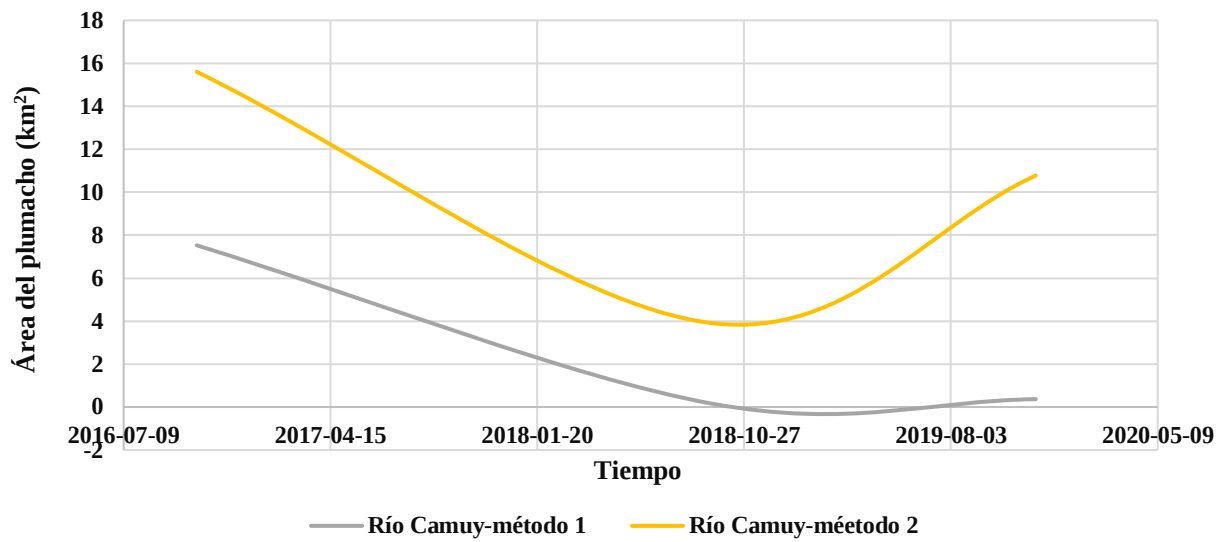
**Figura B.2:** Río Camuy  
9/dic/2018



**Figura B.3:** Río Camuy  
26/nov/2019

**Tabla B.1** Medidas para el plumacho del Río Camuy

| Fecha      | Método 1 (km <sup>2</sup> ) | Método 2 (km <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2016-10-16 | 7.5269                      | 15.6048                     |
| 2018-09-12 | 0.1655                      | 3.9132                      |
| 2019-11-26 | 0.3663                      | 10.7761                     |



**Figura B.4:** Diferencia entre las mediciones del plumacho del Río Camuy

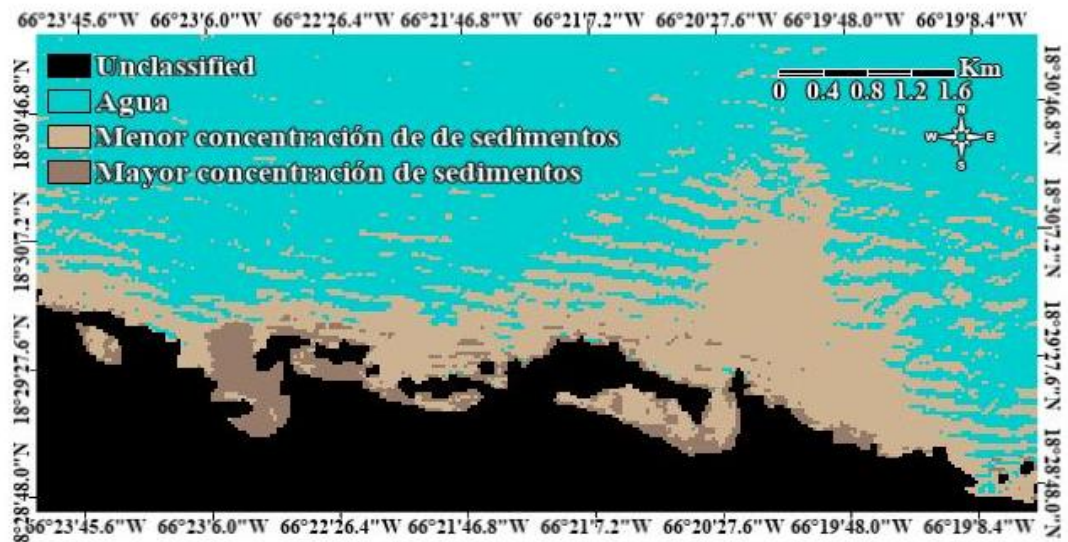


Figura C.1: Río Cibuco  
16/oct/2016

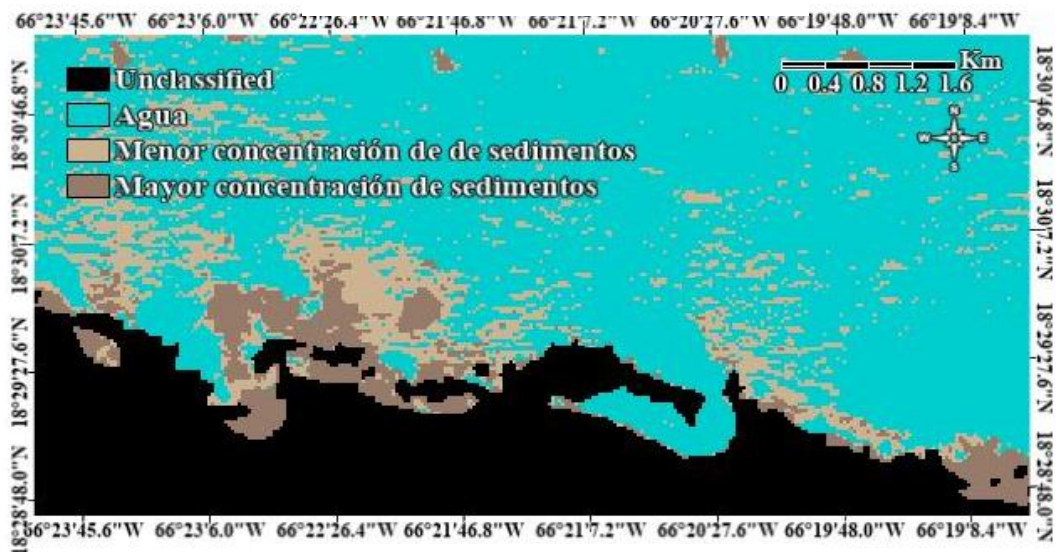


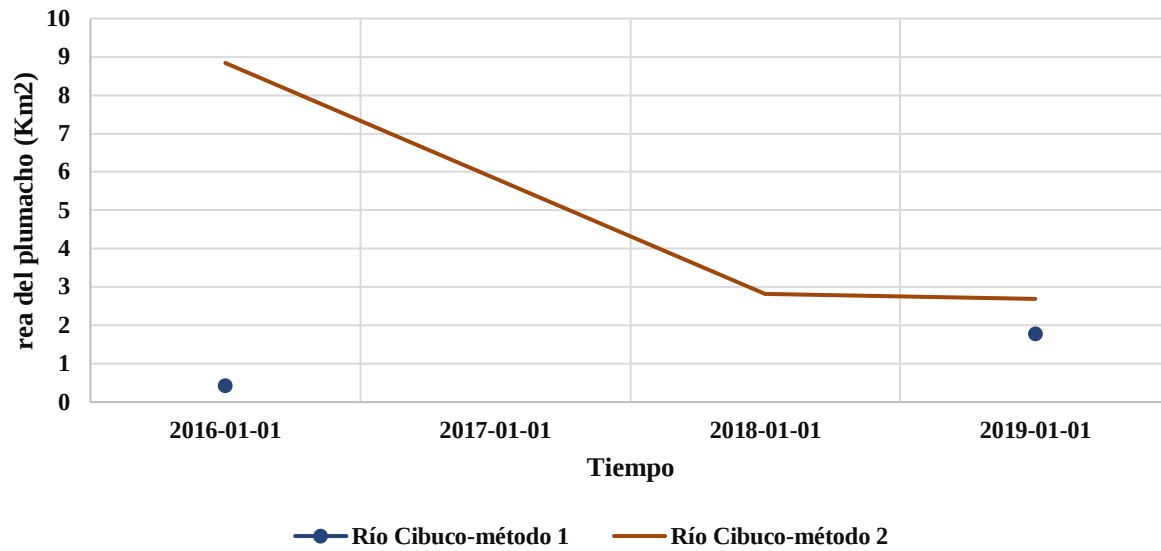
Figura C.2: Río Cibuco  
9/dic/2018



Figura C.1: Río Cibuco  
26/nov/2019

**Tabla C.1** Medidas para el plumacho del Río Cibuco

| Fecha      | Método 1 (km <sup>2</sup> ) | Método 2 (km <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2016-10-16 | 0.4331                      | 8.8417                      |
| 2018-09-12 |                             | 2.8123                      |
| 2019-11-26 | 1.7721                      | 2.6904                      |



**Figura C.4:** Diferencia entre las mediciones del plumacho del Río Cibuco



**Figura D.1: Río Cocal**  
16/oct/2016



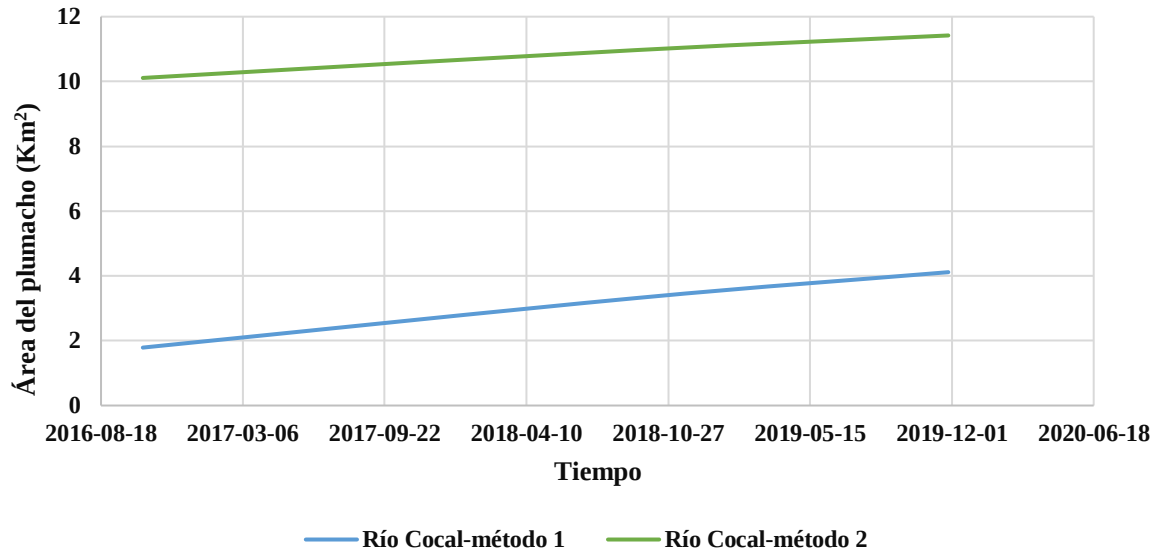
**Figura D.2: Río Cocal**  
9/dic/2018



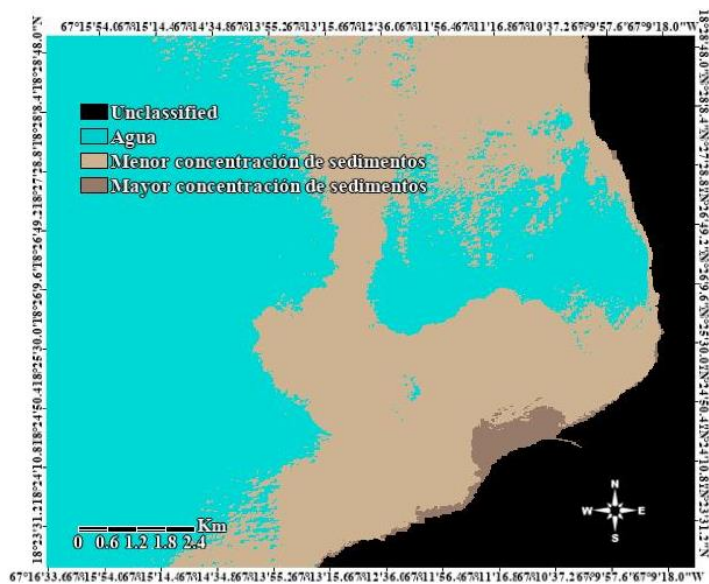
**Figura D.3: Río Cocal**  
26/nov/2019

**Tabla D.1** Medidas para el plumacho del Río Cocal

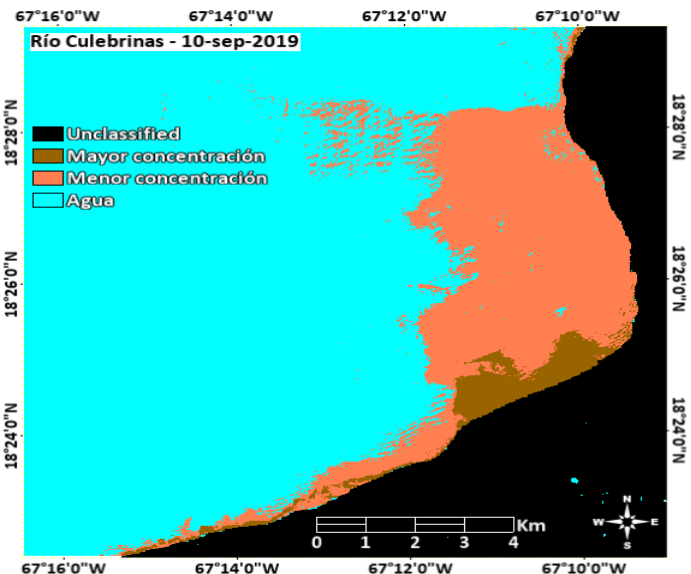
| Fecha      | Método 1 (km <sup>2</sup> ) | Método 2 (km <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2016-10-16 | 1.7879                      | 10.1086                     |
| 2018-09-12 | 3.3168                      | 10.9685                     |
| 2019-11-26 | 4.1151                      | 11.4198                     |



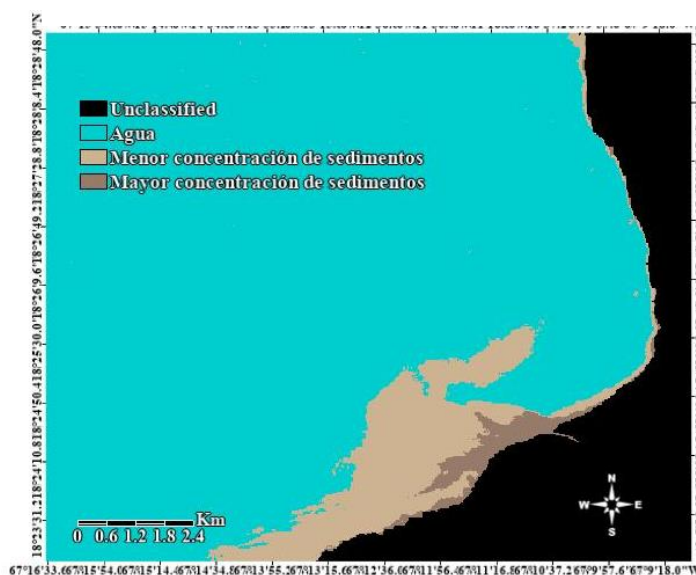
**Figura D.4:** Diferencia entre las medidas del plumacho del Río Cocal



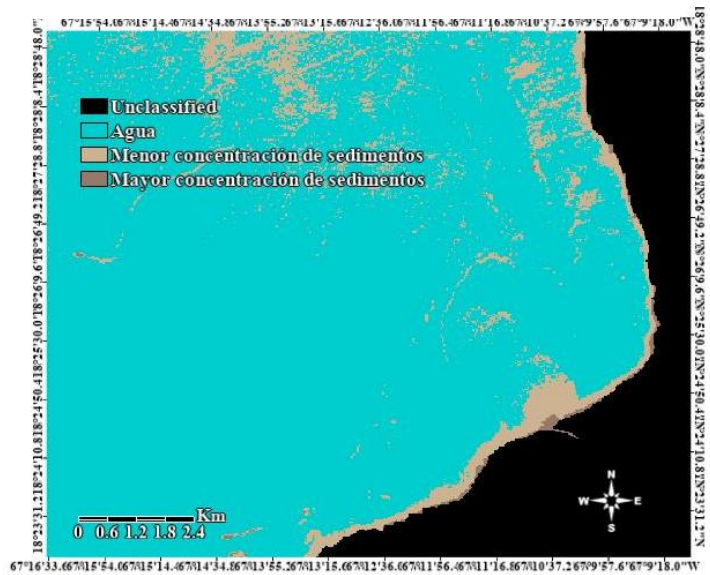
**Figura E.1:** Río Culebrinas  
16/oct/2016



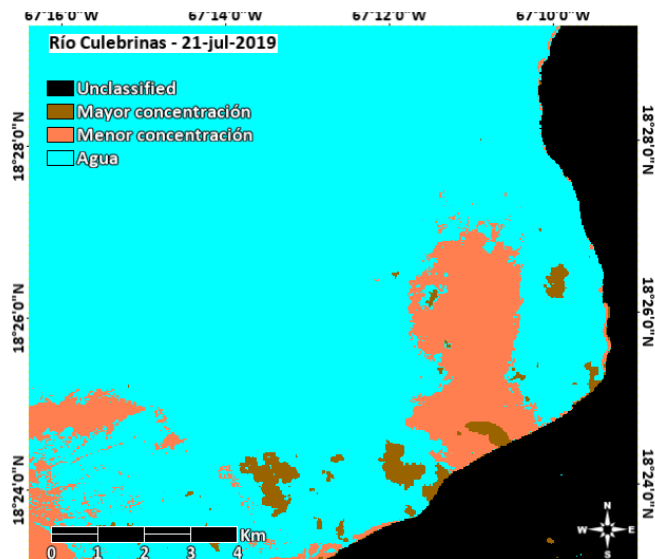
**Figura E.4:** Río Culebrinas  
10/sep/2019



**Figura E.2:** Río Culebrinas  
9/dic/2018



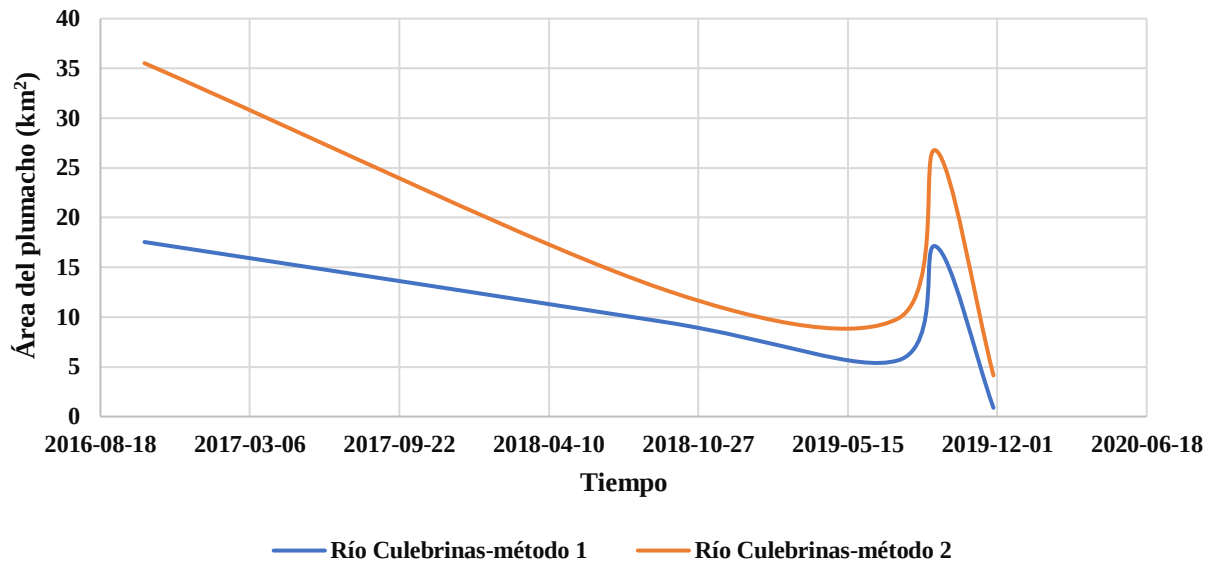
**Figura E.5:** Río Culebrinas  
26/nov/2019



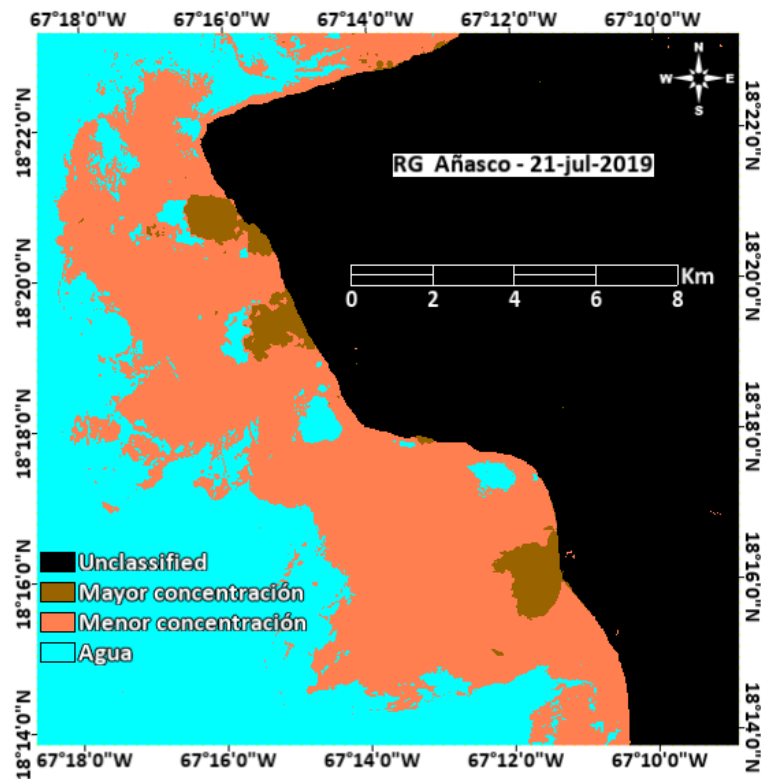
**Figura E.3:** Río Culebrinas  
21/jul/2019

**Tabla E.1** Medidas para el plumacho del Río Culebrinas

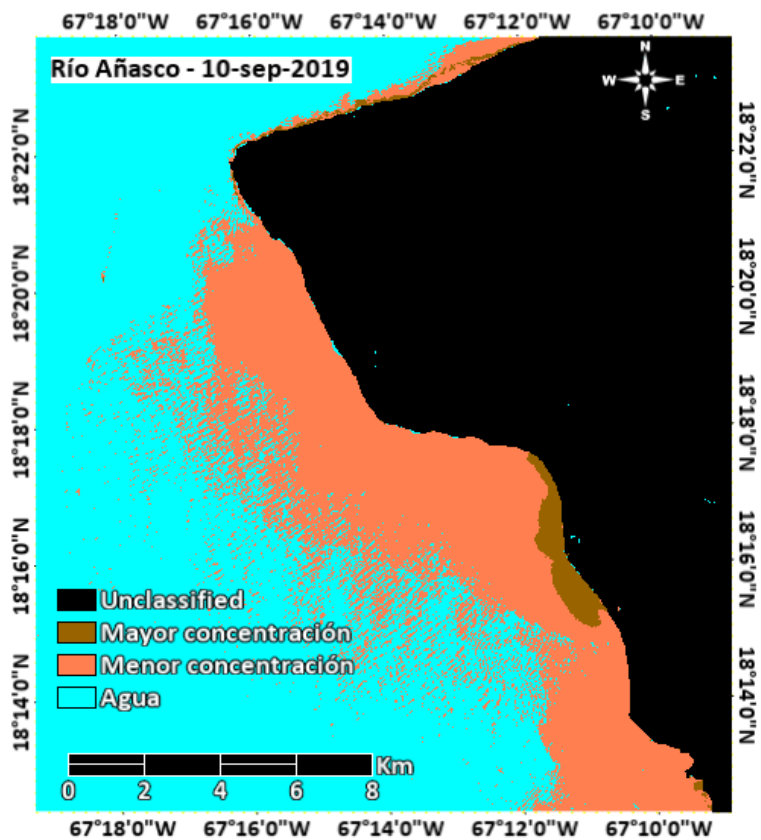
| Fecha      | Método 1 (km <sup>2</sup> ) | Método 2 (km <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2016-10-16 | 17.5411                     | 35.5245                     |
| 2018-09-12 | 9.5026                      | 12.7437                     |
| 2019-07-21 | 5.64                        | 9.8406                      |
| 2019-09-10 | 17.1027                     | 26.7512                     |
| 2019-11-26 | 0.8784                      | 4.1334                      |



**Figura E.6:** Diferencia entre las mediciones del plumacho del Río Culebrinas



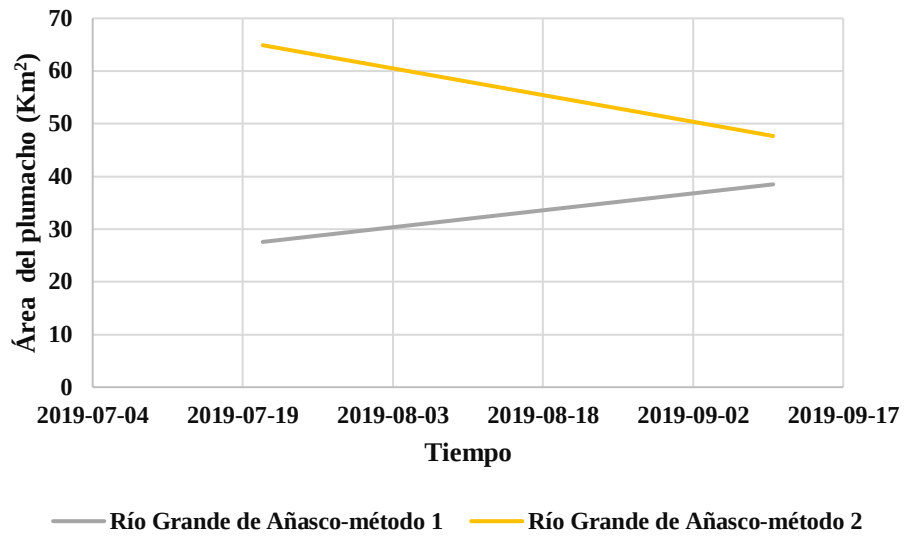
**Figura F.1:** Río Grande de Añasco  
21/jul/2019



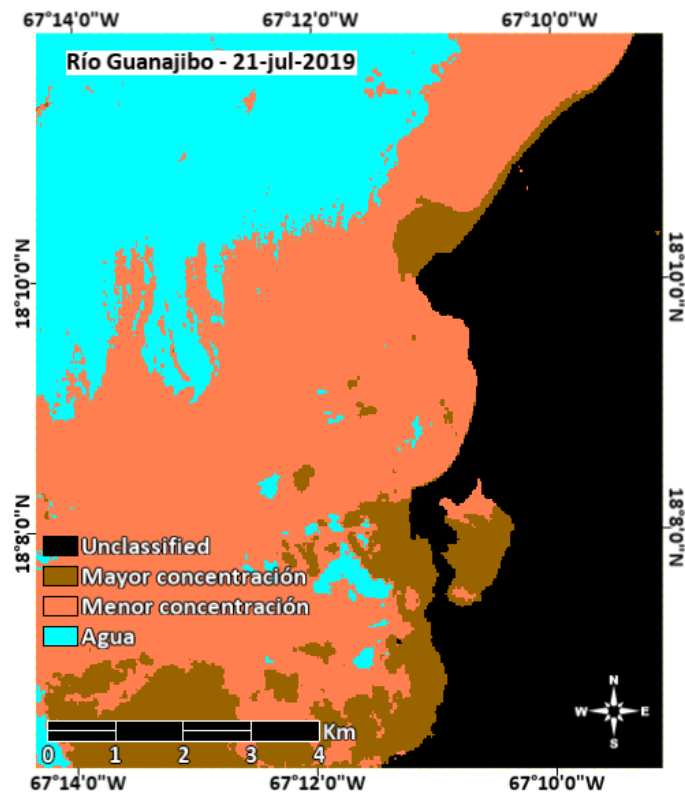
**Figura F.2:** Río Grande de Añasco  
10/sep/2019

**Tabla F.1** Medidas para el plumacho del Río Grande de Añasco

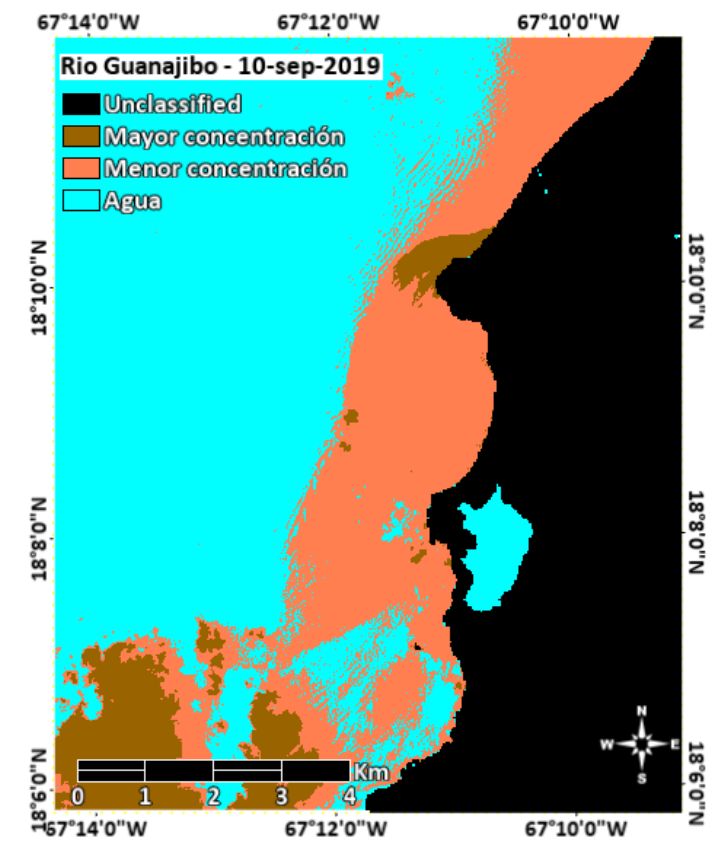
| Fecha      | Método 1 (km <sup>2</sup> ) | Método 2 (km <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2019-07-21 | 27.568685                   | 64.8929                     |
| 2019-09-10 | 38.4925                     | 47.6679                     |



**Figura F.3:** Diferencia entre las medidas del plumacho del Río Grande de Añasco



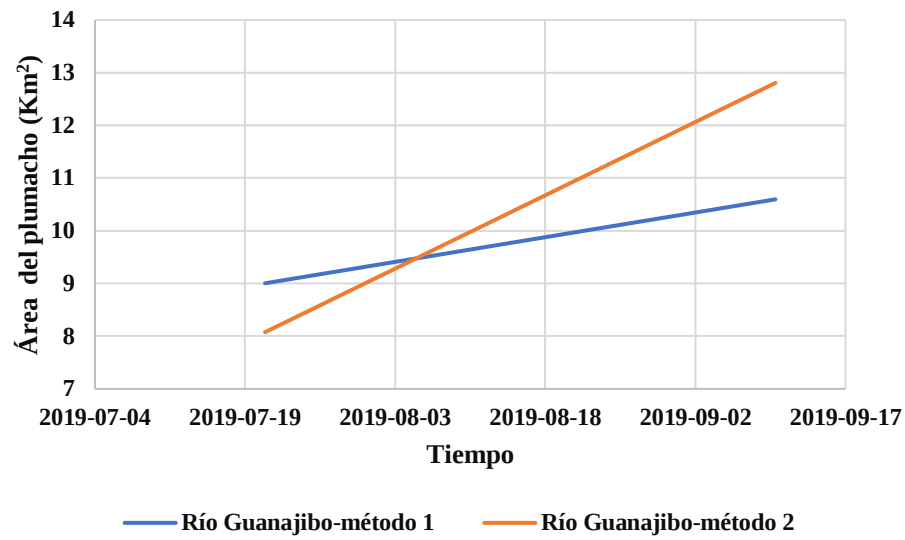
**Figura G.1:** Río Guanajibo  
21/jul/2019



**Figura G.2:** Río Guanajibo  
10/sep/2019

**Tabla G.1** Mediciones para el plumacho del Río Guanajibo

| Fecha      | Método 1 (km <sup>2</sup> ) | Método 2 (km <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2019-07-21 | 9.003722                    | 8.0757                      |
| 2019-09-10 | 10.596643                   | 12.8064                     |



**Figura G.3:** Diferencia entre las medidas del plumacho del Río Guanajibo

## Discusión de datos

Con el fin de poder comprender mejor los resultados de cada río, se compararon las áreas de la misma ubicación (río) entre las fechas de las imágenes descargadas. La desembocadura del Río Hondo y Río Bayamón resultó tener un plumacho extenso y persistente, el cual se percibió claramente en las imágenes de satélite. En comparación con los otros plumachos del norte, este fue de los más grandes durante los tres eventos de observación. A partir de la figura **A.1**, se distinguió que el área del plumacho era aproximadamente de  $20.0152 \text{ km}^2$  para la fecha del 16 de octubre 2016, la cual fue asociada a 61.91345% de diferencia con respecto a la observación del primer método (véase la tabla **A.1**). Se reconoció que esta medición está sujeta a otro margen de error por la presencia de las nubes y sus sombras en la zona costera cercana al plumacho. Es decir, que esta medida fue basada solo en lo que fue clasificado como sedimento, y no se descarta la posibilidad de que el área del plumacho haya sido mayor. Además, se identificó que la zona de menor concentración de sedimentos fue más extensa que la zona con mayor concentración, lo que representó un plumacho de sedimentos mayormente diluidos en el agua. En cambio, para el 9 de diciembre 2018 se obtuvo una escena mucho más despejada que la anterior (véase la figura **A.2**); por tanto, se le asoció un menor margen de error en la medida. Haciendo hincapié en la figura **A.2**, se identificó un leve aumento en el área del plumacho de aproximadamente  $0.8762 \text{ km}^2$ , mientras que el plumacho entero midió  $20.8914 \text{ km}^2$ . Comparativamente con la observación del primer método, se asoció una diferencia 61.9992% entre las mediciones (véase la tabla **A.1**). Adicionalmente, la zona de mayor concentración se distribuyó a mayor distancia cuadrada que en la primera observación. Por otro lado, para el 26 de noviembre 2019 se registró una disminución notable en el área de este plumacho de aproximadamente  $8.2666 \text{ km}^2$ . En base al segundo método, el área del plumacho fue alrededor de  $12.6248 \text{ km}^2$ , y dicha medida fue asociada a un 51.33467 % de diferencia con respecto a la medida del primer método (véase la tabla **A.1**). No obstante, se

reconoció que el procesamiento de esta escena tuvo gran influencia por las nubes y sus sombras, considerando que varias regiones del plumacho fueron denominadas por la Clase de Agua. Por tanto, existe una discrepancia en si la zona de mayor concentración de sedimentos fue mayor o menor que los eventos evaluados anteriormente. En general, las medidas adquiridas para este río se comportaron de manera congruente (véase la figura **A.4**), donde el primer método estuvo sujeto a un error humano mayor dado a que reportó valores bien por debajo de lo que se identificó en la clasificación supervisada *Minimum Distance*.

Por otro lado, el Río Camuy mostró un comportamiento bastante particular, ya que su plumacho fue desviado en dos direcciones por las corrientes de agua en la costa norte. A partir de las tres escenas observadas se identificó que la mayor parte del plumacho de este río fue denominada zona de menores concentraciones de sedimentos. Por tanto, se reconoció que la mayor parte de la descarga del río se encontraba más diluida en agua. A diferencia de las escenas anteriores, las figuras **B.1**, **B.2** y **B.3** fueron bastante confiables, debido a que no hubo ningún tipo de interferencia por parte de la nubosidad y su sombra. Para el 16 de octubre de 2016 se registró un plumacho de 15.6048 km<sup>2</sup>, el cual mostró el comportamiento de la desviación por la corriente del agua (véase la figura **B.1**). En adición, esta medida fue asociada a un 51.76548% de diferencia con respecto a la medida realizada en el primer método (véase la tabla **B.1**). En cambio, la escena del 9 de diciembre 2018 mostró que las descargas del río fueron mínimas, puesto que hubo una disminución en la distribución de los sedimentos cerca al delta del Río Camuy (véase la figura **B.2**). En este caso, se registró un área de aproximadamente 3.9132 km<sup>2</sup>, lo que corresponde a una disminución de 11.6916 km<sup>2</sup> en comparación con la escena anterior (véase la tabla **B.1**). Esta medida fue derivada del segundo método, la cual está sujeta a un 95.77072% de diferencia con respecto a la medida del primer método. Mientras que para el evento del 26 de enero 2019 se

registró un aumento en el área del plumacho de aproximadamente  $6.8629 \text{ km}^2$ . En el cambio que se notó en el tamaño del plumacho predominaron las zonas de menor concentración de sedimentos. Este fue registrado con un área de  $10.7761 \text{ km}^2$ , el cual presenta una diferencia de  $96.60081\%$  con respecto a las medidas del primer método (véase la tabla **B.1**). En general, las mediciones de ambos métodos para todos los eventos tuvieron congruencia, ya que tuvieron cierto comportamiento de disminución y luego un comportamiento de crecimiento (véase la figura **B.4**). No obstante, se mantuvo la tendencia de que las medidas del primer método representan subestimaciones del tamaño del plumacho en los eventos estudiados.

También fue de interés las escenas del plumacho del Río Cibuco, las cuales sufrieron la influencia de las nubes y de sus sombras. Esto implicó que los resultados de los procesamientos en ENVI están sujetos a un margen de error. No se descarta la posibilidad de que el programa haya confundido las sombras de las nubes con las regiones de entrenamiento. Específicamente, en la escena del 16 de octubre de 2016 se registró un plumacho de  $8.817 \text{ km}^2$ , pero se reconoció que esta medida presenta errores por la presencia de la nube en el agua, la cual no fue considerada en la medición (véase la figura **C.1**). Es decir que la medición del área del plumacho pudo haber sido mayor. En comparación con la medida del primer método, el área del plumacho fue asociado a  $95.10162\%$  de diferencia (véase la tabla **C.1**). Cabe señalar que en el plumacho de esta escena predominaron las zonas con baja concentración de sedimentos, ya que la mayoría de los sedimentos estaban diluidos en agua. Asimismo, en la escena del 9 de diciembre 2018 se registró una disminución en el tamaño del plumacho del Río Cibuco de aproximadamente  $6.0294 \text{ km}^2$ . En este caso, el plumacho fue registrado de  $2.8123 \text{ km}^2$ , y debido a la presencia de la nubosidad (véase la figura **C.2**) se reconoció que la medida registrada pudo haber sido mayor durante este evento. Haciendo hincapié en la figura **C.2**, en esta se notó que en el área medida predominaron las zonas

de mayor concentración de sedimentos. Por último, la escena del 26 de noviembre 2019 fue relativamente despejada, ya que la influencia de las nubes sobre la clasificación supervisada fue menor que en los otros casos (véase la figura C.3). Además, para este evento se registró una disminución en el tamaño del plumacho de aproximadamente  $0.1219 \text{ km}^2$ . Por tanto, el plumacho del Río Cibuco tuvo una extensión de  $2.6904 \text{ km}^2$ ; y en comparación con el primer método se concluyó una diferencia de 34.13247%. En contraste con los otros ríos, las medidas del Río Cibuco no mantuvieron un comportamiento congruente. Esta discrepancia fue dada a que las medidas del segundo método tuvieron un comportamiento decreciente y las medidas del primer método tuvieron un comportamiento creciente. A partir de este comportamiento adverso entre las medidas se concluyó que el primer método representó subestimaciones inducidas por error humano.

De las imágenes procesadas del Río Cocal, con las fechas del: 16 de octubre del 2016, 26 de noviembre de 2019 y 9 de diciembre de 2018, las mediciones entre los plumachos mostraron que al utilizar el segundo método, se registró una mayor cantidad en general. Sin embargo, entre ambos métodos, fue la fecha del 26 de noviembre del 2019, la cual presentó una mayor cantidad de área de plumacho con un  $4.1151 \text{ km}^2$  en el primer método, y con un  $11.4198 \text{ km}^2$  en el segundo método. Además, fue la fecha del 16 de octubre del 2016, la que obtuvo un área con menos cantidad entre ambos métodos utilizados en la investigación. De la misma forma, se pudo observar en las gráficas que a través del paso del tiempo (del año 2016 al 2019) se registró un aumento en el área de los plumachos desde el año 2016 hasta el 2019.

Del Río Culebrinas es el método número dos, en el cual se registró una mayor área en comparación con el primero. Fue la fecha del 16 de octubre del 2016, en la cual utilizando el segundo método, se obtuvo  $35.5245 \text{ km}^2$  como el valor más alto (mayor cantidad). Mientras en el primer método el 26 de noviembre de 2019, se obtuvo un valor de área de  $0.8784 \text{ km}^2$  siendo este

el valor más bajo entre los dos métodos, sin embargo, es esta misma fecha en el segundo método la más baja respectivamente, con un área del plumacho de  $4.1334 \text{ km}^2$ . Cabe destacar que, fue en el segundo método en el cual el valor más alto se duplicó en comparación al primer método, esto debido a que en la fecha del 16 de octubre de 2016 se registró  $17.5411 \text{ km}^2$ ; mientras en el segundo método el valor fue de  $35.5245 \text{ km}^2$ .

## **Conclusiones**

Por medio de la plataforma de ENVI se pudo estudiar los cambios en el tamaño del plumacho de varios ríos ubicados en las regiones oeste y norte de Puerto Rico. Dichos datos del área corresponden a la aplicación de dos métodos. En base a las observaciones de la desembocadura del Río Hondo y Río Bayamón, se identificó que durante el 12 de diciembre 2018 hubo mayor descarga de sedimentos a la costa, ya que el plumacho tuvo una extensión de  $20.8914 \text{ km}^2$ . Además, en esta escena se identificó una zona prominente de mayor concentración de sedimentos. En cambio, el 26 de noviembre 2019 se obtuvo la menor descarga de sedimentos en la costa, puesto que se registró un plumacho de alrededor de  $12.6248 \text{ km}^2$ . Ambas observaciones fueron asociadas a diferencias porcentuales no menores de 50% con respecto a las medidas del primer método.

Para el caso del Río Camuy, la mayor descarga de sedimentos se notó en la escena del 16 de octubre de 2016, con un plumacho de  $15.6048 \text{ km}^2$ . Mientras que el evento con menor descarga destacó en la escena del 9 de diciembre 2018, debido a que se registró un plumacho de  $3.9132 \text{ km}^2$ . Asimismo, estas medidas presentaron porcentajes de diferencias no menores de 51%. En el caso del Río Cocal el día para el cual se registró una mayor área de plumacho, fue el 26 de noviembre de 2019, donde la medida fue de  $4.1151 \text{ km}^2$  en el primer método, y con un  $11.4198 \text{ km}^2$

en el segundo método. En este río, el caso con una menor cantidad de área fue la fecha del 16 de octubre del 2016, con 1.7879 km<sup>2</sup> en el primer método y 10.1086 km<sup>2</sup> en el segundo método. Mientras para el Río Culebrinas, la fecha del 16 de octubre de 2016, obtuvo un área de 17.5411 km<sup>2</sup> utilizando el primer método, y 35.5245 km<sup>2</sup> utilizando el segundo método, siendo este último el mayor entre ambos. Por último, en el caso del Río Cibuco la mayor descarga de sedimentos se observó en la escena del 16 de octubre 2016, donde el plumacho fue de 8.8417 km<sup>2</sup>. Sin embargo, el evento con menor descarga de sedimentos fue identificado durante el 26 de noviembre de 2019, debido a que el plumacho fue de 2.6904 km<sup>2</sup>.

En fin, las diferencias en estas medidas son justificadas por varios errores sistemáticos como humanos. Por ejemplo, la presencia de las nubes y sus sombras afectaron los valores espectrales en distintas regiones de los plumachos, lo que pudo llevar a que ENVI confundiera la sombra con las regiones de entrenamiento. Adicional, no se descarta que las diferencias entre las magnitudes de las medidas son tan altas porque en el primer método introdujo bastante error humano, y por tal razón se reconoció que estas medidas representaron subestimaciones de los plumachos en las distintas escenas. Cabe destacar que estos métodos no son prácticos para describir los sedimentos en los plumachos en base a sus concentraciones, sino más bien es un método en donde se compara y contrasta las áreas de los plumachos.

## Referencias

### ***Fuentes de Revistas:***

Dethier, E. N., Renshaw, C. E., & Magilligan, F. J. (2020). Toward improved accuracy of remote sensing approaches for quantifying suspended sediment: Implications for suspended-sediment monitoring. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 125, e2019JF005033. <https://doi.org/10.1029/2019JF005033>

Mouyen, M., Longuevergne, L., Steer, P. et al. Assessing modern river sediment discharge to the ocean using satellite gravimetry. *Nat Commun* 9, 3384 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05921-y>

Rodríguez-Guzmán, V., & Gilbes-Santaella, F. (2009). Using MODIS 250 m Imagery to Estimate Total Suspended Sediment in a Tropical Open Bay. *International Journal of Systems Application, Engineering & Development*, volume 3( issue 1), 36–44.

### ***Bases de datos:***

Modis Data, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.

<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/>

USGS National Water Information System: USGS Surface-Water Data for Puerto Rico. (2020). <https://waterdata.usgs.gov/pr/nwis/sw>

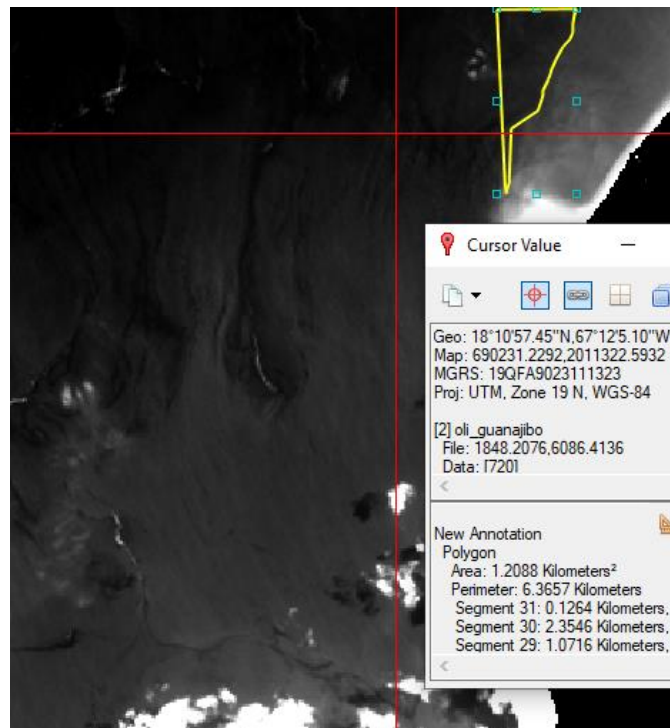
National Centers for Environmental Information: Daily Summaries Station Details.

<https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datasets/GHCND/stations/GHCND:RQC00669415/detail>

### ***Fuentes de libros:***

Osadchiov, A., & Zavialov, P. (2020). Structure and Dynamics of Plumes Generated by Small Rivers. In *Estuaries and Coastal Zones - Dynamics and Response to Environmental Changes*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87843>

## Apéndice



**Figura Z:** Ejemplo de la medida del Río Guanajibo