

## **Análisis de Cambios en la descarga de Sedimentos del Río Culebrinas**

<sup>1</sup> Rivera Ramos, Janluis y <sup>2</sup> López Medina, Jomar

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

Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez

### **Resumen:**

El Río Culebrinas recorre varios pueblos hasta su desembocadura hacia El Canal de la Mona. Este río tiene un rol destacado dentro del ecosistema, la economía y sustentabilidad de las comunidades adyacentes al mismo. Los cambios en las descargas de sedimentos afectan la capacidad del río para movilizarse y transportar los mismos. Esto tendría como consecuencia cambios geomórficos. Esta descarga de sedimentos tiene también su efecto en su desembocadura y en el de su valle aluvial. Con el objetivo de observar y analizar estos cambios se procesaron imágenes de OLI en el satélite Landsat 8. Para estudiar los cambios en el plumacho del río se utilizó la plataforma de ENVI. En adición, se realizó 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. Se realizaron visualizaciones del área del río donde se tomaron fotografías. También, se utilizó el Water Data provisto por USGS para obtener el intervalo de recurrencia para las posibilidades de desbordamiento del río. De igual forma se utilizaron las aplicaciones de Google Earth y Earth Explorer para lograr hacer una comparativa de diferentes áreas del río la cual nos da una idea de cambios a través de los años; ésta nos da no tan solo cambios en el río sino en los alrededores de este.

*Palabras Claves: ENVI, sedimentos, plumacho*

## **Introducción:**

El agua de lluvia en los suelos, en los humedales y en los acuíferos fluye lentamente a los cauces de los ríos y quebradas que aun durante periodos de sequía, estos reciben agua de su cuenca hidrográfica. La cuenca hidrográfica del Rio Culebrinas abarca un área de captación de aproximadamente 103 mi<sup>2</sup> en la Regiones Central y Oeste de Puerto Rico. Esta área nos ayuda a definir donde nace y desemboca. Estas áreas están compuestas en su superficie por rocas de origen volcánico y depósitos sedimentarios calizos y marinos.

La sedimentación es uno de los principales procesos geológicos en las cuencas hidrológicas. Este proceso es producto de la erosión ocasionada principalmente por el agua como lo puede ser por la que trae lluvias y correntias. Los sedimentos son generalmente transportados desde la parte más alta de las cuencas llegando finalmente al mar a través del plumacho del rio. Sin embargo, la habilidad del rio para transportar sedimentos estará determinada de su velocidad de flujo y del tamaño de los sedimentos. Una velocidad alta de flujo será igual a tener capacidad para transportar sedimentos. Cuando disminuye la velocidad del agua estas tienden a depositar su carga de sedimentos y ocurre entonces la sedimentación. Los sedimentos más pequeños son transportados a mayor distancia que los gruesos.

La cantidad de sedimentos transportados por los ríos puede sufrir cambios a causa de distintos factores como son la actividad humana, fenómenos atmosféricos, entre otros. En adición, otros factores podrían ser la proliferación de superficies poco permeables; y, así como, el mal manejo de suelos que puede aumentar la cantidad de sedimentos que llega a los ríos. Todo esto puede disminuir el sedimento que alcanza la desembocadura. Es un tema de gran interés y preocupación ya que tiene repercusiones tanto en el medio ambiente como en la vida humana.

El sensor utilizado en la investigación es el Operational Land Imager (OLI). OLI es un instrumento de percepción remota, localizado a bordo del Landsat 8 y fue lanzado el 11 de febrero de 2013. Este sensor nos permite observar el Río Culebrinas hasta su desembocadura logrando una buena resolución. Se logra medir el área de estos utilizando dos distintas metodologías. La primera, es mediante la observación (donde se ve el sedimento y hasta dónde llega). La segunda, es el programa de ENVI el cual calcula los datos de área.

### **Áreas de estudio**

Las coordenadas observadas del área de estudio del Río Culebrinas son:

Lat: 18.6405, Lon: -67.4987

Lat: 18.3024, Lon: -67.4989

Lat: 18.3045, Lon: -66.8826

Lat: 18.6390, Lon: -66.9156

Las coordenadas del área estudiada del plumacho del Río Culebrinas es:

Lat: 18.4089, Lon: -67.185

### **Objetivo:**

Estudiar los posibles cambios que está presentando el Río Culebrinas en la descarga y composición de sus sedimentos; y, analizar la trayectoria del Río Culebrinas hasta su desembocadura (plumacho).

## **Metodología:**

Para esta investigación se obtuvo imágenes capturadas por OLI en el Landsat 8 almacenadas en la base de datos de EarthExplorer. Estas imágenes fueron procesadas a nivel 1. El propósito del procesamiento de las imágenes fue con la finalidad de corregir la influencia atmosférica. Esto se realizó utilizando el método de la herramienta del programa de ENVI “Dark Substract”. El resultado de este procesamiento se comparó con el valor del cursor para asegurarse de que los valores de la banda se habían reducido. El método utilizado en base para observar la concentración de estos sedimentos “plumachos” en la desembocadura del Río Culebrinas fue utilizando la clasificación supervisada de *minimum distance*, el cual se aplicaron varias regiones en el río; clasificando el agua, nubes, ciudades, vegetación; y, los sedimentos, ya siendo éstos nuestro enfoque en comparación de este río en un lapso de un tiempo indicado. Se realizó también una visita al río de manera presencial para ver las condiciones del río y comparar los cambios ocurridos de años anteriores; lo que nos permitió observar y comparar cambios en el tiempo en un área específica del río. También se estudió otras áreas de este río utilizando sensores del Landsat 8. Se obtuvo el intervalo de recurrencia para las posibilidades de desbordamiento del Río Culebrinas utilizando data provista por el USGS. De igual manera se utilizaron imágenes para lograr ver el canal y comparar alguna novedad o cambio en el comportamiento de este. Esto en base en trayectoria, vegetación, crecida, anchura o algún cambio notable en este. Ambas aplicaciones tienen años recientes en sus mapas, como lo son “Google Earth” y “Earth Explorer”, los cuales fueron los usados en estos casos.

## Resultados:

Imagen 1: Imagen Minimum Distance de referencia de ETM+ del 3 de noviembre de 2000 se utilizó esta imagen ya que era una de las que se podía comparar fácilmente y no tenía el error de las líneas del sensor de ETM+.

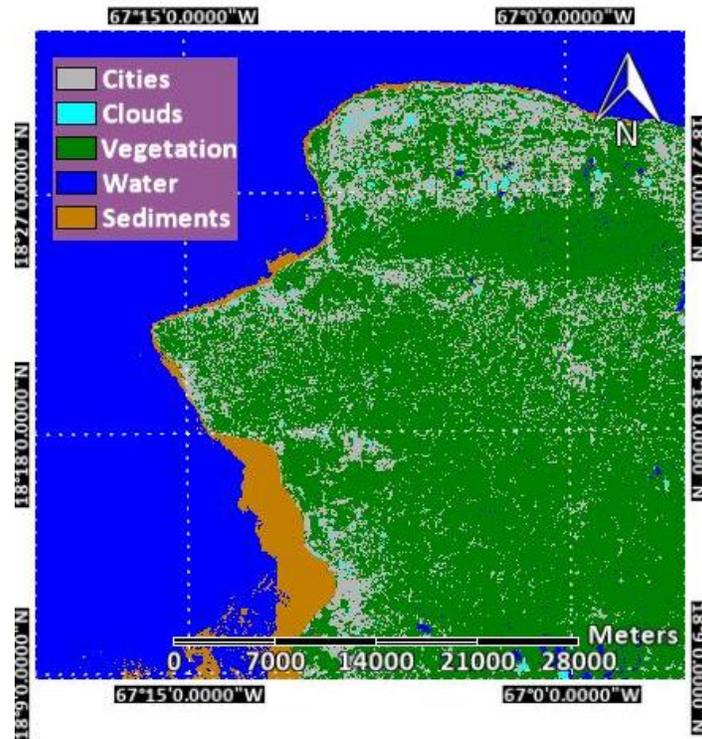


Imagen 2: Minimum Distance 17 de marzo de 2014

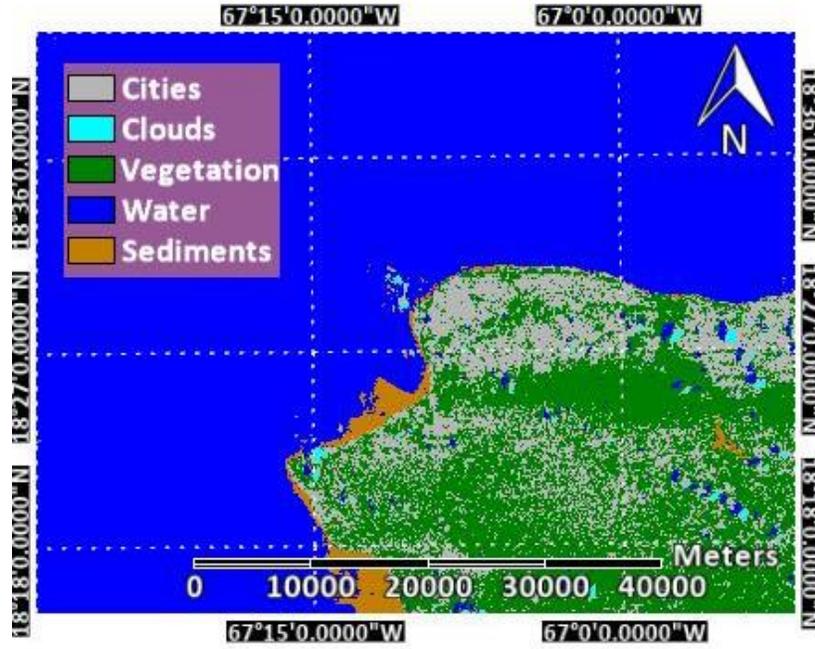


Imagen 3: Minimum Distance 30 de diciembre de 2014



Imagen 4: Minimun Distance 30 de octubre de 2015

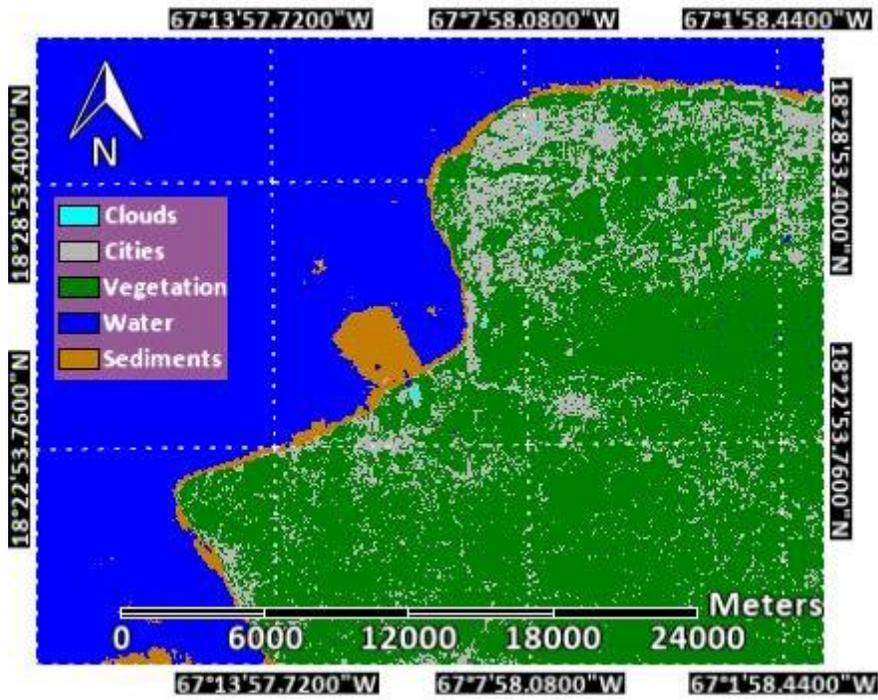


Imagen 5: Minimun Distance 16 de octubre de 2016

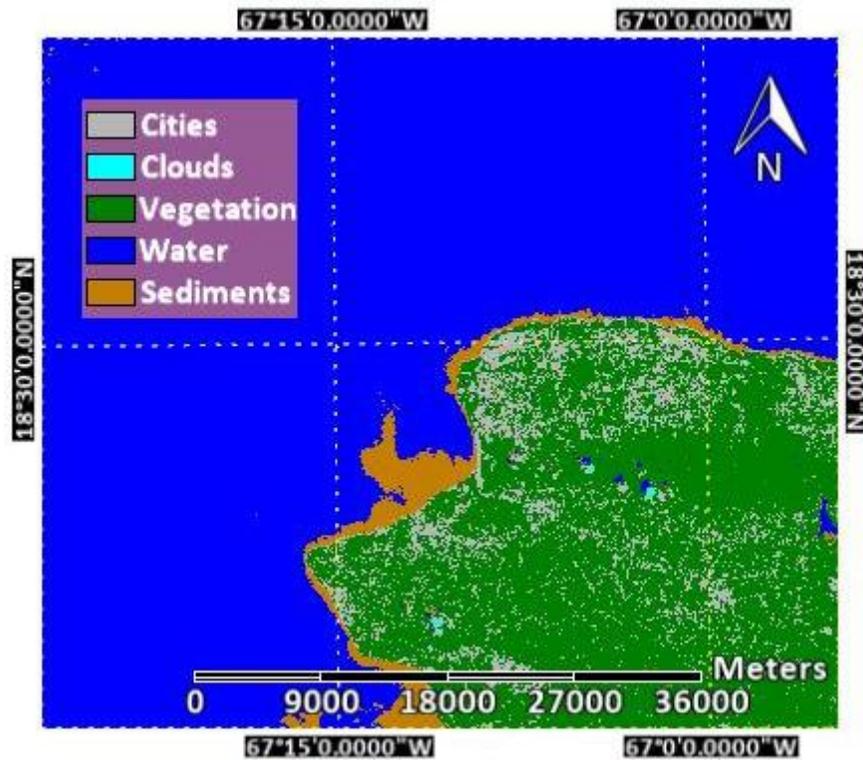


Imagen 6: Minimum Distance 3 de octubre de 2017

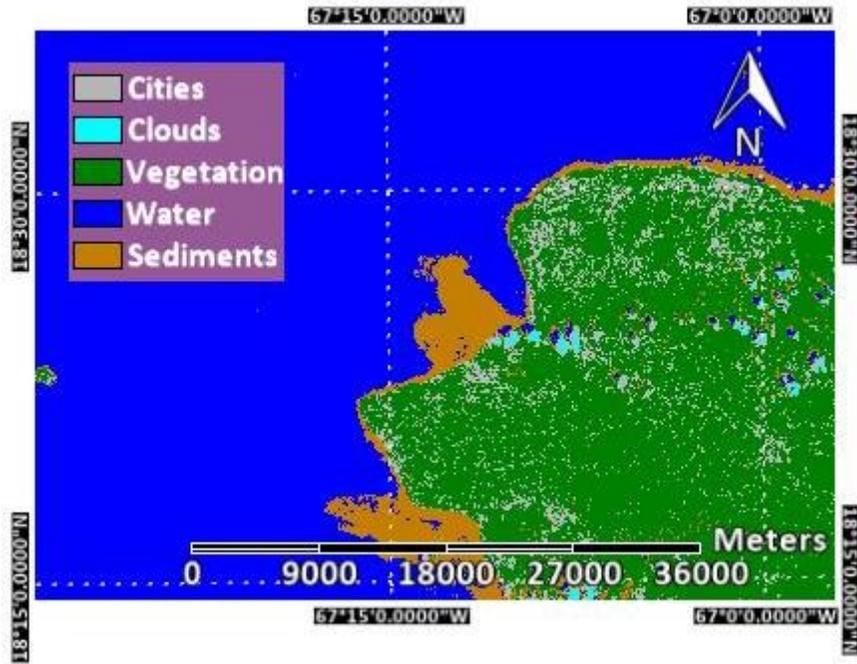


Imagen 7: Minimum Distance 9 de diciembre de 2018

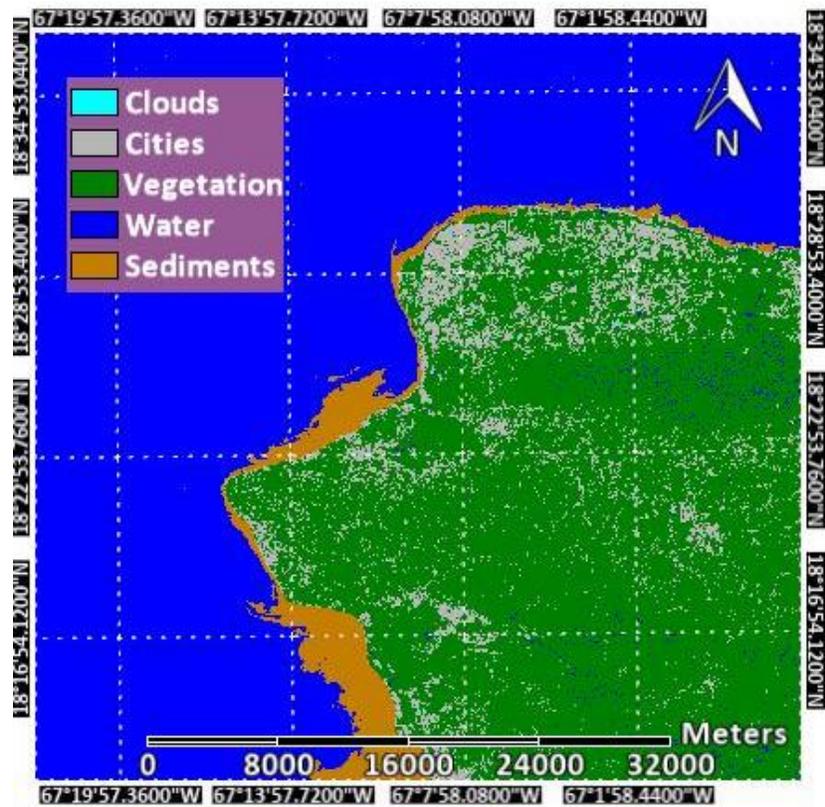


Imagen 10: Minimum Distance 21 de julio de 2019

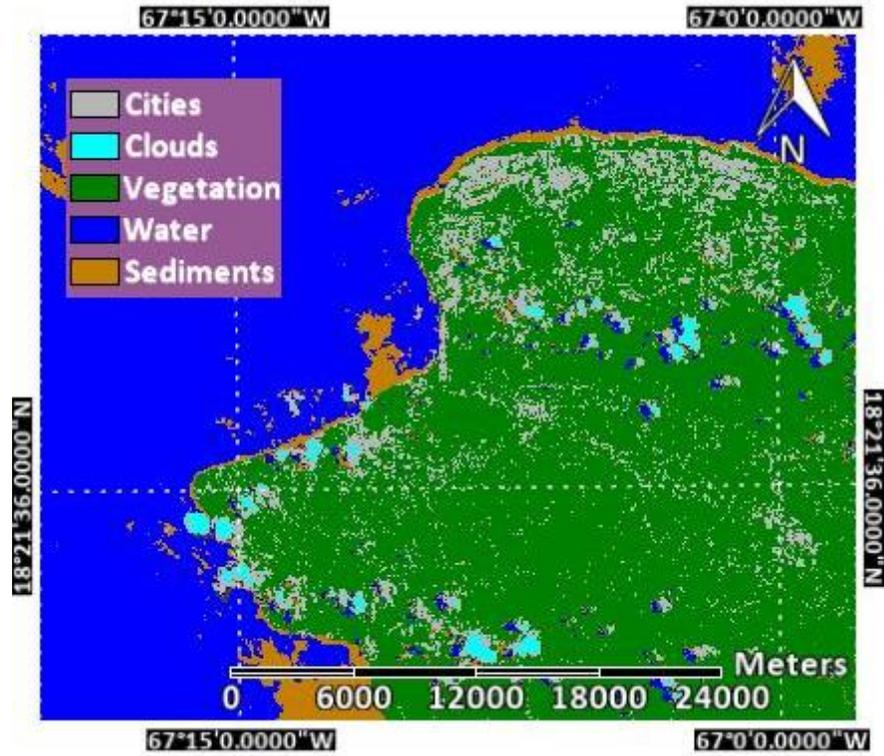


Imagen 11: Minimum Distance 23 de septiembre de 2019

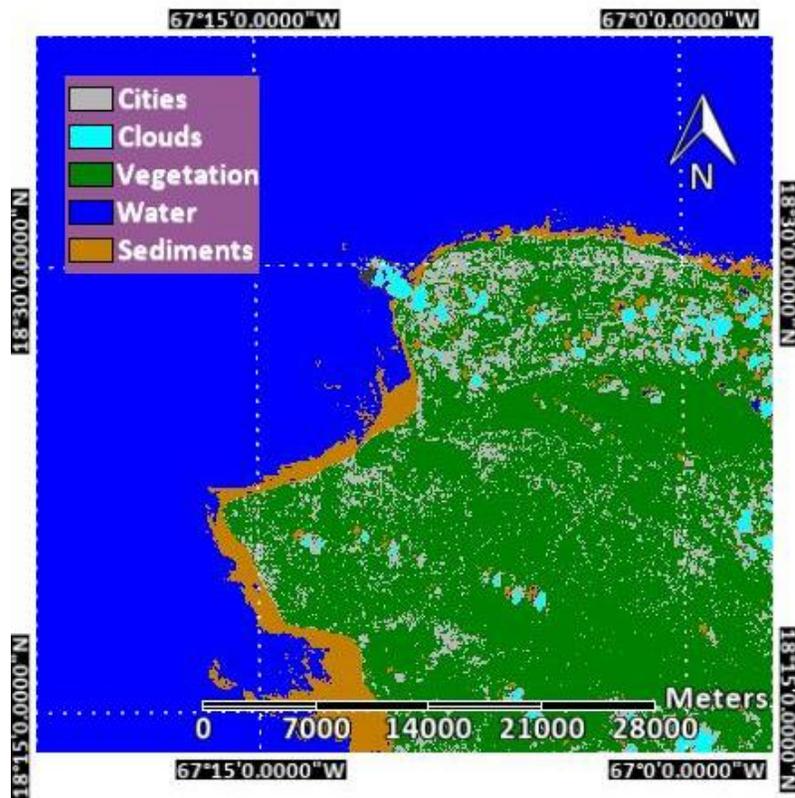


Imagen 12: Minimum Distance 14 de febrero de 2020

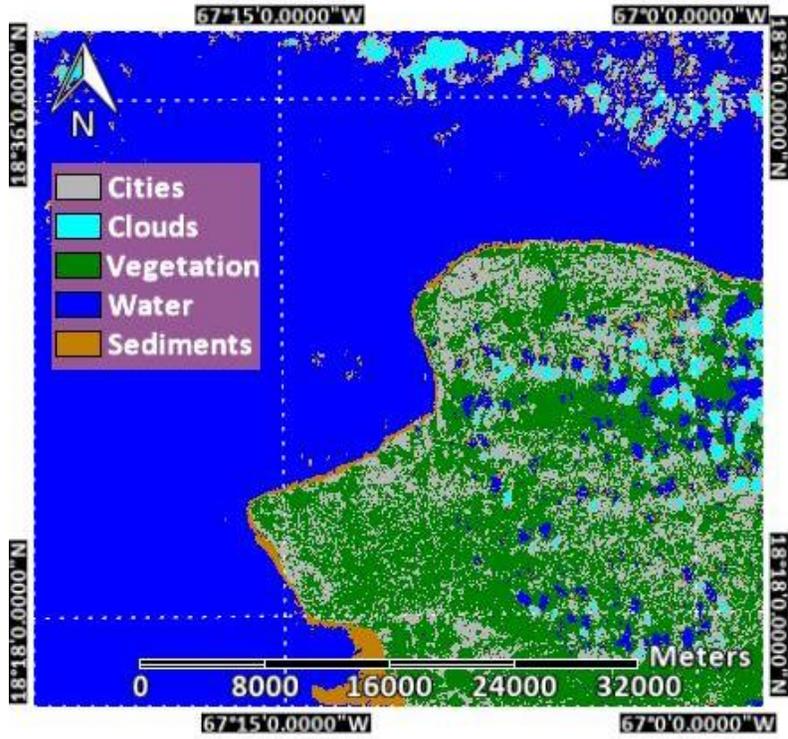


Imagen 13: Minimum Distance 25 de septiembre de 2020

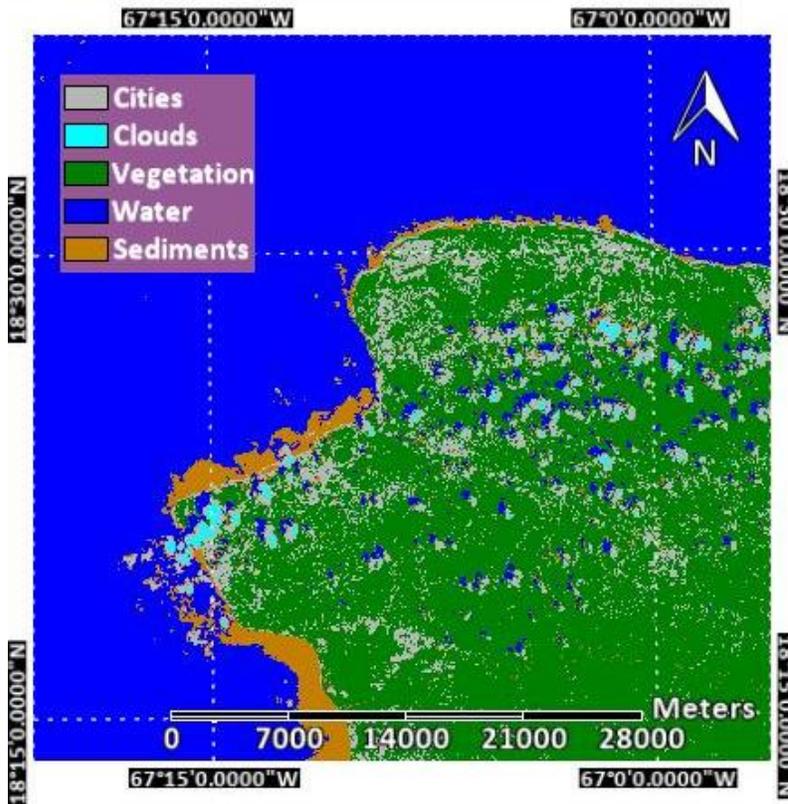


Imagen 14: Minimum Distance 4 de marzo de 2021

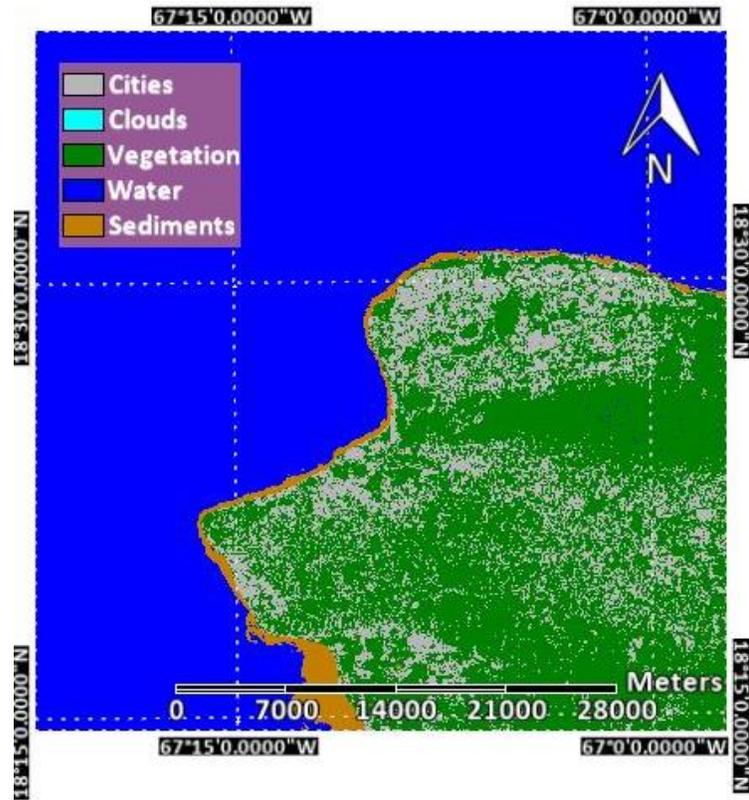


Imagen 15: Minimum Distance 28 de septiembre de 2021



Imagen 16: Minimum Distance 15 de noviembre de 2021

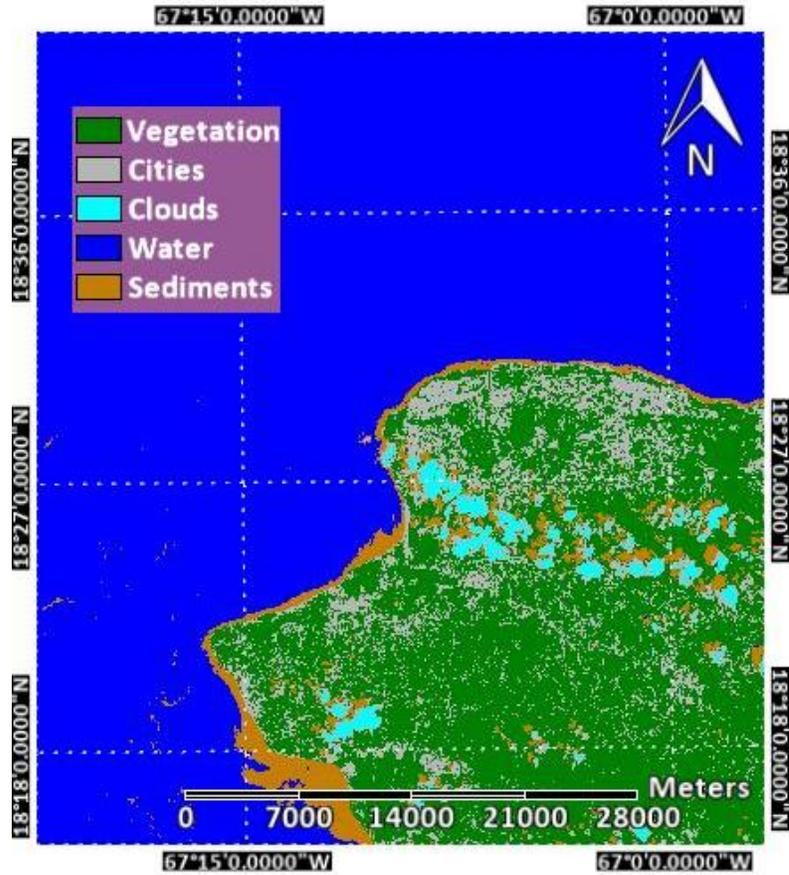


Imagen 17: Minimum Distance 10 de enero de 2022 utilizando el sensor de OLI en el Landsat 9

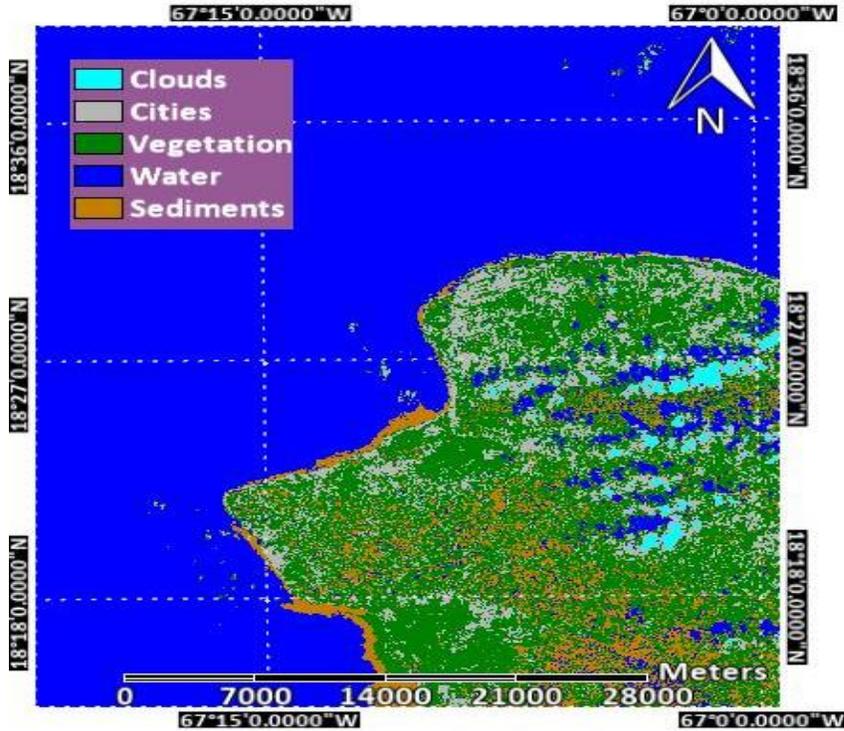


Imagen 18: Imagen de Minimum Distance del 26 de enero de 2022 utilizando el sensor de OLI en el Landsat 9



Tabla 1: Fechas Visualizadas de Descarga de Sedimentos del Río Culebrinas en su Desembocadura

| Fechas                   | Metros    |
|--------------------------|-----------|
| 17 de marzo de 2014      | 4,137.27  |
| 30 de diciembre de 2014  | 1,601.94  |
| 30 de octubre de 2015    | 3,417.11  |
| 16 de octubre de 2016    | 10,801.74 |
| 3 de octubre de 2017     | 8,092.92  |
| 9 de diciembre de 2018   | 5,311.36  |
| 21 de julio de 2019      | 3,723.02  |
| 23 de septiembre de 2019 | 3,518.32  |
| 14 de febrero de 2020    | 501.4046  |
| 25 de septiembre de 2020 | 2,727.89  |
| 4 de marzo de 2021       | 567.9556  |
| 28 de septiembre de 2021 | 1,808.18  |
| 15 de noviembre de 2021  | 2,181.50  |
| 10 de enero de 2022      | 1,347.66  |
| 26 de enero de 2022      | 1,588.58  |

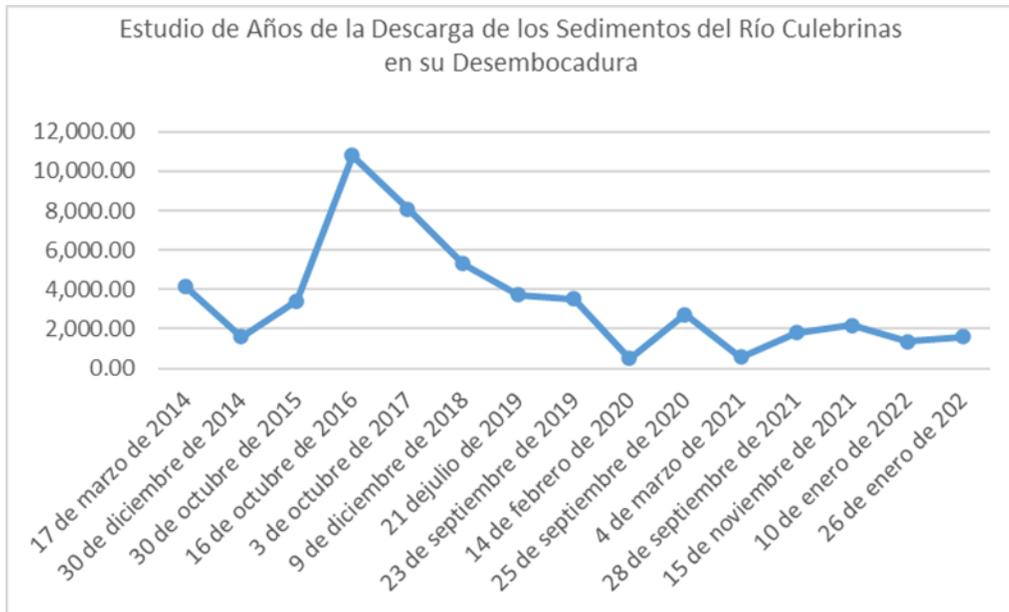
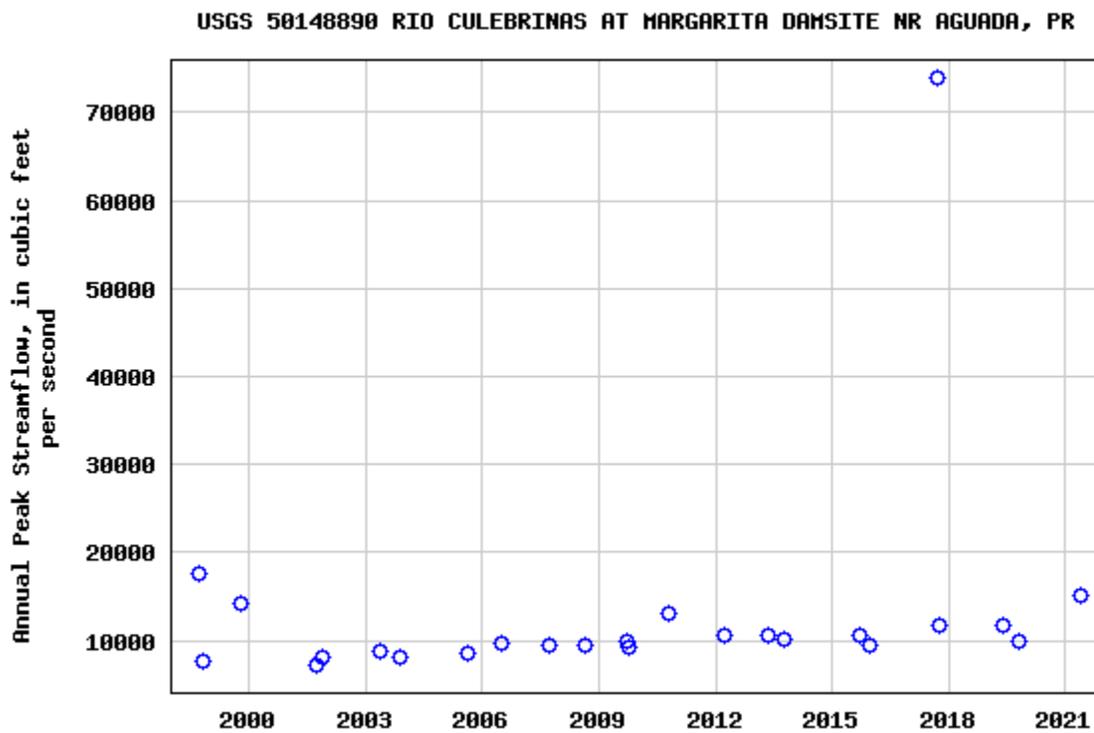


Figura 1: Estudio de Años de la Descarga de los Sedimentos del Río Culebrinas en su Desembocadura



Fuente: USGS WaterData

Figura 2: Puntos de caudal máximo en el Río Culebrinas desde los años 2000 a 2021

**Imágenes de Campo tomadas en el área de estudio de forma presencial**

**Año 2019** - Rio Culebrinas (18.336725N, 67.005021W)



**Año 2020** - Rio Culebrinas (18.336725N, 67.005021W)



**Año 2022 - Rio Culebrinas (18.336725N, 67.005021W)**





**Observación cambios en la constitución de los sedimentos en el Río Culebrinas (18.336725N, 67.005021W)**

\*Fotos tomadas desde el 2019 - 2022



**Análisis de Datos y Resultados:**

Las imágenes obtenidas por la base de datos de *EarthExplorer* por el sensor OLI en el Landsat 8 presentan que hubo mayor concentración de sedimentos en la desembocadura del Río Culebrinas. Se observa esta mayor concentración en los años 2015-2021, esencialmente a mediados de la época de huracanes; posiblemente dado a que los meses de septiembre y octubre se conocen como los meses más activos de estos disturbios atmosféricos. Dado esto, se puede observar mayor

concentración de sedimentos en los años 2015-2018 en estos meses. El mejor método/clasificación que permitió entender las clasificaciones del ROI fue la clasificación supervisada de *minimum distance classification*. En este estudio pudimos observar que el Río Culebrinas en su plumacho; o sea, en su desembocadura tuvo menor concentración en los principios de mes de los años estudiados.

El Río Culebrinas siendo un sistema serpeante (*mending river*) tiene como característica que la llanura aluvial se cubre de agua cuando el río se desborda durante las inundaciones o los períodos de fuertes lluvias. Cada vez que el río se desborda, el sedimento se deposita en la llanura aluvial. A medida que el río fluye deposita sedimentos en los depósitos de barras puntuales (bancos que se encuentran en el interior de las curvas) y erosiona los bancos en el exterior de las curvas. Esto se puede observar en las fotos tomadas del área de estudio donde vemos los lados de sedimentos y erosiones. El sedimento que se encuentra alrededor del afluente de Río Culebrinas se puede observar que es Qal; tal como indica el mapa geológico de USGS. Una breve definición que aparece sobre el sedimento Qal (aluvión a lo largo del río Culebrinas y afluentes) lo define como gravilla, arena, limo y arcilla de ligera a moderadamente meteorizada de planicies de inundación y terrazas, sin dividir. (Ver fotos cambios sedimentos)

En el área de comparación de imágenes, estas sí rindieron resultados, los cuales nos mostraron cambios en este. En estas imágenes prevalecen la unión de caminos, los cuales nos da a entender que fueron gracias a crecidas consideradas para mantenerse y crear este cambio. De igual forma, el desplazamiento de terreno el cual le añade al río. (Ver imágenes Año 2022 - Río Culebrinas (18.336725N, 67.005021W)) Estos de igual forma nos da a entender que fueron gracias a grandes descargas causadas por eventos de lluvias fuertes y de gran prolongación. También, pudimos notar en las imágenes la pérdida de vegetación en sus alrededores; lo cual es habitual y esperado, ya que

a base de las imágenes comparadas hemos visto cambios en éste como recalcamos anteriormente: cambios en trayectoria y pérdida de los alrededores. Esto afecta la vegetación cercana en estos eventos de crecidas, ya que el agua tiende a salirse de su cauce. La gran fuerza de esto termina llevando grandes cantidades de materia suelta en el río; tanto como sedimentos y vegetación, la cual termina en la desembocadura descargando todo ese sedimento en el mar. Algo que pudimos ver en la sección de arriba, luego de procesar las imágenes, es ver cómo éstos toman grandes cantidades de nuestras costas por ciertos tiempos; en especial aquellos con grandes cantidades de lluvia significativa, que hace esos cambios a veces prolongados o pasajeros al río.

### **Limitaciones y Recomendaciones Futuras**

Algunas de las dificultades encontradas durante el proceso investigativo fueron la presencia de nubosidad en las áreas de estudio lo que dificultó la apreciación de las imágenes sensoriales. De igual forma, algunas sombras que dificultaban; por ejemplo, en áreas de concentraciones de agua. Otra limitación es el difícil acceso a data sobre sedimentos para distintas fechas de estudio. Algunas recomendaciones son crear una base de datos con imágenes y data cuantitativa accesible a estudiantes con intereses investigativos. De igual forma, se recomienda continuar con este estudio para los años posteriores al 2020.

### **Conclusión**

Las imágenes trabajadas mediante el uso de sensores demostró ser un mecanismo de gran ayuda para observar cambios en descargas de sedimentos. También cambios en las áreas de estudio como lo fue la desembocadura del Río Culebrinas. Estas imágenes nos permiten concluir que el periodo de mayor descarga de sedimentos es la que comprende la temporada de huracanes, siendo el mes de septiembre el de mayor descarga. Los meses entre marzo a julio presentan una merma en la

descarga de sedimentos. Tal es el caso presentado para el año 2019 donde se presentó una imagen del mes de julio y otra del mismo año para el mes de septiembre. En la imagen del mes de julio se aprecia una descarga inferior a la descarga ocurrida en el mes de septiembre. En las crecidas del río se presenta que no todo el sedimento fluye a su desembocadura por distintas razones como es la presencia de vegetación y material vegetativo que obstruye el flujo natural de la crecida. El sedimento se deposita en la llanura aluvial, formando bancos y el restante fluyendo a la desembocadura (plumacho). Las imágenes nos presentan que para septiembre 2017, cuando fue el paso del Huracán María, hubo una gran concentración de descarga de sedimento en la desembocadura del río.

Para los años 2018 y 2019 se observó cómo aún hay mucho sedimento, pero 2018 tiene más que 2019. Por tanto, aún un año después de María sigue una gran descarga. Lo que nos podría decir que luego del paso de un evento de gran magnitud existe una alta presencia de sedimentos. A través de data obtenida se observó que los años con más descarga de sedimentos fueron 2017, 2019 y 2020, pero en el 2020 vemos como también tuvo el más bajo. Vemos que al presente ha estado bajo y constante por lo que dentro de nuestras recomendaciones está que se continúe observando los cambios en la descarga de sedimentos. La data obtenida de USGS nos permitió ver los desbordamientos cuando el río alcanzó su nivel de cauce y se salió. En ellos observamos que nuevamente los años 2017 y 2019 son los que sobresalen.

## Referencias:

- Prothero, D. and Schwab, F., 2014. *Sedimentary Geology: An Introduction to Sedimentary Rock and Stratigraphy*. 3rd ed. New York: W.H. Freeman and Company, pp.144-152
- Geol.umd.edu. 2021. *GEOL342 - Sedimentation and Stratigraphy*. [online] Available at:<<https://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/10.html>> [Accessed 19 April 2021].
- Güneralp, Inci & Marston, Richard. (2012). Process–form linkages in meander morphodynamics. *Progress in Physical Geography*. 36. 10.1177/0309133312451989.
- Young Ji Joo, Megan E. Elwood Madden, Gerilyn S. Soreghan; Anomalously low chemical weathering in fluvial sediment of a tropical watershed (Puerto Rico). *Geology* 2018;; 46 (8): 691–694. doi: <https://doi-org.uprm.idm.oclc.org/10.1130/G40315.1>
- Mouyen M, Longuevergne L, Steer P, Crave A, Lemoine JM, Save H, Robin C. Assessing modern river sediment discharge to the ocean using satellite gravimetry. *Nat Commun*. 2018 Aug 23;9(1):3384. doi: 10.1038/s41467-018-05921-y. PMID: 30139937; PMCID: PMC6107634.
- Velázquez, V. R. (2019, agosto 28). Desconocida la capacidad de los principales embalses ante el evento de lluvias que se anticipa por Dorián. Centro de Periodismo Investigativo. <https://periodismoinvestigativo.com/2019/08/capacidad-embalses-lluvia-dorian/>
- Cyber News. (2019, junio 19). La sedimentación afecta a los embalses Caonillas, Dos Bocas, la Plata, Lucchetti. Metro Puerto Rico. <https://www.metro.pr/pr/noticias/2019/06/19/la-sedimentacion-afecta-a-los-embalses-caonillas-dos-bocas-la-plata-lucchetti.html>