

Impacto del huracán Katrina en Luisiana, utilizando imágenes del programa Landsat (TM y ETM+) y MODIS

Manuel I. Ramos-Rodríguez y Marielly Irizarry-Ramírez

Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez: Departamento de Geología, Edificio de Física, Geología y Ciencias Marinas Box 9000 Mayagüez, Puerto Rico 00681

Resumen - El huracán Katrina tocó tierra con vientos hasta 155 mph (Categoría 4) en la costa este de Luisiana el 29 de agosto de 2005 (Barras, 2007). Este estudio tuvo como propósito utilizar la Percepción Remota para visualizar los impactos inmediatos e impactos a largo plazo que tuvo este huracán en Luisiana en términos de vegetación, inundaciones y daños en la infraestructura. Se utilizaron los programas ENVI 5.3.1 (64-bit) y ENVI Classic 5.3 (64-bit) los cuales fueron provistos por el Dr. Fernando Gilbes y el Laboratorio de Computadoras del Departamento de Geología. Con estos programas se procesaron imágenes del programa Landsat (“Thematic Mapper” y “Enhanced Thematic Mapper +”) obtenidas de la base de datos “Earth Explorer” e imágenes de MODIS con fechas antes del impacto del huracán, días después del huracán, meses después del huracán y diez años después del huracán. Se utilizaron estos programas para hacer un “Subset” en color real, uno en color falso, un Índice de Vegetación (NDVI), y una Clasificación Supervisada para cada imagen obtenida. Pudimos observar que la vegetación del área de Luisiana se vio afectada de manera significativa y concluimos que el huracán Katrina ocasionó daños irreversibles en el área de Luisiana; daños que con el paso de 10 años aún pueden observarse.

Palabras Clave – Percepción Remota, huracán Katrina, ENVI, ENVI Classic, desastres naturales, Landsat, MODIS.

Introducción

El huracán Katrina tocó tierra en la costa este de Luisiana el 29 de agosto de 2005 (Barras, 2007). Este huracán (figura 1) fue uno de los desastres naturales más hablados durante la última década. Tanto el estado de Luisiana, como los estados vecinos de Alabama y Mississippi, fueron grandemente afectados tras el paso del huracán. Algunas consecuencias del impacto del huracán fueron las pérdidas de tierra que sufrieron las costas y las inundaciones debidos por la presencia de humedales (Barras, 2007). Este fue uno de los huracanes más costosos de Estados Unidos. Luisiana y los estados vecinos sufrieron, entre muchas cosas, aumentos transitorios de agua causados por inundaciones repentinas, eliminación de la vegetación acuática y una interrupción del ecosistema nativo (Barras, 2007). Islas cercanas y costas experimentaron una gran cantidad de erosión, un ejemplo es “Dauphin Island” donde la primera fila de casas quedaron expuestas al mar (Sallenger, Wright, y Lillycrop, 2007).

Unos ejemplos de trabajos con Katrina son los de Womble et al., Rykhus y Lu. Womble, et al. (2006) hablaron sobre las aplicaciones de Percepción Remota que utilizaron para detección de daños a edificios, inundaciones y zonas de alto riesgo. Rykhus y Lu, (2007) utilizaron imágenes satelitales para ver inundaciones y derrames de aceites por causa de Katrina. Utilizaron Radarsat-1 y ETM+ para crear mapas que puedan representar áreas de inundación, manchas de petróleo y restos flotantes.



Figura 1. Trayectoria del huracán Katrina desde 8/23/05 hasta 8/30/05 (tomado de ram.tiempo.com).

Durante las últimas cuatro décadas, Landsat ha logrado ser un recurso único para los que trabajan en el área de agricultura, geología,

sistema de bosques, planes regionales, educación, mapas e investigaciones de cambio global (Landsat missions, 2015). Según explican Nourbakhsh, et al. (2006), las imágenes de satélite (incluyendo Landsat) también han sido de gran valor en las operaciones de emergencia y rescate luego de desastres. Este proyecto es una iniciativa del “United States Geological Survey” (USGS) y la NASA, que ha logrado recolectar información para aportar a las comunidades del gobierno, comerciales, industriales, civiles, militares y educacionales en los Estados Unidos y otras partes del mundo (Landsat missions, 2015). De este programa utilizamos dos sensores: “Thematic Mapper (TM)” y “Enhanced Thematic Mapper + (ETM+)”.

Tipo de Sensor:	“Whiskbroom”
Resolución Espacial:	30 m (120m – thermal)
Rango Espectral:	0.45 – 12.5 μm
Número de Bandas:	7
Resolución Temporal:	16 días
Tamaño de Imagen:	185 km X 172 km
Resolución Radiométrica:	8 bits (256 DN)

Programable:	Si
--------------	----

Tabla 1. Especificaciones de TM (Campbell y Wynne, 2011).

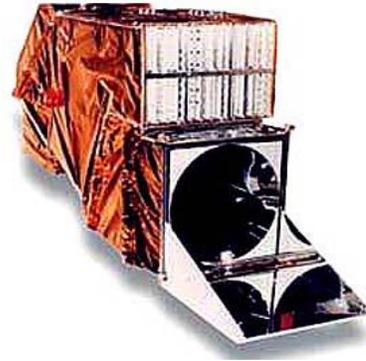


Imagen 2. Imagen del sensor “Thematic Mapper” (tomado de fas.org).

Tipo de Sensor:	“Whiskbroom”
Resolución Espacial:	30 m (60 m – thermal, 15-m pan)
Rango Espectral:	0.45 – 12.5 μm
Número de Bandas:	8
Resolución Temporal:	16 días
Tamaño de Imagen:	184 km X 185.2 km
Resolución Radiométrica:	8 bits (256 DN)
Programable:	Si

Tabla 2. Especificaciones de ETM+ (Campbell y Wynne, 2011).



Imagen 3. Imagen del sensor “Enhanced Thematic Mapper +” (tomado de landsathandbook.gsfc.nasa.gov).

MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) es un sensor a bordo de los satélites Terra y Aqua. Terra MODIS y Aqua MODIS observan la superficie de la Tierra cada 1 a 2 días. La información que recolecta este sensor es mayormente utilizada para entender las dinámicas globales y los procesos que ocurren en tierra, cuerpos de agua y la atmósfera.

Orbita:	705 km, 10:30 a.m. nodo descendiente (Terra) o 1:30 p.m. nodo ascendiente (Aqua), sincronizado al sol, casi polar, circular
---------	---

Velocidad de Escaneo:	20.3 rpm, “cross track”
“Swath Dimensions”:	2330 km (“cross track”) por 10 km (“along track at nadir”)
Tamaño:	1.0 x 1.6 x 1.0 m
Velocidad de Data:	10.6 Mbps (en el día); 6.1 Mbps (promedio)
Cuantización:	12 bits
Resolución Espacial:	250 m (bandas 1-2), 500 m (bandas 3-7), 1000 m (bandas 8-36)
Vida del Sensor:	6 años

Tabla 3. Especificaciones de MODIS (Campbell y Wynne, 2011).



Imagen 4. Imagen de MODIS (tomado de ciencia.nasa.gov)

Objetivos

Nuestro trabajo consistió de seis objetivos principales. El primero fue utilizar imágenes del programa Landsat y sus sensores TM y ETM+, así como el sensor MODIS. Otro satélite que consideramos poner en práctica en este proyecto es el de GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) (Darling, 2003). El sensor GOES se descartó ya que no logramos encontrar imágenes que no estén altamente procesadas. El segundo objetivo fue hacer ajustes a las imágenes crudas o levemente procesadas mediante el programa ENVI. Tercero fue comparar la geografía del lugar antes y después del huracán. El cuarto objetivo fue analizar la erosión de costas. Quinto, analizar la eliminación de vegetación.

Por último, el sexto objetivo fue observar si estos daños tuvieron efectos permanentes.

Metodología

Se utilizaron los programas ENVI 5.3.1 (64-bit) y ENVI Classic 5.3 (64-bit) los cuales fueron provistos por el Dr. Fernando Gilbes y el

Laboratorio de Computadoras del Departamento de Geología para cumplir con los objetivos. Con estos programas se procesaron imágenes del programa Landsat (“Thematic Mapper” y “Enhanced Thematic Mapper +”) obtenidas de la base de datos “Earth Explorer” e imágenes de MODIS. Se obtuvieron imágenes crudas y levemente procesadas (Nivel 1B) de la base de datos EarthExplorer en el área del lago Pontchartrain y New Orleans en el estado de Luisiana, EE. UU (Imagen 5).

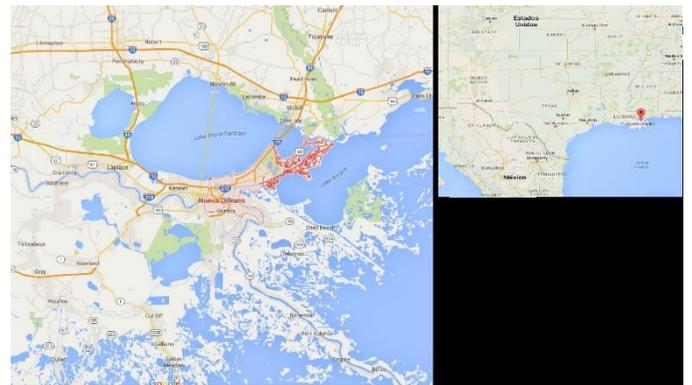


Imagen 5. Área de estudio (tomado de Google Maps).

Se abrieron las imágenes obtenidas en el programa de procesamiento y análisis de imágenes, ENVI. Se realizó un “spatial subset” de las imágenes para analizar el área de New Orleans y el Lago Pontchartrain, lugares donde se presentó el mayor impacto del huracán. Esto se

hizo mediante la herramienta “Resize Data” en el “Toolbox” de ENVI.

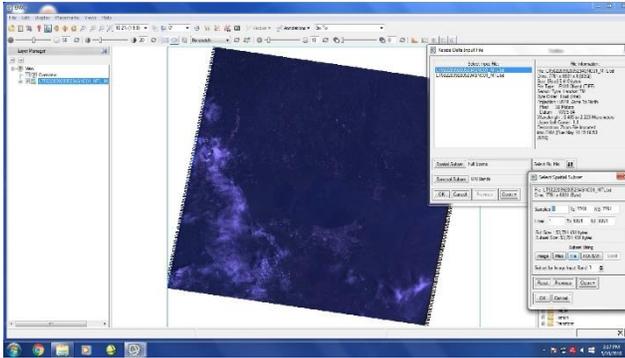


Imagen 6. Procedimiento para crear un “Spatial Subset” en ENVI.

Se realizó un “stretch” lineal de 2% a las imágenes para tener una mejor visualización de la imagen en color verdadero. A las imágenes recortadas, se les realizó un cambio del color de bandas (“Change RGB Bands”) para obtener una imágenes de color falso, donde la banda infrarroja cercana pasó a ser la banda roja, la banda roja pasó a ser la banda verde, y la banda verde pasó a ser la banda azul.

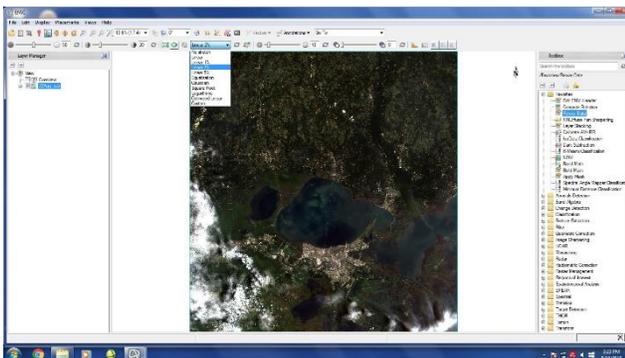


Imagen 7. Procedimiento para crear una imagen

en color verdadero con “Linear Stretch” de 2% en ENVI.

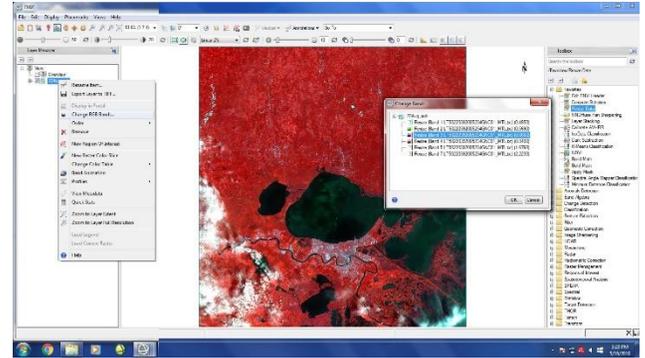


Imagen 8. Procedimiento utilizado para una imagen en color falso en ENVI.

Luego, se utilizó la herramienta “NDVI” con Green/White Linear y “Band Mask” para las imágenes. A la imagen obtenida se le aplicó una máscara para ocultar los cuerpos de agua. El NDVI se encuentra en el folder llamado Vegetación en el “Toolbox” de ENVI. Las herramientas de “Apply Mask” y “Build Mask” se encuentran en el subfolder llamado “Masking” el cual se encuentra en el folder llamado “Raster Management” en el “Toolbox” de ENVI. Para aplicar el color “Green/White Linear” se utilizó la opción de “ENVI Color Tables” bajo “Color

Mapping” bajo “Tools” en ENVI Classic.

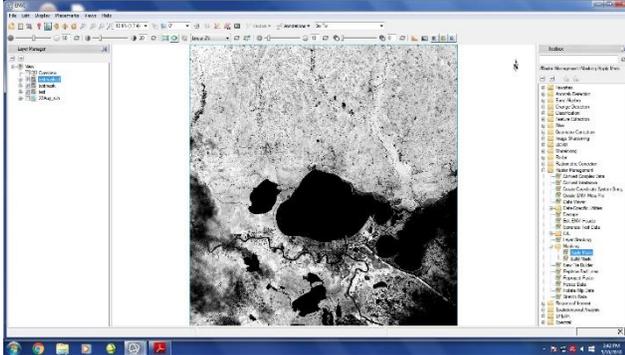


Imagen 9. NDVI con mascara aplicada (valores de 0 a 1.1) en ENVI.

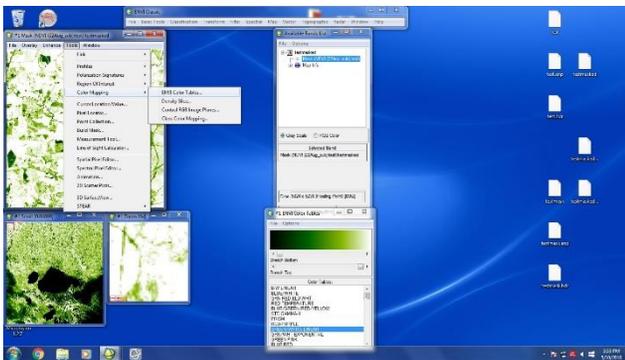


Imagen 10. Procedimiento para cambiar las tablas de colores para “Green/White Linear” en ENVI Classic.

Por último se realizó una Clasificación Supervisada sobre un “subset” más pequeño del área de New Orleans para visualizar mejor las inundaciones. Las Regiones de Interés fueron: Amarillo-Ciudad, Verde-Vegetación, Blanco-Nubes y Azul-Agua. La Clasificación Supervisada que se utilizó fue “Minimum Distance Classification” con las cuatro regiones

de interés mencionadas. Esta herramienta se encuentra bajo el subfolder llamado “Supervised Classification” el cual esta bajo el folder “Classification” en el Toolbox de ENVI.

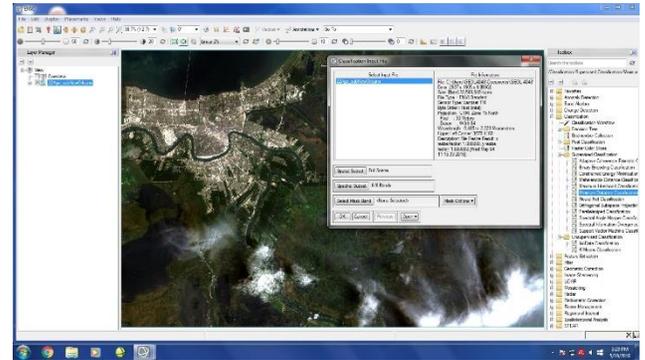


Imagen 11. El “subset” utilizado para la clasificación supervisada.

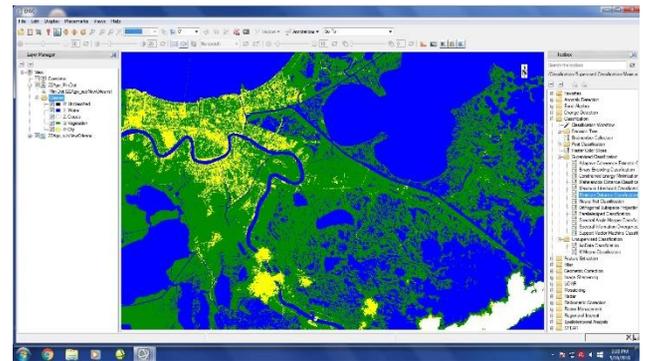


Imagen 12. Un ejemplo de una de las clasificaciones supervisadas que se hicieron. Las Regiones de Interés fueron: Amarillo-Ciudad, Verde-Vegetación, Blanco-Nubes y Azul-Agua.

Todos estos procedimientos se utilizaron para cinco imágenes con las siguientes fechas:

- 22 de agosto de 2005 (TM, 7 días antes de Katrina)

- 30 de agosto de 2005 (ETM+, 1 día después de Katrina)
- 7 de septiembre de 2005 (TM, 9 días después de Katrina)
- 2 de noviembre de 2005 (ETM+, más de 2 meses después de Katrina)
- 15 de octubre de 2015 (ETM+, un poco más de 10 años después de Katrina)

Con los 4 procedimientos discutidos hechos en cada imagen creamos un total de 20 imágenes procesadas utilizando las de bajo nivel del programa Landsat. Las imágenes a color verdadero que utilizamos para el sensor MODIS tuvieron las fechas de:

- 28 de agosto de 2005 (Terra MODIS, 1 día antes de Katrina)
- 30 de agosto de 2005 (Terra MODIS, 1 día después de Katrina)
- 31 de agosto de 2005 (Aqua MODIS, 2 días después de Katrina)

Estas imágenes cubren tanto el área estudiada como una gran parte de la costa de Luisiana y Mississippi. Aparte de esas imágenes con las que

se trabajaron encontramos dos del huracán Katrina del sensor MODIS con las fechas de:

- 28 de agosto de 2005 (Terra MODIS)
- 29 de agosto de 2005 (Aqua MODIS)



Imagen 13. El huracán Katrina el 28 de agosto de 2005 acercándose a la Costa del Golfo como huracán de categoría 5 (Vientos mayores de 155 mph). Imagen de Terra MODIS con una resolución espacial de 250m.



Imagen 14. El huracán Katrina tocando tierra el 29 de agosto de 2005 sobre la Costa del Golfo como huracán de categoría 4 (Vientos de 131-155 mph). Imagen de Aqua MODIS con una resolución espacial de 250m.

Las imágenes del sensor MODIS se compararon entre sí. Las imágenes de Landsat, para mejor visualizar los efectos del huracán a corto y largo plazo, las comparamos de la siguiente manera:

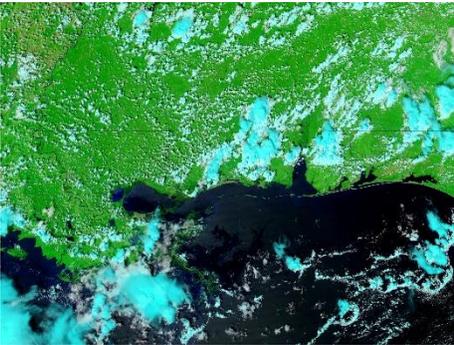
- 22 de agosto de 2005 (Imagen 7 días antes del Huracán) vs. 30 de agosto de 2005 (1 día después del Huracán)

- 22 de agosto de 2005 (Imagen 7 días antes del Huracán) vs. 7 de septiembre de 2005 (Imagen 7 días después del Huracán)
- 22 de agosto de 2005 (Imagen 7 días antes del Huracán) vs. 2 de noviembre de 2005 (Imagen más de 2 meses después de Katrina)
- 2 de noviembre de 2005 (Imagen más de 2 meses después de Katrina) vs. 15 de octubre de 2015 (Imagen un poco más de 10 años después de Katrina)
- 22 de agosto de 2005 (Imagen 7 días antes del Huracán) vs. 15 de octubre de 2015 (Imagen un poco más de 10 años después de Katrina)

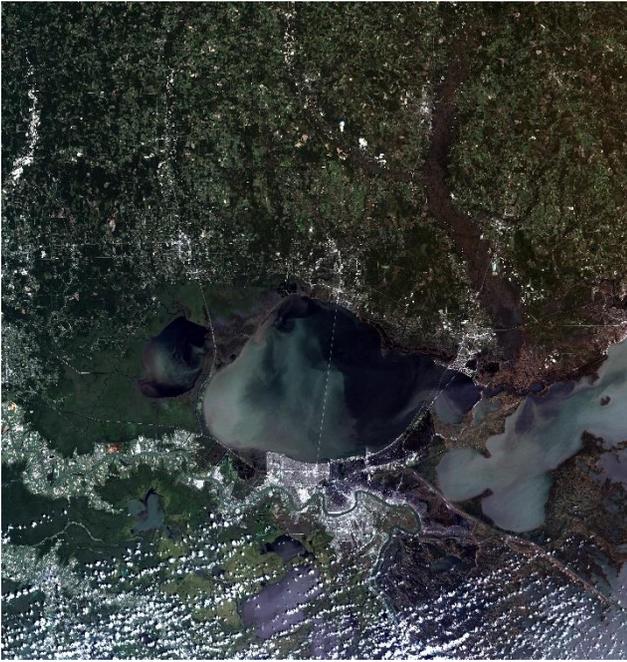
Resultados:

- Color Verdadero
 - Imagen 15. 28 de agosto de 2005 (Terra MODIS, 1 día antes de Katrina) vs. 30 de agosto de 2005 (Terra MODIS, 1 día después de Katrina) vs. 31 de agosto de 2005 (Aqua MODIS, 2 días después de Katrina)

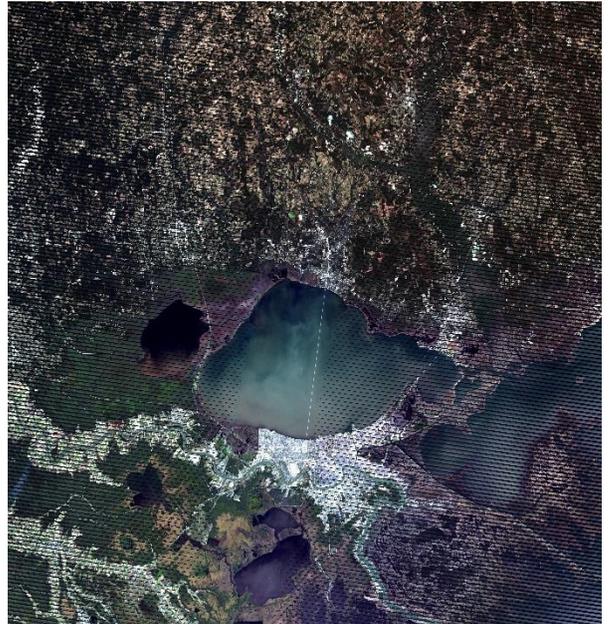
- Imagen 16. 22 de agosto de 2005 vs. 30 de agosto de 2005



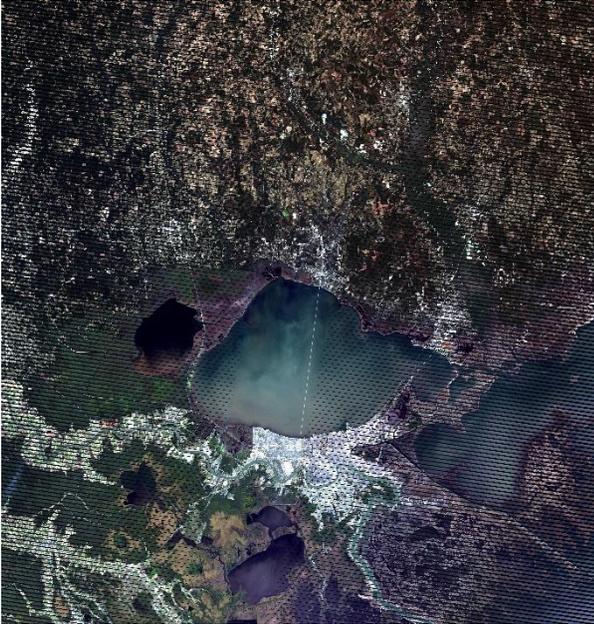
○ Imagen 17. 22 de agosto de 2005 vs. 7 de septiembre de 2005



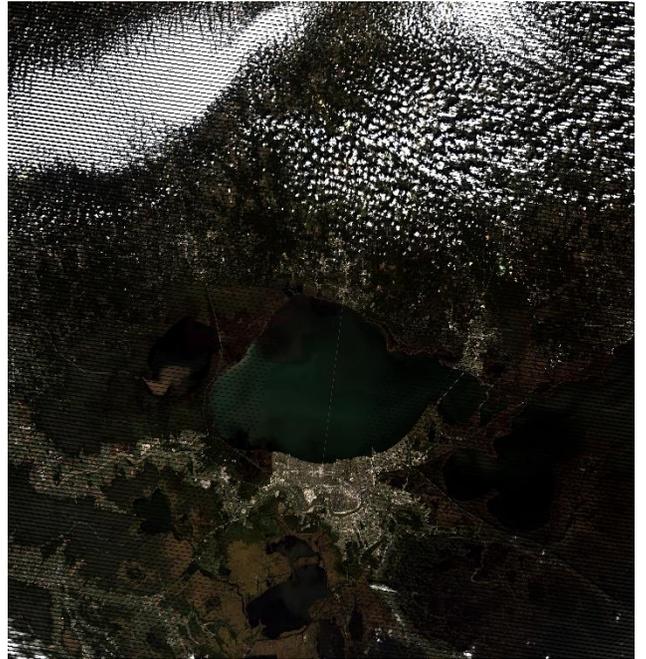
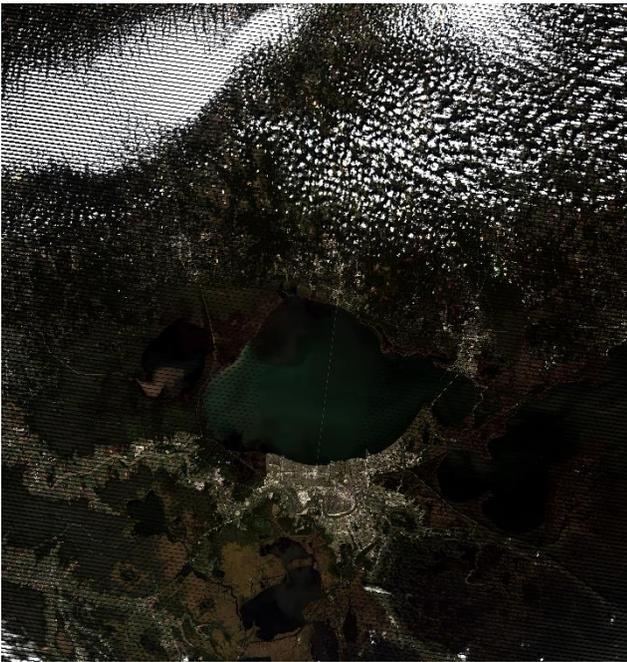
○ Imagen 18. 22 de agosto de 2005 vs. 2 de noviembre de 2005



- Imagen 19. 2 de noviembre de 2005 vs. 15 de octubre de 2015

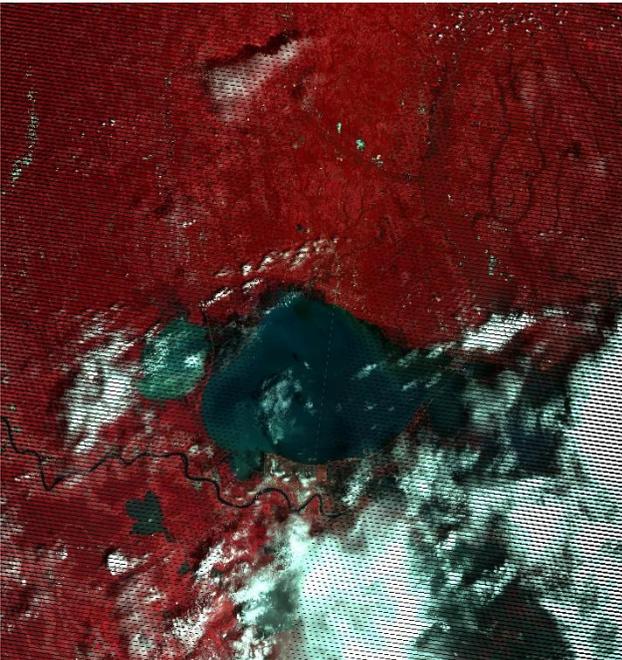
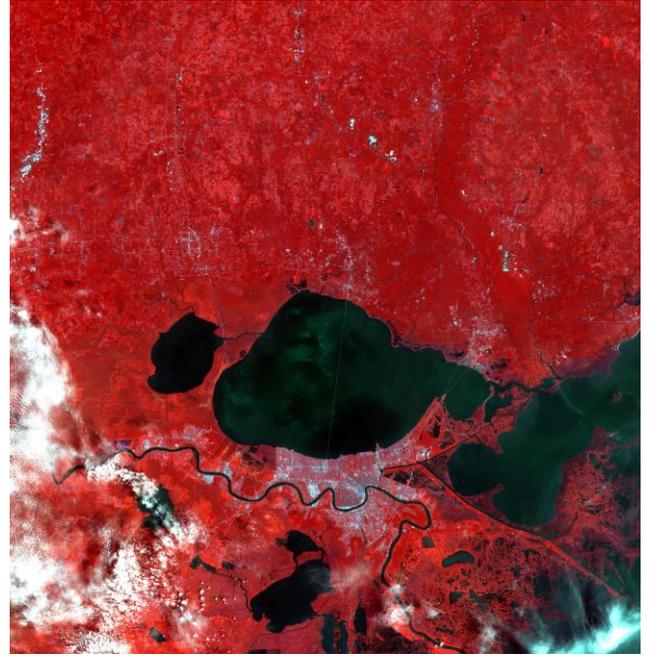
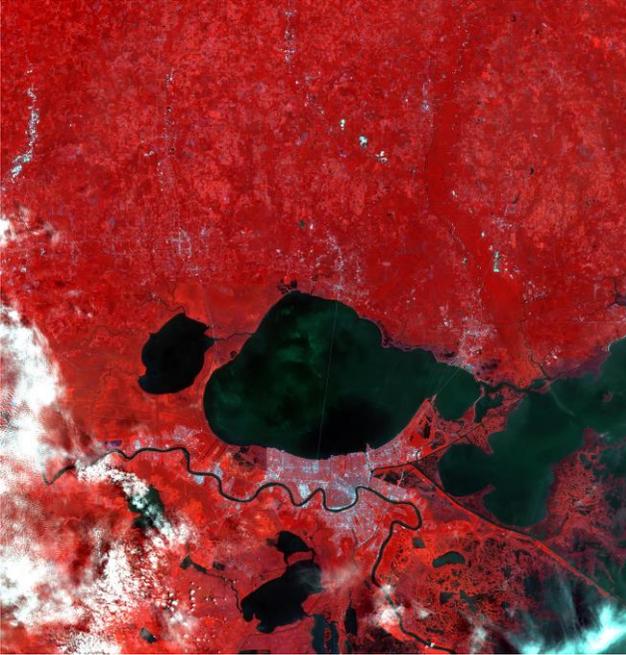


- Imagen 20. 22 de agosto de 2005 vs. 15 de octubre de 2015

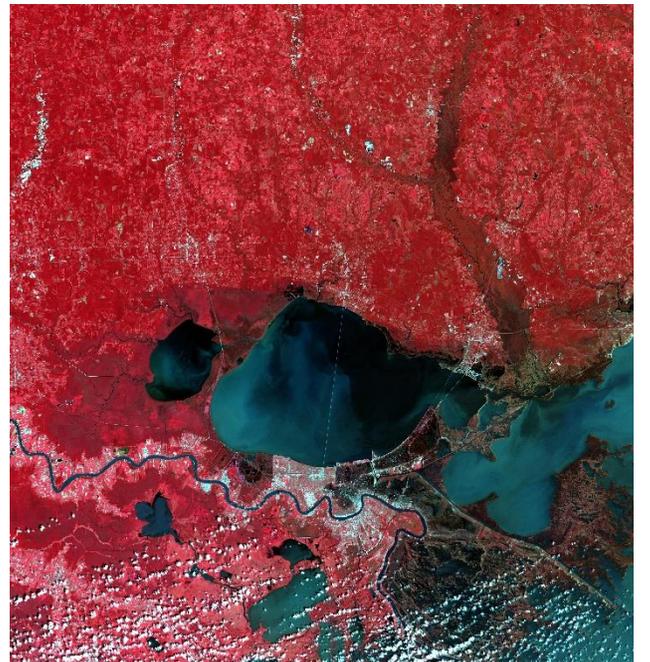


➤ Color Falso

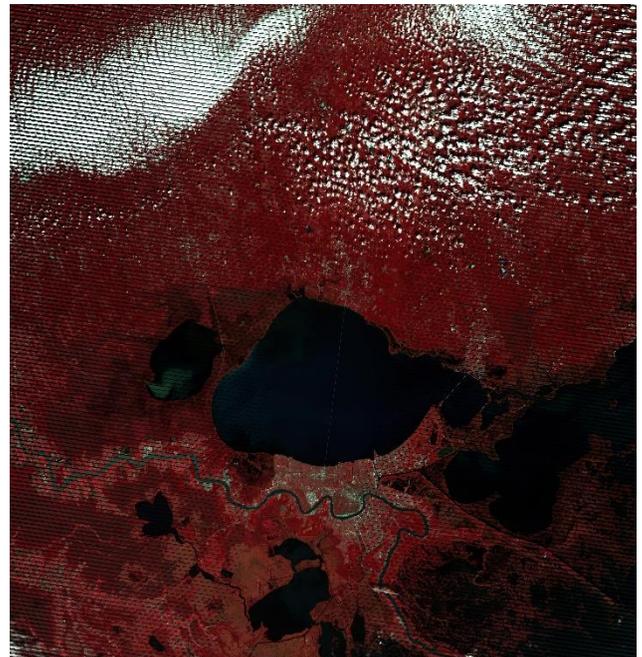
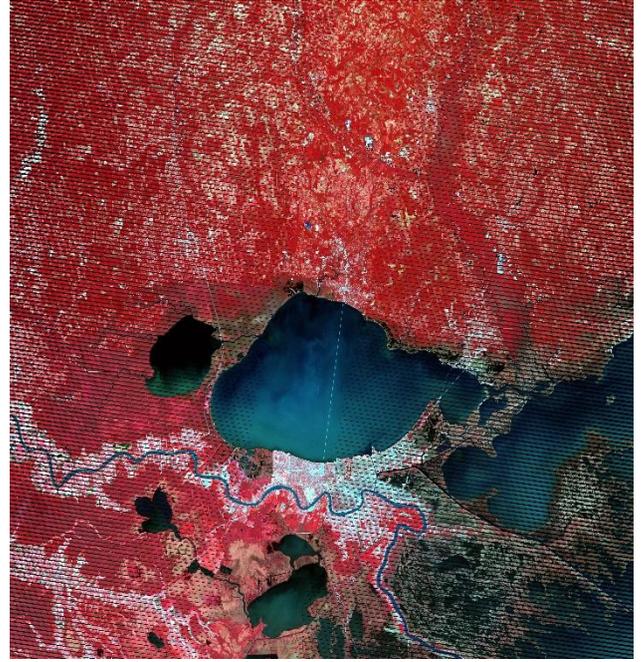
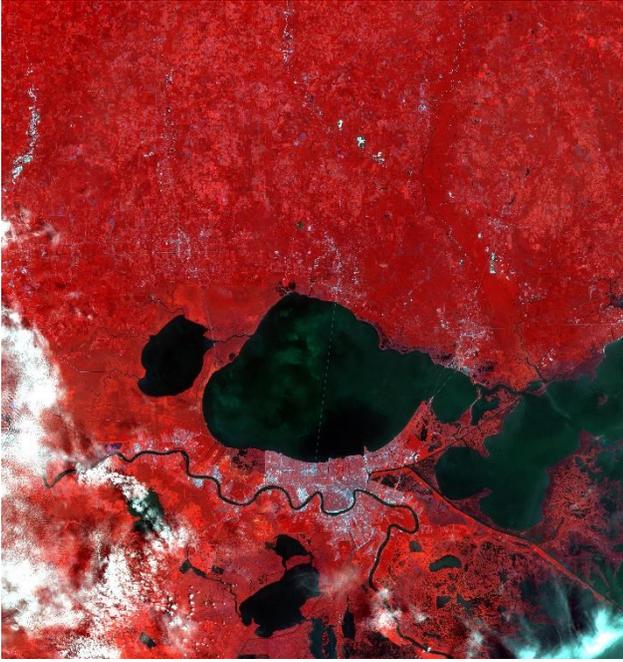
- Imagen 21. 22 de agosto de 2005 vs. 30 de agosto de 2005



- Imagen 22. 22 de agosto de 2005 vs. 7 de septiembre de 2005



- Imagen 23. 22 de agosto de 2005 vs. 2 de noviembre de 2005

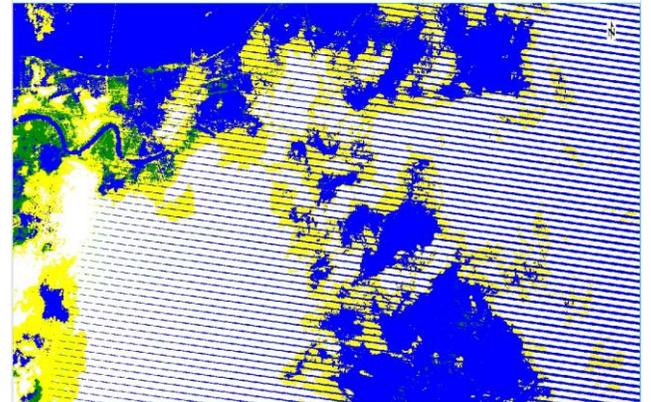
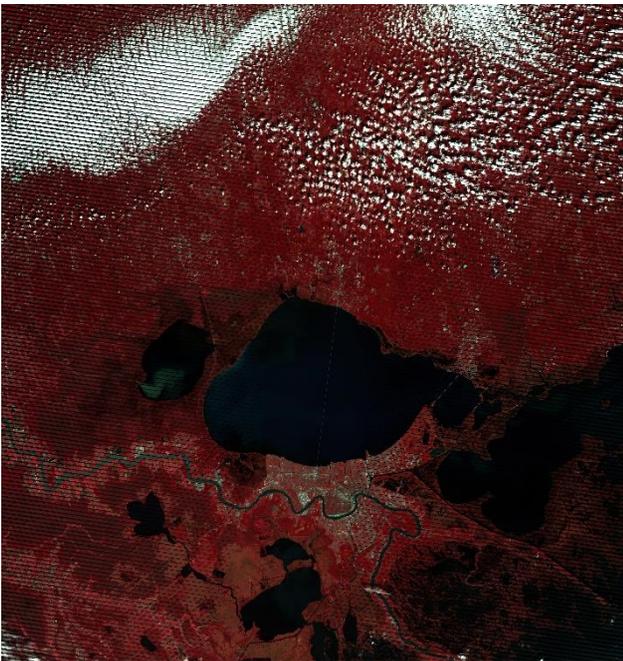
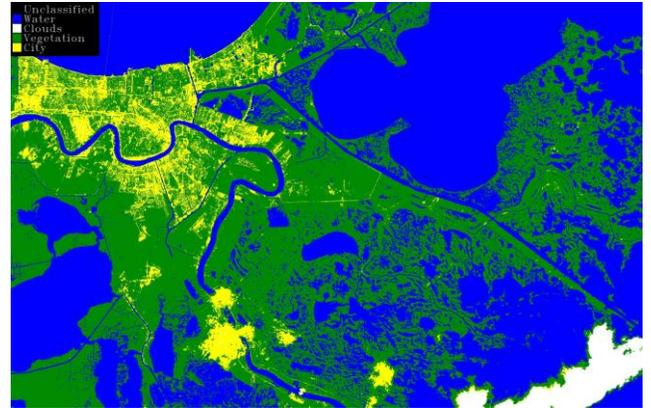
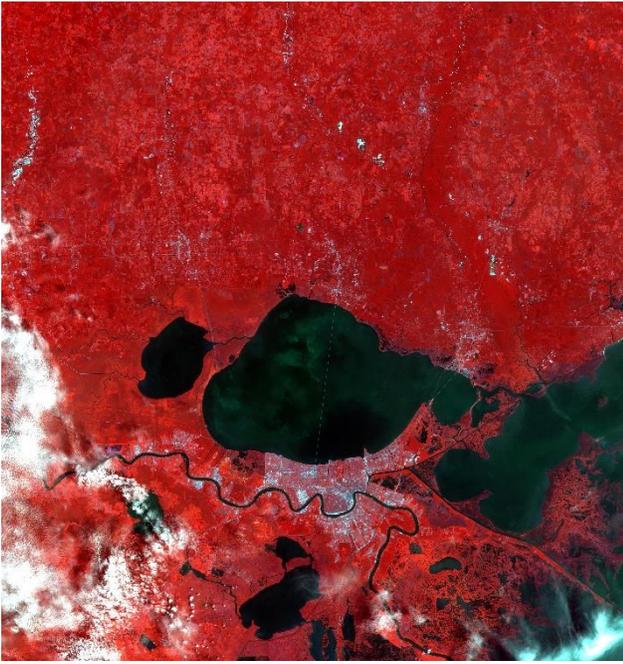


○ Imagen 24. 2 de noviembre de 2005 vs. 15 de octubre de 2015

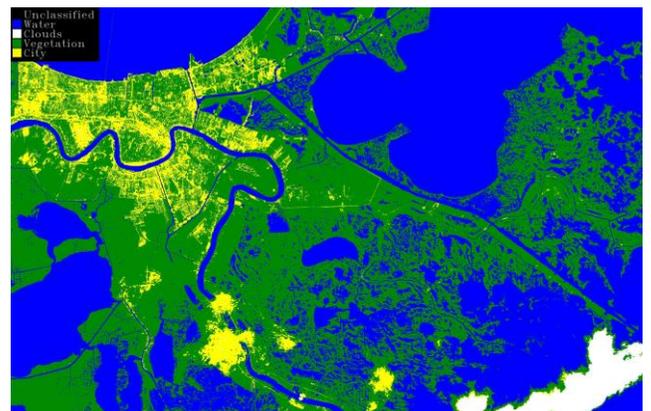
○ Imagen 25. 22 de agosto de 2005 vs. 15 de octubre de 2015

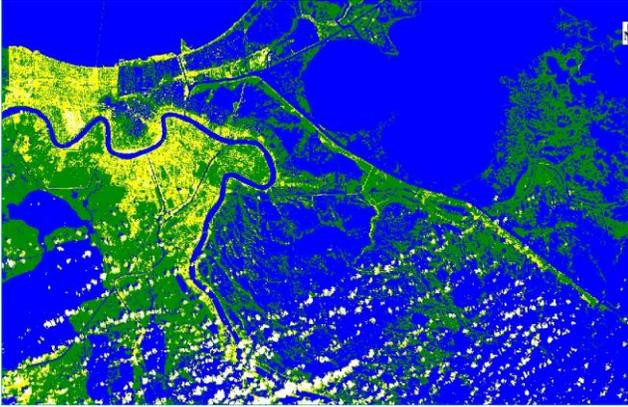
➤ Clasificación Supervisada

- Imagen 26. 22 de agosto de 2005 vs. 30 de agosto de 2005

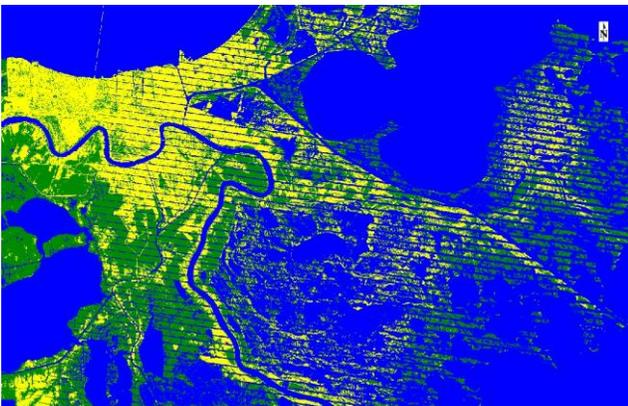
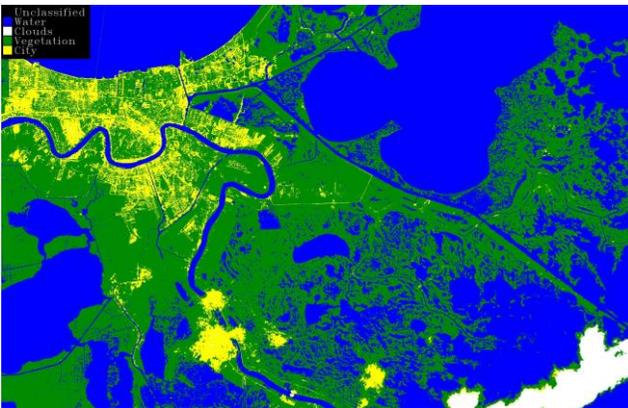


- Imagen 27. 22 de agosto de 2005 vs. 7 de septiembre de 2005

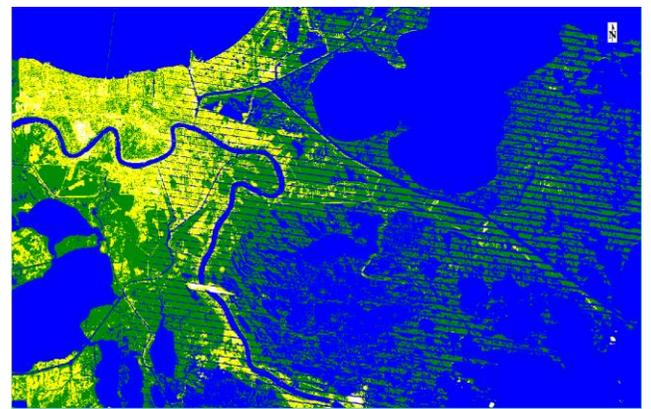
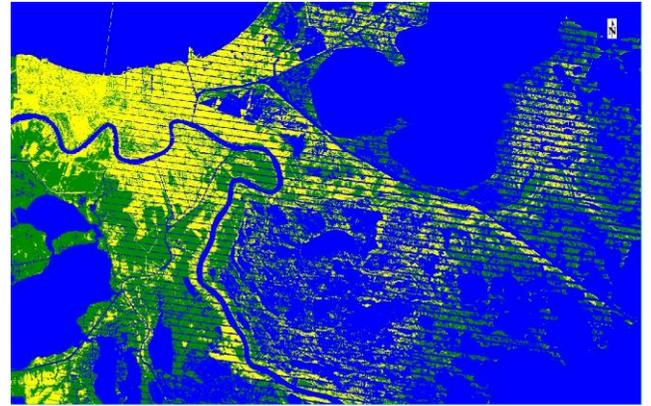




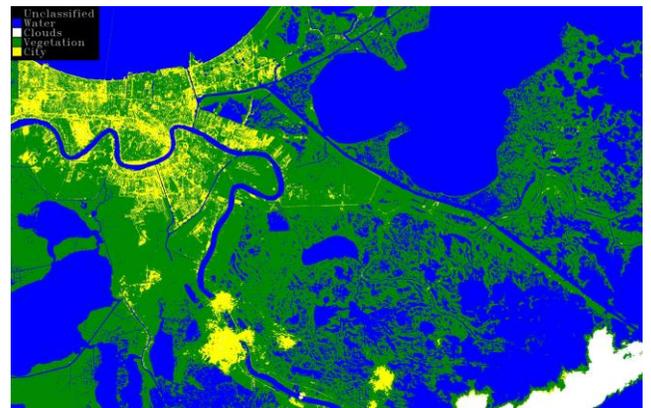
○ Imagen 28. 22 de agosto de 2005 vs. 2 de noviembre de 2005

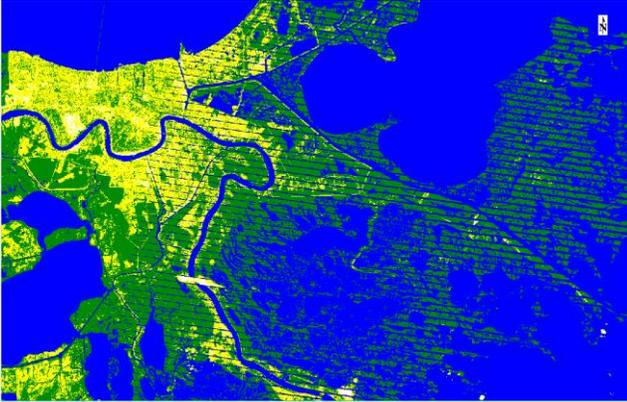


○ Imagen 29. 2 de noviembre de 2005 vs. 15 de octubre de 2015



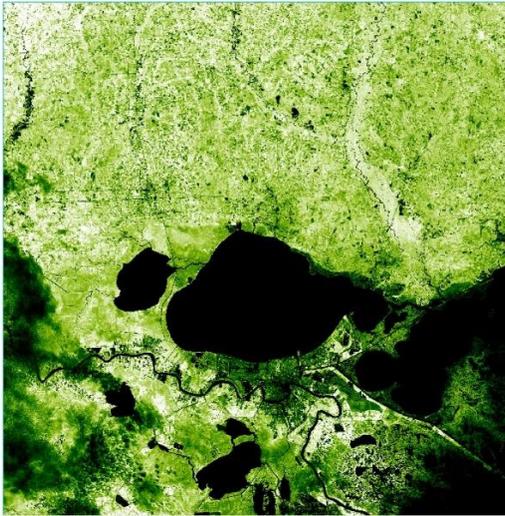
○ Imagen 30. 22 de agosto de 2005 vs. 15 de octubre de 2015



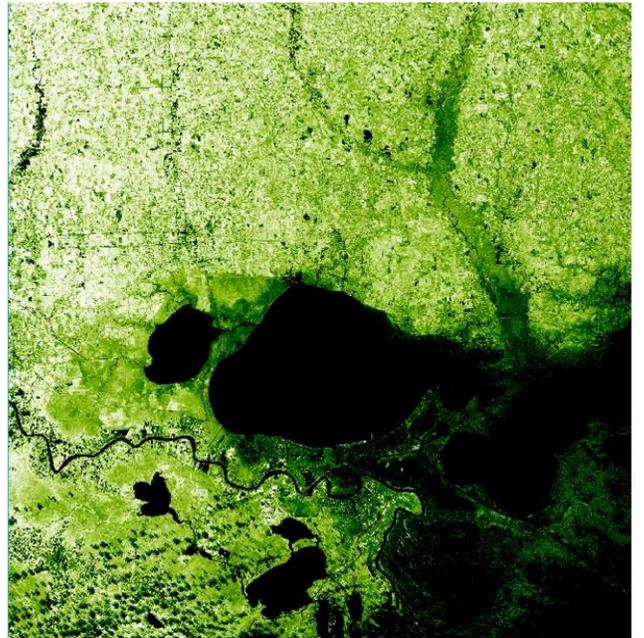
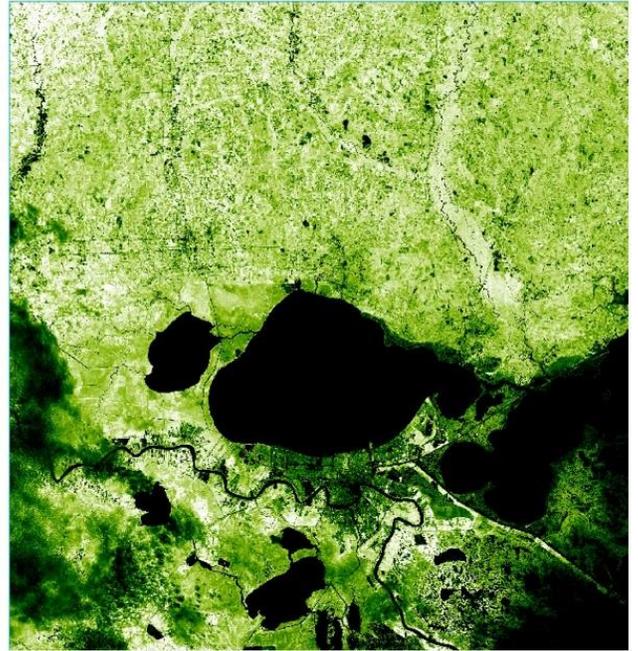


➤ NDVI

- Imagen 31. 22 de agosto de 2005 vs. 30 de agosto de 2005



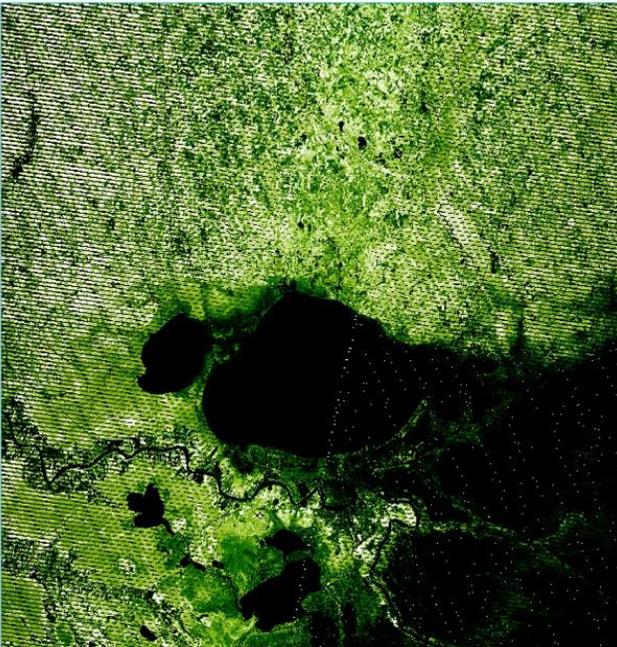
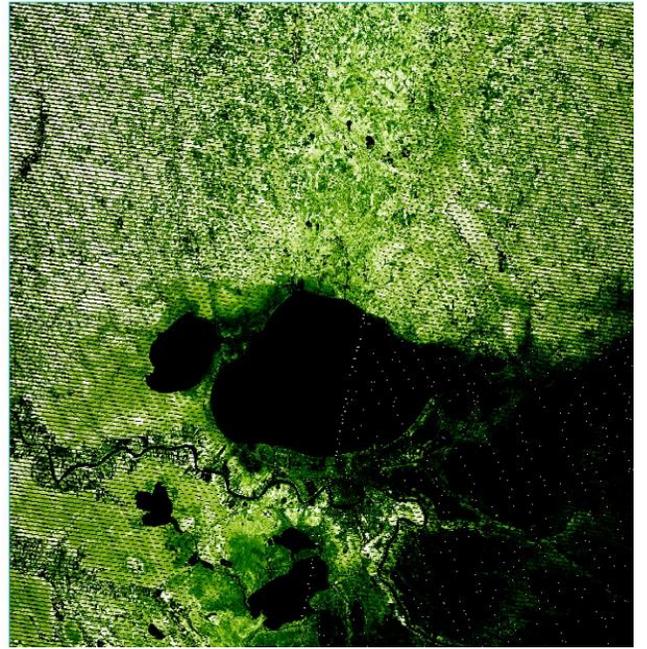
- Imagen 32. 22 de agosto de 2005 vs. 7 de septiembre de 2005



○ Imagen 33. 22 de agosto de 2005 vs. 2 de noviembre de 2005



○ Imagen 34. 2 de noviembre de 2005 vs. 15 de octubre de 2015



- Imagen 35. 22 de agosto de 2005 vs. 15 de octubre de 2015



Conclusiones:

Mediante el análisis de las imágenes obtenidas para este proyecto, pudimos observar que la vegetación del área de Luisiana se vio afectada de manera significativa. Esto se debe a que aún se puede observar áreas oscuras en los lugares donde se observaron inundaciones tras el paso del huracán Katrina. Tanto las imágenes de color falso, NDVI, clasificadas como las imágenes de color verdadero nos muestran que la vegetación sufrió cambios después del huracán. Especialmente al sur de Nueva Orleans donde no se había recuperado la vegetación hasta 2 meses después del huracán. Comparando las fotos de antes del huracán y 10 años después se puede hacer la conclusión de que ese ecosistema todavía tiene las “cicatrices” que causó Katrina.

De igual forma, se pudo observar que las áreas cercanas a las costas no poseen la misma forma previa al huracán Katrina, por lo que se puede deducir que no solo se observaron inundaciones en las imágenes sino una remoción del terreno. Los daños a la infraestructura e inundaciones se pueden notar gravemente en la

“Imagen 27. 22 de agosto de 2005 vs. 7 de septiembre de 2005”. Aquí el programa de Clasificación Supervisada clasificó un 40% de los píxeles en la imagen de agosto este porcentaje aumenta a 60% para septiembre. Estas inundaciones ocurrieron en un plazo de aproximadamente dos semanas. Si se observa el área de Nueva Orleans en la Imagen 27 (y los otros tipos de imágenes comparando estas fechas) se podrá tener una idea del daño que causaron las inundaciones a la infraestructura. La infraestructura logro reconstruir y ya 10 años después del huracán se vio una recuperación significativa en este aspecto.

Concluimos que el huracán Katrina ocasionó daños extremos en el área de Luisiana en el área de vegetación, infraestructura y erosión de costas; daños que con el paso de 10 años aún pueden observarse. Durante el desarrollo de este proyecto tuvimos la oportunidad de aplicar todo lo aprendido en clase y aplicarlo con unos objetivos en mente. El uso de ENVI y lo aprendido en clase nos permitió explorar varias herramientas que esta tiene y moldear nuestras

ideas y objetivos. Consideramos que fue tanto una experiencia de aprendizaje para nosotros sobre el campo de Percepción Remota como una investigación. Para futuras investigaciones, pudiéramos obtener diferentes imágenes, ya sea de diferentes sensores como aquellas de satélites comerciales como IKONOS. Sería recomendable utilizar imágenes de otras áreas donde se observen los efectos del huracán Katrina.

Referencias:

Barras, J.A., 2007, Satellite images and aerial photographs of the effects of Hurricanes Katrina and Rita on coastal Louisiana: U.S. Geological Survey Data Series 281, at <http://pubs.usgs.gov/ds/2007/281>.

Campbell, J.B., y Wynne, R.H., 2011, Introduction to Remote Sensing: New York, The Guilford Press, 718 pp.

Darling, D., 2003, The Complete Book of Spaceflight: From Apollo 1 to Zero Gravity: New Jersey, John Wiley & Sons, pp. 165-167.

Landsat missions, 2015, Landsat Project
Description:

http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php (accessed February 2016)

Nourbakhsh, Illah, et. al., 2006, Mapping disaster zones: *Nature*, v. 439, no. 7078, p. 787-788, doi:10.1038/439787a

Rykhus, R., y Lu, Z., 2007, Hurricane Katrina Flooding and Oil Slicks Mapped with Satellite Imagery: Virginia, USGS, pp. 49-52.

Sallenger, A., Wright, C., y Lillycrop, J., 2007, Coastal-Change Impacts during Hurricane Katrina: An Overview: *Coastal Sediments '07*: pp. 888-896. doi: 10.1061/40926(239)68

Womble, J.A., Ghosh, S., Adams, B.J., y Friedland, C.J., 2006, Advanced Damage Detection for Hurricane Katrina: Integrating Remote Sensing and VIEWS™ Field

Reconnaissance: Louisiana, Louisiana State University, 154 pp.