

Técnicas de Percepción Remota Aplicadas a un Estudio de la Vegetación de Puerto Rico desde finales del 2013 hasta principios del 2019

César Rodríguez Feliciano

cesar.rodriguez9@upr.edu

Departamento de Geología, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, P.O. Box 9012, Puerto Rico 00681

Abstract: A diferencia de otras naciones, Puerto Rico ha pasado por un proceso de reforestación debido a una combinación de eventos globales y cambios socioeconómicos en el siglo 19. Utilizando el programa de ENVI, se procesaron imágenes de Puerto Rico generadas por el sensor Operational Land Imager (OLI), abordo de Landsat 8, desde el 2013 hasta el 2019 para determinar cómo se ha desarrollado la vegetación en un lapso de siete años. Se realizó un mosaico de las distintas imágenes para obtener una imagen de la isla completa, se le aplicó la formula del “Normalized Difference Vegetation Index” (NDVI) y un algoritmo de clasificación supervisada, “Minimum Distance”. Los resultados revelaron una correlación de variación en la vegetación con los periodos secos y húmedos de la isla, exhibiendo una disminución y aumento respectivamente. Para la sequía del 2015 la isla perdió alrededor de 1,000 km² de vegetación, mientras que la supervisión estableció un aumento en vegetación de 123 km² luego del Huracán María. Al igual que hay una correlación en la perdida de vegetación debido a eventos atmosféricos. Debido a la interacción atmosférica y el contenido de nubes en las distintas imágenes, los resultados fueron contaminados y una reevaluación de los mismos es necesaria para poder concluir unos resultados exitosos, a pesar de los errores en los datos se pueden utilizar como una base de interpolación a como la vegetación actúa durante el tiempo.

Keywords: Vegetación · Puerto Rico · ENVI · Reforestación · OLI · NDVI

INTRODUCCIÓN

Los bosques de Puerto Rico, al contrario de la tendencia en otras regiones tropicales, se han recuperado con el pasar del tiempo (Aide, Zimmerman, Herrera, & Serrano, 1995). Esto se debe a varios cambios culturales y socio económicos que ocurrieron durante el siglo 20. Durante el siglo 19 había una industria viva de agricultura, el pastizal cubriendo hasta 55% de la isla para el 1899 (Grau et al., 2003).

La deforestación por agricultura llego a su punto más alto a mediados del siglo 20, mediante un cambio político, en 1940, ocurrió un cambio en el enfoque de trabajar en la agricultura para la industria, y durante este tiempo estaba en proceso la Segunda Guerra Mundial, la cual causó que la presión de actividades antropogénicas sobre los bosques disminuyera (Aide, Zimmerman, Herrera, & Serrano, 1995; Chinae, 2002; Grau et al., 2003). El cambio a la

industria también promovió una migración por parte de los habitantes de zonas rurales a las zonas urbanas del noreste de Puerto Rico, la migración fue tanta que la zona urbana de la isla aumento a ocupar un 14% de la isla, mientras que la población urbana no aumento significativamente (López, Aide, & Thomlinson, 2001; Grau et al., 2003). Debido a esta migración a las zonas urbanas y que disminuyó la población de gente trabajadora en la zona rural se vio una disminución en las actividades agrícolas, entre los años 1940-1980, el terreno utilizado para agricultura disminuyo de un 85% a un 37% (Grau et al., 2003). Vegetación tiende a recuperarse en zonas agrícolas marginadas con baja población humana presente, lejos de la infraestructura creado por el humano, y cerca de preexistentes bosques como las áreas que fueron abandonadas luego de 1940 (Grau et al. 2003). Entre finales de 1930s y 1987 la vegetación aumento de un 5% a sobre 30% aproximadamente, y ya para el 1991 esta ocupaba un 42% del área de la isla (Helmer et al. 2002; Grau et al., 2003).

Este estudio esta basado en el estudio “Vegetation Studies in Puerto Rico Using Remote Sensing Techniques” realizado por Athena Español; en este, ella concluyó que Puerto Rico tuvo un aumento en vegetación entre los años 2003-2015. Esta investigación se dedicó a expandir en sus resultados y analizar como la vegetación ha cambiado entre los años 2013 y 2019, con un enfoque en el 2015 y 2017; mediante el uso de imágenes satelitales del sensor “Operational Land Imager” a bordo del satélite Landsat 8. Gracias a su resolución temporal de 16 días, hay una base de datos extensa de imágenes por año disponible para evaluar y caracterizar los cambios en la vegetación, y su resolución espacial de 30 metros (en las bandas 2-5, las cuales fueron las utilizadas en esta investigación) lo cual lo hace ideal para estudiar cambios detallados en la vegetación.

En el 2015 Puerto Rico paso por una sequía que duro 80 semanas y afecto 25% de la isla como una sequía severa, afectando la vegetación. Mientras que para el 2017, Puerto Rico fue impactado por el Huracán María el 20 de Septiembre; este era registrado como un

huracán categoría 5 en la escala de Saffir-Simpson antes de llegar a la isla (Bayouth, & Rodríguez, 2018).

MATERIALES & MÉTODOS

Descripción del área

Puerto Rico (18.2208° N, 66.5901° W) es una isla tropical encontrada en el Caribe. Es la isla más pequeña del archipiélago de las Antillas Mayores, con un área aproximada de 8,900 km². La isla posee un terreno montañoso, con elevaciones excediendo 1300 m sobre el nivel del mar, y alta precipitación anual promedio, recibe alrededor de 750 a 4,000 mm de precipitación (Grau et al., 2003; Pando, Ruiz, & Larsen, 2005).

Adquisición de datos

Debido a que Landsat divide la isla en dos pasos de su satélite, y cada paso captura dos imágenes de distintas áreas de Puerto Rico, ocho imágenes por año fueron descargadas mediante la base de datos de EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Como Puerto Rico no tiene estaciones del tiempo, se estableció dos grupos de imágenes por año, un grupo en el periodo seco (enero-mayo) y el otro grupo

durante el húmedo (julio-noviembre), para poder documentar la vegetación durante el año y poder hacer comparaciones más detalladas con los otros años a estudiarse.

Procesamiento de imágenes en ENVI

A imagen individual se le aplicó el algoritmo de NDVI, mediante el uso de la herramienta “Band Math”:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

para poder así poder separar la vegetación de no vegetación y minimizar error al momento de calcular el área que cubre la vegetación. Con la herramienta de “Seamless Mosaic” se procedió a crear un mosaico por grupo de imágenes a través de los años para poder tener una imagen de NDVI de la isla. Utilizando la imagen generada se creo una máscara, del rango 0-1, para así poder ocultar todo valor no deseado en la imagen. Se escogió el rango de 0-1 debido a que era el rango de valores que NDVI proyectaba sobre la isla; esto se verificó mediante el uso de “Cursor Value”. Esta máscara fue aplicada salvando la imagen de NDVI de Puerto Rico con la máscara sobre ella, resultando en una imagen enmascarada del

NDVI. A esta nueva imagen se le aplicó una paleta de color (verde a blanco) y se invirtió para poder distinguir con facilidad las regiones con mayor concentración de vegetación contra las de menor concentración. A esta imagen final se le realizó una redimensión con la herramienta de “Resize Data” para eliminar el exceso de píxeles enmascarados, se realizó el corte lo más cerca posible a la isla sin perder datos de la misma; la primera imagen que se le aplicó esto se realizó el corte mediante la imagen, las subsiguientes se realizó utilizando la primera imagen recortada como base para que obtuvieran la misma dimensión.

Luego de realizar los distintos NDVI se procedió a determinar el área de la isla cubierta por vegetación. Utilizando las imágenes originales de EarthExplorer se repitió el proceso de crear un mosaico por grupo de imágenes a través de los años, así obteniendo una imagen de color real de Puerto Rico. Al igual que las imágenes de NDVI, a estas imágenes de color real se le realizó una redimensión, se utilizó una imagen de NDVI como base para que toda imagen generada tenga las mismas dimensiones. A

estas se le aplicó un “Linear 2~5% Enhancement” (variando por la iluminación del mosaico) de modo que se pudiera distinguir las características de los píxeles más claros. Una vez se pudiera distinguir los distintos píxeles adecuadamente se procedió a generar cinco clases de áreas de interés mediante la herramienta “Region of Interest (ROI)”: Vegetación, Vegetación Seca, Actividad Antropogénica, Nubes, y Océano. Se creó 20~25 ROI por clase para entrenar a ENVI a reconocer las características espectrales de los píxeles y reducir el error al aplicarle la clasificación supervisada “Minimum Distance”. Esto se repitió por cada imagen a examinarse a través de los años. Finalmente, la herramienta de “Compute Statistics” fue utilizada para determinar la cantidad de píxeles que cada clase poseía, y se multiplicó por la resolución espacial del sensor para obtener el área cubierta por clase.

RESULTADOS

Las imágenes de NDVI fueron utilizadas como un modo suplementario de determinar donde se encontraba la mayor cantidad de vegetación para crear los ROI de la clase de vegetación (Figura 1).

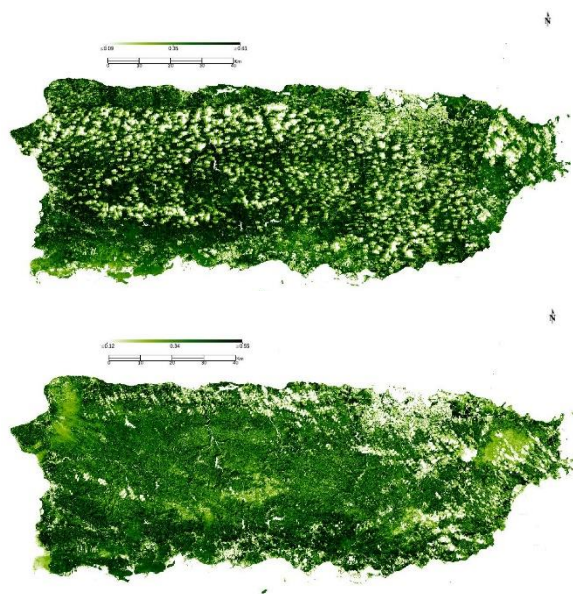


Figura 1: NDVI de Puerto Rico para la temporada seca (arriba) y húmeda (abajo) del año 2017. El color verde ayuda a visualizar donde se encuentra la mayor cantidad de vegetación, mientras más oscuro es el color mayor concentración de vegetación y mientras más claro menos es la concentración.

Luego de realizar los cálculos del área de cubierta de las clases mediante lo obtenido durante la clasificación supervisada (Figura 2), se procedió a comparar como la vegetación se desarrollaba durante el año y como el comportamiento de ella vario durante el 2013-2019 (Gráfica 1).

Durante el periodo estudiado el área de Puerto Rico cubierta por Vegetación fue: 6289.74 km², 4623.61 km², 6691.64 km², 5336.22 km², 6064.15 km², 4777.59 km², 6236.07 km², 4765.17 km², 4888.09 km², 4907.06 km²,

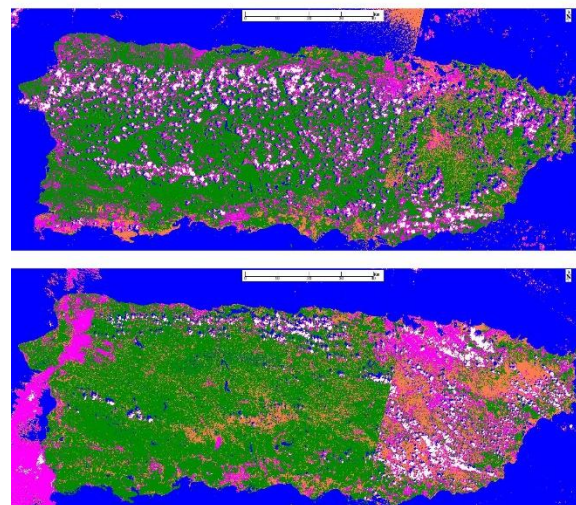
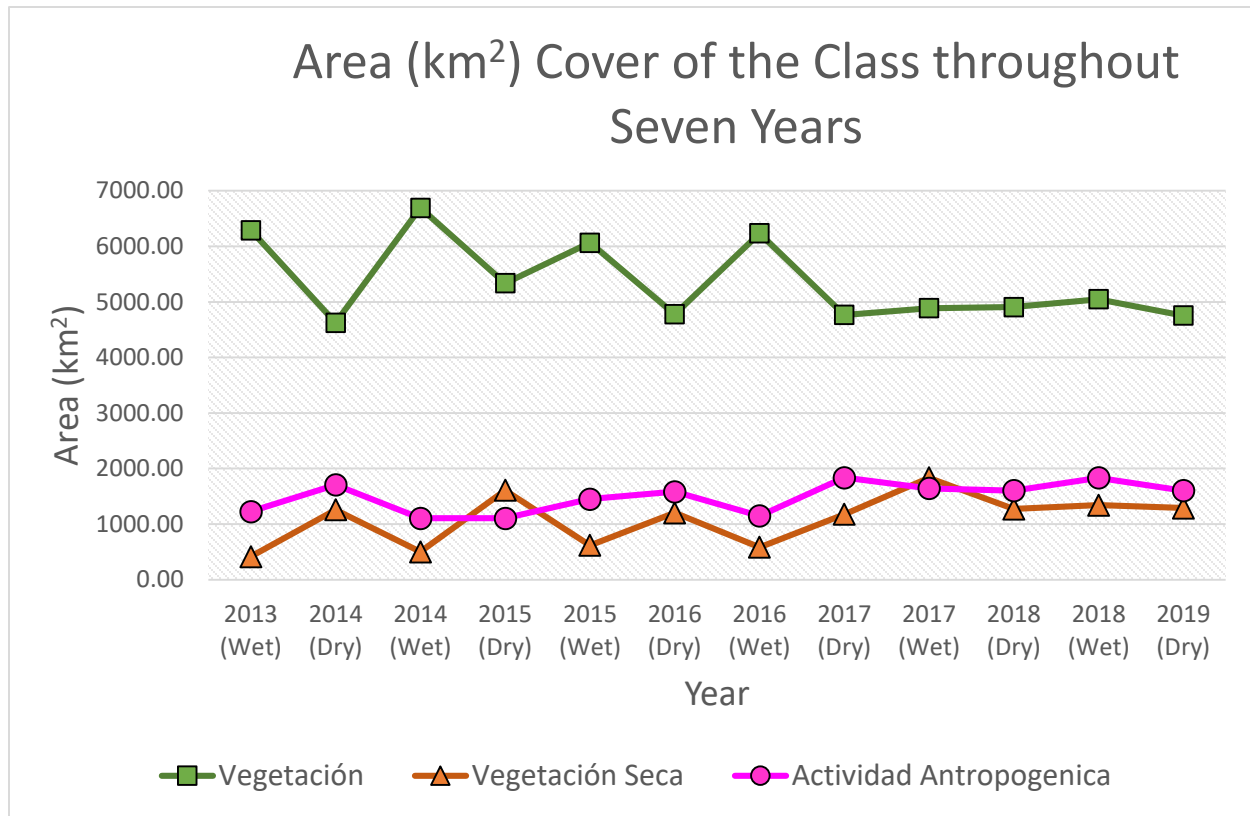


Figura 2: Clasificación supervisada “Minimum Distance” de Puerto Rico para la temporada seca (arriba) y húmeda (abajo) del año 2017. (Azul = Océano; Verde = Vegetación; Rosado = Actividad Antropogénica; Blanco = Nubes; Naranja = Vegetación Seca)

5048.56 km², y 4754.51 km² (respectivamente por año, variando de periodo húmedo a seco, comenzando desde el periodo húmedo del 2013).

Mientras que la Vegetación Seca ocupó un área de, respectivamente por año, variando de periodo húmedo a seco, comenzando desde el periodo húmedo del 2013: 412.65 km², 1257.37 km², 500.97 km², 1610.07 km², 618.34 km², 1204.26 km², 583.88 km², 1176.84 km², 1834.93 km², 1273.67 km², 1340.94 km², y 1290.78 km².

Finalmente, el área ocupada por la Actividad Antropogénica, siguiendo el mismo esquema que las clases anteriores, fue: 1227.14 km², 1706.14 km², 1105.13 km², 1105.33 km²,



Gráfica 1: Resultados obtenidos al calcular el área (km²) cubría cada clase sobre Puerto Rico a través de los años y las temporadas. Se puede ver como existe una relación inversamente proporcional entre la vegetación y la vegetación seca, mientras que no existe relación con las actividades antropogénicas.

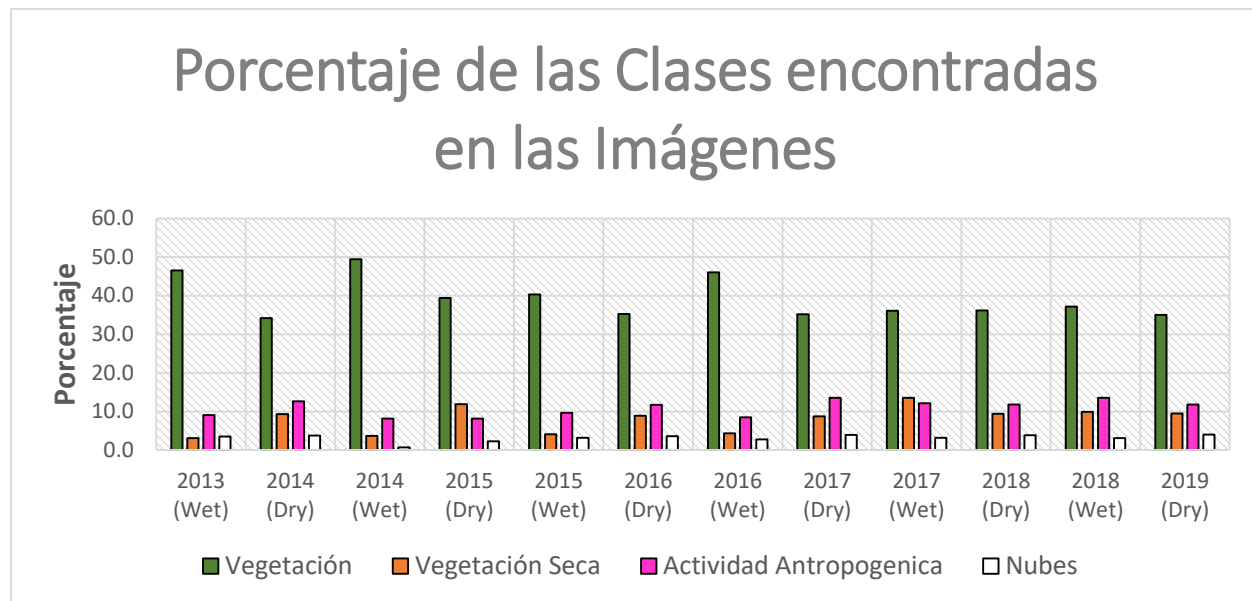
1451.07 km², 1583.48 km², 1147.82 km²,
 1836.01 km², 1643.37 km², 1602.74 km²,
 1833.85 km², y 1602.79 km².

Las áreas de las clases Océano y Nubes fueron calculadas, pero no era un objetivo necesario para la investigación. La clase de Océano, aunque fue calculada, fue descartada del resto del análisis debido a que no proveyó ningún tipo de información suplementaria al estudio debido a que el interés estaba en ver como varía por año las clases que cubren a Puerto Rico,

mientras que las nubes sí proveyeron información suplementaria (Gráfica 2).

El área que ocupó las nubes durante el periodo de 2013-2019, respectivamente por año y variando de periodo húmedo a seco, fue: 478.04 km², 511.09 km², 89.33 km², 309.79 km², 471.18 km², 480.72 km², 371.25 km², 524.35 km², 427.97 km², 520.25 km², 413.63 km², y 537.75 km².

Una tendencia entre los periodos seco y húmedos existe entre las clases de vegetación y



Gráfica 2: Área, por porcentaje, que cubre cada clase (excepto Océano) en las imágenes a través del tiempo estudiado.

vegetación seca. En periodos seco, la vegetación disminuye mientras que la vegetación seca aumento, en periodos húmedos esta relación es invertida. Mientras que no se pudo determinar ninguna relación estable con la pérdida o aumento de vegetación con la actividad antropogénica.

Para el tiempo de la sequía en el 2015 la vegetación disminuyó de 6691.64 km² a 5336.22 km², perdiendo un área de 1355.42 km² entre el periodo húmedo del 2014 y el periodo seco del 2015 (Figura 3 & 4). Una vez comienzo el periodo húmedo y la sequía se alivió, la vegetación aumento un área de 727.93 km² para cubrir un total de 6064.15 km². Mientras que

luego del paso del Huracán María, el área cubierta por vegetación aumento a 4888.09 km² de 4765.17 km² que cubría en el periodo seco del 2017, entre el periodo seco y húmedo se vio un aumento de 122.92 km².

Antes de comenzar el periodo seco del 2019, la vegetación se ha encontrado en un periodo de recuperación lento, promediando a 80.19 km² por el paso del tiempo. Comenzando este año, la vegetación decayó de 5048.56 km² a 4754.51 km², perdiendo un área de 294.05 km².

DISCUSIÓN

Utilizando las imágenes desarrollados mediante el proceso de NDVI se puede apreciar a

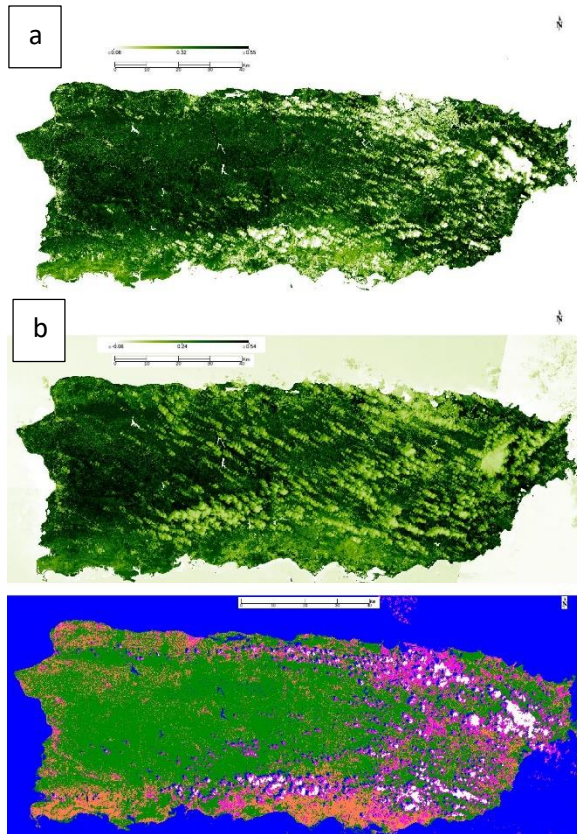


Figura 3 (arriba): NDVI del periodo seco del año 2015 (a), ya la sequía estaba desarrollada y se puede ver como el sur de Puerto Rico tiene un bajo índice de vegetación en comparación a la temporada seca del 2014 (b).

Figura 4 (abajo): Clasificación supervisada "Minimum Distance" de Puerto Rico para la temporada seca del año 2015, Azul = Océano; Verde = Vegetación; Rosado = Actividad Antropogénica; Blanco = Nubes; Naranja = Vegetación Seca, hay una cantidad grande de vegetación seca en el sur como se estableció por el NDVI.

simple vista como la vegetación ha cambiado y que sí ha ocurrido pérdida durante los periodos secos, mientras que se ha visto recuperación durante los periodos húmedos. Sin embargo, aunque el rango que se utilizó para las máscaras de NDVI fue el mismo, el resultado obtenido de

ella no tuvo el mismo rango de valores, al inspeccionar la paleta de color se observa que no es una paleta consistente a través de las distintas imágenes, si no que varía dependiendo del índice promedio obtenido en ella.

Por ende, la manera más efectiva de poder cuantificar el área de Puerto Rico cubierta por vegetación es mediante la clasificación supervisada. Esta reveló que Puerto Rico está en un constante ciclo de regresión y crecimiento de vegetación durante el transcurso del año.

Algo inesperado fue que tras el paso del Huracán María hubo un aumento, mínimo en comparación a los otros años, de vegetación del periodo seco al húmedo cuando se estaba un resultado opuesto a este. El Huracán María causó daños severos a la isla, especialmente por deslizamientos de tierra, y muchos lugares perdieron su vegetación (Figura 5). A causa de esto se comenzó un proceso de retrosección sobre los métodos utilizados durante la investigación y se encontraron varias fuentes de error para estos resultados.

Las imágenes obtenidas mediante EarthExplorer, a pesar de que siguen estando



Figura 5: Área pequeña en el Lago Caonillas tras el paso del Huracán María. En esta región paso una cantidad grande de deslizamientos que erosionaron la vegetación considerablemente (Imagen por: Dr. Hughes).

dentro del rango de meses establecido inicialmente, no se lograron obtener de la misma fecha debido al contenido nuboso que contenían alguna de las imágenes disponibles al público. A pesar de que esto se trató de mitigar inicialmente para minimizar el error, pero aun así no resulto ser efectivo ya que la vegetación de febrero no es la misma que la de abril, por ejemplo, la cosecha, puede haber un fruto que se da para el tiempo de febrero y se va a reflejar en la imagen satelital como vegetación, pero ya para abril se acabó su temporada y pasa a ser una vegetación seca (Apéndice: Tabla 1). Otro error de metodología fue que el humano fallo en aplicar una corrección atmosférica, parte de los datos pueden ser corruptos por el factor de la atmosfera en vuelto en la ecuación. Adicionalmente, la clasificación

supervisada no fue efectiva en poder separar una vegetación cubierta por sombra del océano, lo cual hizo que se perdiera información valiosa

para la investigación; en ciertas ocasiones no logro distinguir nubes de actividad antropogénica a pesar de que la clasificación se corrió varias veces. Finalmente, debido a que el contenido de nubes en las imágenes varía dependiendo del año y el tiempo, las áreas de cada clase se estaban comparando con áreas distintas por imagen; esto se refiere a que en una imagen se puede tener el bosque tropical El Yunque y en otra el bosque seco de Guánica, lo cual aumenta el rango de error en los resultados.

CONCLUSIÓN

Debido a que el contenido y la ubicación de las nubes varia fuertemente entre las distintas imágenes no se puede decir con certeza la precisión de los resultados obtenidos. Al igual que por error humano, no se aplicó una corrección atmosférica a las imágenes lo cual aumento el rango de error en estos.

Aun así, se pude establecer que la vegetación no está en un constante crecimiento y

que varía dependiendo de si Puerto Rico se encuentra en tiempo seco o húmedo. Cuando este está en tiempo seco se puede ver como hay una regresión de la vegetación, mientras que en tiempo húmedo esta aumenta en grandes cantidades. Por ende, para determinar cuanto esta a cambiado durante los años es necesario evaluar continuamente distintos años. Si la meta del estudio es simplemente analizar cuanto ha crecido la vegetación, sería ideal solo comparar el periodo húmedo ya que en este es donde se presenta el crecimiento de la vegetación, pero añadirle una evaluación del periodo seco completa el análisis.

Adicionalmente, el paso de Huracán María, según los resultados obtenidos, no causó una pérdida severa de vegetación como se hipotetizo inicialmente. En cambio, tuvo un poco de recuperación en comparación al estado de la vegetación en la temporada seca del 2017. Mientras que, para la sequía del 2015, sí hubo una pérdida severa como se hipotetizo.

Actualmente la vegetación de la isla se encuentra en un periodo de regresión como tiende a ocurrir en la temporada seca del año.

RECOMENDACIONES

Esta investigación se puede mejorar de diversas maneras. Primordialmente las imágenes deben ser procesadas mediante algún algoritmo de corrección atmosférica para minimizar el error que causa el factor de la atmosfera. Idealmente, para un estudio como este en el cual se esta comparando áreas, se utilizaría imágenes que no contengan nubes o que estas cubran si estas están presentes cubran la misma área en todas las imágenes que se están evaluando, de esta manera se compara la misma área y se crean unos resultados más precisos. También se recomienda un sensor con mayor resolución espacial para que no se interpole data accidentalmente, y se pueda definir claramente donde termina la vegetación y donde comienza la actividad antropogénica. Sí se utiliza una alta resolución espacial, es también posible crear más clases para la clasificación supervisada, especialmente para la vegetación (bosques, pastizales, terrenos de cosecha, cosecha, etc.), para así poder cuantificar mejor los cambios en área. Finalmente, se recomienda que las imágenes se obtengan de la misma fecha, para

así examinar como ha cambiado la vegetación de un lugar durante el paso de un año.

Agradecimientos. - Este trabajo fue posible gracias a las imágenes satelitales ofrecidas gratuitamente por el USGS, y la disponibilidad del programa ENVI para los estudiantes en el departamento de Geología del Recinto Universitario de Mayagüez. Al igual que a la estudiante graduada Athena N. Español, quien previamente realizó este estudio y me inspiró a construir sobre este. Especialmente, gracias a Yesenia M. Rivera que ha sido mi compañera de geología desde que ambos empezamos en el departamento, quien sacó de su tiempo para ayudarme a entender como utilizar ciertas herramientas de ENVI, y el apoyo constante durante los años. Por último, gracias al Dr. Fernando Gilbes por su asistencia en generar la metodología del proyecto, sus enseñanzas, disponibilidad para aclarar dudas y comentarios constructivos sobre este.

TRABAJOS CITADOS

Aide, T.M., Zimmerman, J.K., Herrera, L., Serrano, M., 1995, Forest recovery in

abandoned tropical pastures in Puerto Rico: Forest Ecology and Management 77: 68-77.

Bayouth, D., Rodríguez, C., 2018, Event Specific and Annual Precipitation Controls on Mass Wasting Sites in Puerto Rico After the Passage of Hurricane Maria: GSA Annual Meeting Abstract.

Chinea, J., 2002, Tropical forest succession on abandoned farms in the Humacao Municipality of Eastern Puerto Rico: Forest Ecology and Management 167: 195-207.

Helmer, E.H., Ramos, O.R., López, T.M., Quiñones, M., Díaz, W., 2002, Mapping forest type and land cover of Puerto Rico, a component of the Caribbean biodiversity hotspot, Caribbean Journal of Science 38: 165-183.

López, T.M., Aide, T.M., Thomlinson, J.R., 2001, Urban expansion and the loss of prime agricultural lands in Puerto Rico: Ambio a Journal of the Human Environment 30: 49-54.

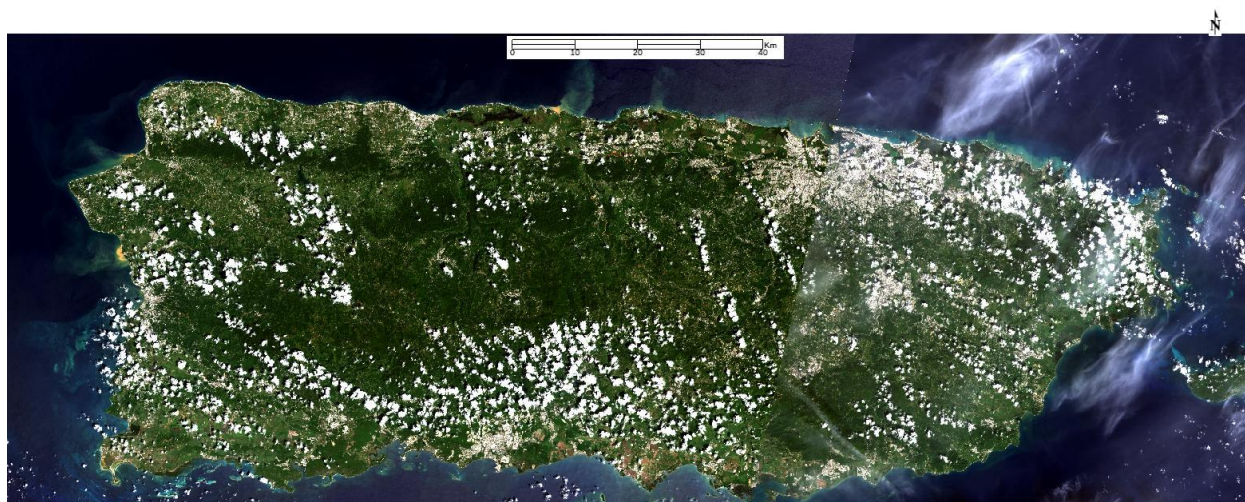
Pando, M.A., Ruiz, M.E., Larsen, M.C., 2005, Rainfall-induced Landslides in Puerto Rico:

An overview: Slopes and Retaining
Structures Under Seismic and Statis
Conditions: 130-142.

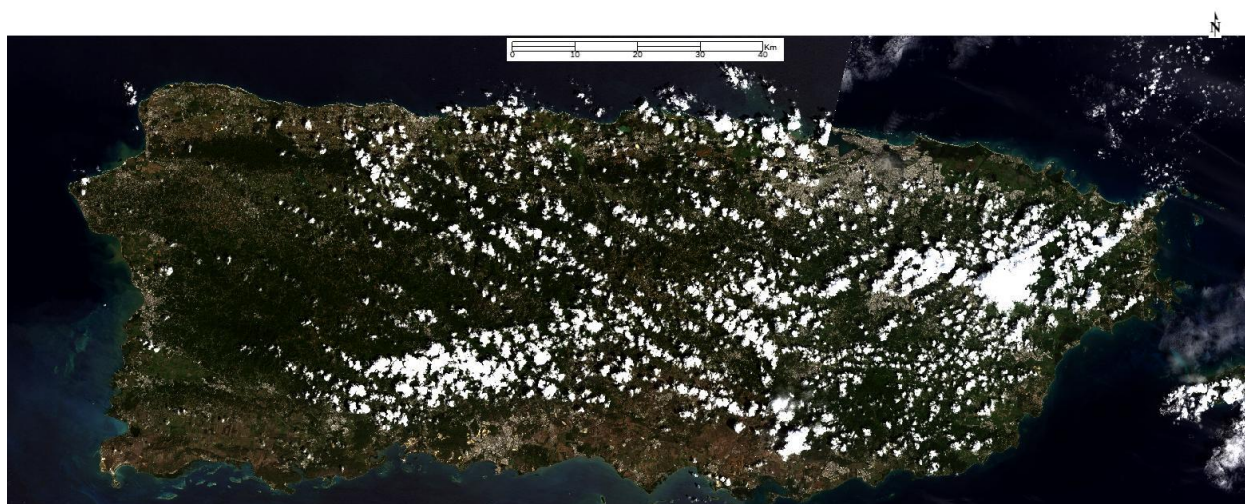
APÉNDICE

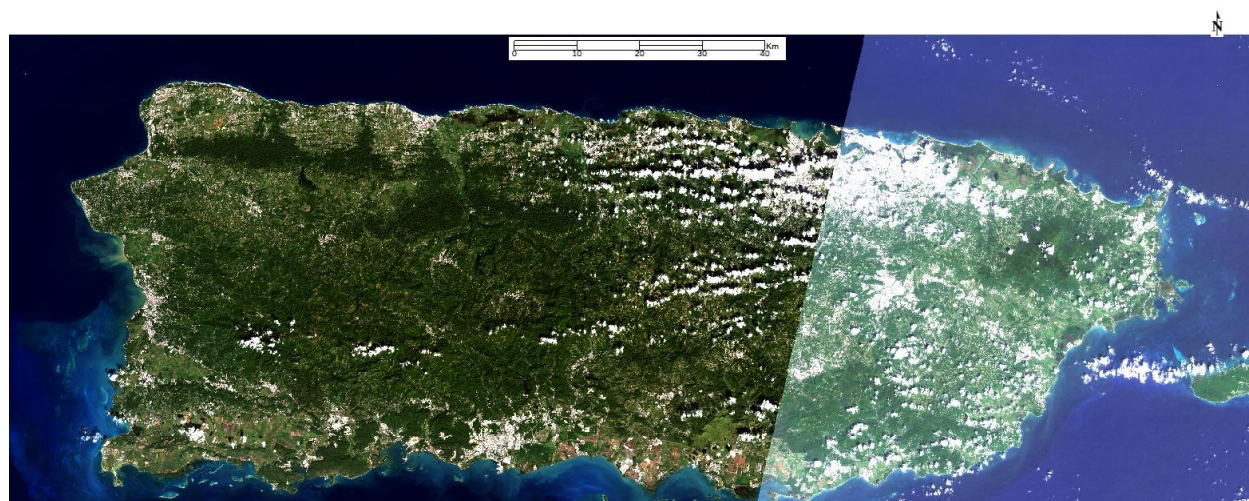
Imágenes Color Real

2013

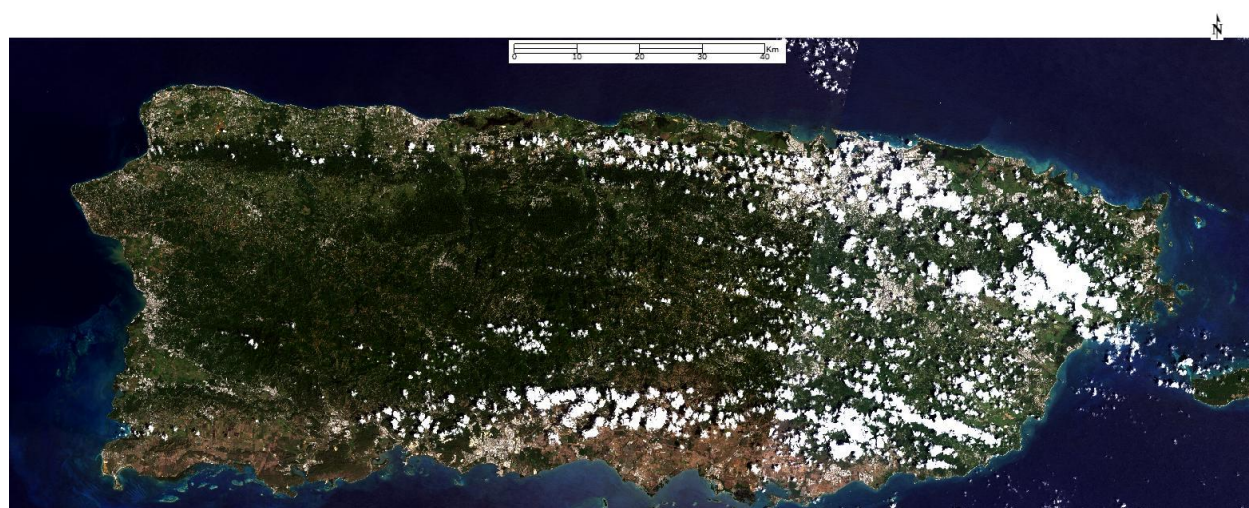


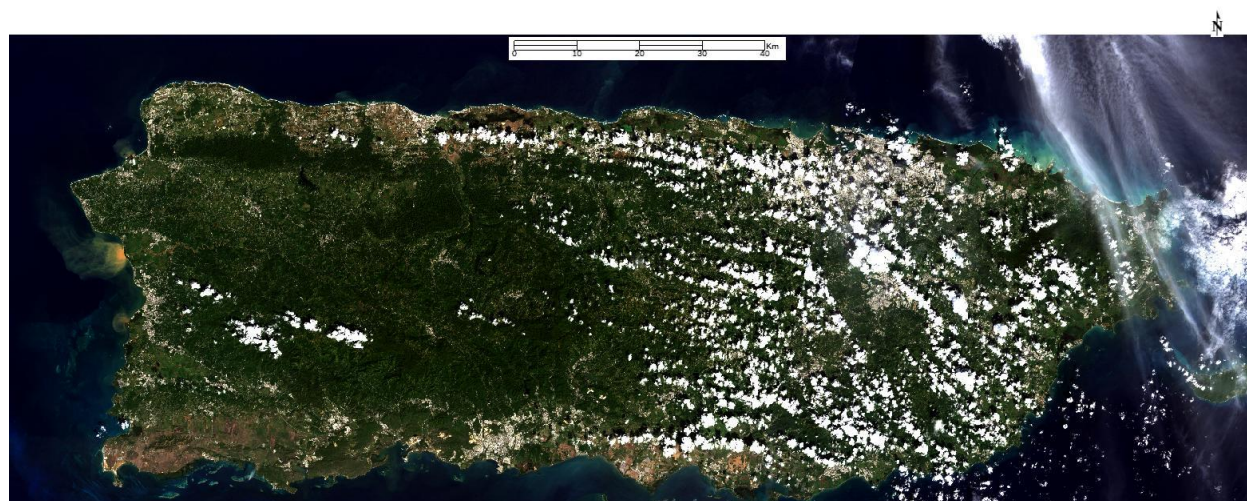
2014



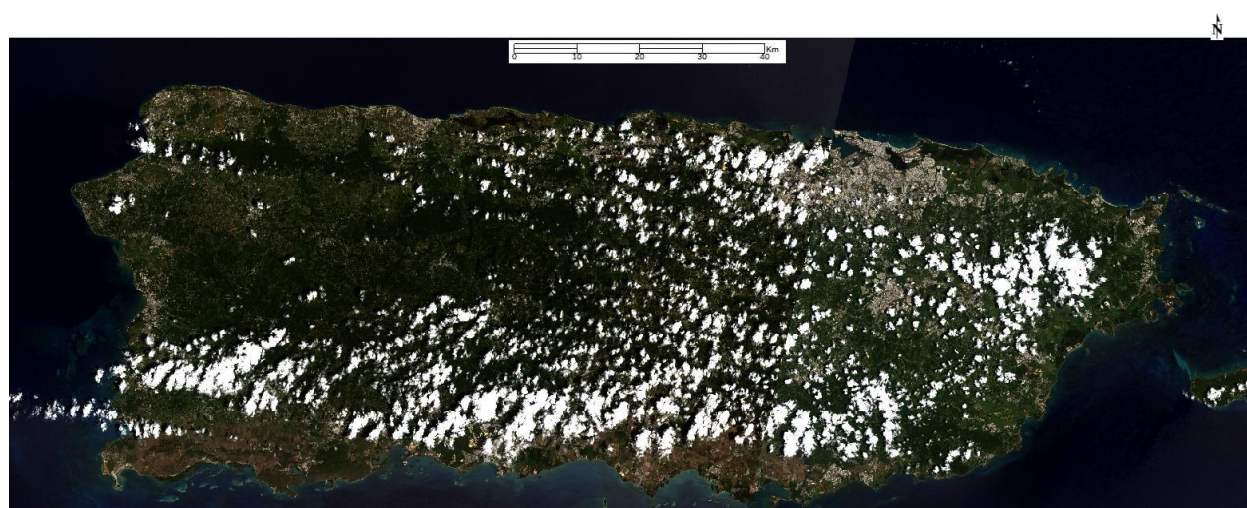


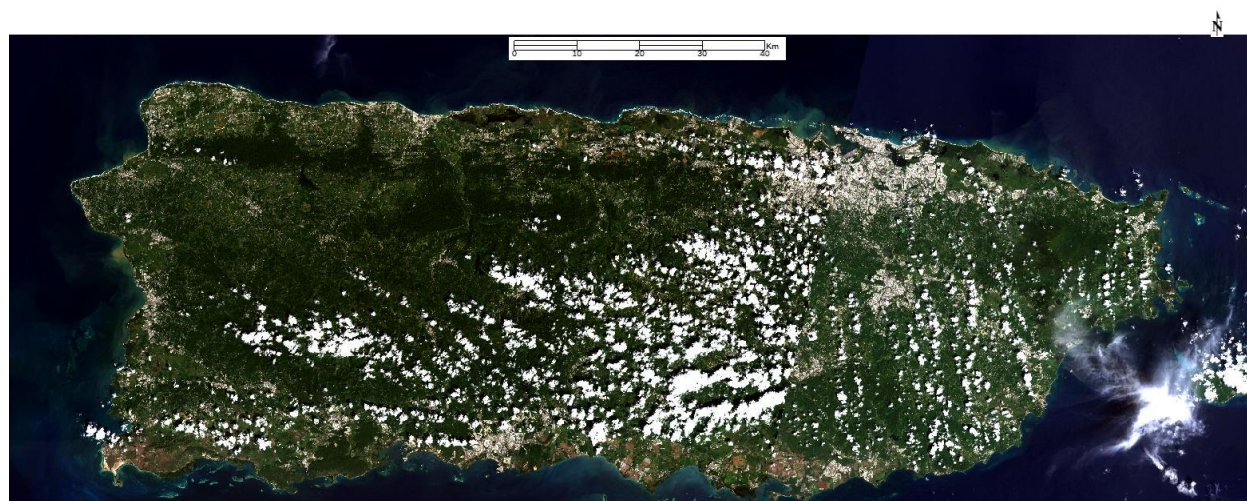
2015





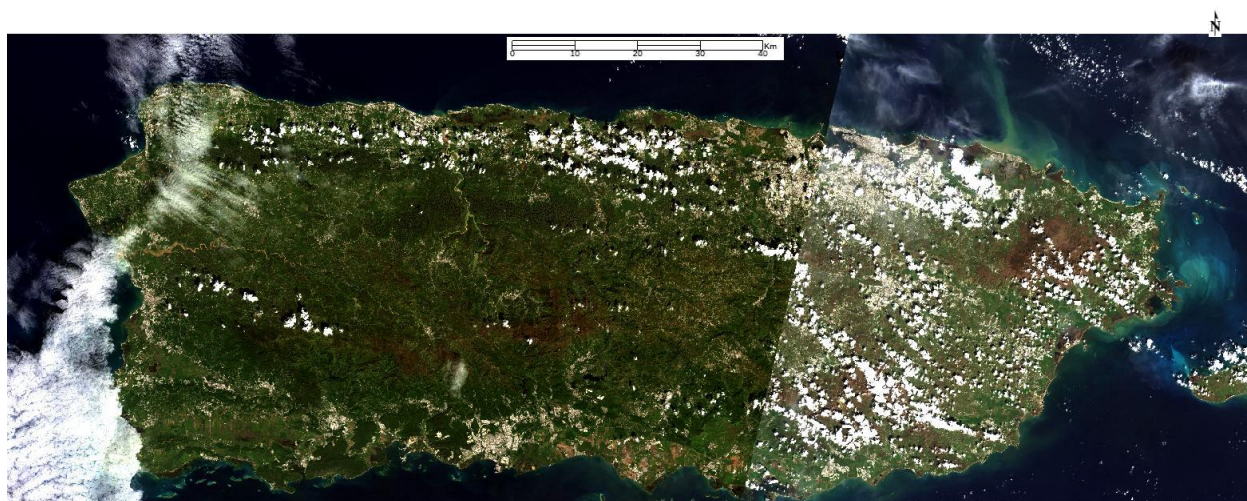
2016



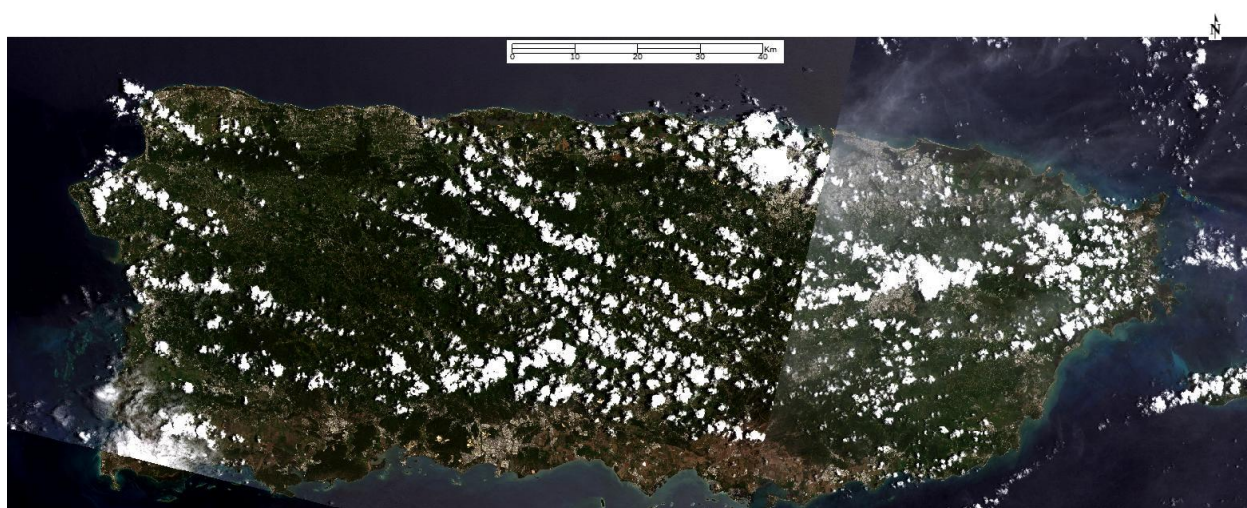


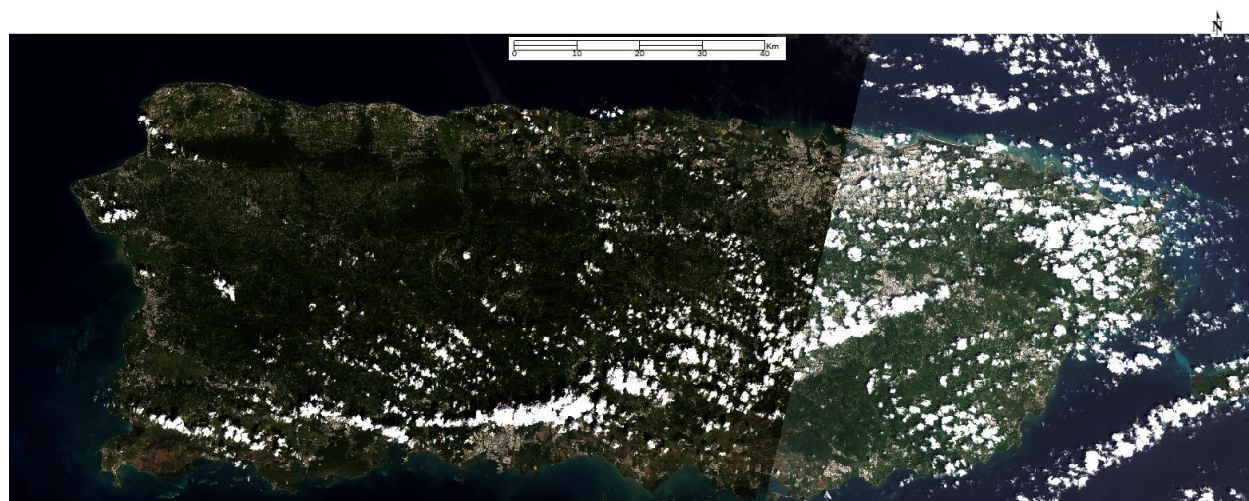
2017



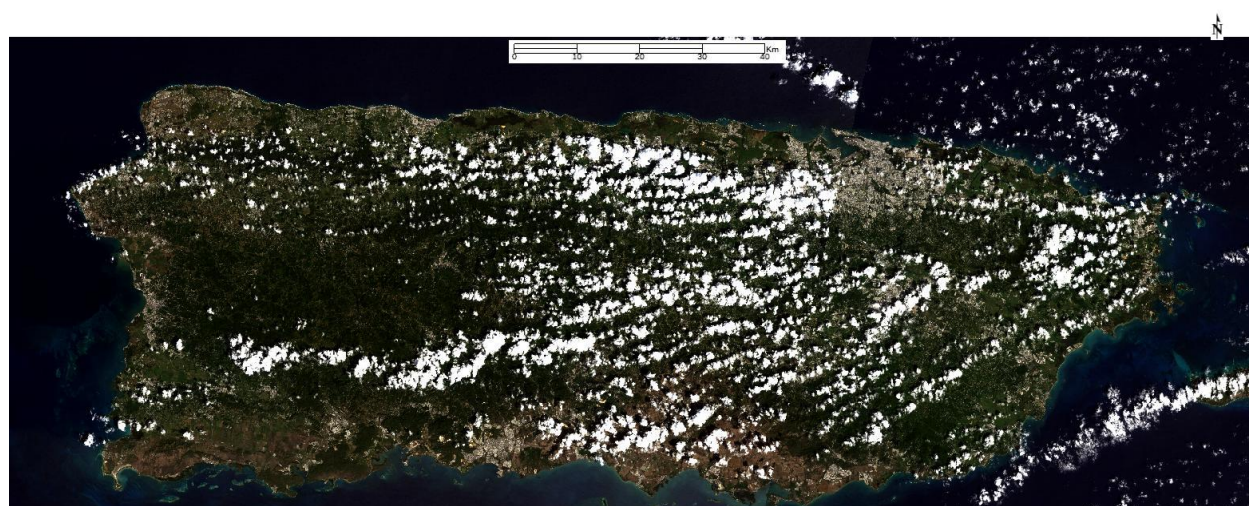


2018



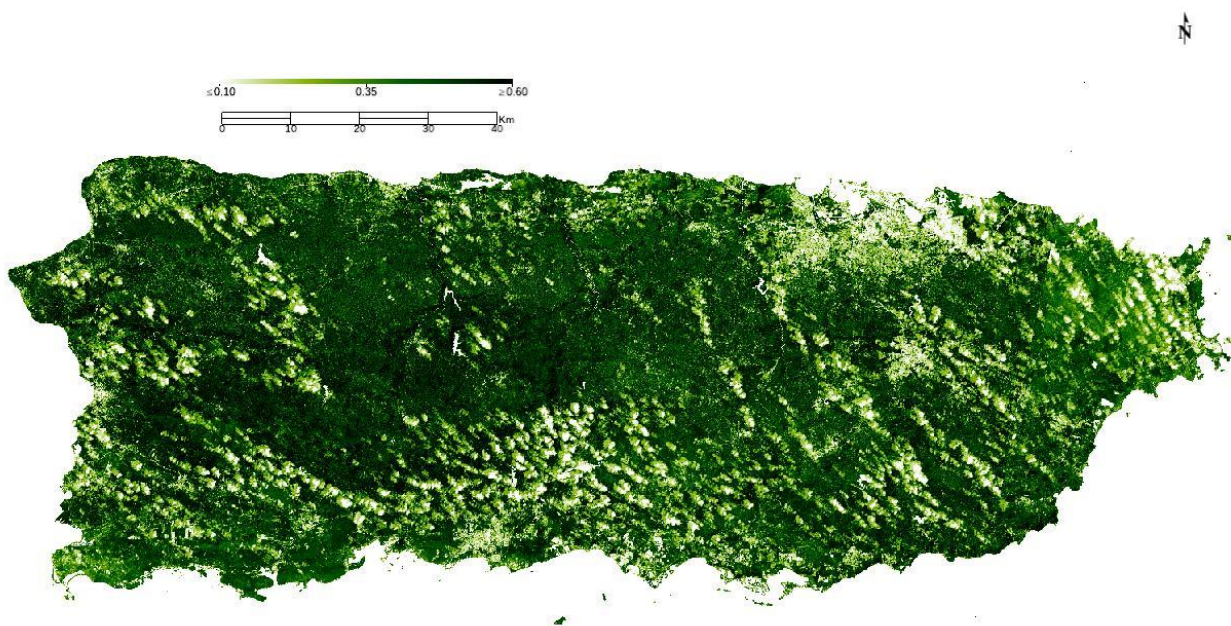


2019

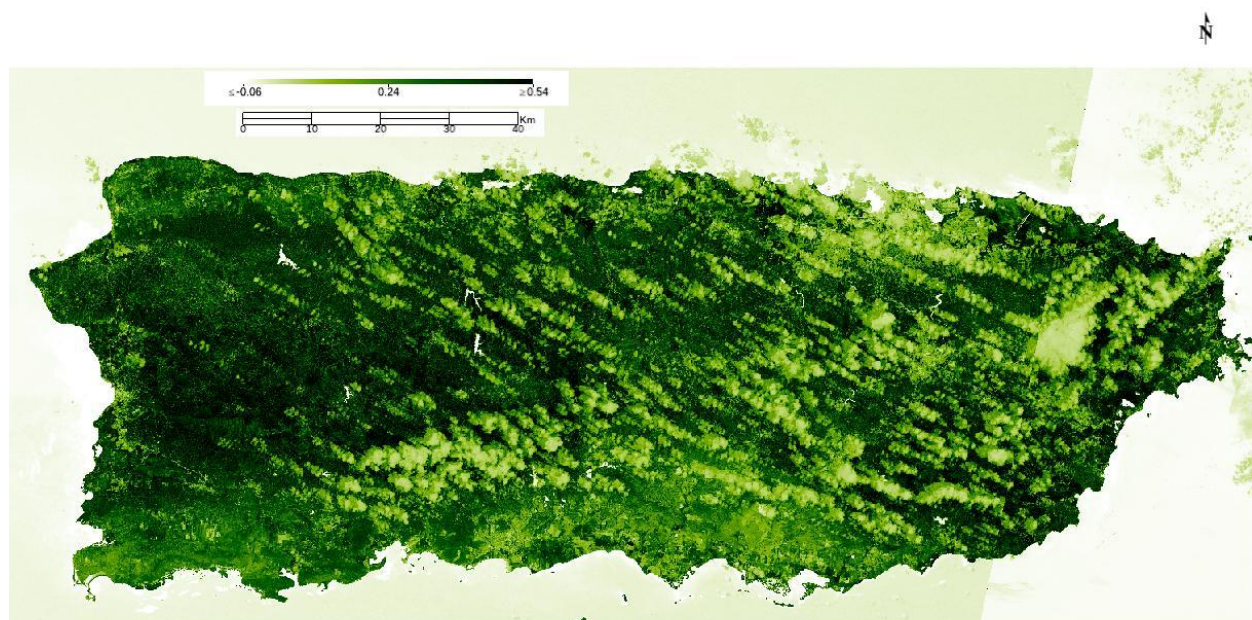


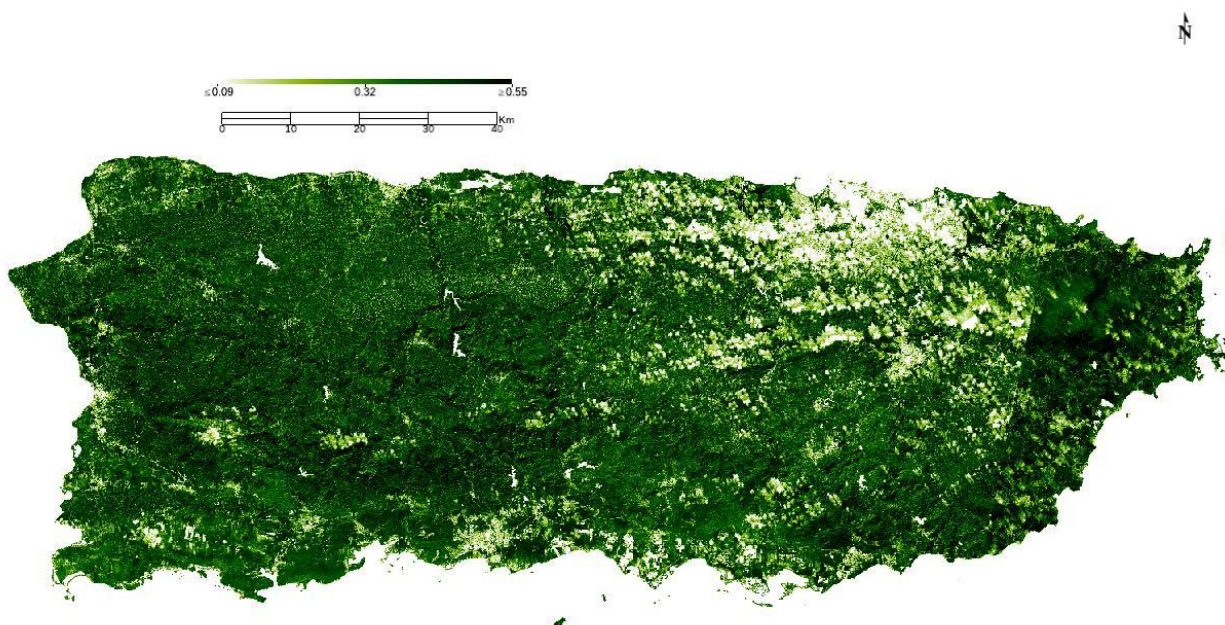
Imágenes de NDVI

2013

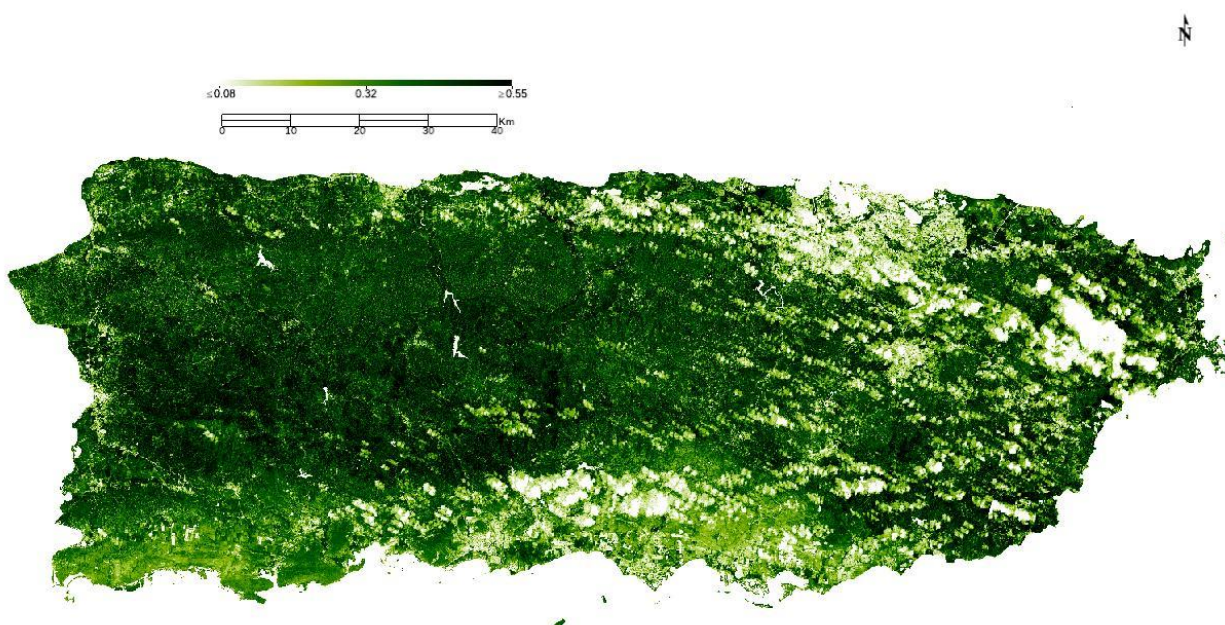


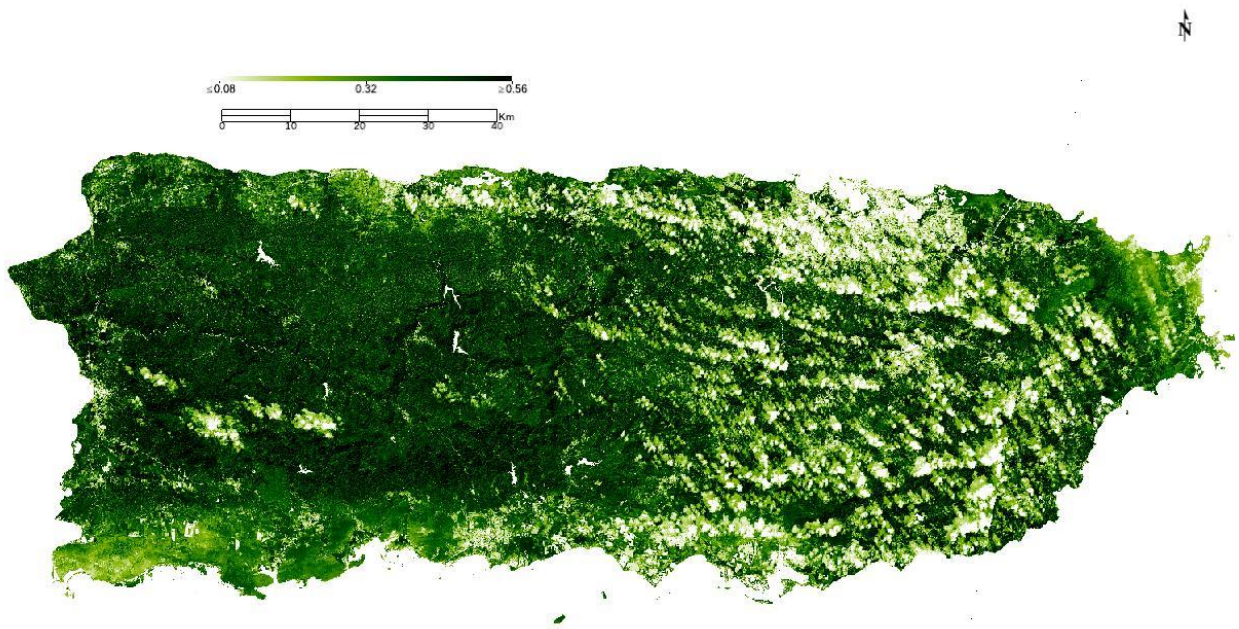
2014



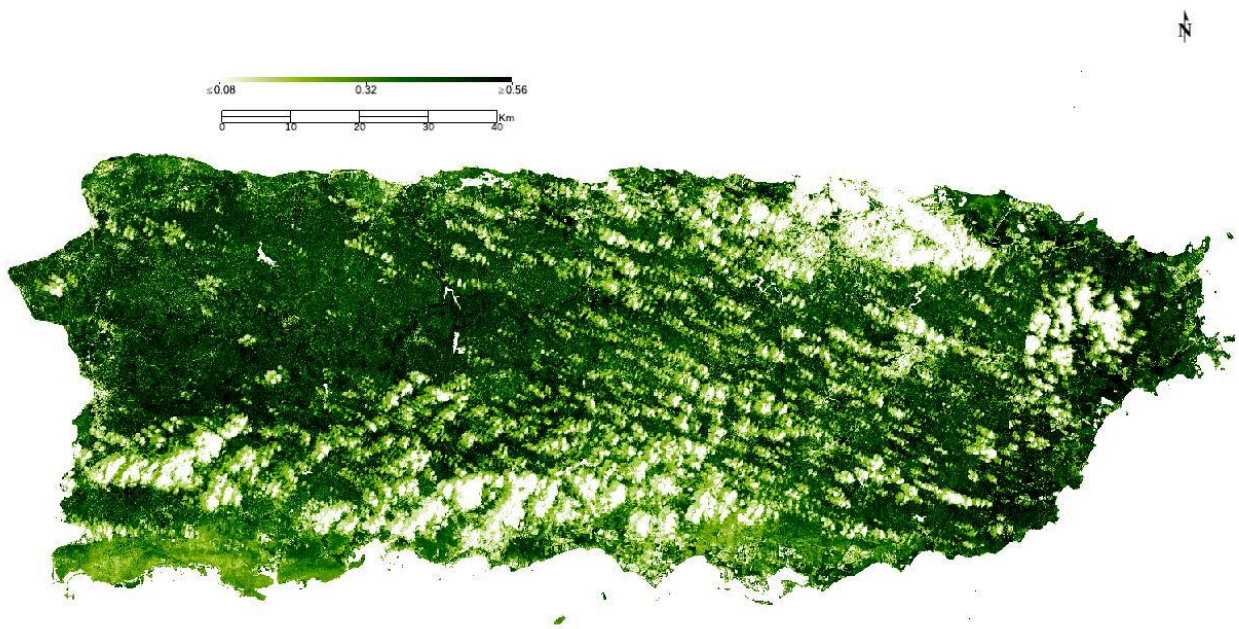


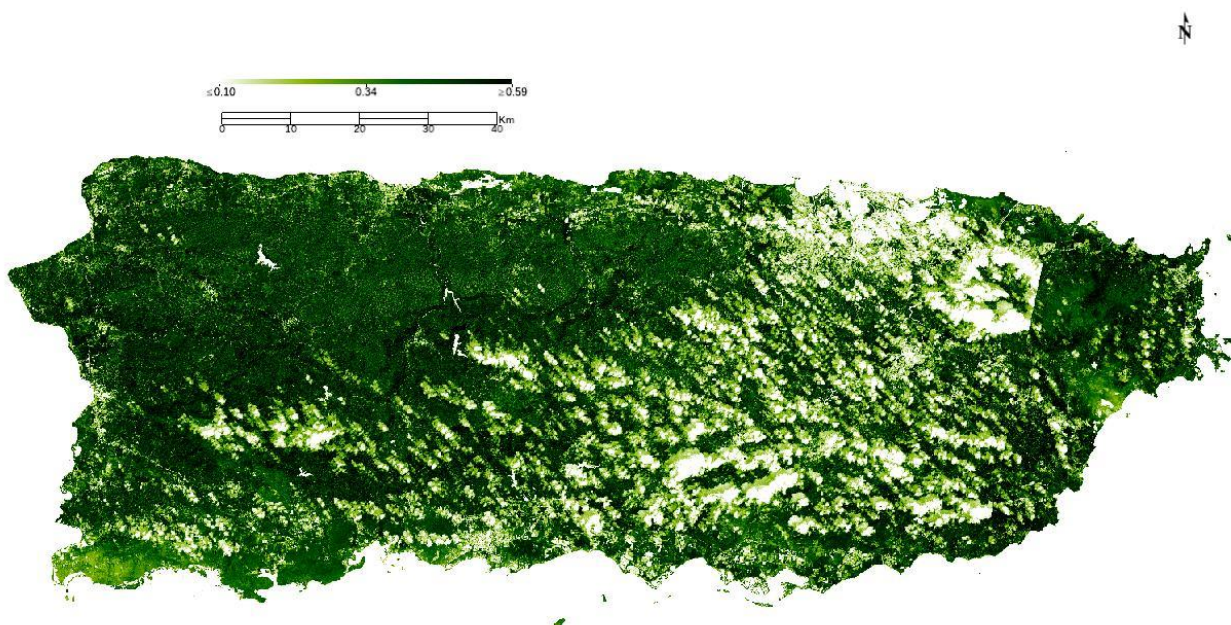
2015



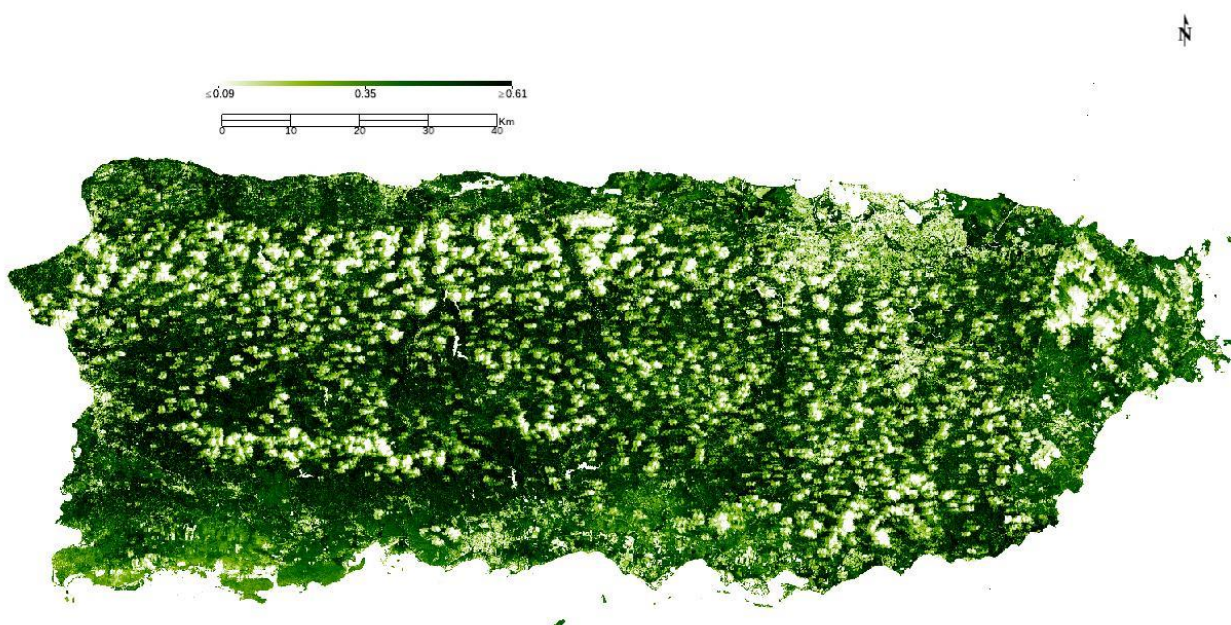


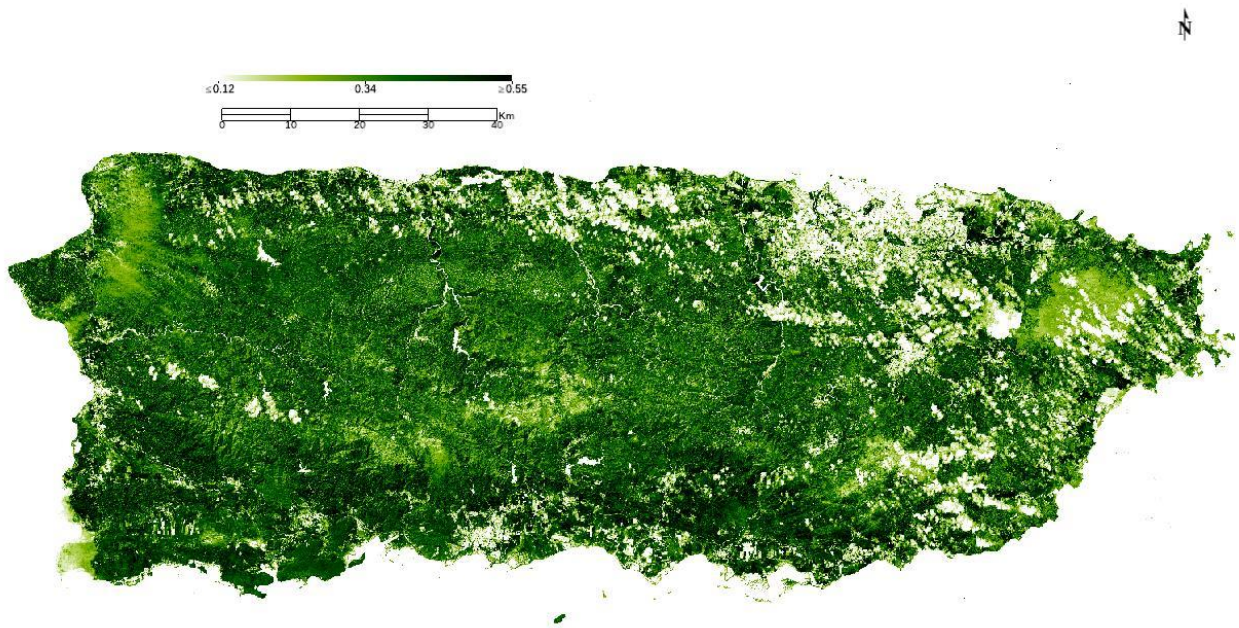
2016



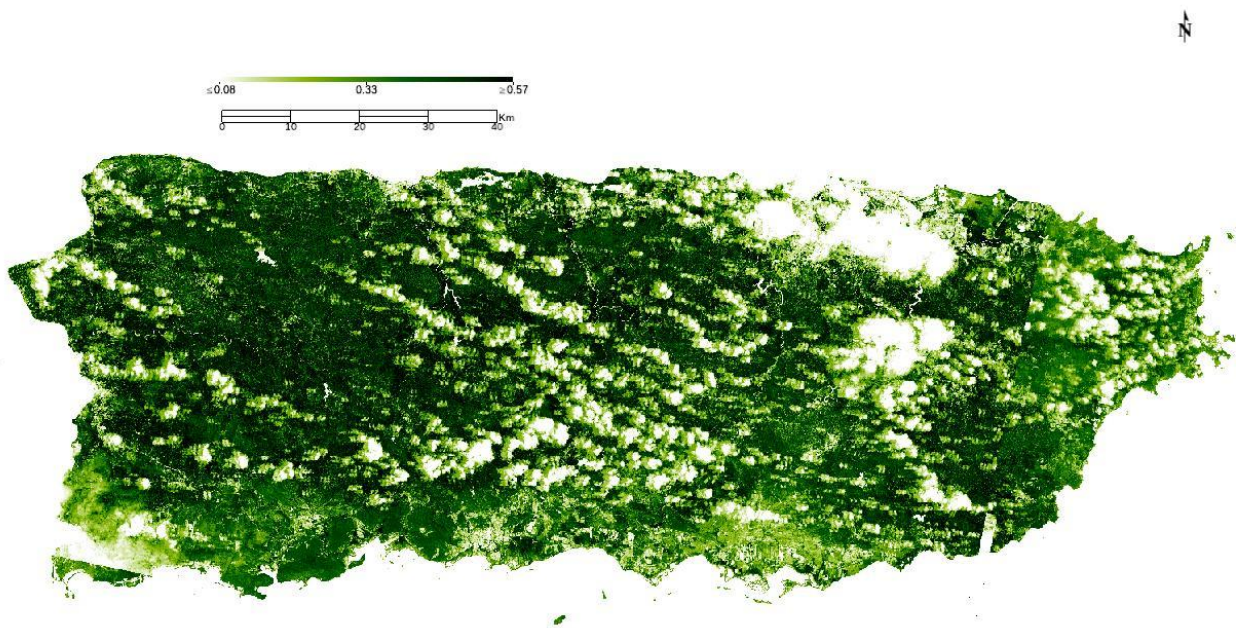


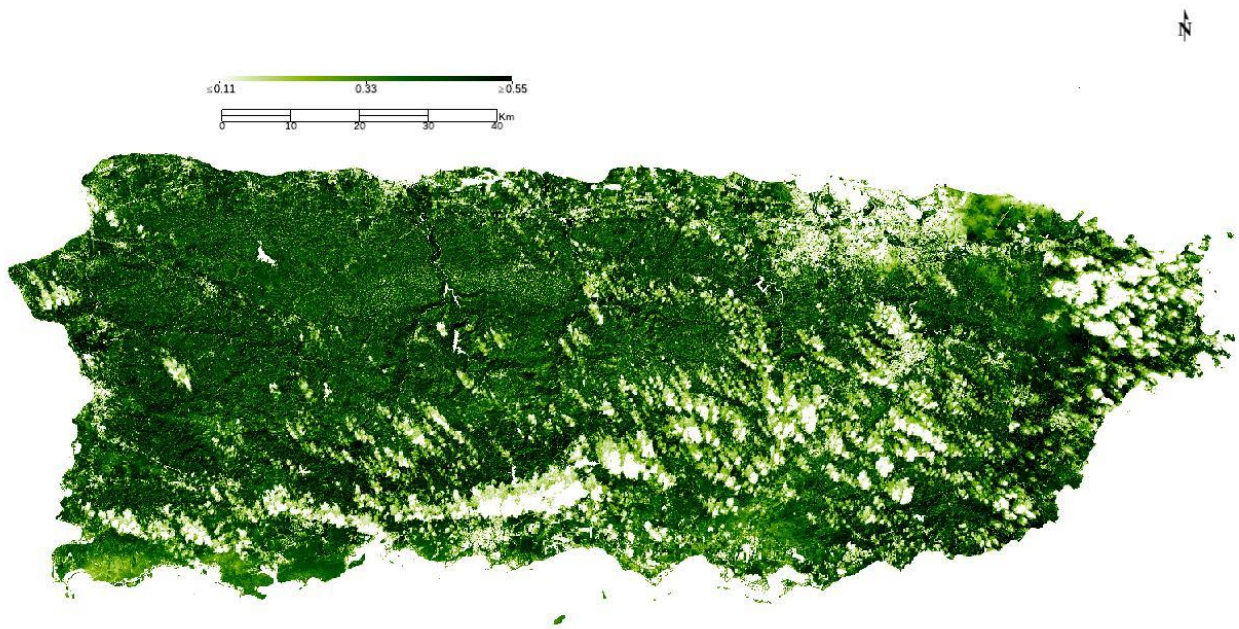
2017



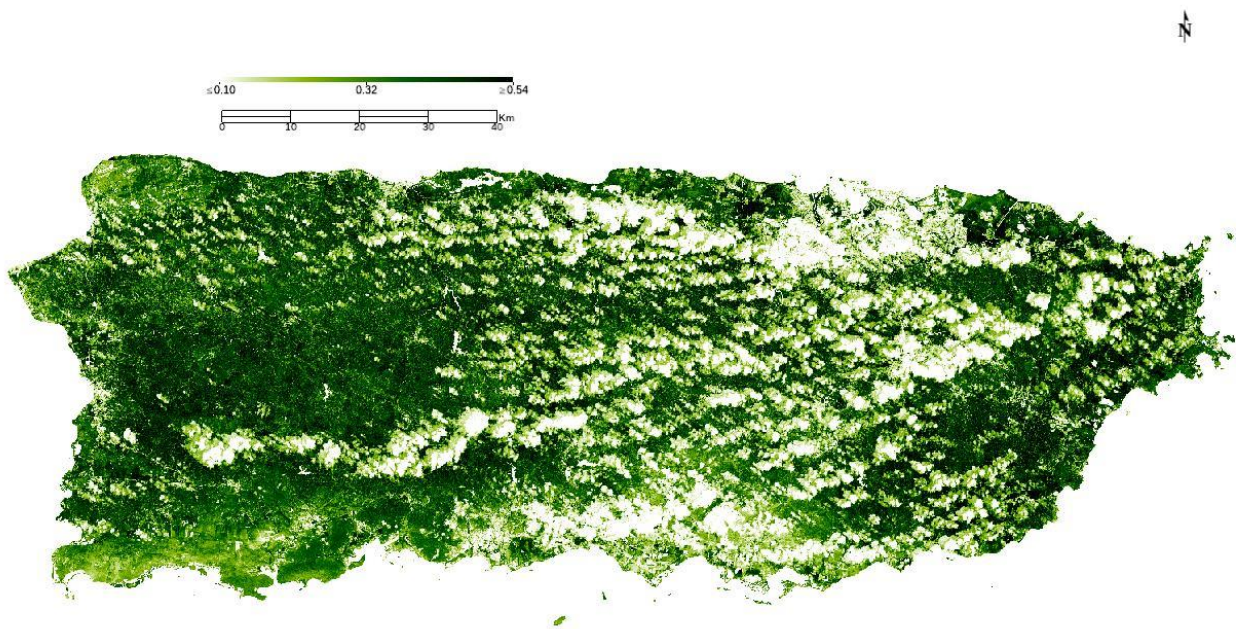


2018





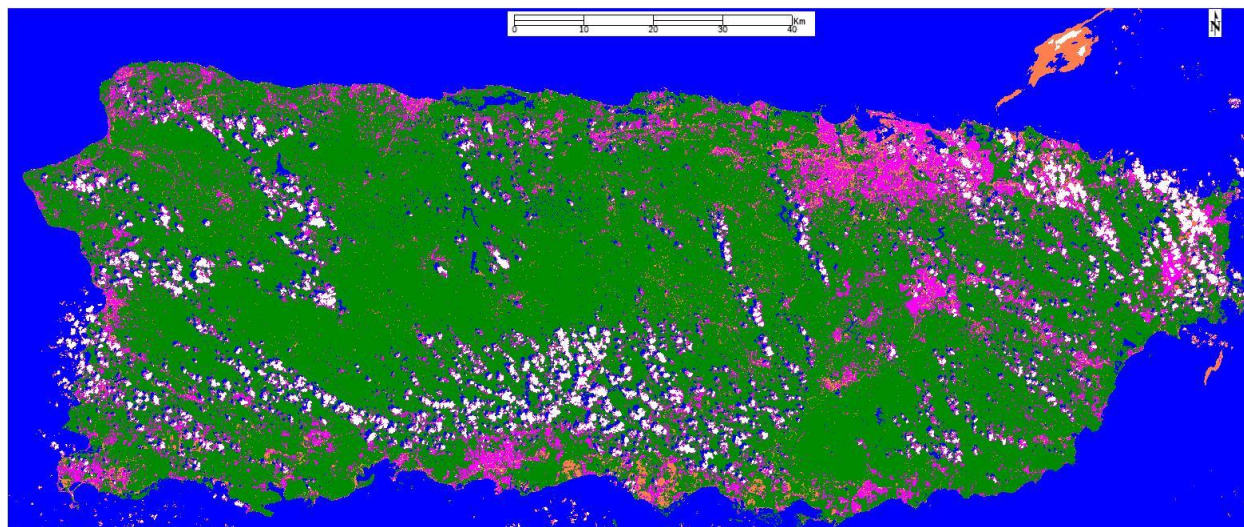
2019



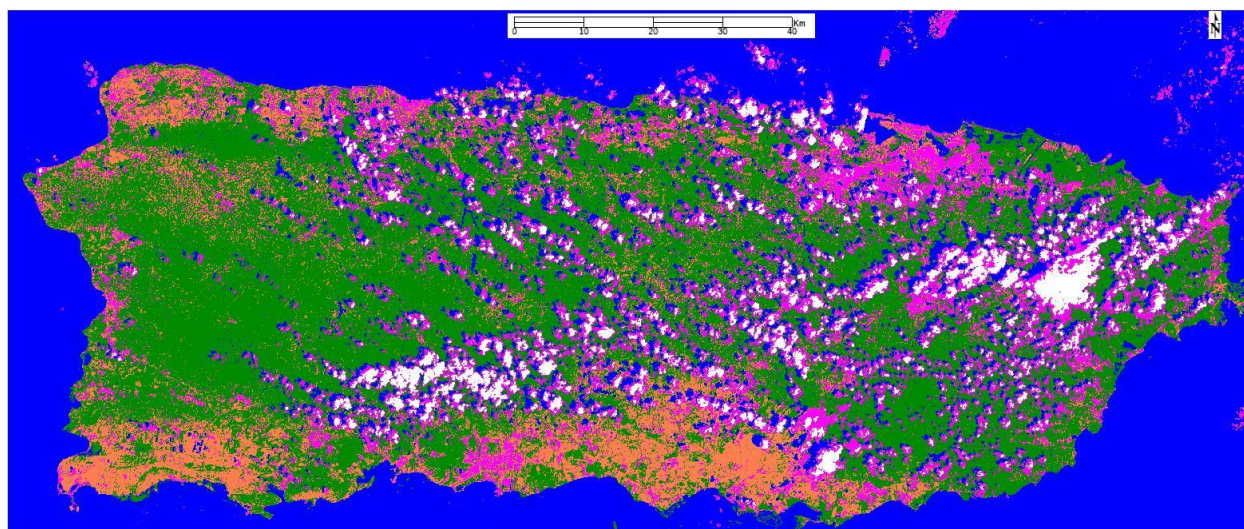
Imágenes de Clasificación Supervisada “Minimum Distance”

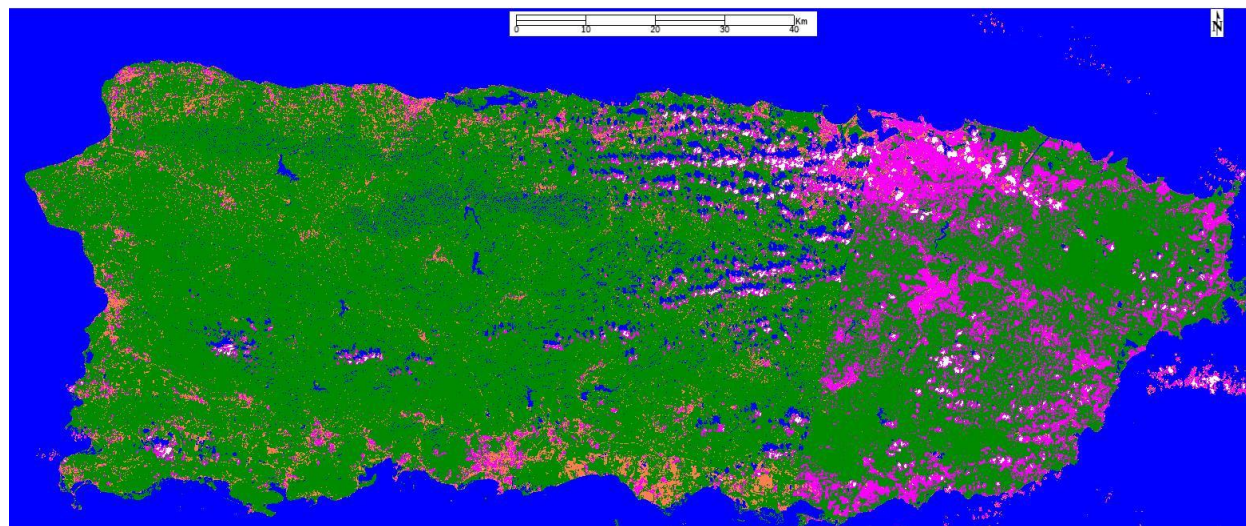
Clases: Azul = Océano; Verde = Vegetación; Rosado = Actividad Antropogénica; Blanco =
Nubes; Naranja = Vegetación Seca

2013

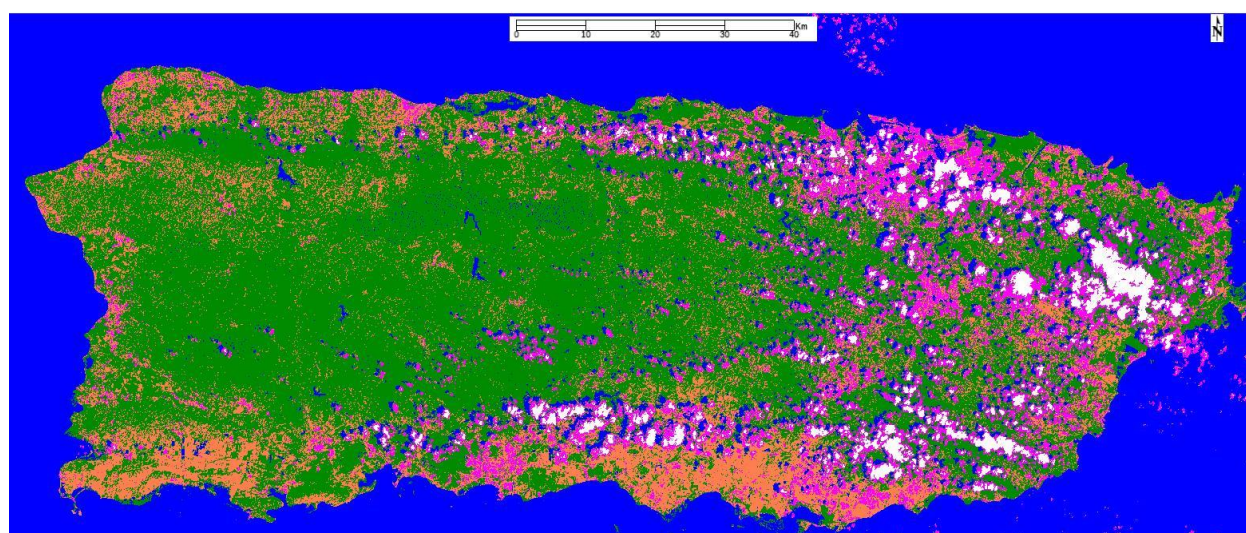


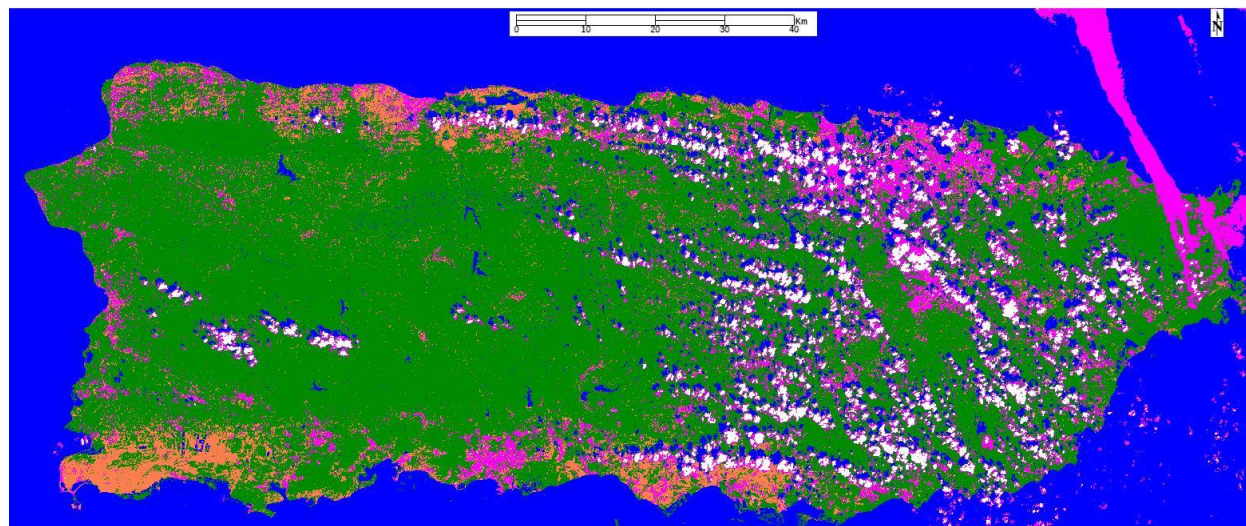
2014



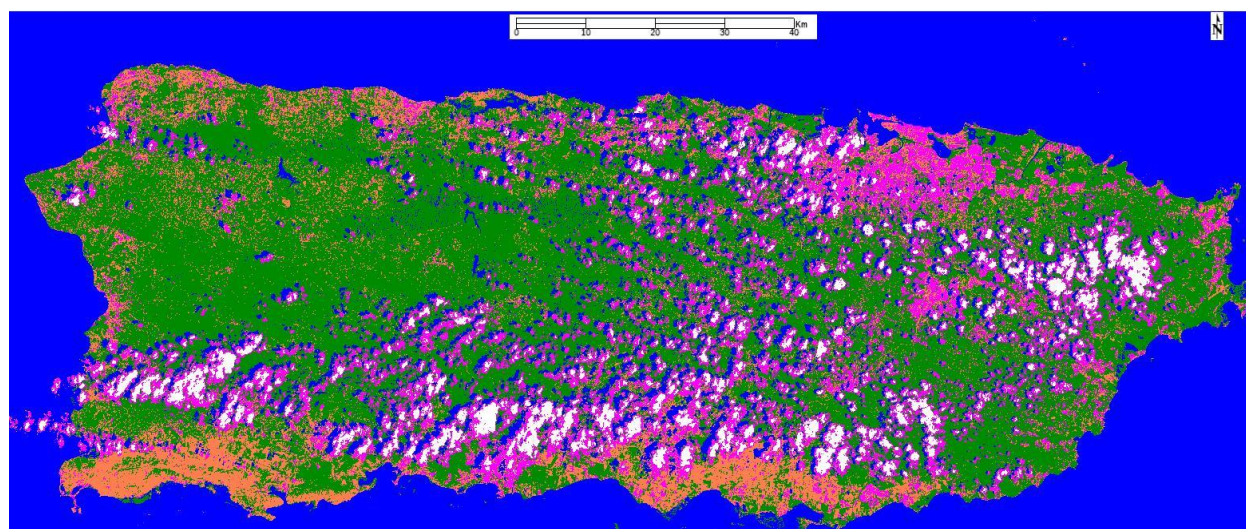


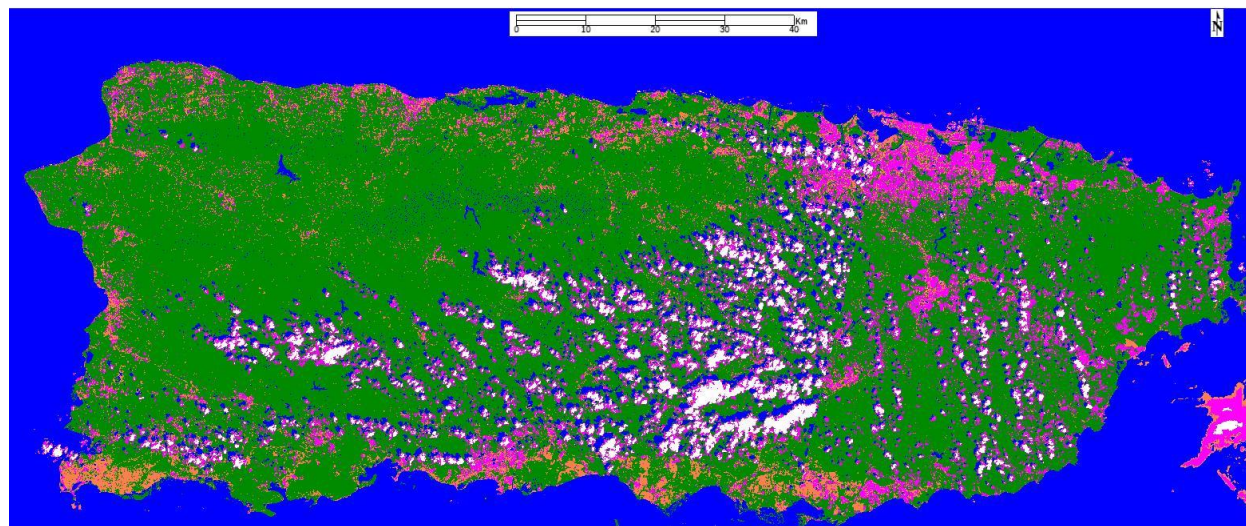
2015



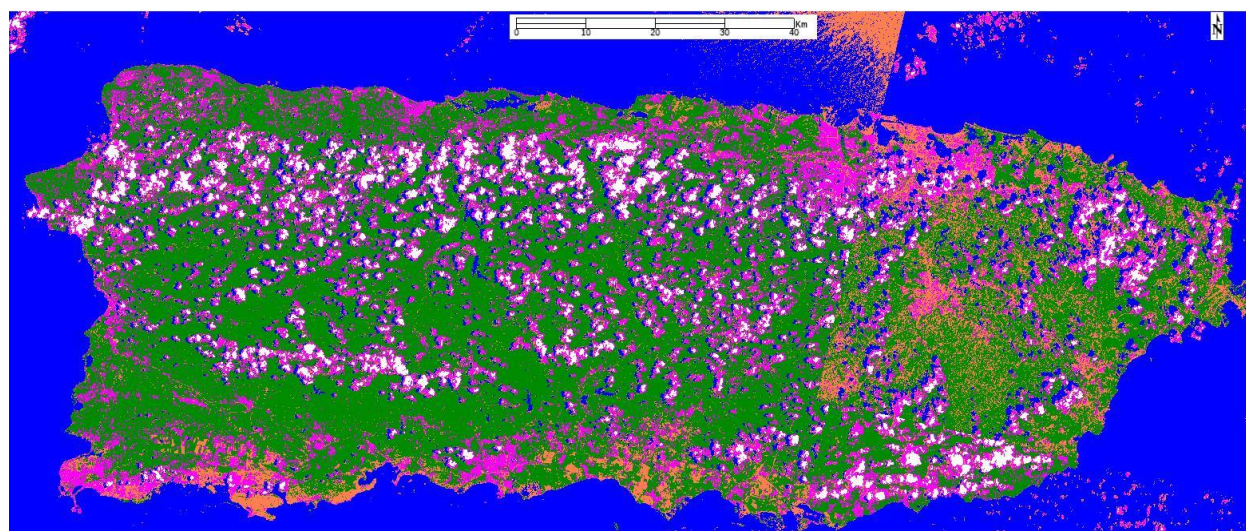


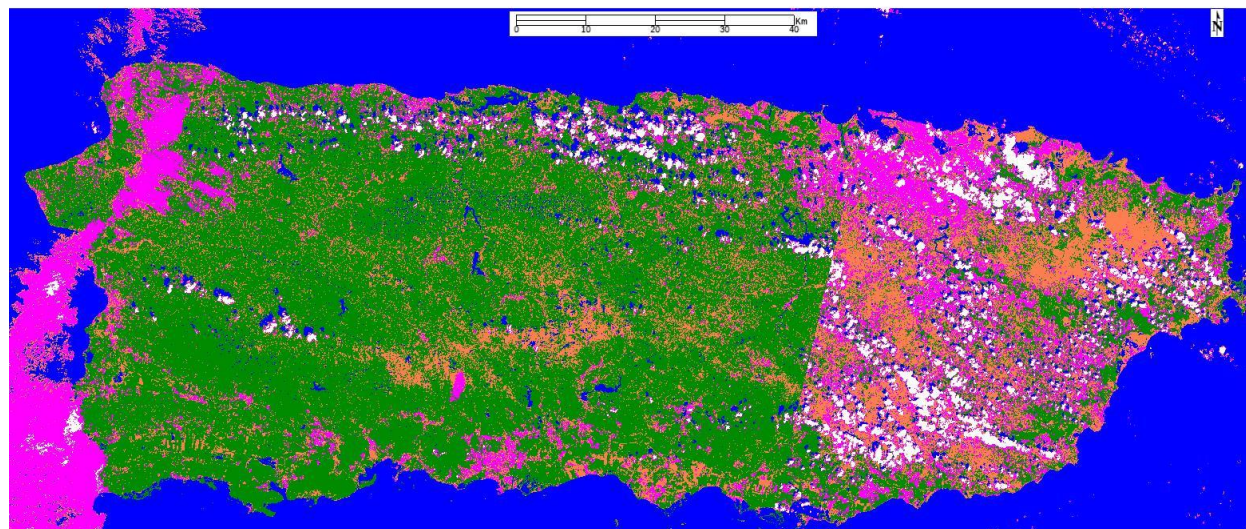
2016



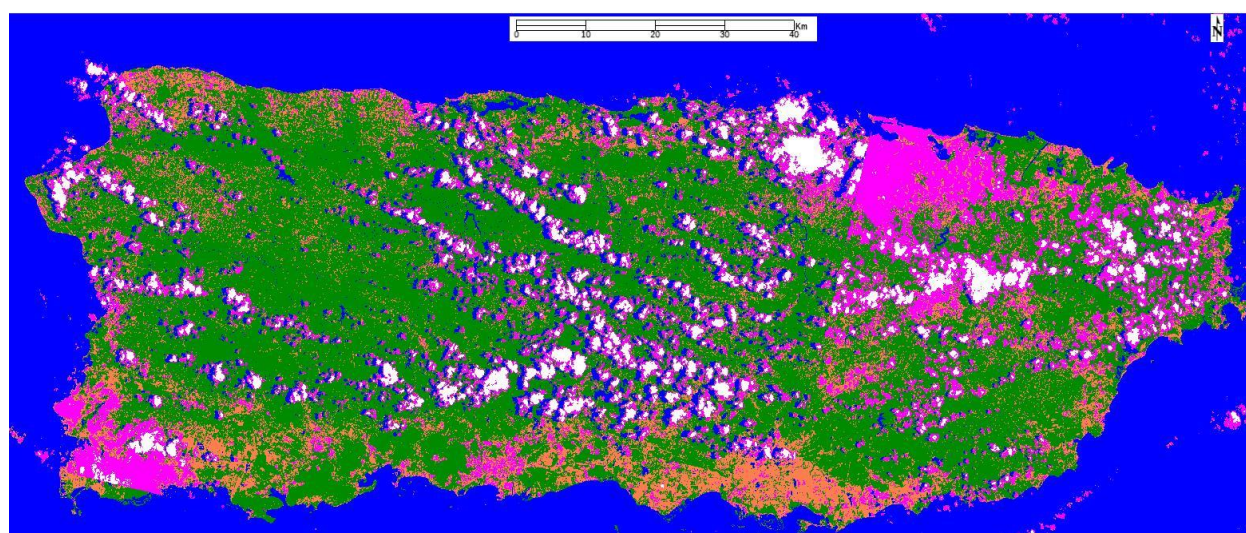


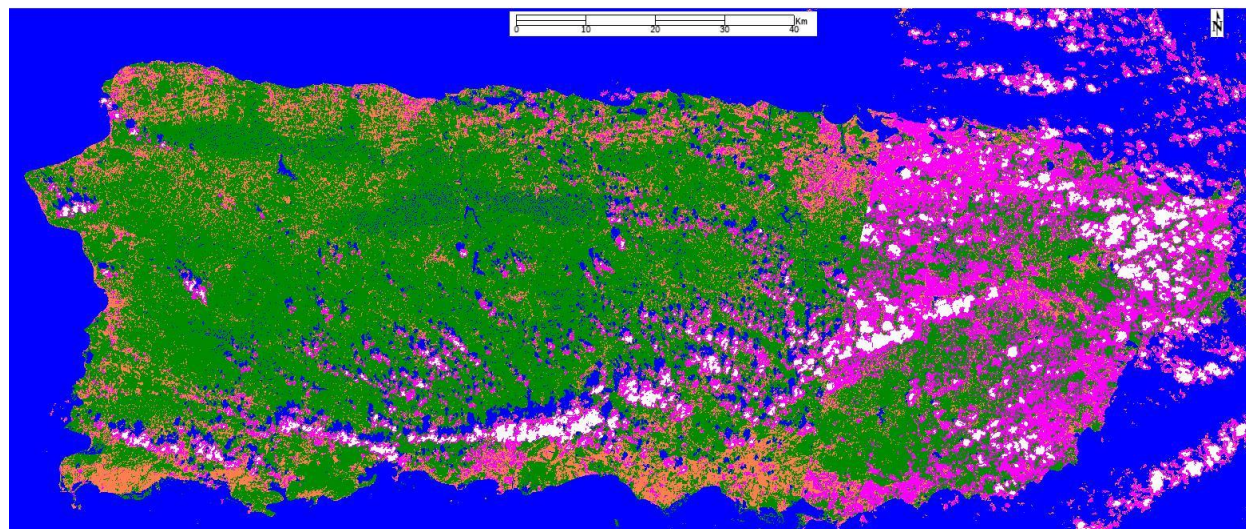
2017



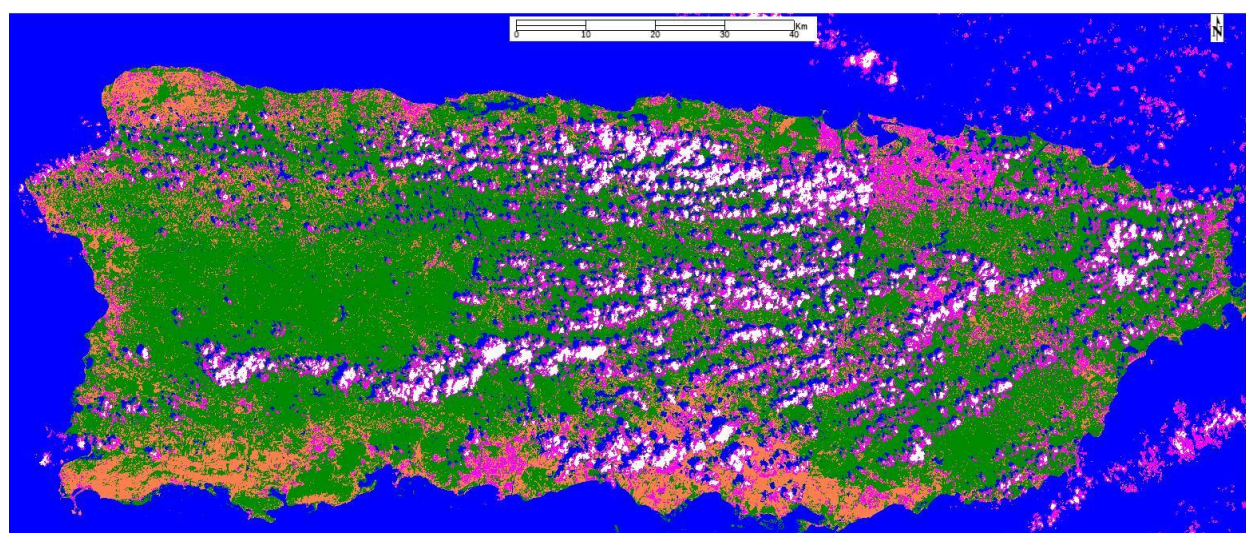


2018



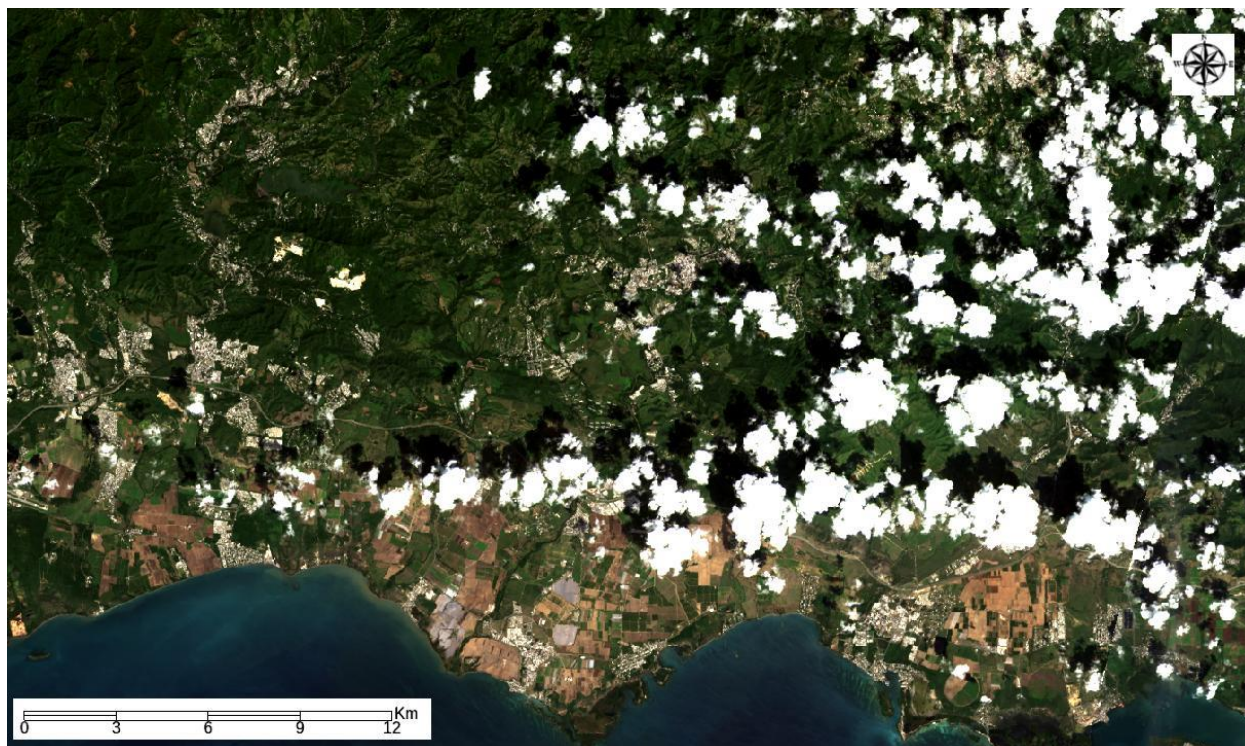
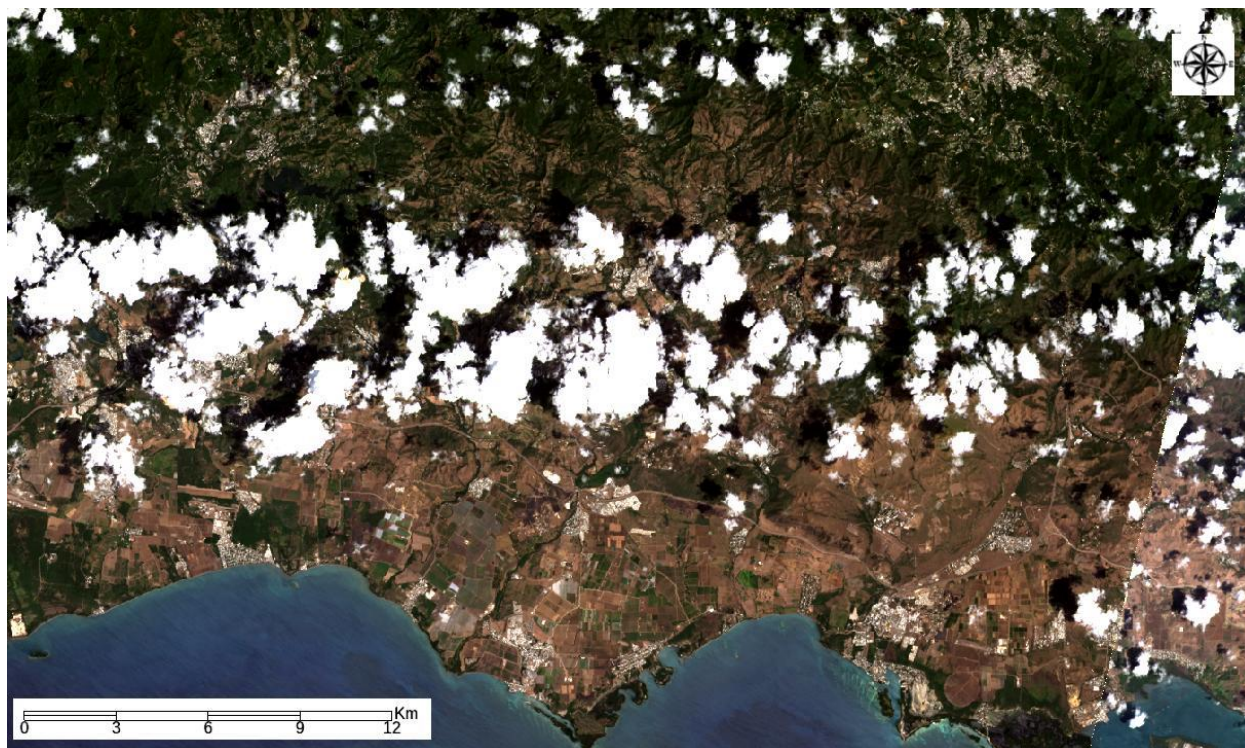


2019

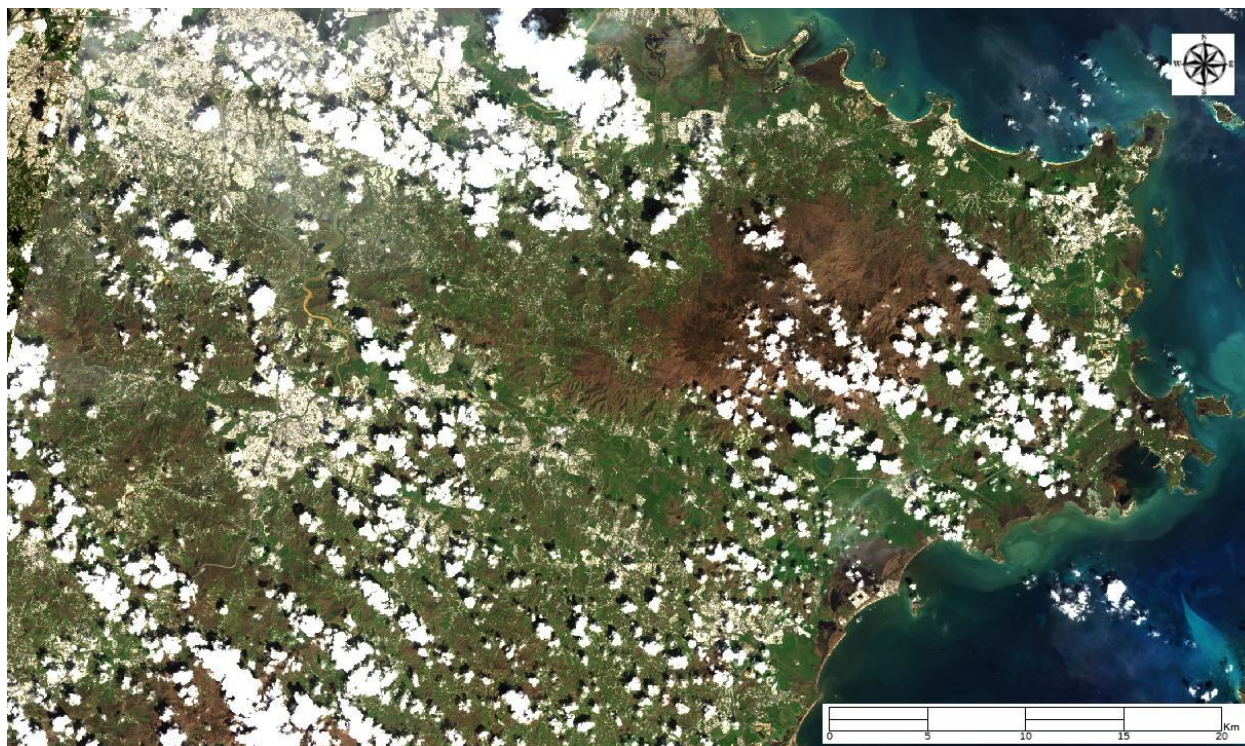


Imágenes Misceláneas

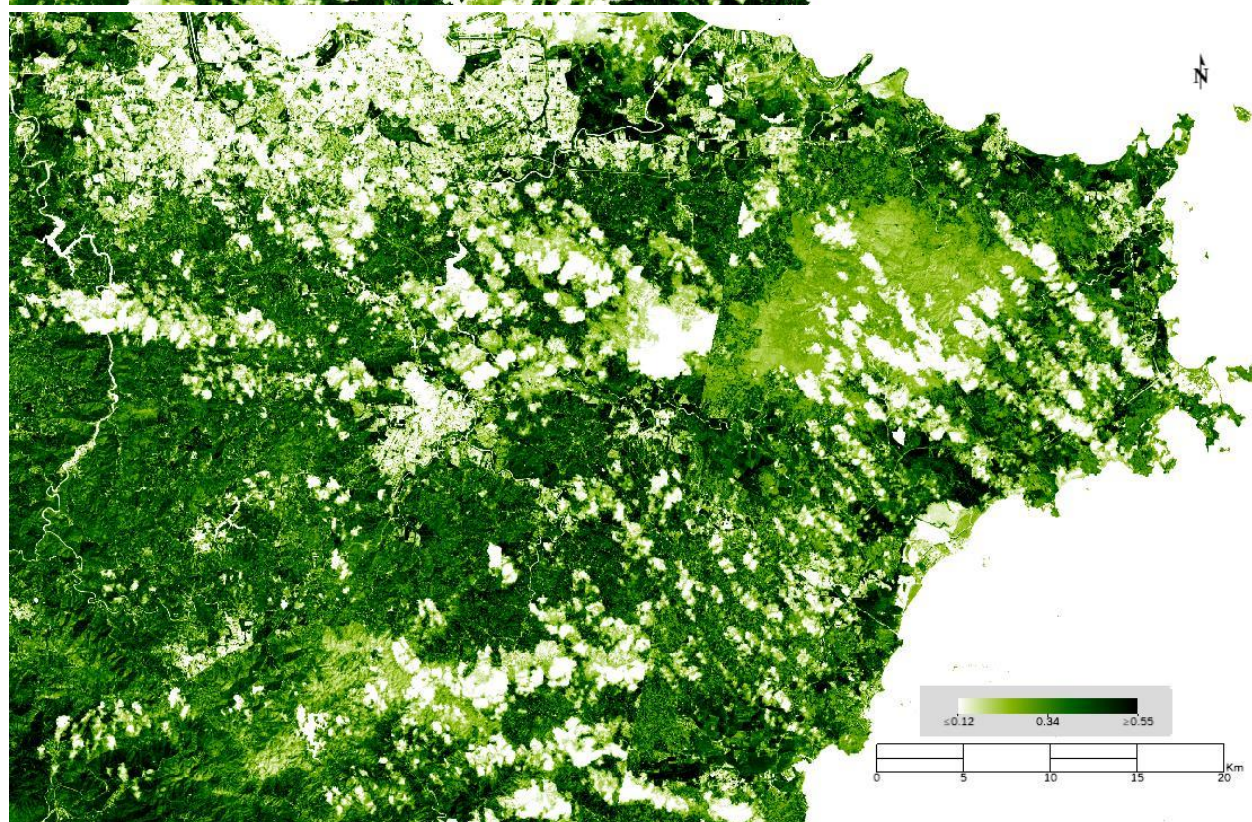
Área en Santa Isabel periodo seco y húmedo del 2015



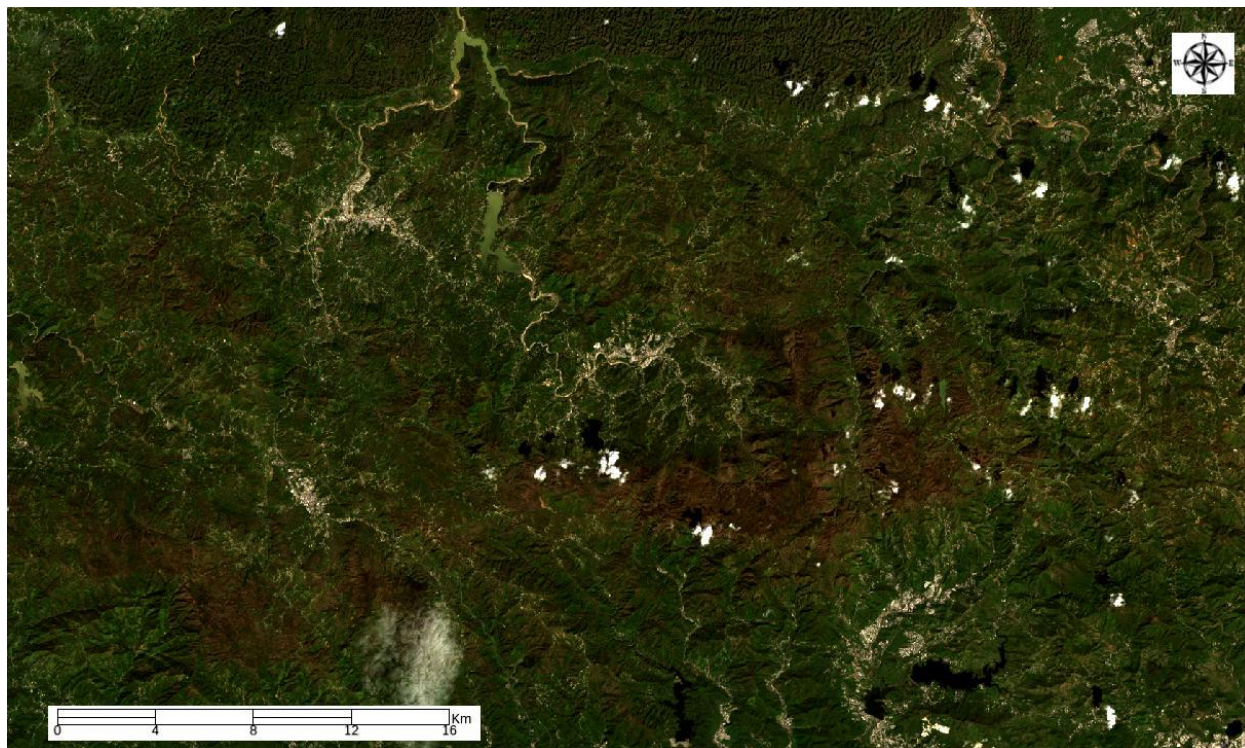
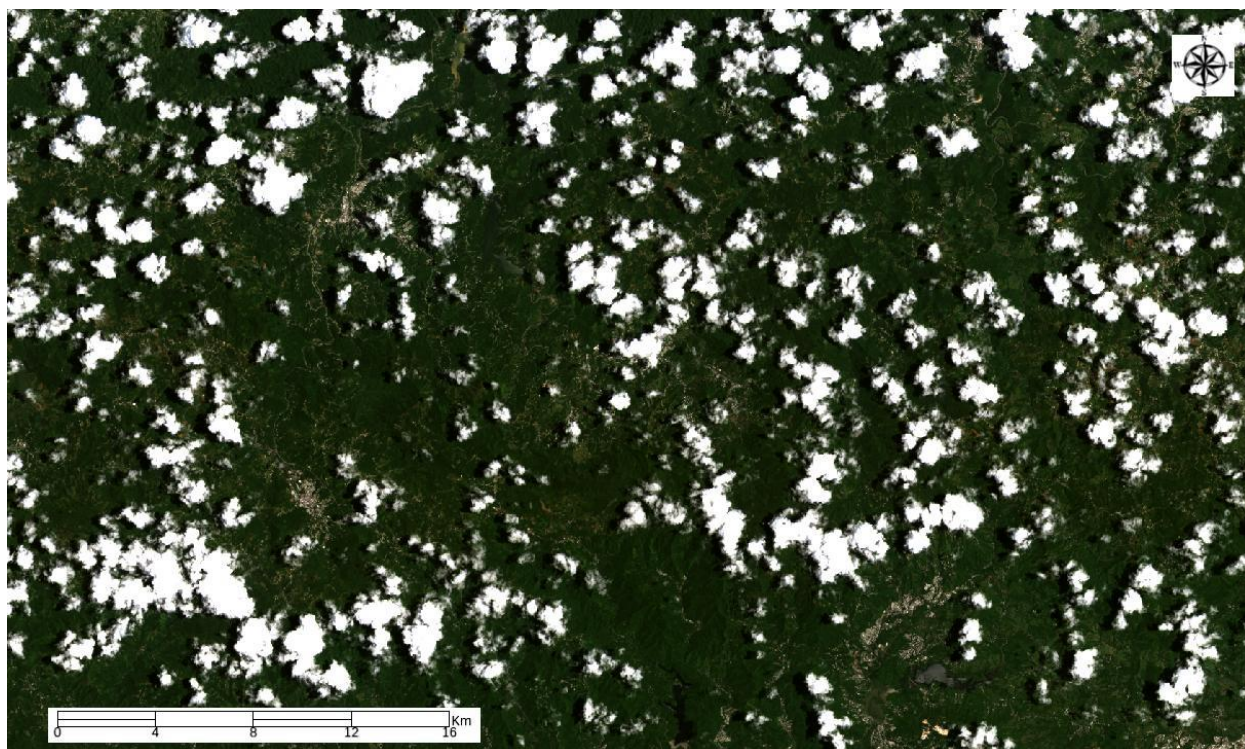
El Yunque periodo húmedo del 2016 y 2017



NDVI de El Yunque periodo húmedo del 2016 y 2017



Área en Utuado periodo seco y húmedo del 2017, seguido por periodo seco del 2018





Tablas

Día, mes, y horas de las imágenes utilizadas en la investigación

Año	Imagen	Día	Mes	Hora	Año	Imagen	Día	Mes	Hora	Año	Imagen	Día	Mes	Hora
2013 (Wet)	1	22	Septiembre	14:51	2015 (Wet)	1	30	Octubre	14:50:04	2017 (Wet)	1	4	Noviembre	14:50:15
	2	17	Octubre	14:45:37		2	24	Noviembre	14:43:56		2	12	Octubre	14:44:04
	3	22	Septiembre	14:52:16		3	30	Octubre	14:50:28		3	4	Noviembre	14:50:39
	4	17	Octubre	14:46:01		4	24	Noviembre	14:44:20		4	12	Octubre	14:44:28
2014 (Dry)	1	17	Marzo	14:50:26	2016 (Dry)	1	22	Marzo	14:49:43	2018 (Dry)	1	29	Abril	14:49:08
	2	10	Marzo	14:50:50		2	16	Abril	14:43:21		2	22	Abril	14:43:01
	3	17	Marzo	14:44:20		3	22	Marzo	14:50:39		3	29	Abril	14:49:32
	4	10	Marzo	14:44:44		4	16	Abril	14:43:45		4	22	Abril	14:43:25
2014 (Wet)	1	28	Noviembre	14:50:09	2016 (Wet)	1	16	Octubre	14:50:17	2018 (Wet)	1	23	Noviembre	14:49:53
	2	4	Octubre	14:43:58		2	22	Septiembre	14:44		2	13	Septiembre	14:43:24
	3	28	Noviembre	14:50:33		3	16	Octubre	14:50:41		3	23	Noviembre	14:50:17
	4	4	Octubre	14:44:22		4	23	Septiembre	14:44:25		4	13	Septiembre	14:43:47
2015 (Dry)	1	20	Marzo	14:49:32	2017 (Dry)	1	12	Mayo	14:43:21	2019 (Dry)	1	15	Marzo	14:49:33
	2	29	Marzo	14:43:14		2	14	Febrero	14:43:43		2	8	Marzo	14:43:25
	3	20	Marzo	14:49:55		3	12	Mayo	14:49:45		3	15	Marzo	14:49:57
	4	29	Marzo	14:43:38		4	5	Mayo	14:43:29		4	8	Marzo	14:43:49

1. Imagen del Noroeste de Puerto Rico 2. Imagen del Noreste de Puerto Rico 3. Imagen del Suroeste de Puerto Rico 4. Imagen del

Sureste de Puerto Rico

Cantidad de Pixeles por imagen

ROI	2013	2014		2015		2016
	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry
Vegetación	6988599	5137341	7435161	5929134	6737945	5308434
Vegetación Seca	458505	1397078	556630	1788965	687041	1338069
Actividad Antropogenica	1363484	1895711	1227917	1228147	1612298	1759417
Nubes	531155	567882	99258	344211	523534	534131
Océano	5681570	6033796	5721339	5758347	7141470	6105280

ROI	2016	2017		2018		2019
	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry
Vegetación	6928970	5294629	5431207	5452289	5609516	5282785
Vegetación Seca	648753	1307603	2038816	1415185	1489929	1434200
Actividad Antropogenica	1275356	2040006	1825971	1780821	2037612	1780877
Nubes	412500	582606	475522	578055	459585	597505
Oceano	5779752	5828988	5290819	5844490	5482705	5986497

Área (km²) de las clases por año

ROI	2013 (Wet)	2014 (Dry)	2014 (Wet)	2015 (Dry)	2015 (Wet)	2016 (Dry)
Vegetación	6289.74	4623.61	6691.64	5336.22	6064.15	4777.59
Vegetación Seca	412.65	1257.37	500.97	1610.07	618.34	1204.26
Actividad Antropogenica	1227.14	1706.14	1105.13	1105.33	1451.07	1583.48
Nubes	478.04	511.09	89.33	309.79	471.18	480.72
Oceano	5113.41	5430.42	5149.21	5182.51	6427.32	5494.75

ROI	2016 (Wet)	2017 (Dry)	2017 (Wet)	2018 (Dry)	2018 (Wet)	2019 (Dry)
Vegetación	6236.07	4765.17	4888.09	4907.06	5048.56	4754.51
Vegetación Seca	583.88	1176.84	1834.93	1273.67	1340.94	1290.78
Actividad Antropogenica	1147.82	1836.01	1643.37	1602.74	1833.85	1602.79
Nubes	371.25	524.35	427.97	520.25	413.63	537.75
Oceano	5201.78	5246.09	4761.74	5260.04	4934.43	5387.85