

Mapas de uso y cobertura de terreno para la Isla de Culebra utilizando imágenes de Landsat OLI/TIRS y WorldView2

Suhey Ortiz Rosa

Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, Departamento de Ciencias Marinas, Isla Magueyes, Lajas PR
Percepción Remota en Geología Avanzada

Resumen

Las imágenes de Landsat 8 (OLI/TIRS) y World View 2 (WV2) fueron utilizadas en este proyecto con el fin de crear un mapa de cobertura y uso de terreno (LULC) para la Isla de Culebra, PR. Se emplearon 2 métodos de clasificación no supervisada (IsoData y K-Means) y 4 métodos de clasificación supervisada (Minimum Distance, Maximum Likelihood, Spectral Angle Mapper y Neural Net). La herramienta de Neural Net fue utilizada con varias iteraciones. Los resultados en el porcentaje de área varían con el método utilizado siendo el más preciso Neural Net con 100 y 1000 iteraciones. La cobertura mayor de la imagen de WV2 está representada por el agua ~ 60 %, la vegetación con un 30 %, seguido por un 6 % de área desarrollada (incluyendo carreteras y z. urbanas) estimada. Las herramientas para el estudio de la vegetación como lo son el NDVI y el suprimir vegetación son de utilidad para el desarrollo de regiones de interés (ROI) al igual que el análisis de las 8 bandas. Mejorar los resultados obtenidos depende de la creación y aplicación de máscaras, remoción de nubes y creación de ROI. El mapa generado puede combinarse con datos de calidad de agua. Para establecer cambios en el LULC se recomienda utilizar Landsat ya que es la plataforma que brinda continuidad de las imágenes y a su vez productos de calidad de agua. La resolución de la imagen de WV2 supera el uso de Landsat si se busca determinar cambios a una escala de mayor precisión a 1:2,000.

Palabras Clave: ENVI, WV2, Landsat 8 OLI/TIRS, Clasificaciones, Cobertura y Uso de Terreno, Culebra, PR

INTRODUCCIÓN

Existe una relación directa entre el uso de terrenos y la calidad del agua por lo cual el desarrollo y manejo de las tierras a nivel de cuenca es de interés para los manejadores de recursos y el desarrollo de política pública. Los modelos hidrológicos y de calidad del agua consideran los mapas del cobertura de terreno y las actividades que se realizan en el área debido al transporte de nutrientes y contaminantes que son acarreados hacia la costa. Los límites de urbanismo y los cambios en paisaje son aspectos a considerarse en el manejo de los recursos y pueden ser estudiados a través del análisis y desarrollo de los mapas de uso y cobertura de terreno (LULC) (Gould et al., 2012). El uso del terreno (LU) envuelve las actividades humanas que se realizan en el área mientras que la cobertura de terreno (LC) se refiere a las características vegetativas que cobren el área (Nikerson et al., 2013). La creación de estos

mapas se basa en el uso de imágenes de satélite o de fotografía aérea. A través de estas podemos determinar cambios en la cobertura y uso de terreno y relacionarlos a posibles impactos en los ecosistemas costeros. Este proyecto busca desarrollar un nuevo mapa de LULC para 2 áreas de interés en la Isla de Culebra empleando métodos de clasificación utilizando las herramientas básicas del programa ENVI.

Dos áreas de gran interés en la Isla de Culebra lo son la playa de Flamenco y el área urbana (centro del pueblo). La playa Flamenco es la playas más visitada por turistas locales e internacionales por lo cual cambios en esta zona deben ser manejados conforme al ecosistema. La calidad del agua y la degradación de los hábitats béticos se relaciona directamente con las actividades y uso del área. El área del poblado o centro del pueblo es el área con mayor densidad poblacional lo cual generalmente se asocia a una mayor concentración de nutrientes que alcanzan las aguas costeras. La Isla de Culebra requiere de

la implementación de planes de manejo basados en la mejor información relacionada al ecosistema por lo cual el estudio de estas áreas son de gran importancia para el desarrollo de la Isla.

Las imágenes de los satélite Landsat con el sensor OLI/TIRS y World View 2 (WV2) fueron consideradas para realizar este proyecto. La imagen de Landsat posee una resolución espacial de 30 m, mientras que la imagen de WV2 tiene una resolución espacial de 2 m. Ambas imágenes tienen una diferencial temporal de 1 año y 4 meses lo cual nos puede dar una idea general de los cambios en LULC para la Isla de Culebra en los últimos 3 años. La clasificación empleada está basada en la descripción de las clases utilizadas por el “Coastal Change Analysis Program” (C-CAP) de USA el cual recientemente realizó un mapa de LULC con fotos aéreas del año 2010. En este proyecto se emplean diferentes métodos de clasificación supervisada sobre la imagen de WV2 con el fin de determinar cambios entre los métodos aplicados. Se busca determinar posibles cambios en el LULC de la Isla y relacionar los mismos a impactos en los ecosistemas costeros.

MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La Isla de Culebra esta ubicada al este de Puerto Rico. Al sur limita con el Mar Caribe y al Norte con el océano Atlántico. Cuenta con un área de 11.6 millas cuadradas (Culebra Community Watershed Action Plan, 2014) y su actividad económica principal es el turismo. Su atractivo principal son sus costas y ambientes marinos. Culebra cuenta con la primera reserva marina en PR designada por la comunidad y aproximadamente 12 km² de la Isla están designadas como zonas de conservación y/o preservación de los recursos naturales. Con tal importancia y dependencia de los recursos se hace pertinente el mejor manejo de los mismo basado en el manejo de ecosistemas. Cambios o desarrollos en el ambiente terrestre tienen grandes impactos en los recursos costeros. El desarrollo continuo de mapas de uso y cobertura de terreno son una herramienta para el manejo de estos recursos y el desarrollo de la Isla.

Clasificación de imágenes

La clasificación y el procesamientos de las imágenes se realizó usando el programa ENVI y para la visualización final de mapas se utilizó ArcGIS 10.1 de ESRI. Se obtuvo una imagen de Landsat OLI/TIRS del 14 de Junio de 2014. Se empleó un corte a la imagen para reducir su tamaño, el cual incluye toda la superficie terrestre de la Isla de Culebra. A esta imagen se le realizó una corrección atmosférica de pixel oscuro. Luego le fue aplicada una máscara creada a partir de la banda 1 lo cual nos elimina el agua. Se utilizó una clasificación no supervisada “Iso Data” y una clasificación “K-Means” para 5-7 clases.

Se obtuvo una imagen de World View 2 del 15 de febrero de 2013 para la Isla de Culebra, la cual ha sido utilizadas para estudios de hábitat béticos por parte de NOAA. Se empleó un corte a la imagen para reducir su tamaño, el cual incluye toda la superficie terrestre de la Isla de Culebra. Para realizar el análisis y la clasificación de la imagen se separó la imagen en 9 documentos. Dos de las nueve imágenes fueron analizadas con una visualización de color verdadero, color falso y el despliegue de las 8 banda de manera individual. Cada imagen fue analizada de manera individual con el fin de obtener una mejor clasificación.

Previo a la clasificación de las imágenes se realizaron máscaras de agua y se aplicaron a cada imagen.

Durante el proceso de análisis de la imágenes se generan productos intermedios para establecer las clasificaciones. Uno de estos es el Índice de Diferenciación de Vegetación Normalizado (NDVI) y “Vegetation Supresion”. Se realizó un análisis de NDVI para cada imagen utilizando la herramienta matemática de bandas: $NDVI = (NIR2 - RojoEdge) / (NIR2 + Rojo Edge)$.

Se utilizaron las herramientas de clasificación no supervisada “IsoData” y “K-Means” seleccionando como parámetro de 5 a 7 clases. Luego se realizó una clasificación supervisada con las herramientas “Maximum-Likelihood”, “Minimum Distance”, “Spectral Angle Mapper”, “Spectral Info Divergence” y “Neural Network”.

Para la clasificación supervisadas se delinearon 8 regiones de interés:

Agua – A ser usada a modo de máscara.

Agua y Humedal – incluye las áreas de lagunas y agua en tierra.

Nubes – Nubes o sombra de nube sobre tierra que alteran la señal espectral de la superficie. En ciertos casos aplicada como máscara.

Tierra Desnuda – Terreno al descubierto, sin vegetación o menos de 5 % de vegetación. Incluye calles sin pavimento.

Bosque Deciduo – Incluye áreas de bosque seco, verde o mixto.

Arbustos y pastizales – Área densa de vegetación con arboles medianos y pastos.

Costa de material no consolidado – Playas y Arena

Área desarrollada – incluye zonas urbanas, edificaciones, carreteras, áreas pavimentadas con un índice de vegetación bajo o negativo y terrenos impermeables.

Luego de obtener las clasificaciones no supervisadas de la imagen de Landsat se utilizó la herramienta “Classification to Vector” para extraer cada una de las clases. Se utilizó ArcGIS para calcular el área total de cada clase. Otra herramienta usada fue “Statistics Class”.

Para la clasificación de la imagen completa de WV2 para la Isla de Culebra se consideraron 5 clases (agua, vegetación, urbano, carreteras y arena). Para la clasificación de los Subsets de la imagen usaron las categorías antes mencionadas.

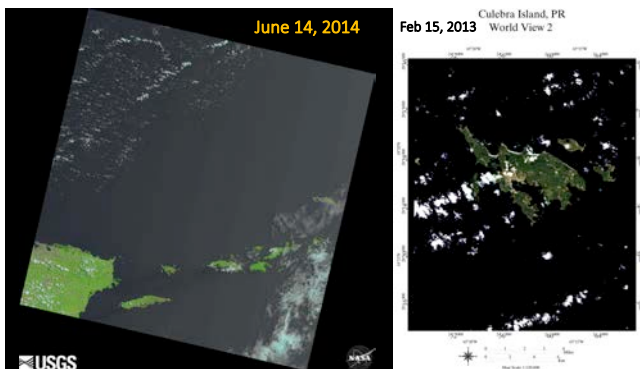


Figura 1. Landsat OLI/TIRS para el 14 de junio de 2014 y WV2 para el 15 de febrero de 2013.

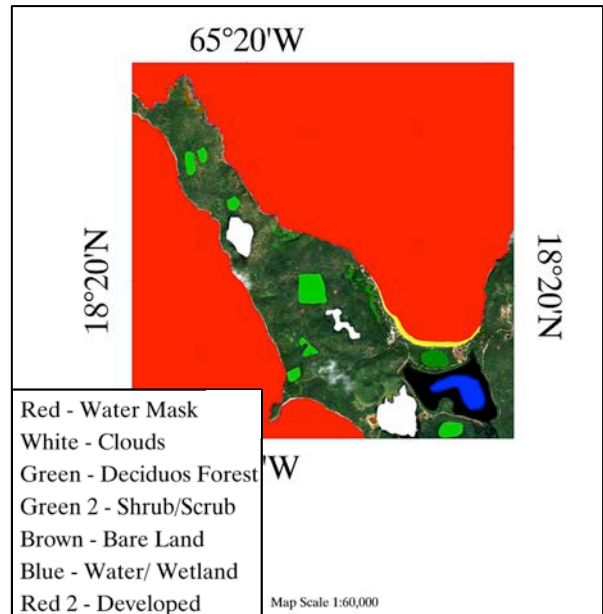


Figura 2. Ejemplo de las regiones de interés que fueron consideradas como áreas de entrenamiento para realizar las clasificaciones supervisadas de ese segmento de la Isla.

RESULTADOS

Isla de Culebra

Al realizar las clasificaciones no supervisadas la imagen de Landsat fue categorizada en 6 clases. Las clases 2, 3 y 4 pueden representar diferentes tipos de vegetación. La clase 6 generaliza las áreas con un NDVI bajo categorizando áreas de material no consolidado como lo son las playas en combinación con las zonas urbanas y el terreno desnudo. Las clases 1 y 5 pueden representar áreas rocosas o de terreno desnudo. La figura 4 resume el porcentaje de área para cada una de estas clasificaciones. No existen diferencias entre los métodos de clasificación no supervisada para la imagen de Landsat, por lo cual solo se muestran los resultados del IsoData. Los porcentajes en la figura 4 no incluyen el área no clasificada por la herramienta, la cual corresponde al agua (82% del área total de la imagen).

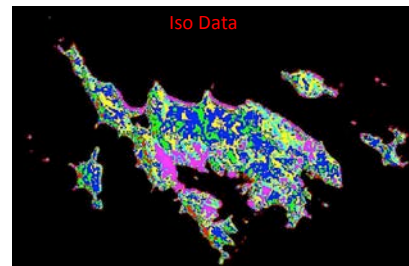


Figura 3. Landsat OLI/TIRS -Clasificaciones no supervisadas “Iso Data”.



Figura 4. Porcentaje por área para la 6 clases determinadas con IsoData para la imagen de Landsat.

La imagen de WV2 nos permite visualizar el área de estudio con una mayor resolución comparado con Landsat. El color falso (figura 5) muestra las áreas cubiertas por vegetación y permite distinguir las áreas urbanas. La presencia de nubes dificulta la clasificación con un área aproximada de 13 km² de la imagen (según la clasificación Maximum Likelihood).

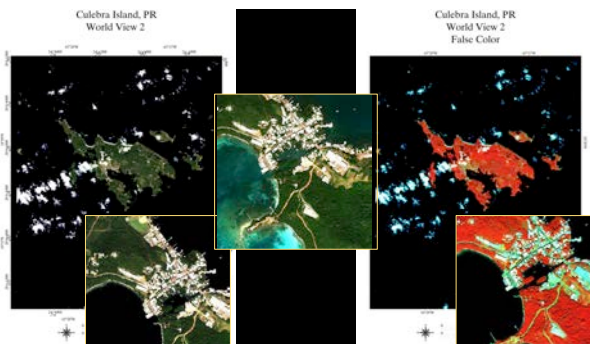


Figura 5. Imagen de WV2 para la Isla de Culebra representada en color verdadero y color falso.

Las áreas que muestran un NDVI bajo o negativo son representativas de zonas urbanas o de terreno no permeable y sin vegetación. La figura 6 muestra el NDVI de la Isla de Culebra y para el área urbana del pueblo. Esta información es combinada con las imágenes de color verdadero y falso con el fin de verificar las clases generadas durante las clasificaciones.

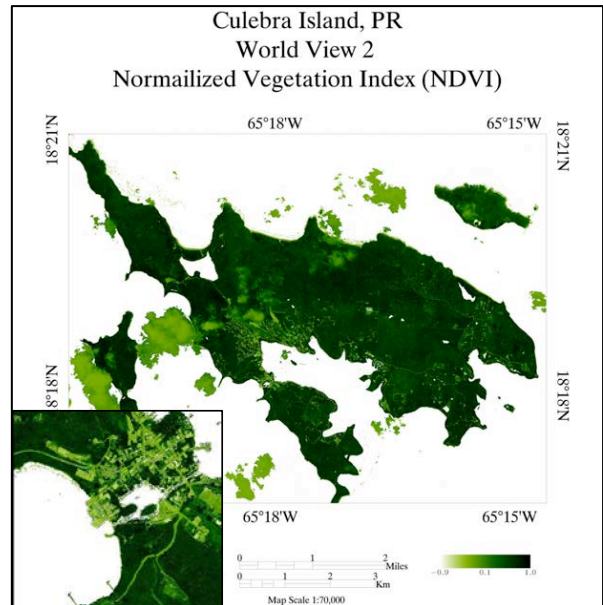


Figura 6. Imagen de WV2 - Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI) para el 15 de febrero de 2013.

La herramienta para suprimir vegetación (figura 7) nos muestra las áreas a ser clasificadas dentro de las áreas urbanas y nos permitirían crear regiones de interés para poder obtener una mejor clasificación de éstas separándolas de las regiones con terreno desnudo.

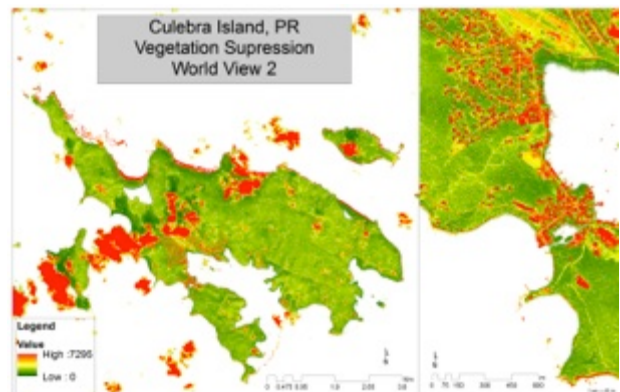


Figura 7. Vegetación suprimida para la Isla de Culebra

Las figuras 8 y 9 muestran cuatro métodos distintos de clasificación supervisada los cuales se complementan para poder seleccionar el mejor método y obtener un mapa con mayor precisión.

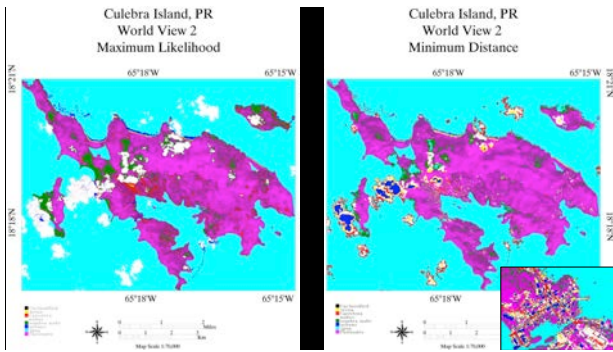


Figure 7. Imagen de WV2 - Clasificaciones supervisadas "Maximum Likelihood" y "Minimum Distance"

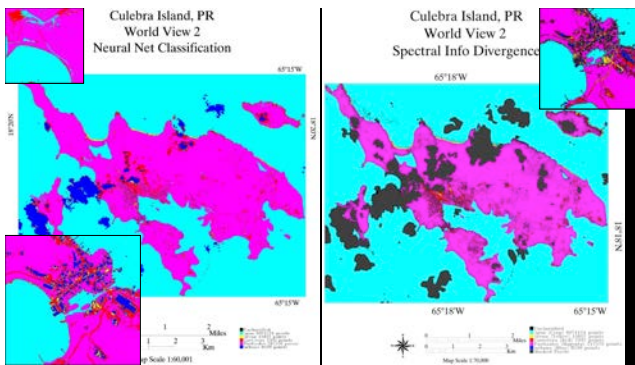


Figure 8. Imagen de WV2 - Clasificaciones supervisadas "Neural Network" y "Spectral Info Divergence"

Los cuatro métodos presentan diferencias en las clasificaciones por lo cual se requiere de un análisis comparativo que muestre el porcentaje de cambio para cada clase con cada uno de los métodos empleados (tabla 1, 2 y 3). Los métodos minimum distance y maximum likelihood muestran resultados similares mientras que el método de divergencia espectral comúnmente utilizado en imágenes hiperespectrales muestran un porcentaje de área mayor sin clasificar. Este último mantiene sin clasificar áreas de sombra ya sea de edificios o de nubes por lo cual le fue aplicada una máscara de nubes (figura 8).

En este proyecto el método de Neural Net es determinado como el más cercano a la realidad. La figura 9 muestra el porcentaje de área para cada clase con 100 iteraciones para la Isla de Culebra. De igual manera se compara el número de iteraciones empleadas en la herramienta de neural net para una porción de la Isla (Sub1 y Sub6). Al comparar 1000 iteraciones y 100 iteraciones en el área (Sub1) obtenemos una diferencia de 0.15 % para la clase Urbana y 0.22 % para la clase vegetación. Las figuras 16 y 22 muestran el RMS para las iteraciones lo cual nos indica el número cercano a óptimo a utilizarse al

emplear la herramienta en esta imagen de WV2. Las figuras 10-15 representan el área Noroeste de Culebra (denominada Sub1) y las figuras 17-23 pertenecen al área del centro del pueblo (Sub6) de la Isla de Culebra. Este tipo de información derivada del análisis nos ayuda a entender el proceso de clasificación de manera cuantitativa. De igual manera las figuras 14 y 18 muestran la señal espectral de las clasificaciones lo cual permite agregar o separar clases e informar sobre posibles combinaciones de bandas a realizarse para un mejor resultado. Estas señales muestran la similitud entre la señal de bosque decido y arbustos_pastizales las cuales pueden ser combinadas bajo una categoría.

WV2 Culebra	IsoData		K-Means		Total del area 21,567,099 puntos	
No Supervisada	% Area	Km ²	% Area	Km ²		
Unclass	11.62	10.08	87.41	376.25		
Class 1	0	0	2.02	8.72		
Class 2	59	50.9	1.99	8.57		
Class 3	1.1	0.95	2.45	10.58		
Class 4	0.94	0.81	3.35	14.43		
Class 5	1.39	1.2	1.53	6.61		
Class 6	2.96	2.55	1.22	5.26		
Class 7	22.89	19.74				
	MinDistance	MaxLike	NeuralNet			
Supervisada	% Area	Km ²	% Area	Km ²	% Area	Km ²
Unclass	0	0	0	0	0	0
Arena	0.87	0.75	0.27	0.23	0.3	0.26
Carretera	2.28	1.9	2.32	2	3.01	2.6
Nubes	2.73	2.36	7.04	6.07		
sombra nube	6.57	5.67	7.97	6.87		
Urbano	1	0.86	1.23	1.06	3.47	2.99
Agua	63.78	55.02	60.64	52.31	63.65	54.91
Vegetación	22.74	19.61	20.51	17.69	29.54	25.48

Tabla 1 . Resultados del área para cada clase y método de clasificación.



Figura 9. Porcentaje por área para la 5 clases determinadas con Neural Net para la imagen de WV2 – Isla de Culebra.

Noroeste de Culebra (Sub1) incluye Playa Flamenco

Las figuras en ésta sección muestran la región noroeste de la Isla de Culebra la cual incluye la playa de Flamenco y la entrada a playa Tamarindo. El porcentaje de área de cada clase

se presenta en la Tabla 2 .

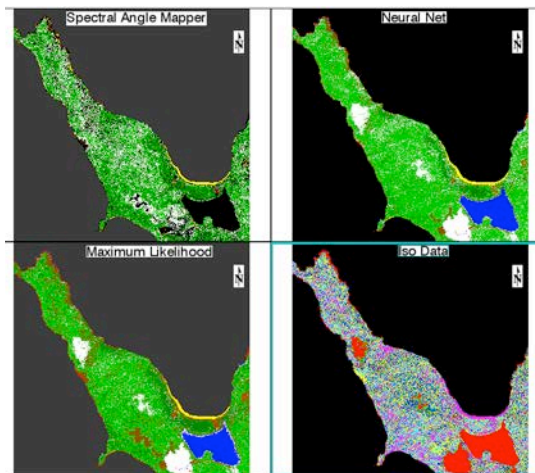


Figure 10. Imagen de WV2 - Clasificaciones supervisadas “Spectral Angle Mapper”, “Neural Network”, “Maximum Likelihood” y “IsoData”.

(Blanco- Nubes, Marón – Tierra Desnuda, Azul- Agua, Rojo- Área Desarrollada, Amarillo,- Material No Consolidado, Verde Claro- Bosque Deciduo y Verde Oscuro – Arbustos o Pastizales, Gris- Máscara, Negro-No Clasificado)

WV2 Culebra Sub 1	IsoData	
No Supervisada	% Area	Km ²
Unclass	68.06	7.99
1	5.6	0.65
2	2.7	0.31
3	5.48	0.64
4	7.72	0.9
5	5.93	0.69
6	4.49	0.52

2,935,950 puntos = Total del area Sub 1

WV2 Culebra Sub 1	Neural Net 1000 Iteraciones		Neural Net 100 Iteraciones		Spectral Angle Mapper	
	% Area	Km ²	% Area	Km ²	% Area	Km ²
Supervisada						
Unclass	68.06	7.99	68.06	7.99	8.26	0.97
Nubes	4.83	0.56	4.46	0.52	5.877	0.6902
Material No Consolidado	0.42	0.05	0.63	0.07	0.444	0.0521
Agua_Humedal	2.38	0.27	2.23	0.26	0.001	0.0001
Tierra Desnuda	1.98	0.23	4.46	0.52	0.466	0.0547
Bosque Deciduo	19.09	2.24	15.21	1.78	10.393	1.2205
Desarrollada	0.16	0.02	0.31	0.036	0.063	0.0074
Arbustos_Pastizales	3.05	0.36	7.11	0.83	6.417	0.7536
Agua					0.012	0.0014

WV2 Culebra Sub 1	Max Like	
	% Area	Km ²
Unclass	0	0
Nubes	3.2	0.37
Material No Consolidado	0.37	0.04
Agua_Humedal	2.23	0.26
Tierra Desnuda	4.26	0.5
Bosque Deciduo	15.61	1.83
Desarrollada	0.4	0.04
Arbustos_Pastizales	5.83	0.68
Máscara_Agua	68.06	7.99

Tabla 2 . Resultados del área para cada clase y método de clasificación correspondiente al Noroeste de la Isla de Culebra (Sub1).

La figura 11 muestra un acercamiento al área que

rodea al estacionamiento de playa Flamenco. Se pueden distinguir las diferencias en los resultados para cada método de clasificación (tabla 2). Por ejemplo, el área desarrollada presenta un 0.16 % y 0.31 % al utilizar Neural Net 1000 y 100 iteraciones respectivamente mientras que presenta un 0.4 % en el Maximum Likelihood y un 0.063 % en SAM. La diferencia entre los métodos para material no consolidado que incluye la zona de playa se presenta en Neural Net (100 iteraciones) siendo aproximadamente 0.2 % mayor.

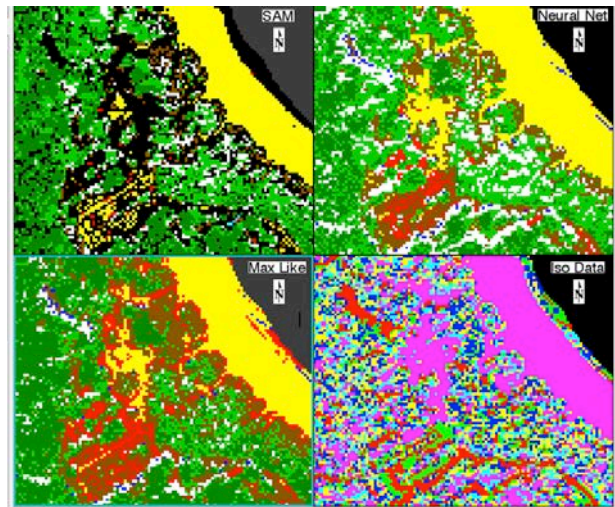


Figure 11. Acercamiento a Playa Flamenco, imagen de WV2 - Clasificaciones supervisadas “Spectral Angle Mapper”(SAM), “Neural Network”, “Maximum Likelihood” e “IsoData”.

El área de entrada hacia playa Tamarindo la cual muestra el vertedero de Culebra se encuentra cubierta por una nube en la imagen utilizada para este análisis. Sin embargo la visualización de las diferente bandas y la utilización de varias herramientas en ENVI permiten el estudio del área. Esto es notable en la figura 12 donde se muestra el área bajo la nube y se diferencian las áreas con mayor cobertura vegetal.

La clasificación supervisada para esta zona muestra pixeles clasificados como agua y zonas desarrolladas bajo la nube. Una clasificación Iso Data no determina con precisión las clases en el área de estudio, mientras que “Neural Net” y “Maximum Likelihood” presentan resultados similares.

Los resultados de la clasificación de Neural Net

varían con el aumento en el número de iteraciones. Por ejemplo, zonas clasificadas como nubes (con 100 iteraciones) pasan a ser parte de las categorías de vegetación al aumentar el número de iteraciones a 1000 (figura 15). El porcentaje de área correspondiente a cada clase para ambas iteraciones se muestra en la tabla 2. El RMS para estos análisis se muestra en las figuras 16 indicando que este valor disminuye y se estabiliza luego de las 200 iteraciones, presentando variaciones mínimas. Esto nos indica cuanto puede variar la clasificación respecto a el número de iteraciones.

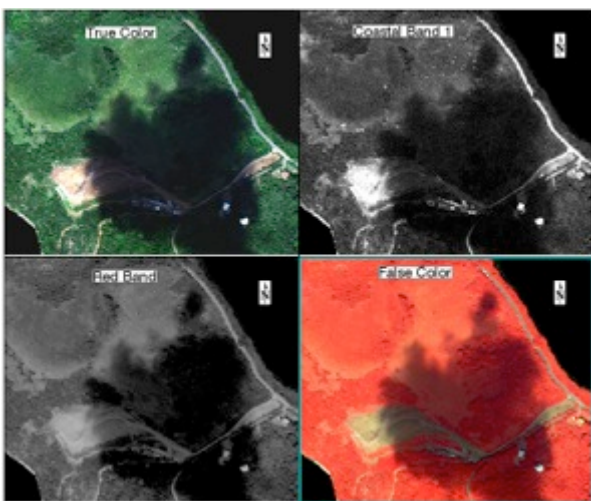


Figura 12. Entrada a Playa Tamarindo, imagen de WV2- representada en color verdadero, color falso, Banda 1 - Costera y Banda Roja (Edge).

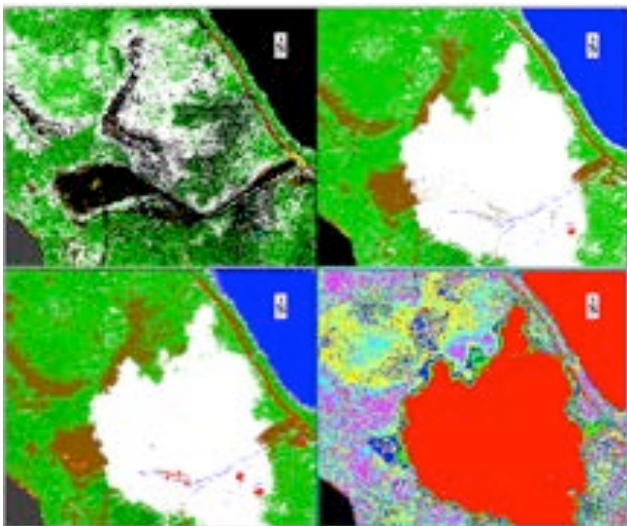


Figura 13. Entrada a Playa Tamarindo, imagen de WV2- Clasificaciones supervisadas: Superior Izquierda -“Spectral Info Divergence”, Superior Derecha - “Neural Network”, Inferior Izquierda - “Maximum Likelihood” e Inferior Derecha - “IsoData”.
(Blanco- Nubes, Marón – Tierra Desnuda, Azul- Agua,

Rojo- Área Desarrollada, Amarillo,- Material No Consolidado, Verde Claro- Bosque Deciduo y Verde Oscuro – Arbustos o Pastizales, Gris- Máscara, Negro-No Clasificado)

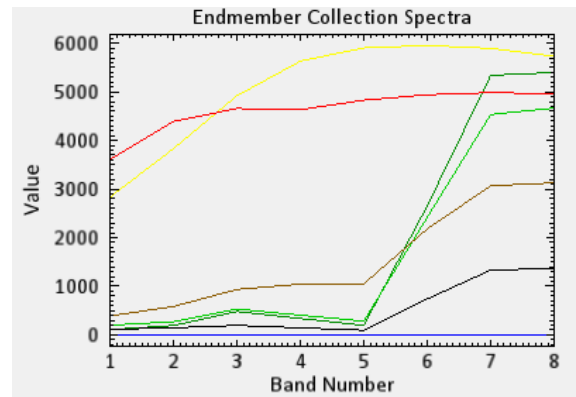


Figura 14. Valor espectral para las regiones de interés del noroeste de Culebra (Sub1).

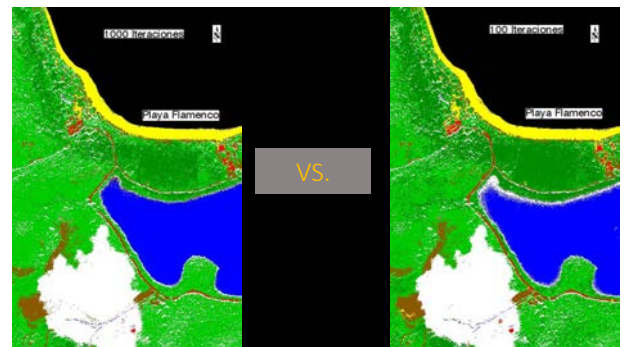


Figure 15. Entrada a playa Tamarindo, imagen de WV2- Clasificación - Neural Net con 1000 y con 100 iteraciones.

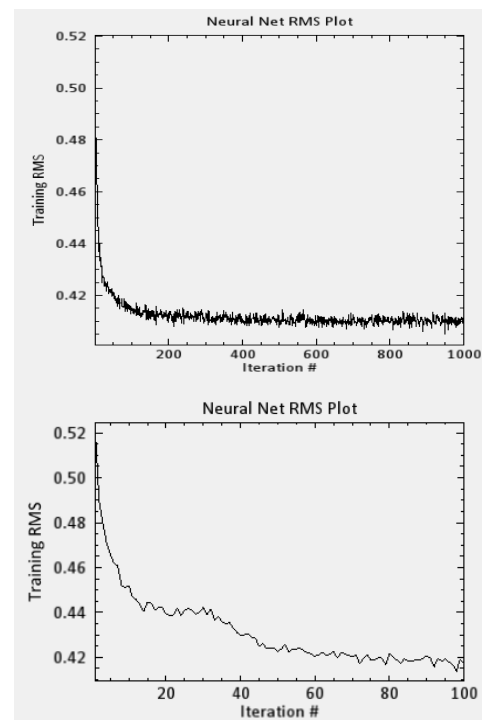


Figura 16. RMS correspondiente a Neural Net 1000 y 100

iteraciones (Sub1).

Pueblo de Culebra (Sub6) incluye el área urbana

El mismo proceso de la imagen anterior (sub1) fue realizado para la zona del pueblo de Culebra (Sub6). Las ROI fueron establecidas dentro de las mismas clases con la ayuda del NDVI y del producto de vegetación suprimida.

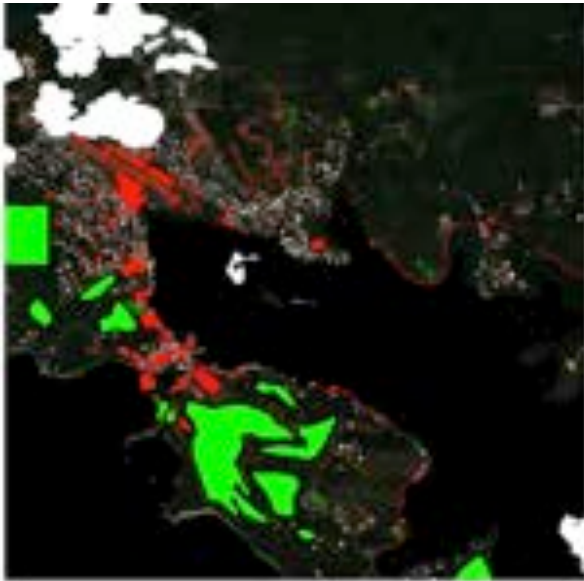


Figura 17. Regiones de interés establecidas para realizar las clasificaciones supervisadas.

(Blanco- Nubes, Marón – Tierra Desnuda, Azul- Agua, Rojo- Área Desarrollada, Amarillo,- Material No Consolidado, Verde Claro- Bosque Deciduo y Verde Oscuro – Arbustos o Pastizales, Gris- Máscara, Negro-No Clasificado)

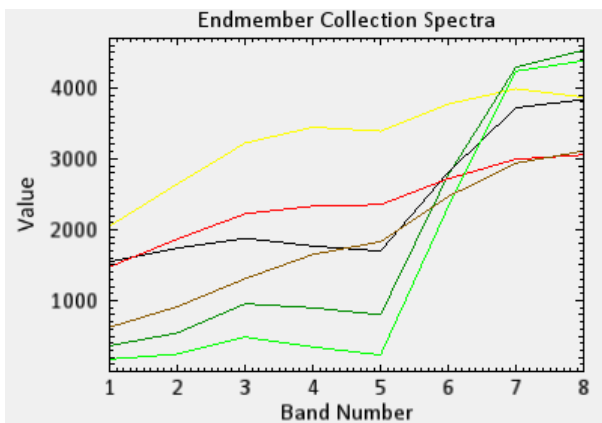


Figura 18. Valor espectral para las regiones de interés (ROI) del pueblo.

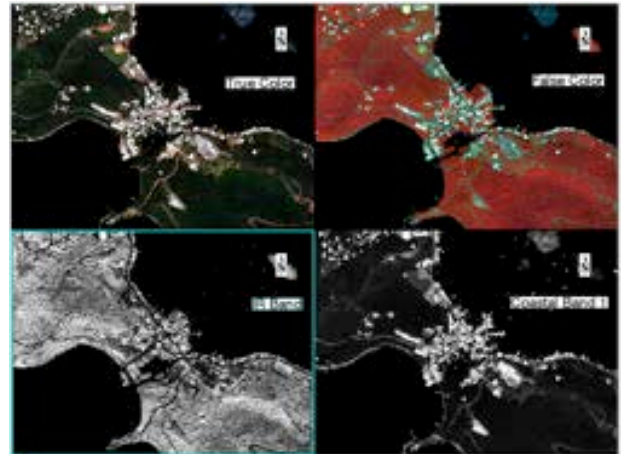


Figura 19. Pueblo de Culebra, imagen de WV2- representada en color verdadero, color falso, Banda IR - Costera y Banda 1.

Las clases material no consolidado y zonas desarrolladas se confunde al aplicar los métodos Minimum Distance y Maximum Likelihood. Sin embargo están son separadas utilizando Neural Net (figura 20). Los resultados varían al emplear máscaras para agua o nubes. Al aplicar una máscara al agua como una ROI y ajustar la herramienta de Neural Net a 100 iteraciones la imagen sub 6 no produce resultados bajo la clase de material no consolidado, mejorando de esta manera el producto de zonas desarrolladas.

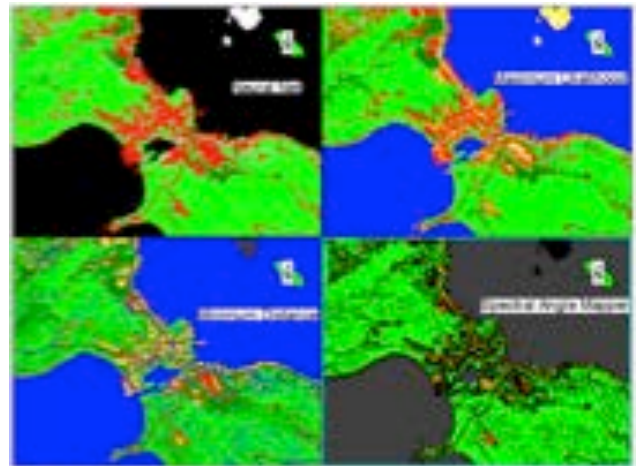


Figura 20. Pueblo de Culebra, imagen de WV2- Clasificaciones supervisadas: Superior Izquierda -“Neural Network”, Superior Derecha - “Maximum Likelihood” Inferior Izquierda - “Minimum Distance” e Inferior Derecha - “Spectral Angle Mapper”.

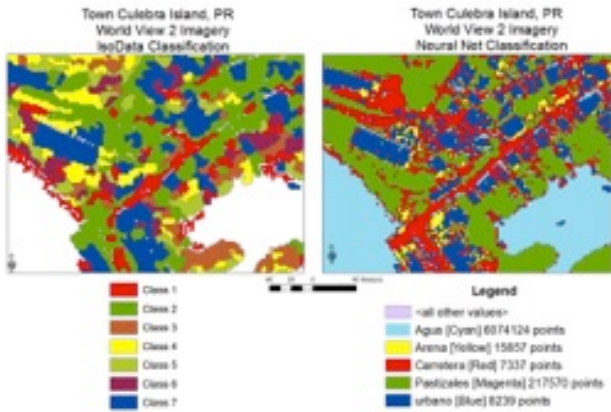


Figura 21. Acercamiento a la clasificación IsoData y Neural Net para el Sub 6.

Los cambios en el RMS al utilizar 10, 25 y 100 iteraciones en Neural Net para la imagen Sub 6 son cerca de 0.025 entre 10 y 100. La tabla 3 resume las diferencias en el porcentaje de área para cada método empleado.

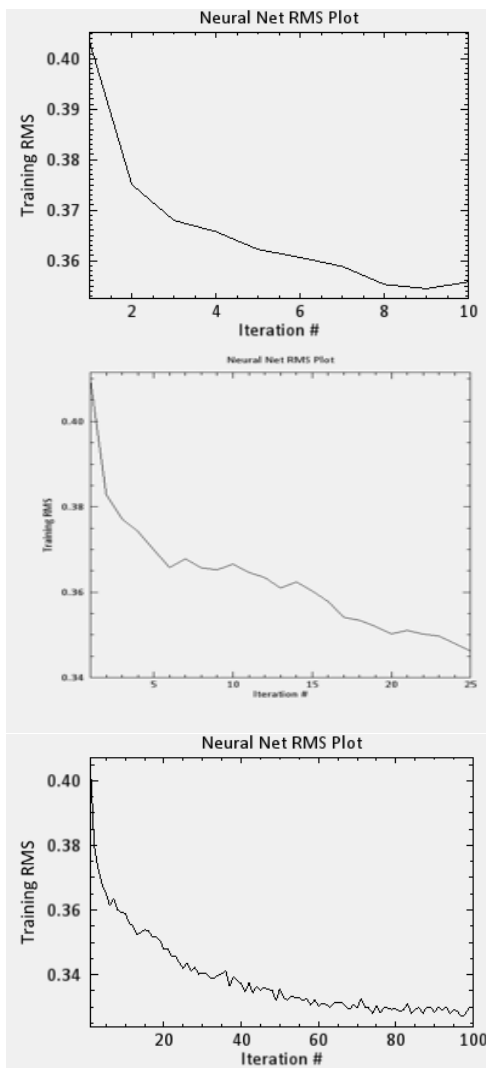


Figura 22. RMS correspondiente a Neural Net 10, 25 y 100 iteraciones (Sub6).

WV2 Pueblo de Culebra	IsoData		K-Means		
	% Area	Km ²	% Area	Km ²	
Sub 6					
Unclass	35.375	4.154	Unclass	35.375	4.1543
Class 1	5.76	0.677	Class 1	4.124	0.4843
Class 2	9.367	1.1	Class 2	1.114	0.1309
Class 3	20.173	2.369	Class 3	1.431	0.168
Class 4	17.451	2.049	Class 4	1.893	0.2223
Class 5	7.127	0.837	Class 5	2.5	0.2937
Class 6	4.746	0.557	Class 6	3.3	0.3872
			Class 7	4.2	0.4936
			Class 8	5.13	0.6027
			Class 9	5.72	0.6721
			Class 10	5.88	0.6909
			Class 11	5.61	0.6589
			Class 12	4.94	0.5801
			Class 13	4.17	0.4897
			Class 14	3.33	0.3911
			Class 15	2.56	0.3009
			Class 16	1.92	0.2252
			Class 17	1.41	0.1655
			Class 18	1	0.1182
			Class 19	0.73	0.0857
			Class 20	3.648	0.4285

WV2 Pueblo de Culebra	MinDistance		MaxLike		Spectral Angle Mapper	
	% Area	Km ²	% Area	Km ²	% Area	Km ²
Sub 6						
Unclass	0	0	0	0	14.326	1.6824
Nubes			6.738	0.8	1.319	0.1549
Agua_Humedal	40.569	4.8				
Terreno sin cobertura vegetal	4.719	0.6	3.358	0.4	1.071	0.1258
Bosque Deciduo	30.364	3.6	37.801	4.4	37.019	4.3475
Desarrollada	0.626	0.1	4.416	0.5	0.897	0.1053
Arbustos_Pastizales	17.828	2.1	10.794	1.3	9.32	1.0945
Material No Consolidado	1.872	0.2	1.518	0.2	0.673	0.079
Máscara	4.022	0.5	35.375	4.2	35.375	4.1543

2,935,950 puntos = Total del área Sub 6

WV2 Pueblo de Culebra	Neural Net 10 iteraciones		Neural Net 25 iteraciones		Neural Net 100 iteraciones	
	% Area	Km ²	% Area	Km ²	% Area	Km ²
Sub 6						
Unclass	35.37	4.2	35.375	4.2	36.44	4.2794
Nubes	11.201	1.3	9.404	1.1	9.318	1.0943
Agua_Humedal			0.045	0	0.11	0.0129
Terreno sin cobertura vegetal	0.487	0.1	0	0	0.413	0.0485
Bosque Deciduo	40.319	4.7	38.817	4.6	42.003	4.9327
Desarrollada	7.985	0.9	7.959	0.9	7.127	0.837
Arbustos_Pastizales	4.633	0.5	8.4	1	4.59	0.539
Material No Consolidado	0	0	0	0	0	0
Máscara						

Tabla 3. Resultados del área para cada clase y método de clasificación correspondiente al centro del Pueblo de la Isla de Culebra (Sub6).

Calidad de agua

Los productos de clasificación supervisada y no supervisada pueden atarse a información georeferenciada sobre calidad de agua. Un estudio de cambios en estas clases a través del tiempo pueden asociarse a datos de turbidez, clorofila y nutrientes. Estudios de esta índole se están llevando a cabo en 19 áreas costeras de la Isla de Culebra (figura 23). Las zonas clasificadas como desarrolladas se encuentran aledañas al

aeropuerto, la cual es una zonas con la mayor turbidez promedio en la Isla.

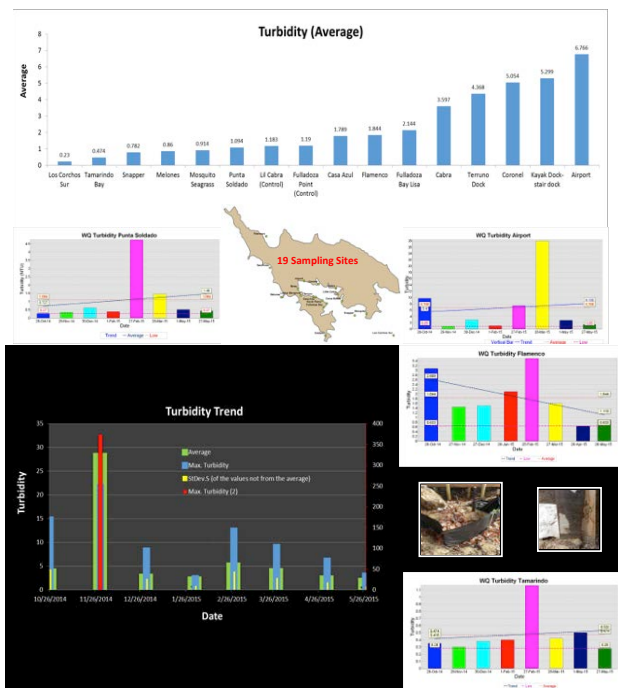


Figura 23. Cambios y tendencias de turbidez en aguas costeras de la Isla de Culebra, PR (Vandiver et al., datos sin publicar, 2015).

A su vez, los productos de uso y cobertura de terreno de estas imágenes de Landsat y WV2 pueden ser comparados con mapas previos de LULC como lo es el C-CAP publicado por NOAA y desarrollado a partir de las fotografías aéreas del año 2010 (NOAA, 2015).

DISCUSIÓN

Generar mapas de LCLU requiere del estudio detallado de los procesos y herramientas a utilizarse. El análisis de imágenes de satélite (Landsat y WV2) es la herramienta principal para el desarrollo de estos mapas. La combinación de bandas para separar las clases principales como vegetación, zonas urbanas y agua son el proceso principal para generar los mismos (Shridhar et al., 2013). Sin embargo, este proyecto se enfoca en el análisis y comparación de herramientas de ENVI para generar clasificaciones, a modo de explorar las diferencias y precisión de los métodos utilizados. La herramienta que provee una mayor precisión con la realidad es Neural Net la cual requiere del estudio y análisis del número de iteraciones. Estudiando las diferencias en el número de iteraciones utilizadas en este proyecto se puede concluir que se requiere su

utilidad con entre 100-200 iteraciones lo cual disminuye el tiempo de funcionamiento computacional al analizar la imagen y provee un buen resultado. Las herramientas de clasificación no supervisada pueden utilizarse para generar áreas de entrenamiento (ROI) sin embargo es efectivo al combinarse con herramientas de extracción, agregación y segregación de pixeles o áreas las cuales están disponibles con un licenciamiento avanzado de ENVI. Las herramientas básicas de ENVI limitan los procesos a realizarse que pueden acelerar este tipo de análisis de imágenes de satélite.

La comparación de los métodos puede mejorar utilizando la misma banda en ambas imágenes para realizar la máscara por ejemplo la Banda 1. Se deben usar las mismas clasificaciones para el análisis de todos los métodos. La separación de la señal de vegetación en más de una clase es de utilidad para estudios que requieren mayor información sobre el área. En ciertos casos esta señal (ejemplo, bosque deciduo y pastizales) puede combinarse en una sola clase. La separación de las áreas urbanas en 2 clases (Carreteras y Urbano) requiere de ROI con una señal pura o un número de iteraciones alto en el procesamiento de la imagen. Un aspecto que puede mejorar la clasificación es el uso de las bandas pancromáticas para cada imagen y delinear las ROI a una escala menor de 1:1,500. Realizar un análisis de cambios en LULC requiere de imágenes continuas lo cual es mas factible utilizando imágenes de Landsat debido a su continuidad (cada 16 días) y los productos que pueden obtenerse y asociarse a la misma. Estos productos incluyen calidad de agua basada en valores de clorofila, sedimento suspendido y atenuación de luz en el agua.

AGRADECIMIENTOS

T. Batista por proveer las imágenes de WV2. William Hernández por las recomendaciones de uso de ENVI.

REFERENCIAS

Department of Commerce (DOC), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Ocean Service (NOS), Office for Coastal Management (OCM). 2015. C-CAP

Land Cover, Puerto Rico, 2010

Nickerson, C., M. Harper, C.J. Henrie, R. Mayberry, S. Shimmin, B. Smith and J.H. Smith. 2013. "Sources of Data Providing Land Use and Land Cover Estimates for the U.S." Report prepared for the Interagency Council on Agricultural and Rural Statistics, subcommittee of the Interagency Council on Statistical Policy.

Shridhar D. Jawak and Alvarinho J. Luis. 2013. Improved land cover mapping using high resolution multiangle 8-band WorldView-2 satellite remote sensing data. *J. Appl. Remote Sens.* 7(1) 073573 doi: 10.1117/1.JRS.7.073573
Tong, S.T.Y., Chen, W., 2002. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *J. Environ. Manage* 66, 377e393.

<http://dx.doi.org/10.1006/jema.2002.0593>.

William A. Gould, Sebastián Martinuzzi, Isabel K. Pares-Ramos, Sheila F. Murphy, and Robert F. Stallard. 2012. Land Use, Population Dynamics, and Land-Cover Change in Eastern Puerto Rico. Chapter B of Water Quality and Landscape Processes of Four Watersheds in Eastern Puerto Rico. Professional Paper 1789-B Edited by: Sheila F. Murphy and Robert F. Stallard.

Paul Sturm, Roberto Viqueira –Rios, Louis Meyer-Comas .2014. Culebra Community Watershed Action Plan For Water Quality And Coral Reefs. Prepared for NOAA Coral Reef conservation program Puerto Rico DRNA Culebra Office of the Mayor.