Cobertura y uso de suelos del Estuario de la Bahía de San Juan con el uso de Google Earth Engine

Programa del Estuario de la Bahía de San Juan
Desarrollado por Thinkamap!

ABSTRACT

Los mapas de cobertura y uso de suelos son materiales imprescindibles para las agencias y organizaciones ambientales que se dedican a la administración, conservación y planificación ambiental como el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ). Para conocer sobre los cambios que ha sufrido el paisaje, se determinó desarrollar un mapa de cobertura y uso de suelos con el empleo de las Tecnologías de la Información Geográfica. Con el uso de la percepción remota y la plataforma Google Earth Engine (GEE), se hizo una clasificación digital de la delimitación de ESBJ con un mosaico de imágenes satelitales sin nubes del año 2020, originales del programa europeo Copernicus (Sentinel-2). Para esto se utilizó el algoritmo Random Forest, método de clasificación supervisada empleado comúnmente para el estudio de cobertura y uso de suelo. Se determinaron 5 clases: cuerpos de agua, humedales, suelo baldío, suelo urbano y vegetación. Para evaluar la clasificación, se llevaron a cabo procesos como el coeficiente de Kappa con un 88%, la precisión general con un 91% y el desarrollo e interpretación de una matriz de confusión. A grandes rasgos, se encontró erosión en varias partes de la costa, decrecimiento del tamaño de los cuerpos de agua y aumento en las áreas de vegetación en áreas anteriormente clasificadas como humedales. Este producto cartográfico sirve

de recurso para la toma de decisiones respecto a la administración y planificación del terreno del EBSJ.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el incremento de la presencia urbana en el suelo ha alarmado a las agencias y a las organizaciones ambientales, las cuales no han cesado su abogacía por la implementación de las políticas públicas de conservación del ambiente. Muchas de las organizaciones han utilizado materiales como los mapas de cobertura y uso de suelos para mostrar gráficamente el impacto del desarrollo urbano en el terreno en los espacios donde se practica el derecho ambiental. Por ejemplo, entre las consecuencias se encuentran: la reducción de terreno de áreas vegetativas y áreas protegidas, el decrecimiento de presencia hídrica en ecosistemas como los humedales, o la erosión en la zona costera por el ascenso del nivel del mar.

Al igual que muchos ecosistemas en Puerto Rico, el Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ) ha sido impactado por el desarrollo económico y poblacional de la sociedad puertorriqueña. Mapas de cobertura y uso de suelos como el proyecto Puerto Rico Gap Analysis (PRGAP) (Gould, 2008), y el Plan de Uso de Terrenos (PUT) (JPPR, 2015) reflejan que el terreno de la delimitación del EBSJ ha sido mayormente clasificado como suelo urbano: 50% en el 2008 y 70% para el 2015, respectivamente. Dichos mapas representan el aceleramiento de la expansión urbana sobre otros tipos de cobertura y, a su vez, el impacto en el medio ambiente.

Por estas razones, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) se ha dado la tarea de analizar espacialmente los cambios de cobertura y uso de suelo que han ocurrido dentro de su delimitación. Con el uso de las Tecnologías de la Información Geográfica se utilizaron metodologías de clasificación de imágenes satelitales para desarrollar un mapa de

cobertura y uso de suelo. Además, para poder analizar los cambios en la cobertura y uso de suelos a través de los años, se llevó a cabo una comparación entre el resultado de este estudio y el mapa de cobertura de suelos del proyecto Puerto Rico Gap Analysis (Gould, 2008). De esta manera, el PEBSJ puede proveer un material clave que ayude en la toma de decisiones de la planificación del terreno y el desarrollo de política pública que respete las delimitaciones de áreas naturales y ecológicas.

Objetivos

a. Clasificación de la superficie terrestre en función de la cobertura y uso del suelo en la delimitación del EBSJ.
b. Cálculo de la extensión territorial de cada tipo de cobertura y uso de suelo.
c. Comparación entre el resultado y el mapa de cobertura de suelos del proyecto Puerto Rico Gap Analysis (Gould, 2008).
d. Desarrollo de un mapa de cobertura y uso de suelos para la administración, conservación y planificación de la delimitación del EBSJ.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

A. Área de estudio

La delimitación del EBSJ se encuentra en el noreste de Isla grande y está compuesto de ocho municipios: Bayamón, Carolina, Cataño, Guaynabo, Loíza, Toa Baja, Trujillo Alto y San Juan. (Ver Figura 1) En el Estuario se mezclan las aguas dulces con el mar en toda la costa desde Toa Baja hasta Loíza, a través de ríos y quebradas que se conectan con la playa (Estuario). Entre las características del EBSJ sobresalen: la gran actividad comercial que se lleva a cabo en los

centros comerciales, en el turismo y en los puertos, y la diversidad ecológica que vive en el estuario como las especies de animales y plantas (Estuario).

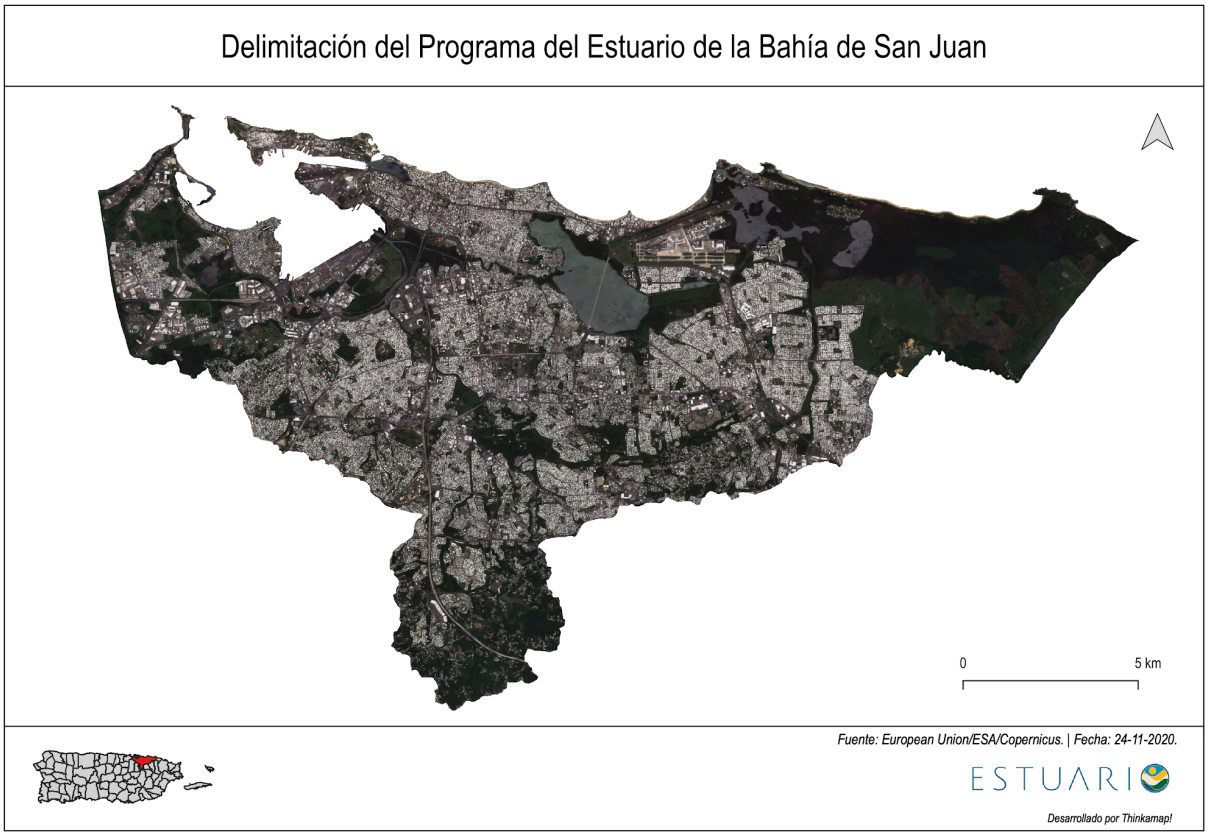


Figura 1: Mosaico de imágenes sin nubes de Sentinel-2 de las fechas 28/01/2020 a 08/05/2020 en color natural [rojo (B4), verde (B3), azul (B2)].

B. Definiciones de clases

Para la clasificación, se determinaron 5 clases: cuerpo de agua, humedales, suelo baldío, suelo urbano y vegetación. (Ver Tabla 1) Las mismas fueron escogidas en función de las clases de PRGAP Analysis (Gould, 2008) y su presencia en el área de estudio. Inicialmente se escogió suelo agrícola, pero luego de llevar a cabo análisis espectrales con las imágenes se determinó que el área de suelo agrícola era de menor extensión que la unidad mínima cartografiable (10 m^2). Es

decir, sólo se encontraron áreas de suelo agrícola de subsistencia de cultivos mixtos que no resaltan en la imagen satelital.

Tabla 1: Subclases y clases de cobertura y uso de suelo

Clase	Sub-classes
Cuerpo de agua	Corrientes de agua, lagunas, quebradas, y reservas.
Humedales	Boscoso (manglares), y no boscoso.
Suelo baldío	Artificial, natural, y áreas de transición.
Suelo urbano	Comercial, industrial, residencial (alta y baja densidad), servicios (gubernamental), transportación (tren y carreteras), y utilidades.
Vegetación	Bosque (abierto y cerrado), y no boscoso (pastizales y matorrales).

C. Datos

a. Sentinel-2: Instrumento MultiEspectral, Nivel 2A

Además de la consola de código donde se pueden realizar numerosas operaciones espaciales con el lenguaje de programación JavaScript, GEE tiene disponible una base de datos inmensa con las imágenes de los satélites más importantes en el estudio de la percepción remota. En función del tópico (cobertura y uso de suelo) y el área de estudio (área local EBSJ), se realizó un mosaico sin nubes de las imágenes del satélite Sentinel-2[1] del programa europeo Copernicus para las fechas 28 de enero de 2020 a 5 de agosto de 2020. En total se utilizaron 37 imágenes satelitales, las cuales se analizaron como una sola imagen con el cálculo de la media de valores

[1] Se utilizó la librería de imágenes "Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A" (`COPERNICUS/S2_SR`). Para más información accese a: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR

de píxeles de las imágenes multi-temporales. Dicho satélite es reconocido por sus imágenes multiespectrales de alta resolución y su uso en el monitoreo de áreas costeras, la cubierta hídrica, el suelo, y la vegetación (Google, "Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A"). Además, GEE ofrece las imágenes satelitales del Sentinel-2 ortorectificadas y corregidas atmosféricamente. La resolución espacial del Sentinel-2 es de 10m, óptima para la clasificación de cobertura y uso de suelo en un área local como el EBSJ.

Las bandas originales del satélite que se utilizaron para la clasificación fueron: azul (B2), verde (B3) y rojo (B4). Para complementar la clasificación, añadimos 3 bandas con los valores de distintos índices: Índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI), Índice diferencial normalizado de agua (NDWI) e Índice diferencial normalizado de losa (***tillage)*** (NDTI). El NDVI utiliza el rojo (B4; Red) y el infrarrojo cercano (B8; NIR) para sobresaltar la vegetación (Google, "NDVI, Mapping a Function over a Collection, Quality Mosaicking"), el NDWI utiliza el verde (B3; Green) y el infrarrojo cercano (B8; NIR) para sobresaltar la presencia de agua, y el NDTI utiliza el infrarrojo de onda corta 1 (B11; SWIR 1) y el infrarrojo de onda corta 2 (B12; SWIR 2) para acentuar la diferencia entre suelo baldío y suelo urbano (Ettehadi Osgouei et al., 2019). (Ver Figura 2)

$$NDVI = (NIR - RED) \div (NIR + RED)$$
$$NDWI = (GREEN - NIR) \div (GREEN + NIR)$$
$$NDTI = (SWIR\,1 - SWIR\,2) \div (SWIR\,1 + SWIR\,2)$$

Figura 2: Cálculos para las bandas NDVI, NDWI, & NDTI.

b. Selección de áreas de entrenamiento y muestra para validación

Como parte de los métodos de clasificación supervisada, se identificaron áreas de entrenamiento de cada clase representativas por todo el área de estudio para entrenar al algoritmo

de clasificación en el reconocimiento de las distintas clases (Chuvieco, 2015). Para escoger las áreas de entrenamiento y los datos para la validación, se utilizó la interpretación visual con el uso de imágenes de alta resolución de Google Maps. Por un lado, se escogieron 58 polígonos homogéneos que reflejaran la variabilidad y las subclases de cada clase. (Ver Tabla 2) La mayoría de las áreas se validaron con visitas al campo (36 áreas de entrenamiento accesibles al equipo de trabajo[2]), mientras que la totalidad de las áreas se validaron con la comparación de imágenes multitemporales del año 2020 del Sentinel-2. Para esto se utilizaron diferentes combinaciones de bandas en función de la clase en cuestión. Por ejemplo, para el suelo urbano se utilizó el falso color con las bandas infrarrojo de onda corta 2, infrarrojo de onda corta 1 y rojo (B12/B11/B4); y para la vegetación se utilizó el color infrarojo con las bandas infrarrojo cercano, rojo y verde (B8/B4/B3), y la combinación de bandas infrarrojo de onda corta 1, infrarrojo cercano y azul (B11/B8/B2) (Sentinel-hub Playground). Por otro lado, se escogieron 118 polígonos sistemática y estratificadamente a través de toda la Cuenca del EBSJ. (Ver Tabla 2) La plataforma de GEE interpretó dichas áreas de validación como puntos (píxeles), que a su vez se utilizaron en los procesos de evaluación de precisión, como la matriz de confusión. Para evitar la detección de sobreajuste, se escogieron polígonos al menos 100m de las áreas de entrenamiento (Phan et al., 2020). Las áreas de entrenamiento y los datos para la validación fueron exportados de Google Maps e importados a Google Earth Engine.

[2] Para ver datos del trabajo de campo acceder a:
https://estuario.org/trabajo-de-campo-validacion-de-areas-de-entrenamiento/.

Tabla 2: Cantidad de áreas de entrenamiento y áreas de validación por clase

Clase	Áreas de entrenamiento	Áreas de validación
Cuerpo de agua	11	22
Humedales	8	16
Suelo baldío	13	26
Suelo urbano	18	36
Vegetación	8	18

D. Métodos

Con el uso de la plataforma GEE, se desarrolló un mosaico sin nubes de las imágenes del satélite Sentinel-2 para las fechas 28 de enero de 2020 a 5 de agosto de 2020. El mismo fue utilizado como una sola imagen para la clasificación usando la media de valores de píxeles de imágenes multi-temporales. Además, en la consola de GEE se implementaron numerosos algoritmos para desarrollar combinaciones y creaciones de bandas para identificar las áreas de entrenamiento, la clasificación supervisada, las evaluaciones de precisión y un mapa. Igualmente, se aplicó un filtro modal en la imagen clasificada para simplificar los resultados y generalizar los polígonos que forman la clasificación (Chuvieco, 2015). Finalmente, se analizaron los cambios en la cobertura y uso de suelos al desarrollar una comparación entre el resultado de este estudio y el mapa de cobertura de suelos del proyecto Puerto Rico Gap Analysis (Gould, 2008). (Ver Figura 3)

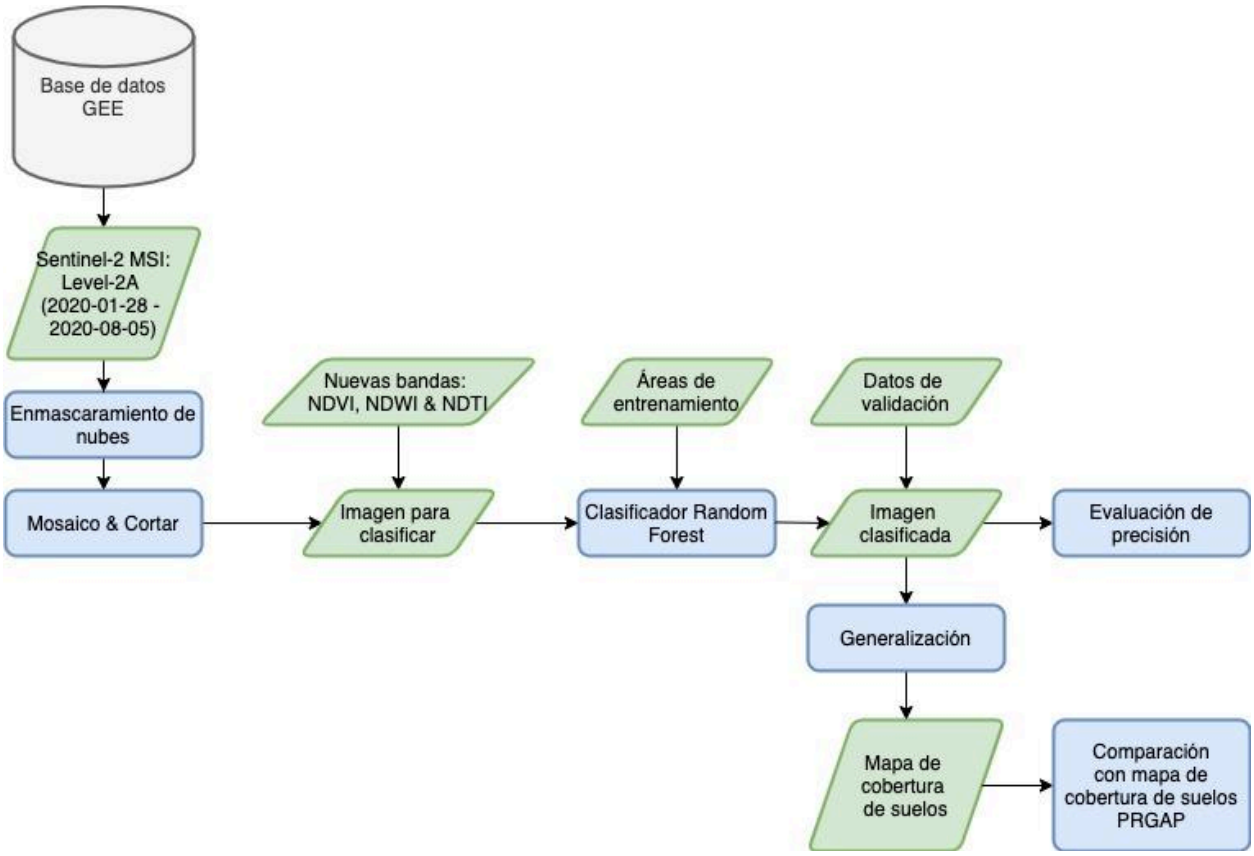


Figura 3: Flujograma de trabajo.

E. Clasificador Random Forest

Entre los métodos de clasificación supervisada desarrollados en la percepción remota, uno de los algoritmos más utilizados es el clasificador Random Forest. El mismo es conocido por el buen manejo de los valores atípicos y los conjuntos de datos más ruidosos, buen rendimiento de datos de alta dimensión y de múltiples fuentes, mayor precisión que otros clasificadores populares como SVM, kNN o MLC en muchas aplicaciones, y el aumento de la velocidad de procesamiento considerando variables importantes (Phan et al., 2020). Una vez se entrena el clasificador en el reconocimiento de las distintas clases a través del uso de las áreas de entrenamiento, el bosque aleatorio (RandomForest) crea múltiples árboles de decisión y los

fusiona para obtener una predicción más precisa y estable (Donges, 2019). De esta manera, se puede llevar a cabo una representación más fiable que considere el conjunto de las partes del terreno de la delimitación del EBSJ.

F. Evaluación de precisión

Para evaluar la clasificación, se realizaron validaciones visuales y estadísticas. Por un lado, las validaciones visuales se desarrollaron con el uso de imágenes de alta resolución (Google Maps) y mapas de cobertura y uso de suelo como el PRGAP (Gould, 2008). Por otro lado, las validaciones estadísticas fueron desarrolladas con el uso de los datos de validación escogidos para cada clase. Con el análisis e interpretación de la matriz de confusión[3] (Tabla 3), se desarrollaron la precisión general, el coeficiente de Kappa, la precisión del productor y la precisión del consumidor. La precisión general, 91%, muestra la proporción de áreas de entrenamiento que fueron correctamente clasificadas y el éxito del algoritmo de clasificación. El coeficiente de Kappa, 0.88, muestra la precisión general ajustada por coincidencia de azar, por lo que indica el grado de acuerdo entre las muestras de campo y los datos clasificados. La precisión del productor se calcula dividiendo las muestras de clase clasificadas correctamente por el total de sitios de referencia, lo que indica qué tan bien se identificaron las muestras (áreas de validación) para cada clase. (Ver Tabla 3) La precisión del consumidor se calcula dividiendo las muestras clasificadas correctamente por el número total de sitios clasificados, lo que indica la probabilidad de que una muestra realmente representa esa clase en el terreno (Amani et al., 2019). (Ver Tabla 4)

[3] La matriz de confusión representa la relación entre las áreas de validación o de referencia y la clasificación ya realizada según las clases de cobertura y uso de suelo. Los datos en diagonal demuestran la cantidad de píxeles de la imagen clasificada que concuerdan con los píxeles de las áreas de validación.

Tabla 3: Matriz de confusión

	Suelo baldío	Suelo urbano	Vegetación	Cuerpo de agua	Humedales
Suelo baldío	458	79	27	0	1
Suelo urbano	64	1793	7	0	20
Vegetación	2	1	845	0	111
Cuerpo de agua	0	60	1	810	1
Humedales	0	5	66	0	556

Tabla 4: Precisión del productor y precisión del usuario por cada clase

Clase	Precisión del productor	Precisión del consumidor
Cuerpo de agua	0.93	1
Humedales	0.89	0.81
Suelo baldío	0.81	0.87
Suelo urbano	0.95	0.92
Vegetación	0.88	0.89

RESULTADOS

Finalmente, se generó el Mapa de Cobertura y Uso de Suelos de la delimitación del PEBSJ 2020, en formato estático (Ver Figura 4) y en formato web[4], un producto cartográfico clave para la planificación del área de estudio. Además, se digitalizaron áreas claves como el Aljibe Las Curias (Cupey) y el vertedero cerrado CDT DR. José López (Puerto Nuevo) con el uso de imágenes recientes de alta resolución. Una vez se culminó el mapa cartográfico, se calculó el área en metros cuadrados y en cuerdas por cada clase (Ver Tabla 5 y Figura 5).

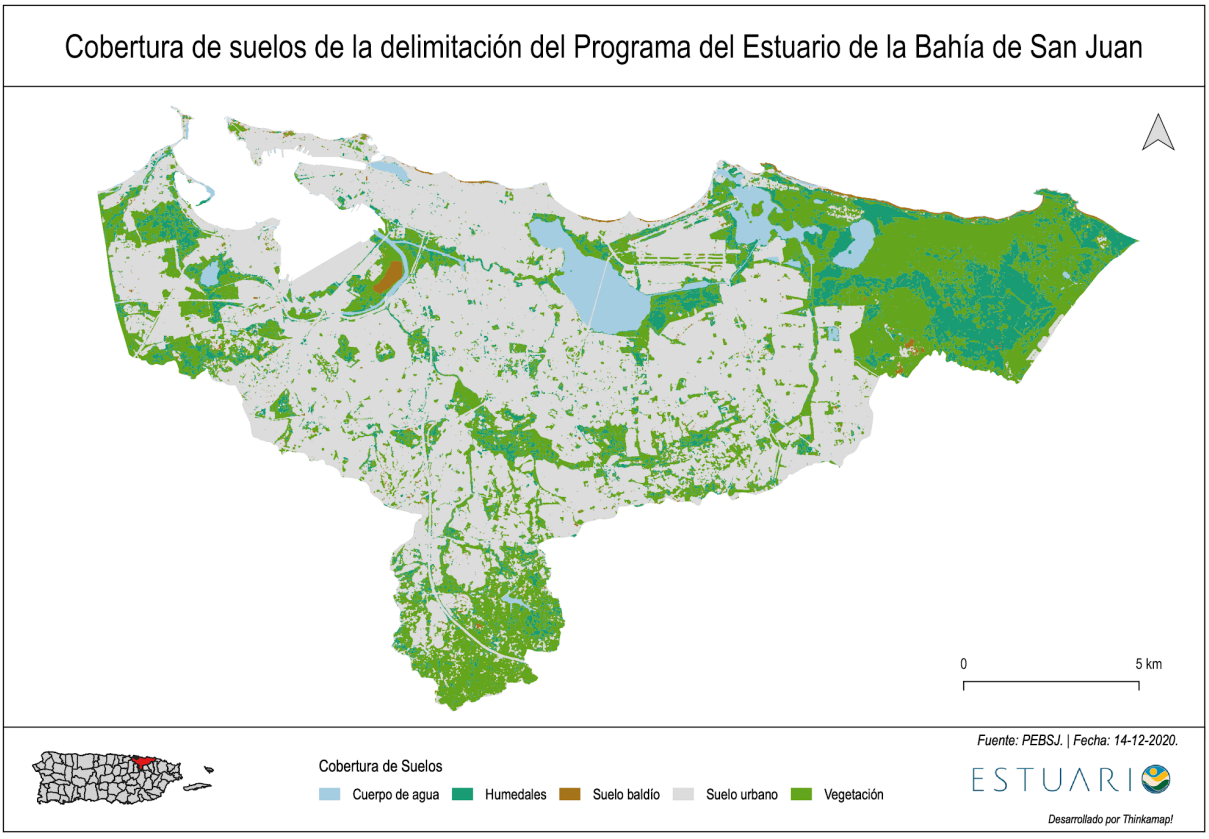


Figura 4: Mapa de Cobertura y Uso de Suelos de la delimitación del PEBSJ 2020.

[4] Para ver el Mapa web de cobertura y uso de suelos visitar el siguiente enlace: https://estuario.org/mapa-cobertura-de-suelos/

Tabla 5: Área por clase de cobertura y uso de suelos

Clase	Área (m^2)	Área (cuerdas)
Cuerpo de agua	11,534,391.48	2,934.96
Humedales	31,722,176.48	8,071.80
Suelo baldío	3,254,926.48	828.23
Suelo urbano	142,333,693.24	36,217.22
Vegetación	70,288,689.00	17,885.16

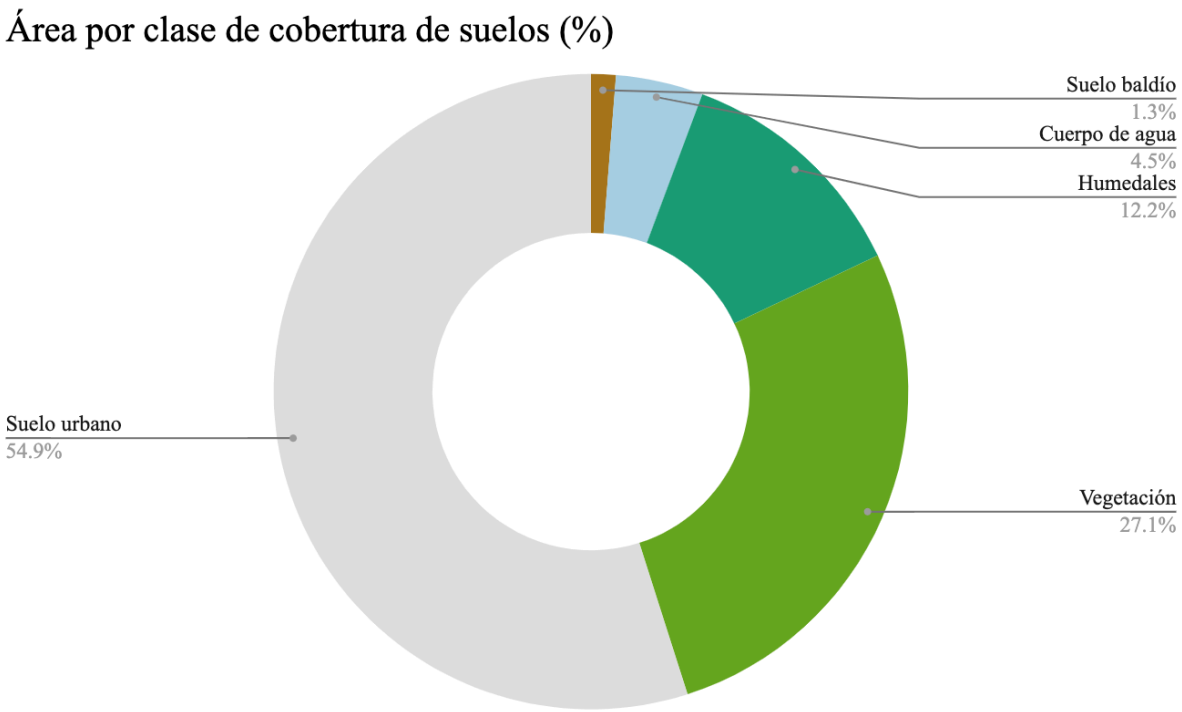


Figura 5: Gráfica de área por clase de cobertura y uso de suelos (%).

Además, se comparó el mapa final con el mapa de cobertura de suelos elaborado por el proyecto Puerto Rico Gap Analysis (PRGAP)[5]. Los porcentajes de área por cada clase se mantuvieron similares entre la mayoría de las coberturas y usos del suelo como cuerpo de agua, suelo baldío y suelo urbano. Sin embargo, los cambios más abruptos aparecieron en las clases de vegetación y humedales: el primero aumentó, mientras que el segundo disminuyó. (Ver Tabla 6)

También, encontramos áreas clasificadas como humedales, suelo urbano o vegetación en el mapa del PRGAP que en nuestro producto cartográfico se clasificaron como suelo baldío en Bayamón, este de Carolina, norte Guaynabo, este de Loíza y San Juan. Además, encontramos áreas de suelo urbano que antes se clasificaba como suelo baldío: construcción de estructuras en varias áreas de Bayamón, Carolina, Guaynabo y San Juan.

Asimismo, se pudo observar que el mapa final ofrece presencia de vegetación en el Bosque Estatal de Piñones, Loíza, y en la vegetación circundante del Caño Martín Peña, San Juan, mientras que el mapa del PRGAP generaliza esas áreas y la clasifica completamente como humedal.

Igualmente, en cuanto a la clase de cuerpos de agua, reconocimos que muchos de los cuerpos se han achicado, como el cuerpo de agua que se encuentra en la Lago del Caño de San Fernando en Cataño, El Caño Martín Peña, el Lago Aljibe Las Curias en San Juan, y La Laguna Torrecilla en Carolina.

Por otro lado, al comparar el producto cartográfico con el mapa de la delimitación del EBSJ, hemos identificado la presencia de agua en la zona costera y disminución de territorio de la delimitación del EBSJ. Especialmente en el área de Toa Baja / Cataño, área suroeste del Viejo San Juan (Muralla y puertos), área de Ocean Park y Punta las Marías (Santurce, SJ), y gran parte de la costa de Carolina y Loíza.

[5] Para ver el Mapa web de cobertura y uso de suelos elaborado por el PRGAP, visite el siguiente enlace.

Tabla 6: Porcentaje de áreas por clase entre el mapa de cobertura de suelos del PRGAP y del PEBSJ.

Clase	PRGAP 2008 (%)	PEBSJ 2020 (%)
Cuerpo de agua	4.52	4.45
Humedales	18.77	12.24
Suelo baldío	1.37	1.26
Suelo urbano	55.03	54.93
Vegetación	20.32	27.12

DISCUSIÓN

Junto a la cartografía existente, hemos identificado varios cambios de cobertura y uso de suelos en la delimitación del ESBJ relacionados al incremento de presencia de agua y disminución de territorio en las costas, el decrecimiento en tamaño de los cuerpos de agua, áreas de suelo baldío que se han convertido en suelo urbano y viceversa, y aparición de vegetación en las áreas clasificadas anteriormente como humedales.

Por un lado, se comparó visualmente y numéricamente el mapa final con el Mapa de Cobertura y Uso de Suelos elaborado por el proyecto Puerto Rico Gap Analysis (PRGAP), tomando en consideración que hay una diferencia de resolución espacial entre ambos mapas: Landsat de 30m de resolución espacial (PRGAP) y Sentinel-2 de 10m de resolución espacial. Por ende, el Mapa de Cobertura y Uso de Suelos de la delimitación del PEBSJ 2020 nos sirve para

diferenciar entre coberturas con firmas espectrales similares ya que con mayor resolución espacial podemos observar más detalles.

Aunque los porcentajes de área por cada clase se mantuvieron similares entre la mayoría de las coberturas y usos del suelo, se pudo observar que el mapa final ofrece presencia de vegetación en áreas que anteriormente se clasificaban como humedal. Consideramos que dichos cambios de cobertura denota el deterioro de los humedales: un terreno con menos cantidad de agua que afecta negativamente a la salud del ecosistema.

Igualmente, registramos áreas clasificadas anteriormente como humedales, suelo urbano o vegetación, clasificadas como áreas de suelo baldío, y áreas clasificadas anteriormente como suelo baldío, clasificadas como suelo urbano. Dichos hallazgos demuestran la huella de la expansión del desarrollo urbano en la delimitación del EBSJ, ya sea al convertir áreas naturales en suelo baldío destinado para la construcción o llevando a cabo la construcción en el suelo baldío. A esto se le suma el achicamiento de los cuerpos de agua dentro de la cuenca, que demuestra la disminución de presencia hídrica en el territorio y sus ecosistemas.

Además, otro efecto que ha impactado el territorio ha sido la disminución del territorio por la erosión a causa del ascenso del nivel del mar, según la comparación que realizamos con la delimitación del EBSJ. Recomendamos que se actualice el mapa de delimitación del EBSJ para que se considere la erosión acelerada que ha sufrido la costa en los últimos años.

CONCLUSIÓN

Como toda metodología cartográfica, la clasificación de imágenes satelitales debe analizarse como un estimado o un modelo científico para representar la superficie terrestre. Sin embargo, hay que resaltar que los resultados de la evaluación de precisión como la matriz de

confusión, el coeficiente de Kappa, así como las validaciones visuales con imágenes de alta resolución espacial y las validaciones de campo, sostienen y refuerzan el producto cartográfico.

Los resultados que se han obtenido demuestran los cambios de cobertura y uso de suelo que han ocurrido en la última década. Los mismos aluden al decrecimiento de la presencia de agua (achicamiento de cuerpos de agua, y nuevas áreas de vegetación en zonas comúnmente conocidas como humedales), al desarrollo urbano (aumento de suelo baldío y suelo urbano), y a la pérdida de terreno en las áreas costeras debido al ascenso del nivel del mar y la erosión. Es por esto que el Mapa de Cobertura y Uso de Suelos de la delimitación del PEBSJ 2020, al igual que su análisis, abunda en la caja de herramientas del Programa para la toma de decisiones respecto a la administración y planificación de terreno del EBSJ. Los mismos podrán utilizar la información para mejorar la calidad de sus ecosistemas y contribuir a un medio ambiente saludable.

REFERENCIAS

Amani, M., Brisco, B., Afshar, M., Mirmazloumi, S. M., Mahdavi, S., Mirzadeh, S. M., . . . Granger, J. (2019). A generalized supervised classification scheme to produce provincial wetland inventory maps: An application of Google Earth Engine for big geo data processing. Big Earth Data, 3(4), 378-394. doi:10.1080/20964471.2019.1690404

Chuvieco, E. (2015). *Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel.

Donges, N. (2019). A complete guide to the random forest algorithm. Retirado de https://builtin.com/data-science/random-forest-algorithm.

Estuario – Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (n.d.). Retirado de https://estuario.org/.

Ettehadi Osgouei, P., Kaya, S., Sertel, E., & Alganci, U. (2019, February 10). Separating Built-Up Areas from Bare Land in Mediterranean Cities Using Sentinel-2A Imagery. Retirado de https://www.mdpi.com/2072-4292/11/3/345/htm.

Google. (n.d.). NDVI, Mapping a Function over a Collection, Quality Mosaicking. Retirado de https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial_api_06.

---. (n.d.). Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A. Retirado de https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR?authuser=1#bands.

---. (n.d.). Supervised Classification | Google Earth Engine | Google Developers. Retirado de https://developers.google.com/earth-engine/guides/classification#accuracy-assessment.

Gould, W. A. (2008). *The Puerto Rico Gap Analysis Project*. Río Piedras, P.R.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. Retirado de https://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/iitf_gtr39.pdf.

Junta de Planificación de Puerto Rico (JPPR). (2015). *Mapa de Clasificación del Territorio del Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico*. Retirado de http://portals.jp.pr.gov/SiteDirectory/Calificacion/Calificacion%20Vigente/Plan%20de%20Uso%20de%20Terrenos/Mapa%20PUT%20(19-NOV-2015)%20Firmado.pdf.

Phan, T. N., Kuch, V., & Lehnert, L. W. (2020, July 27). Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier-The Role of Image Composition. Retirado de https://www.mdpi.com/2072-4292/12/15/2411.

Sentinel-hub Playground. (n.d.). Retirado de https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground/.