

Uso de plataformas tecnológicas basadas en la nube como herramienta para clasificación de cambios en coberturas de suelo

María Sabina Gutiérrez Romero, María Silvia del Rocío Covarrubias Ruesga, Daniel González Romero, Peter Chung Alonso, Ignacio Barajas Ávalos

¹ Adscripción. Tecnológico Nacional de México/ Campus Instituto Tecnológico de Colima.

Resumen

El creciente aumento de la población que vive en áreas urbanas ha llevado a un crecimiento no planificado y disperso de la mancha urbana. Como consecuencia, se producen cambios en la cobertura del suelo, degradación e intensificación de su uso, provocando alteraciones en los ecosistemas terrestres. Este artículo proporciona una descripción general de la implementación de plataformas tecnológicas basadas en la nube. Google Earth Engine es una herramienta gratuita y de fácil acceso para la identificación y clasificación de cambios en la cobertura natural y el uso del suelo. Las imágenes satelitales proporcionadas por la plataforma en conjuntos de datos permiten a los tomadores de decisiones espaciales realizar interpretaciones visuales para monitorear y abordar los cambios en la cobertura del suelo casi en tiempo real.

Abstract

The growing increase in the population living in urban areas has led to an unplanned and dispersed growth of the urban sprawl. As a consequence, there are changes in land cover fraction, degradation and intensification of its use, causing alterations in terrestrial ecosystems. This article provides an overview of the implementation of cloud-based technology platforms. Google Earth Engine is a free and easily accessible tool for the identification and classification of changes in natural cover and land use. The satellite images provided by the platform in data sets allow spatial decision makers to perform visual interpretations to monitor and address land cover changes in almost real time.

Palabras clave: Google Earth Engine, Cobertura del suelo, Conjunto de datos.

Keywords: Google Earth Engine, Land Cover fraction, DataSets.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de suelo ocurre cuando éste se manipula físicamente (Richters, E. J., 1995). Según Lambin, E. F. (1997) la mayor parte de los cambios ocurridos en los ecosistemas terrestres se deben a la conversión, degradación e intensificación en el uso del terreno.

Actualmente el 57% de la población vive en áreas urbanas (World Bank ,2018). A nivel nacional, este porcentaje es de 79% urbana y 21 % rural y en el estado de Colima la distribución de su población es de 90 % y 10 % respectivamente (INEGI,2020). Este fenómeno demográfico ha conducido al crecimiento no planificado de las áreas urbanas, típicamente dispersas e ineficientes, ha provocado que los ecosistemas se modifiquen y la vegetación arbórea disminuya. (Tadeo-Noble, A. E., et al., 2019).

Los análisis para el monitoreo de los cambios de cubierta del suelo pueden demorar mucho, de modo que los resultados no son útiles para el apoyo a la toma de decisiones espaciales actuales. (Gorelick et al.,2017; Shimabukuro et al., 2011). Es necesario que los gobiernos incluyan nuevas herramientas tecnológicas para la gestión de los cambios de cobertura del suelo, de manera que les permita monitorear de manera rápida, precisa, transparente y sin demandar costos altos en el proceso.

Actualmente existe una enorme cantidad de información satelital obtenida a escala global, recopilada por diferentes sensores que pertenecen a diferentes proyectos o agencias. Recolectados durante varios años, o incluso décadas, conforman un vasto repositorio y se encuentran disponibles de manera gratuita.

Los cambios de cobertura de suelo, pueden evaluarse mediante una comparación histórica detectada por el uso de fotografías Satelitales de una aplicación como Google Earth Engine (GEE).

GEE es una plataforma de geomática basada en la nube que permite a los usuarios visualizar y analizar imágenes de satélite de nuestro planeta. (GEE, <https://earthengine.google.com>) Nació a finales del 2010 como una forma para eliminar las limitantes computacionales y permitir a los usuarios realizar análisis complejos, involucrando grandes cantidades de datos y expandiendo la frontera de la ciencia en percepción remota. (Perilla, G. A., & Mas, J. F., 2020).

A nivel mundial se han realizado estudios acerca de la clasificación de la cobertura del suelo usando GEE, con el propósito de construir bancos de datos de distintas regiones y consolidar un método para su monitoreo.

En Brasil, se realizó un estudio en el cual se diseñó una plataforma de supervisión y soporte para las decisiones espaciales de planificación territorial del círculo de agua Paulista, mediante el uso de GEE (Ribeiro, J. C. D., et al., 2021). Se utilizaron las imágenes provenientes del Satélite LANDSAT 5 Y LAND SAT 8, en los periodos de 1990-1999 y 1999-2013. Su resultado fue la construcción de una herramienta gratuita, con material cartográfico actualizado y fácil de usar, que brinda apoyo en la toma de decisiones espaciales a los técnicos de la gestión pública, de forma gratuita.

En Ecuador, se realizó un estudio que detecta cambios en la cobertura vegetal mediante la interpretación de imágenes LANDSAT por medio de redes neuronales (RNA'S) (Jaramillo, L. V., & Antunes, A. F., 2018). Se utilizó el satélite SENTINELL II, con una resolución espacial de 10 m, que brinda imágenes con una periodicidad de 5 días. Mediante GEE, desarrolló una metodología para la detección oportuna de alteraciones en la cobertura boscosa de una región localizada en la amazonia ecuatoriana. Concluyó que las RNA's (en este caso GEE), muestran ser una opción válida para la clasificación de imágenes satelitales para detectar cambios en la cobertura del territorio; Demostró que el uso de la técnica de RNA's, presenta resultados de buena calidad, con una mejor fiabilidad que los métodos tradicionales.

En México, se evaluaron los cambios en las coberturas naturales y usos del suelo de la cuenca baja del Río Nazas en el periodo 1990-2016 (Loredo, et al., 2020). A partir de la interpretación visual de imágenes satelitales de Landsat TM y ETM se generaron las bases de datos de cobertura vegetal y uso del suelo. En resultado arrojó que en el año 2016 las coberturas naturales estaban representadas por el matorral xerófilo y bosque de galería. En veintiséis años se deforestó el 32,1% de las coberturas naturales.

El objetivo principal de esta investigación es brindar una visión del uso de plataformas tecnológicas basadas en la nube, en específico de la plataforma GEE, como una herramienta para la identificación y clasificación de los cambios en las coberturas naturales y usos del suelo, de fácil acceso, sin costo y con información actual. A partir de la interpretación visual de imágenes satelitales proporcionadas por la plataforma GEE.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Colima es una de las 32 entidades federativas de México. Está ubicado en la región oeste del país, colindando al norte con Jalisco, al sur con Michoacán y al oeste con el océano Pacífico.

La zona metropolitana de Colima-Villa de Álvarez es el área resultante de la conurbación de los municipios de Colima, Comala, Coquimatlán, Cuauhtémoc y Villa de Álvarez, en el estado mexicano de Colima. Se encuentra en la zona central del estado. (INEGI, 2020) (Fig. 1)

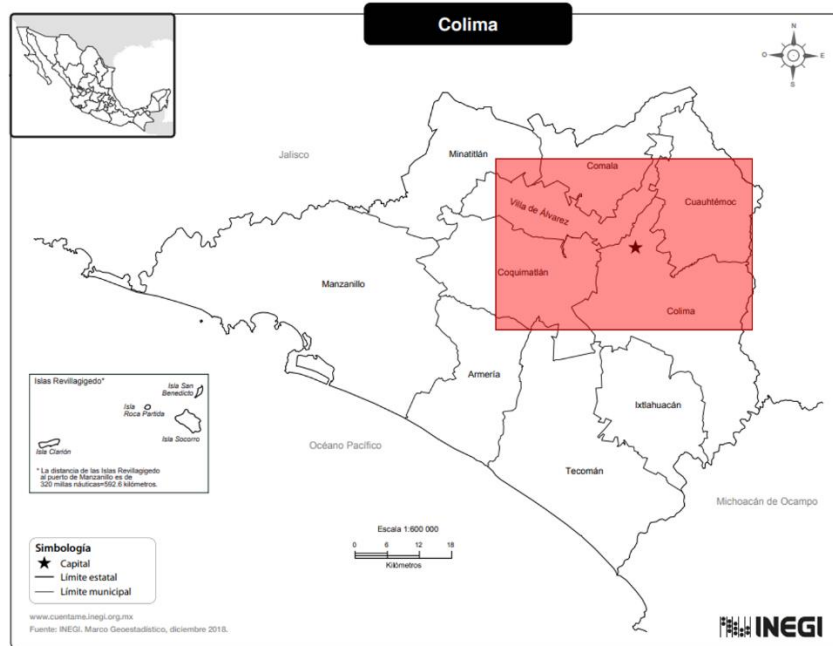


Figura 1. Mapa de ubicación de Área de Estudio. Imagen obtenida del INEGI.

3. METODOLOGÍA

3.1. Editor de Código de Google Earth Engine

Como anteriormente se definió, GEE es una plataforma en la que el procesamiento se realiza en la nube, por lo que no es necesario tener una computadora de gran capacidad y rendimiento. Para poder utilizar esta plataforma solo es necesario contar con una computadora con conexión a internet.

GEE proporciona dos tipos de API (Interfaz de Programación de Aplicaciones): API de JavaScript y API de Python, para realizar el análisis de grandes conjuntos de datos a los que llaman DataSets (Snijders, C., Matzat, U., & Reips, U. D., 2012). La plataforma cuenta con gran cantidad de datos analizados y sus códigos están disponibles para que puedan ser utilizados por todo usuario registrado, de manera gratuita. No es necesario ser un experto en lenguaje de programación para poder visualizar datos, sin embargo, es necesario para poder manipularlos.

Primeramente, se accedió a la página <https://earthengine.google.com/> y se creó una cuenta con un usuario y contraseña. El registro es completamente gratuito para propósitos educativos, de investigación y uso sin fines de lucro.

Posteriormente, se eligió entre el catálogo de Conjunto de Datos proporcionados por la plataforma GEE, aquellos aplicables al estudio de la cobertura del suelo. Entre los datos disponibles más relevantes se encuentran las imágenes del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Farr, T. G., et al., 2007); utilizado para estimar la cantidad y calidad de la flora global, en base a la medición de bandas del espectro magnético emitido por la vegetación. Estas imágenes son registradas por el satélite LandSat con una resolución de 30 m. Otro dato estudiado, fue el JRC Explorador Global de Aguas Superficiales (Pekel, J. F., et al., 2016), que contiene mapas de la ubicación y distribución temporal de las aguas superficiales de los años 1984 a 2021. La información proporcionada por estos conjuntos de datos es de alto valor, sin embargo, estos datos no brindan una mezcla de capas más que las aplicables a flora y agua. Las imágenes seleccionadas fueron las obtenidas del Servicio Global de Tierras de Copernicus (Buchhorn, M., et al., 2020) (CGLS) (Tabla 1).

Tabla 1. Características de los conjuntos de datos seleccionados

CONJUNTO DE DATOS	RESOLUCIÓN	PERÍODO	ALCANCE	PROVEEDOR	DESCRIPCIÓN
Servicio Global de Tierras de Copernicus (CGLS)	100 m	2015-2019	Global	Copernicus	Proporciona una serie de productos biogeofísicos sobre el estado y la evolución de la superficie terrestre a escala global.

Es importante tomar en cuenta la resolución que tienen las imágenes satelitales, ya que, dependiendo de esta, se obtendrán píxeles acordes al área a estudiar. Para fines de esta investigación no se analizaron datos con resolución mayor a 100 m, debido a que la zona de estudio es a escala municipal (zona conurbada Colima-Villa de Álvarez-Comala- Cuauhtémoc-Coquimatlán, Colima, México).

A continuación, se importaron los conjuntos de datos al editor de código web. El editor de código web, es un IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) (Pérez, M. D. L., 2000) disponible online para desarrollar aplicaciones de GEE y la visualización de análisis espaciales complejos utilizando la API JavaScript.

Dentro del interior del editor de código se importan los conjuntos de datos desde el buscador. Posteriormente, se ubica el área de estudio mediante la utilización de coordenadas geográficas (Ver Tabla 2.).

Tabla 2. Geolocalización de Villa de Álvarez, Colima, México.

ARGUMENTO	TIPO	GRADOS	DETALLES
Longitud	Número	-103.73333	Longitud del centro en grados
Latitud	Número	19.25	Latitud del centro en grados
Zoom	Número (Opcional)	14	El nivel de zoom es de 0 a 24

Una vez ubicada el área de estudio y llamados los conjuntos de datos, fue posible visualizar las imágenes satelitales generadas y analizar cuales brindan más información para la investigación.

3.2 Explorador de Google Earth Engine (EE Explorer)

Para poder descargar las imágenes visualizadas, se procedió a utilizar el explorador de GEE accediendo a la página <https://explorer.earthengine.google.com/> (Fig. 2) Una de las ventajas de la plataforma de GEE es que podemos obtener imágenes sin necesidad de ser un experto en programación mediante el Explorador GEE; en palabras de Google “es un sencillo visor de datos de imágenes geoespaciales que tiene acceso a un gran número de conjuntos de datos regionales y globales, disponibles en el catálogo de datos de Earth Engine.” (GEE, <https://earthengine.google.com>).

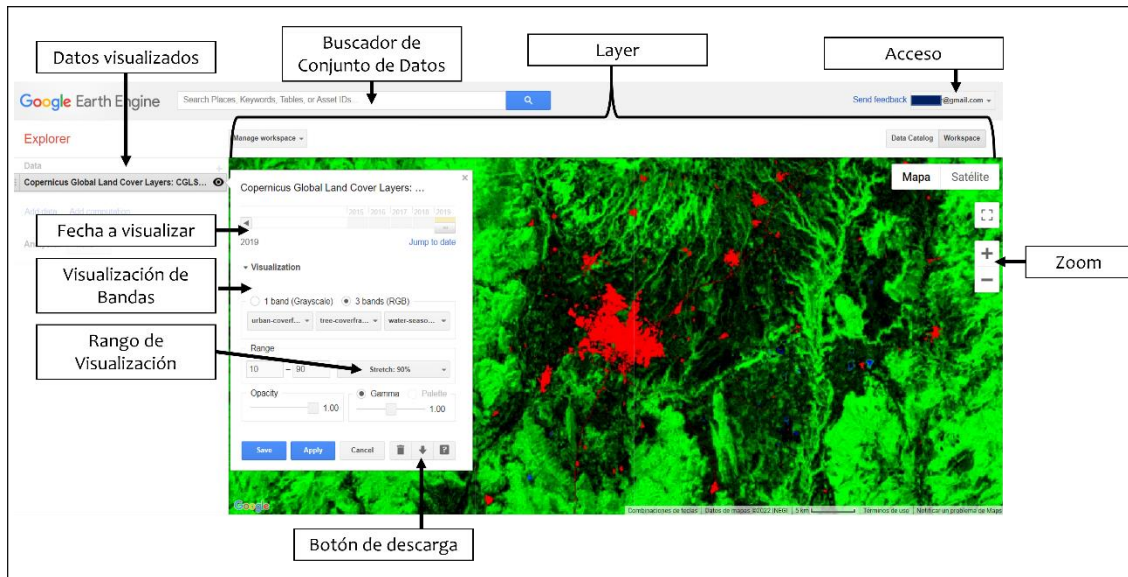


Figura 2. Visualización de los elementos del Explorador GEE. Elaboración propia con información obtenida de Google

Dentro del visor de datos se procedió a importar los conjuntos de datos (CGLS) mediante el “buscador”. A continuación, en el visualizador, se seleccionaron las fechas correspondientes al año 2019, ya que es la información más reciente obtenida de CGLS. Se desplegó la barra de “visualización” y se seleccionaron las bandas tree-coverfraction, urban-coverfraction y water-permanent-coverfraction (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Descripción de Bandas de los Datos proporcionados por CGLS

No	Nombre	Unidades	Descripción
1	tree-coverfraction	%	Porcentaje de cobertura vegetal para la clase de cobertura forestal
2	urban-coverfraction	%	Porcentaje de cobertura del suelo para la clase de cobertura del suelo edificada
3	water-permanent-coverfraction	%	Porcentaje de cobertura del suelo para la clase de cobertura terrestre de agua permanente

CGLS cuenta con 13 bandas más que permiten clasificar la cobertura del suelo mundial, entre estas pudiéramos resaltar “Forest-type” que muestra coberturas de tipos de bosque, “crops-coverfraction” con porcentajes de cobertura vegetal para tierras de cultivo, “Snow-coverfraction” con porcentajes de cobertura del suelo para la clase de cobertura del suelo con nieve y hielo, entre otros.

Para obtener una mejor definición de la imagen se modificó el rango de visualización “Stretch-90%” (Estirar al 90%). Se aplicaron y guardaron los cambios. Mediante el cursor y el botón de “Zoom” se localizó la zona de estudio para poder descargar el Ráster que nos permitirá manipular mediante el programa Q-GIS. Un ráster es una matriz de píxeles estructurado en cuadrícula y cada uno tiene un valor que representa información. (Ramírez Riveros, J. D. 2021).

En la ventana de “Descarga de Raster” se descargó la información en formato GeoTiff en Zip, empleando la proyección geográfica WGS 84 (sistema geodésico de coordenadas geográficas usado mundialmente) (Casas, R. R., Godagnone, R. E., & De La Fuente, J. C., 2022) en la resolución correspondiente al CGSL que es 100 m. Cabe mencionar que, para descargar imágenes es importante conocer las características de la resolución de los datos para obtener información de calidad.

Obteniendo la imagen en formato GeoTiff fue posible importar la capa en Q-Gis. En el programa Q-Gis añadimos el complemento de Google Earth Satélite como apoyo para referenciar nuestra imagen, aunque al ser un formato GeoTiff, se georreferencia de manera automática. Este complemento nos permite visualizar la división territorial municipal. Posteriormente, en la ventana “Propiedades” seleccionamos la opción de “Simbología” y ajustamos los colores de las bandas para tener una imagen más clara. La modificación de las propiedades dependerá de las características de visualización que busquemos obtener. Después, exportamos la imagen desde la pestaña de “Proyecto” y obtenemos nuestro mapa de la zona conurbada Colima-Villa de Álvarez-Comala- Cuauhtémoc-Coquimatlán, clasificada por colores de bandas (Fig. 3). Los complementos como Nombres de los municipios, Norte y Simbología se agregaron en el programa Adobe Photoshop.

Actualmente GEE se encuentra disponible para distintos programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitando la obtención y manejo de datos. Dentro del programa Q-Gis, es posible importar el complemento de GEE y realizar las funciones del editor de código mediante el API Python. Para fines de conocer la plataforma y usos del GEE en sus distintas plataformas, solo se descargó el complemento.

Mediante Q-gis, se obtuvieron datos numéricos de áreas Elipsoidales de la capa “Urban-coverfraction” para poder cuantificar las hectáreas de cobertura de suelo urbana.

4. RESULTADOS

El resultado principal del uso de la plataforma GEE desarrollado en esta investigación, fue la implementación de una herramienta con material cartográfico actualizado, que facilita el análisis de datos para los técnicos de la gestión pública, y aplicable de manera gratuita, por su utilización en plataformas abiertas al público. Fue posible obtener información analizada por expertos de distintas áreas a nivel mundial.

Su uso invita al trabajo en conjunto de investigadores, gestores públicos y desarrolladores tecnológicos, en busca de mejorar las técnicas de gestión del suelo. Especialmente, por la posibilidad de reproducir estas

soluciones, gracias a que los datos se analizan dentro de la nube de Google, reduciendo el gasto en equipos de cómputo especializados y capital humano.

Durante el proyecto, se encontraron algunos desafíos, estos referidos al desarrollo de guiones para la clasificación de imágenes mediante el lenguaje de código JavaScript y Python. Desde la dificultad de encontrar información que permitiera una resolución de imágenes claras para la escala del área de estudio, hasta problemas de compatibilidad de tipos de archivos durante la implementación del programa Q-gis. Otro de los retos fue que la mayoría de la información se encuentra analizada en áreas específicas, principalmente en países más desarrollados como Estados Unidos de América y Europa. Sin embargo, con más conocimiento de la plataforma y la ayuda de personal especializado en programación, estos datos pueden ser replicados en otras áreas.

Aun con las dificultades presentadas, fue posible generar un mapa de clasificación de cobertura de suelo de la Zona conurbada de Colima-Villa de Álvarez-Comala- Cuauhtémoc-Coquimatlán, Colima, México (Fig. 3).

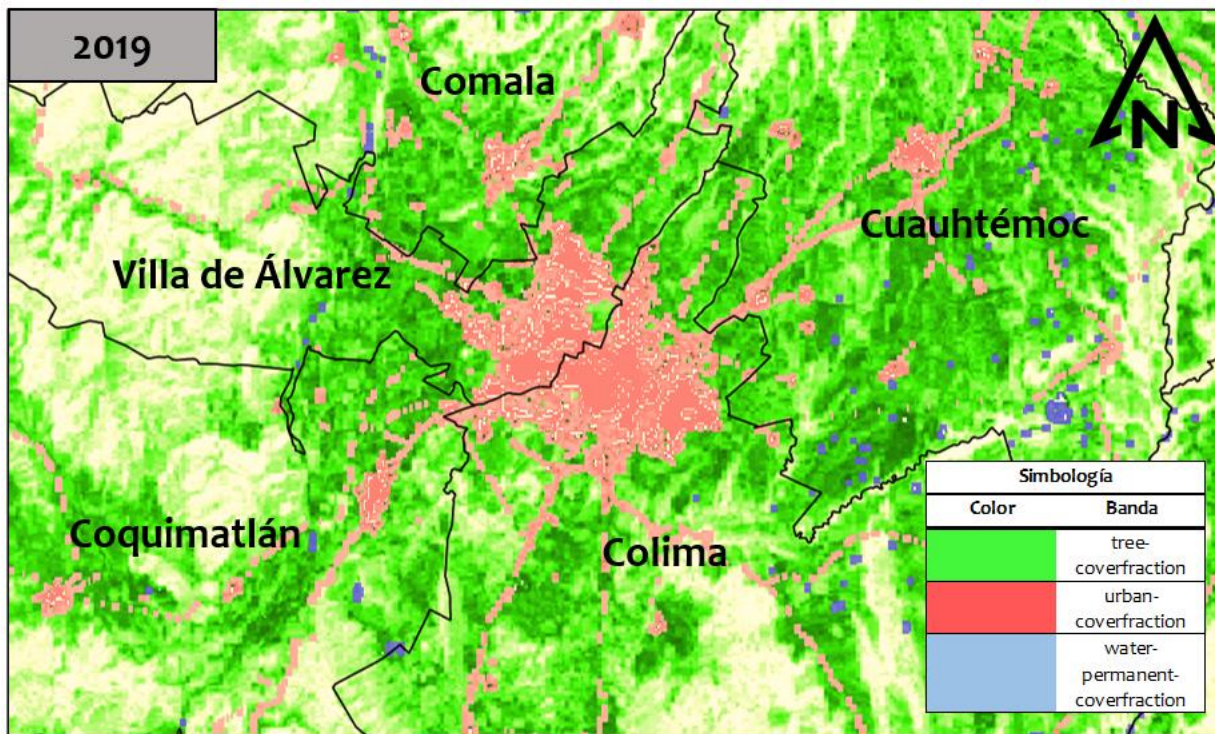


Figura 3. Mapa clasificado por Bandas, de la Zona Conurbada Colima-Villa de Álvarez-Comala- Cuauhtémoc-Coquimatlán. Elaboración propia con información Obtenida del Programa Q-Gis, GEE y Adobe Photoshop.

La eficiente capacidad de la plataforma es visible, utilizado para separar la vegetación (Tree-coverfraction), suelo edificable (Urban-coverfraction) y cuerpos de agua (Water-permanent-coverfraction).

La información disponible del mapa pudo ser visualizada en otros datos como en un histograma ráster (Fig. 4), que permite visualizar los datos gráficamente. En el cual podemos observar la banda 1 (rojo) correspondiente a la cobertura de suelo edificable que engloba elementos como carreteras y construcciones; banda 2 (verde), que muestra cobertura de suelo con presencia de cuerpos de agua; y la banda 3 (azul), correspondiente a la

cobertura vegetal; banda 2 (azul) correspondiente a la cobertura vegetal. La clasificación de colores del histograma se obtiene por default y su interpretación es independiente a los colores presentados en el mapa.

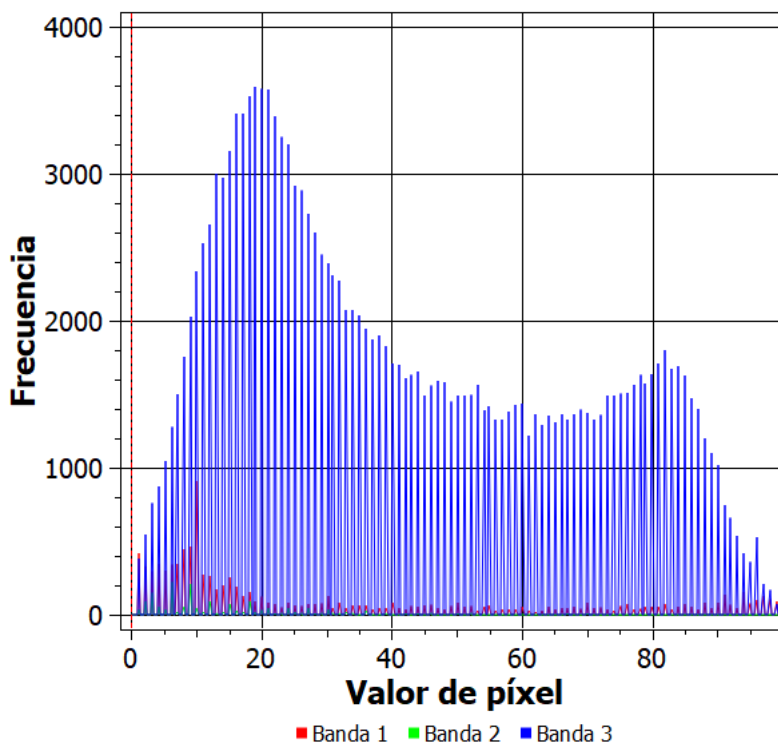


Figura 4. Histograma Ráster.

Elaboración propia con información obtenida del programa Q-Gis

Se obtuvieron datos duros del área de cobertura de suelo edificable (Tabla 4). Debido a la gran cantidad de píxeles generados de esta capa (7197 labels), no fue posible generar un solo polígono en Q-gis por lo que se obtuvieron datos aislados y no fue posible obtener el área total. Este dato puede ser obtenido en futuras investigaciones.

El reto de convertirnos en investigadores multidisciplinarios y aprender el uso de una herramienta, que es relativamente nueva en el mercado, impulsa a los involucrados del ámbito urbano en la toma de decisiones espaciales, a buscar nuevos métodos que faciliten los tiempos de respuesta ante los acelerados crecimientos de la mancha urbana en las ciudades.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La plataforma presentada en este trabajo, se erige como una solución económica, replicable de forma personalizada y rentable, para ayudar en los problemas relacionados con la producción y sistematización de los datos espaciales, con el objetivo de ayudar en la toma de decisiones espaciales de la administración pública.

Permite orientar actuaciones urbanísticas y regionales, así como ampliar el conocimiento sobre el territorio donde se quiere intervenir, con vistas a un desarrollo urbano y rural sostenible; proporcionando así,

instrumentación necesaria para la construcción de una gestión pública que contemple una visión sistémica para el territorio.

La posibilidad de una apropiación de la plataforma, por parte de la gestión pública, brindaría un sistema de monitoreo, que permitiría actuar de manera más rápida ante los cambios de cobertura ocurridos en el territorio. Son varias las aplicaciones que podrían ser explotadas en términos urbanos y ambientales. Por ejemplo, el seguimiento a áreas de cultivo, el análisis de los cuerpos de agua, el monitoreo de la vegetación, medición del crecimiento de la mancha urbana, hasta la identificación de nuevas construcciones que no cuentan con licencias de construcción.

A partir de este contexto, es necesaria la construcción de un equipo de diversos especialistas, entre desarrolladores y usuarios de este sistema, con administradores públicos e investigadores; con el fin de aplicar las nuevas herramientas tecnológicas y actualizar los métodos de estudios de cobertura de suelo.

Con la información obtenida, es posible en futuras investigaciones, realizar una comparación anual de las coberturas del suelo para poder definir una tendencia del crecimiento del área de estudio, que brinde información de interés para la gestión pública.

6. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada económicamente por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Al cuerpo académico que integran el área de posgrado del Tecnológico Nacional de México; campus Colima, y en especial al Dr. Santiago Arceo Díaz por su guía y dedicación.

REFERENCIAS

- [1] Richters, E. J. (1995). Manejo del uso de la tierra en América Central: hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra (No. 28). Agroamerica.
- [2] Lambin, E. F. (1997), "Modelling and monitoring land-cover change process in tropical regions", *Progress in Physical Geography*, vol. 21, no. 3, pp. 375-393.
- [3] World Bank, 2018. Recuperado de <https://www.worldbank.org/> consultado el 13 de noviembre de 2022
- [4] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, ed. (2020). <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/> Consultado el 01 de diciembre de 2022
- [5] Tadeo-Noble, A. E., Valdez-Hernández, J. I., Beltrán-Rodríguez, L., & García-Moya, E. (2019). Efecto del aprovechamiento forestal sobre la estructura y diversidad arbórea en selvas tropicales de Quintana Roo, México. *Bosque (Valdivia)*, 40(2), 129-140.
- [6] Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27.
- [7] Google Developers. (2018). Get Started with Earth Engine. Recuperado de <https://developers.google.com/earth-engine/getstarted>. Consultado el 8 de noviembre, 2022.
- [8] Perilla, G. A., & Mas, J. F. (2020). Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones geográficas*, (101). (Google engine información)
- [9] Ribeiro, J. C. D., de Melo, B. M., Fantin, M., Tavares, J. C., Pedrassoli, J. C., & Martines, M. R. (2021). Plataforma de monitoramento e suporte à decisão para o planejamento territorial do Circuito das Águas Paulista. *Engenharia Urbana em Debate*, 2(1), 110-123.
- [10] Castelo-Cabay, M. J., Buñay-Gualoto, G. I., & Pillajo-Landa, B. G. (2021). Uso de Redes Neuronales Artificiales y Computación en la Nube para clasificar la cobertura del suelo en territorio ecuatoriano. *Polo del conocimiento*, 6(5), 14-28.

- [11] Jaramillo, L. V., & Antunes, A. F. (2018). Detección de cambios en la cobertura vegetal mediante interpretación de imágenes Landsat por redes neuronales artificiales (RNA). Caso de estudio: Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista de teledetección*, (51), 33-46.
- [12] Loredo, E. G. L., Ceballos, S. I. V., Castro, M. V., González, G. J., Gaytán, G. C., Hernández, H. R., & Cantú, M. E. M. (2020). Análisis de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo en la región centro-norte de México. El caso de la cuenca baja del río Nazas. *Ecosistemas*, 29(1), 1826-1826.
- [13] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (ed.). <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/col/territorio/>. Consultado el 01 de diciembre de 2021
- [14] Snijders, C., Matzat, U., & Reips, U. D. (2012). "Big Data": big gaps of knowledge in the field of internet science. *International journal of internet science*, 7(1), 1-5.
- [15] Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., ... & Alsdorf, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45(2).
- [16] Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422.
- [17] Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N. E., Herold, M., Bertels, L., & Smets, B. (2020). Copernicus global land cover layers—collection 2. *Remote Sensing*, 12(6), 1044.
- [18] Pérez, M. D. L. (2000). *Ingeniería del software y bases de datos: tendencias actuales* (Vol. 28). Univ de Castilla La Mancha.
- [19] Ramírez Riveros, J. D. Implementación del origen único nacional y mejoras cartográficas en la Empresa EIATEC SAS.
- [20] Google Developers. (2018) recuperado de <https://www.google.es/earth/outreach/index.html>, consultado el 08 de noviembre de 2022).
- [21] Casas, R. R., Godagnone, R. E., & De La Fuente, J. C. (2022). Evaluación y cartografía de la erosión eólica en la Argentina como base para la planificación de un uso sustentable. Universidad de Morón.

Correo de autor de correspondencia: sabygtzr@gmail.com, maria.covarrubias@colima.tecnm.mx