



TELEDETECCIÓN MEDIANTE USO DE GOOGLE EARTH ENGINE PARA MONITOREO DE CONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO EN EL MUNICIPIO DE VILLA MONTES DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA COMO APORTE AMBIENTAL

Lic. Marco Antonio Enríquez Oña
TÉCNICO SUPERIOR EN TOPOGRAFÍA
LICENCIADO EN GEODESIA Y TOPOGRAFÍA

RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo principal abordar el problema de la contaminación en la cuenca del río Pilcomayo, en la región del Municipio de Villa Montes, departamento de Tarija, Bolivia, en los Distritos 1, 2, 3 y 4, por medio de la teledetección mediante el uso de Google Earth Engine para un monitoreo ambiental efectivo y que el mismo ayude al desarrollo de una buena gestión ambiental.

En esta investigación se ha demostrado que la aplicación de la teledetección y Google Earth Engine, mejora significativamente el monitoreo de la contaminación en la cuenca del río Pilcomayo, de esa forma se sientan las bases para futuras investigaciones y aplicaciones en el ámbito del monitoreo ambiental y la gestión sostenible de recursos hídricos.

INTRODUCCION

La parte de la cuenca del río Pilcomayo situada en el Municipio de Villa Montes, enfrenta un desafiante problema de contaminación que amenaza su delicado equilibrio ambiental y la calidad de vida de las comunidades locales. La necesidad de proteger este valioso ecosistema y promover una buena gestión ambiental se vuelve urgente. En respuesta a esta problemática, el presente artículo propone el uso de la teledetección mediante Google Earth Engine como una herramienta innovadora y efectiva para el monitoreo de la contaminación. Con esta propuesta, se busca proporcionar información actualizada y precisa que permita una toma de decisiones informada y respalde acciones concretas hacia la conservación de la cuenca del río Pilcomayo y la promoción de un futuro más sostenible para las generaciones venideras.

El enfoque principal del artículo se centra en la utilización de la teledetección mediante Google Earth Engine para obtener datos geoespaciales relevantes, analizar la calidad del agua y detectar signos de contaminación. Se incluyen las siguientes actividades: Recopilación y procesamiento de imágenes satelitales para evaluar la turbidez del agua, la presencia de clorofila y materia orgánica disuelta, elaboración de mapas de contaminación para determinar la distribución espacial de la contaminación en la cuenca del río Pilcomayo; análisis temporal de los datos para identificar patrones estacionales de contaminación y tendencias a lo largo de la gestión 2022, que afecta a los Distritos 1, 2, 3 y 4.

ANTECEDENTES

Las cuencas hidrográficas cumplen una importante labor medioambiental y humana, dando suministro de agua dulce, regulando el flujo y la calidad del agua, protegiendo frente a peligros naturales como inundaciones y desprendimientos y permitiendo la conservación de la biodiversidad. Para el desarrollo humano también cumple importantes funciones como dar suministro de energía (como la energía hidroeléctrica) y formar parte de las actividades recreativas. (Valdivielso, 2015)

La cuenca del río Pilcomayo está contaminada con metales pesados que sobrepasan por mucho (hasta 190 veces) los parámetros internacionales máximos para garantizar la salud de la población. Se realizaron estudios entre abril de 2007 y agosto de 2022, donde se encontró que la cuenca del río Pilcomayo está altamente contaminado por distintas causas. (Mondaca, 2023)

El Municipio de Villa Montes, actualmente es uno de los más afectados por la contaminación de la Cuenca del Río Pilcomayo, se declararon en estado de emergencia, debido al colapso del dique; informes preliminares brindados por la Gobernación de Tarija, dan cuenta de la presencia de minerales como plata, cobre, cadmio y plomo, además de nitrógeno y nitrito. (El País, 2022)

La teledetección como herramienta de monitorización de los cambios de la superficie terrestre a lo largo de una secuencia temporal y teniendo en cuenta la facilidad y accesibilidad que hay actualmente para disponer de imágenes satelitales de calidad, se la puede usar para el control de calidad de agua de cualquier sector. (Mas, 2017)

GOOGLE EARTH ENGINE

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma desarrollada por Google que revoluciona la forma en que se accede y se procesa la información geoespacial para aplicaciones ambientales. Esta plataforma ha ganado importancia en la comunidad científica debido a su capacidad para gestionar grandes volúmenes de datos de imágenes satelitales de forma eficiente y proporcionar herramientas de análisis avanzado, todo eso, mediante la programación de códigos con el uso de lenguaje de computadora como JavaScript. Se conoce a la generación de estos códigos como "Scripts".

Una de las características más notables de Google Earth Engine es su acceso global a un vasto archivo de imágenes satelitales de diferentes fuentes, incluyendo la NASA y la Agencia Espacial Europea (ESA). Esto proporciona una cobertura global que es fundamental para el monitoreo ambiental a escala regional y local.

Google Earth Engine ofrece una potente capacidad de procesamiento en la nube, lo que permite el análisis de grandes conjuntos de datos geoespaciales de manera eficiente. Utiliza recursos informáticos distribuidos para acelerar el procesamiento de imágenes, lo que es esencial para tareas de teledetección a gran escala.

La plataforma también incluye una amplia biblioteca de algoritmos de teledetección y análisis, lo que facilita la aplicación de técnicas de procesamiento y extracción de información. (Gorelick et al., 2017)

En esta plataforma se puede disponer de información de diferentes satélites, lo cual es conveniente para diferentes tipos de trabajos. Para esta investigación, se optó por usar las imágenes satelitales de la misión Sentinel- 2, ya que cuenta con bandas que son necesarias para detectar los diferentes tipos de contaminación en cuerpos de agua. La combinación de estas bandas, proporciona la visibilidad de objetos específicos, y con ello se puede calcular su área alrededor de diferentes fechas, estas combinaciones reciben el nombre de "Índices Espectrales".

En este artículo se muestra la detección de 3 índices espectrales que son:

ÍNDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO (NDWI)

El Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) se utiliza para el análisis de masas de agua. El índice utiliza bandas verdes y casi infrarrojas de imágenes de teledetección. El NDWI puede mejorar la información sobre el agua de manera eficiente en la mayoría de los casos. Es sensible a la acumulación de tierra y resulta en la sobreestimación de los cuerpos de agua. (Bahadur, 2018)

Este índice ayuda a detectar la turbidez en el agua. Su fórmula en la combinación de bandas es:

$$NDWI = (B3 - B8) / (B3 + B8)$$

ÍNDICE DE CLOROFILA (CI)

En la teledetección, el Índice de Clorofila se utiliza para estimar el contenido de clorofila en las hojas de diversas especies de plantas. El contenido de clorofila refleja el estado fisiológico de la vegetación; disminuye en las plantas estresadas y, por lo tanto, puede utilizarse como medida de la salud de las plantas. (EOS, 2019)

Este índice ayuda a detectar la presencia de algas, moho u otro tipo de vegetación que pueda estar presente en el agua. Su fórmula en la combinación de bandas es:

$$CI = (B8 - B3) / (B8 + B3)$$

MATERIA ORGÁNICA DISUELTA COLORADA (CDOM)

El CDOM (Color Dissolved Organic Matter o Materia Orgánica Disuelta Colorada), se refiere a la materia orgánica disuelta en el agua que puede absorber y reflejar la luz visible y ultravioleta, lo que le da un color característico al agua. Esta materia orgánica disuelta consiste en compuestos orgánicos, como ácidos húmicos, lignina y otros materiales orgánicos disueltos en el agua. El CDOM puede provenir de diversas fuentes, incluyendo la descomposición de materiales vegetales y la liberación de compuestos orgánicos por parte de microorganismos.

El CDOM juega un papel importante en la calidad del agua y en los procesos biogeoquímicos de los ecosistemas acuáticos. La detección y cuantificación del CDOM es esencial en la monitorización de la calidad del agua y en la evaluación de procesos ecológicos y de contaminación en cuerpos de agua. (Siegel, 1998)

Su fórmula en la combinación de bandas es:

$$CDOM = (B4/B8)-1$$

GENERACIÓN DE SCRIPTS

En la generación de los Scripts, primeramente, se delimita el área de estudio, en este caso la parte del Río Pilcomayo, que pasa por los distritos 1, 2, 3 y 4 del Municipio de Villa Montes.

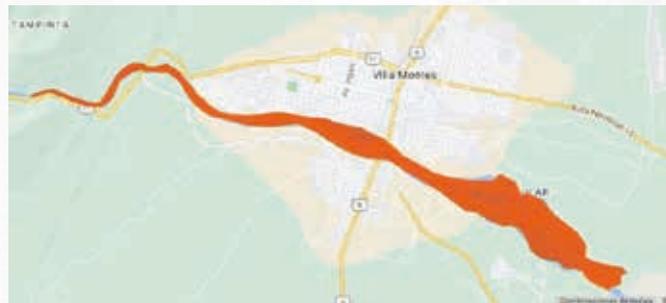


Figura 1 Delimitación de la zona de estudio
Fuente: Propia

Después se selecciona, las imágenes del satélite Sentinel-2, posteriormente se introduce la fórmula del índice espectral, (en esta investigación se busca obtener 3 índices espectrales, en consecuencia, se generaron 3 Scripts, todos con el mismo procedimiento, con la única diferencia de que cada Script tenía diferente fórmula para cada índice espectral). Ya que la información durante la gestión 2022 es muy amplia, se calculan promedios mensuales para cada índice espectral, se introduce una gama de colores para poder tener una buena visualización de la contaminación en el agua, según cada Script, donde se opta por el color azul para mostrar la inexistencia de contaminantes, y el color rojo para mostrar una alta existencia de contaminantes, todos estos en cuerpos de agua, la gama de colores que existe entre azul y rojo, muestran niveles intermedios de existencia de contaminación, colores como el cian y el amarillo.

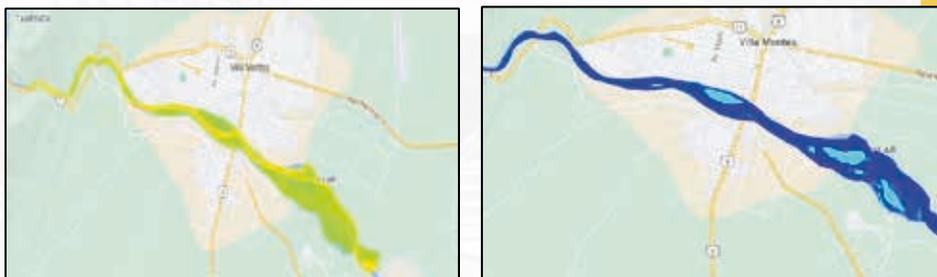


Figura 2 Visualización del nivel de contaminación
Fuente: Propia

En el Script, también se introducen comandos para poder determinar las áreas con mayor y menor contaminación, ver su comportamiento mensual a través de la gestión 2022 mediante tablas y descargar esa información en formato "csv", también se introduce un comando para poder descargar el producto en formato "tiff" y poder procesarlo en programas como ArcMap

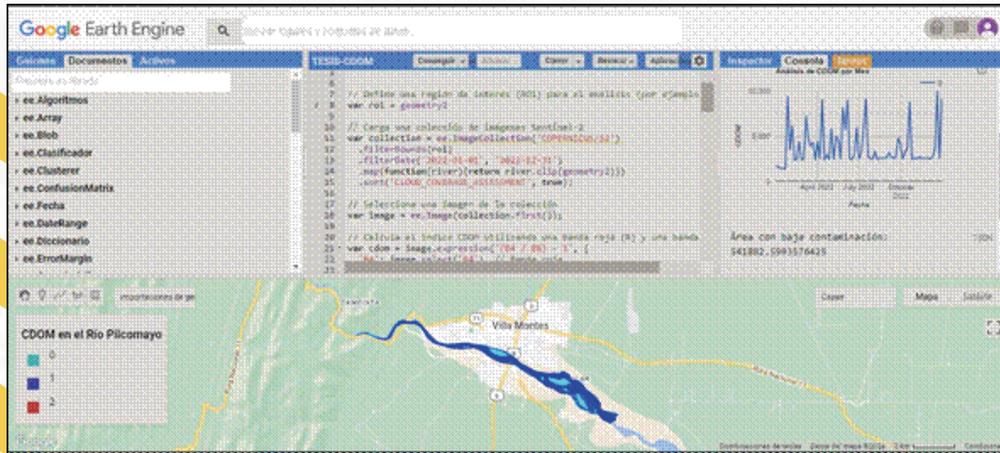


Figura 3: Scripts y sus resultados en Google Earth Engine
Fuente: Propia

Área con baja contaminación:
541882.5993576425

Área con contaminación media:
4969898.181958958

Área con alta contaminación:
52985.79718897283

Figura 4: Resultado de áreas
Fuente: Propia

ÁREAS DE MATERIA ORGÁNICA POR MES SEGÚN SU NIVEL DE CDOM			
Mes	Área con baja materia orgánica (m²)	Área con media materia orgánica (m²)	Área con alta materia orgánica (m²)
Enero	620404.6275	4900107.521	44191.28569
Febrero	0	5379973.115	184730.3197
Marzo	519224.3812	5043144.481	2334.572679
Abril	504349.4498	4979556.819	80797.16592
Mayo	377886.8609	3668126.616	1518689.957
Junio	0	5462092.904	102610.5305
Julio	181727.6344	3836696.394	1546279.406
Agosto	36904.6457	4110041.666	1417757.122
Septiembre	0	4420767.111	1143936.323
Octubre	44479.12735	4135423.498	1384800.809
Noviembre	75778.36181	4319950.734	1168974.338
Diciembre	9664.097293	5128140.737	426898.6007

Figura 5: Tabla de áreas de baja, media y alta contaminación
Fuente: Propia

En la figura 4 tenemos los resultados de las áreas que proporciona la plataforma de GEE, se recaba la información de todos los meses y se acomoda en una tabla general de Excel como se observa en la figura 5.

Estas áreas ayudan a identificar la superficie con diferentes niveles de contaminación en la zona de estudio, esto proporciona una idea del comportamiento mensual durante la gestión 2022, y esa información sirve para la toma de decisiones de las autoridades correspondientes. Este proceso se repite con cada uno de los índices espectrales.

ENERO



DICIEMBRE



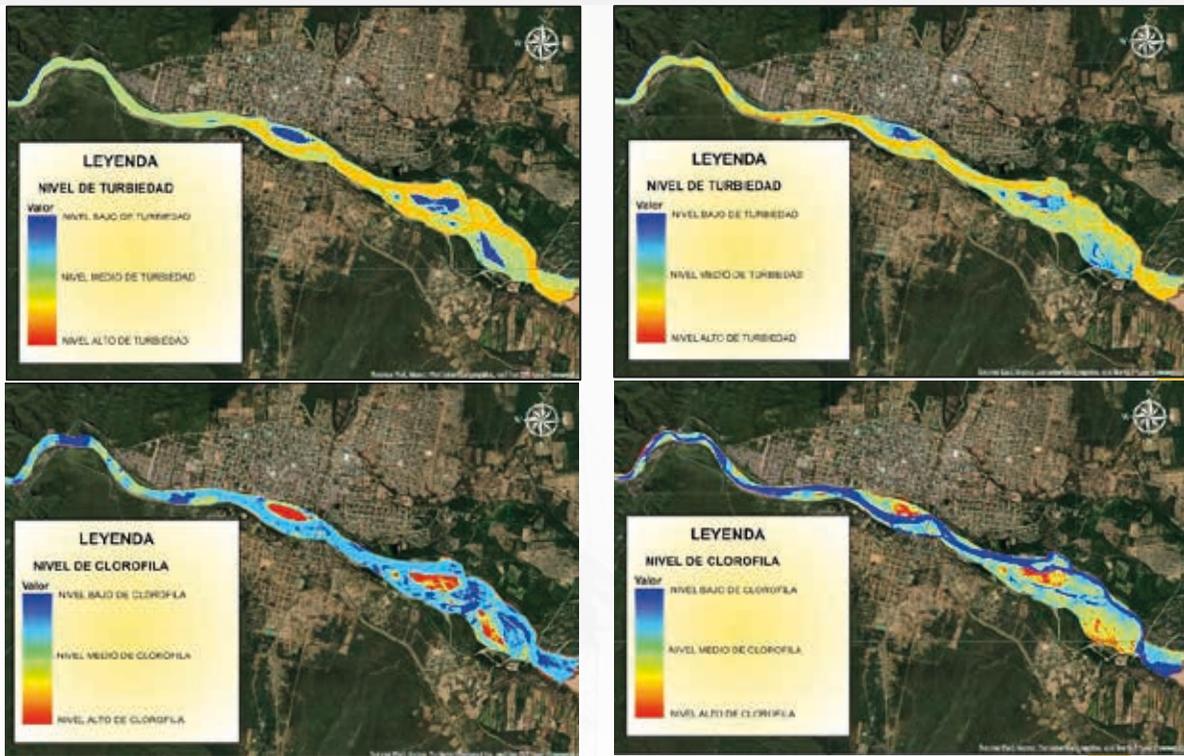


Figura 6: Mapas de los diferentes índices espectrales, en los meses de enero y diciembre Fuente: Propia

Todas las imágenes se descargan y procesan, dando un total de 36 mapas, 12 de cada índice espectral, haciendo referencia a cada mes de la gestión 2022, en estos mapas se puede apreciar el comportamiento que ha tenido cada índice espectral a través del año, habiendo meses donde la contaminación es más abundante, esto debido a factores como la alta precipitación en ciertos meses. Estas imágenes, también ayudan a identificar lugares específicos por donde se concentra mayor contaminación, esta información puede ser validada a través de visitas a estos lugares y poder indagar qué es lo que está pasando, y poder proponer una solución.

Al final los valores promediados de los índices espectrales son trasladados a una tabla, para poder tener una mejor apreciación de sus valores en cada mes de la gestión 2022.

PROMEDIO MENSUAL DE LOS VALORES DE LOS ÍNDICES ESPECTRALES					
CDOM		NDWI		CI	
ENE	-0.217	ENE	-0.269	ENE	-0.161
FEB	-0.148	FEB	-0.175	FEB	-0.134
MAR	-0.087	MAR	-0.155	MAR	-0.061
ABR	-0.108	ABR	-0.160	ABR	-0.179
MAY	-0.025	MAY	-0.105	MAY	-0.117
JUN	-0.026	JUN	-0.096	JUN	-0.050
JUL	-0.098	JUL	-0.106	JUL	0.107
AGO	-0.230	AGO	-0.127	AGO	0.127
SEP	-0.167	SEP	-0.112	SEP	0.112
OCT	-0.114	OCT	-0.119	OCT	0.120
NOV	-0.246	NOV	-0.162	NOV	0.167
DIC	0.006	DIC	-0.107	DIC	0.111

Figura 7: Tabla de promedio mensual de los valores de los índices espectrales Fuente: Propia

CONCLUSIONES

En el presente artículo se utilizaron 12 series mensuales de la gestión 2022, para cada índice espectral, los índices espectrales utilizados son: INDICE DE CLOROFILA, INDICE DE TURBIDEZ E INDICE DE MATERIA ORGANICA DISUELTA.

La validación de estos índices espectrales, se realizó a través de datos de laboratorio, proporcionados por la organización Trinacional, la cual es encargada del monitoreo del agua del Río Pilcomayo. En la comparación de estos datos se obtuvo una similitud en el comportamiento de contaminación, comparando con cada índice espectral, dando una validez a los datos obtenidos, sin tomar en cuenta el índice de Clorofila, ya que no se encontró un dato de laboratorio que brinde esa información.

Los datos que llega a recolectar la Trinacional, son solamente de 3 días durante la gestión 2022, mientras los datos obtenidos con los Scripts mediante Google Earth Engine son datos promedios de cada mes de ese año, brindando una mayor cobertura temporal.

Los datos de laboratorio incluyen muchos más detalles y aspectos a tomar en cuenta al momento de monitorear el Río Pilcomayo, pero ese proceso también conlleva un gran gasto económico. Lo propuesto en este artículo es una brecha para poder seguir investigando y a futuro poder detectar más detalles y elementos que son relevantes en el monitoreo de contaminación en cuerpos de agua, ya se pudo obtener y validar 2 elementos, es un primer paso a seguir desarrollando una amplia y muy útil herramienta.

REFERENCIAS

Azzouzi, S. A. (2019). Técnicas de detección de cambios mediante teledetección para el desarrollo sostenible y la desertificación [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/117994>

Chuvieco, E. (2019). Teledetección Ambiental—Environmental Remote Sensing. Universidad de Alcalá de Henares. <https://www.uah.es/es/investigacion/unidadesde-investigacion/grupos-de-investigacion/Teledeteccion-Ambiental-EnvironmentalRemote-Sensing/www.uah.es>

Franzpc. (2019, octubre 30). Lista de índices espectrales en Sentinel 2 y Landsat. El blog de franz. <https://acolita.com/lista-de-indices-espectrales-en-sentinel-2-ylandsat/>

Lawson, J., & Mistry, P. (2017, julio 13). ¿Cómo examinar la calidad del agua? <https://blogs.worldbank.org/es/voices/como-examinar-la-calidad-del-agua>

Pilcomayo.net. (2017). Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río

Pilcomayo | Hidrología. Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo | Hidrología. <https://www.pilcomayo.net/www.pilcomayo.net>