

DETECCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES: REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA CON ANÁLISIS CUANTITATIVO

M. Silvia Vera Laceiras, Norcelo G. De Miranda, Horacio Kuna, Eduardo Zamudio

Instituto de Investigación, Desarrollo e Innovación en Informática (IIDII)

Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones

[vlhsilvia, hdkuna, eduardozamudi}@fceqyn.unam.edu.ar](mailto:{vlhsilvia, hdkuna, eduardozamudi}@fceqyn.unam.edu.ar)

norcelodemiranda@gmail.com

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo presentar avances y la incorporación de aplicación de imágenes satelitales al equipo interdisciplinario de la línea de investigación “CIENCIA DE DATOS COMO HERRAMIENTA DE SOPORTE EN LA GESTIÓN PÚBLICA DE CALIDAD DEL AGUA” con las imágenes satelitales se pretende generar datos crudos sobre el río Paraná, para la ingesta de información y aplicación con ciencia de datos. Contribuyendo a través de este medio al conocimiento del dominio, y aportar a la toma de decisiones. Como tarea inicial, se buscó la familiarización de los términos y variables utilizadas en este contexto a través de un metaanálisis. La RSL cuantitativa: “Detección de calidad de agua mediante imágenes obtenidas a través de teledetección satelital”. Como resultado otorga un número de estudios que ofrecen una perspectiva representativa del conjunto de publicaciones sobre el tema respondiendo a preguntas y subpreguntas de investigación diseñadas por los investigadores. El resultado permite un conocimiento de la terminología básica utilizada, y los aspectos relevantes sobre la calidad del agua y su relación con algas tóxicas, microplásticos y sólidos en suspensión.

CONTEXTO

Esta línea de investigación se incorpora dentro del proyecto de investigación “CIENCIA DE DATOS COMO HERRAMIENTA DE SOPORTE EN LA GESTIÓN PÚBLICA DE CALIDAD DEL AGUA” número 16/Q1224-IDP del Instituto de Investigación, Desarrollo e Innovación en Informática (IIDII) de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales (FCEQyN) de la Universidad

Nacional de Misiones (UNaM). Realiza su aporte a partir del estudio de imágenes satelitales del Río Paraná de dominio público o semipúblico y generando datos crudos para su tratamiento con ciencia de datos. Obteniendo datos que sirvan de ingesta en la gestión de conocimiento de la calidad de agua, y ayude a determinar cómo puede verse afectada nuestra zona por algas tóxicas y microplástico.

INTRODUCCIÓN

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de acciones de los países para preservar nuestros océanos y bosques, reducir la desigualdad y estimular el crecimiento económico. Los ODS de gestión del agua exigen un seguimiento constante de las métricas de cobertura de la calidad del agua. Estas métricas aseguran “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” [1] a través de acciones concretas como que de aquí a 2030, se propone mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

El tema de estudio es la calidad del agua a través de la observación y medición de sus contaminantes, usando para este fin el análisis de datos obtenidos a través de teledetección satelital de imágenes.

A fin de entender el alcance de los términos que se usarán en adelante, se buscan los estudios adecuados para realizar un metaanálisis o Revisión sistemática de la Literatura (RSL) cuantitativa de los estudios

obtenidos utilizando metodología estadística especializada. Respondiendo a la pregunta de investigación ¿Para qué aplicamos teledetección en calidad de agua? y a las subpreguntas de investigación ¿Qué indica la presencia de algas tóxicas con respecto a la calidad del agua?, ¿Qué indica la presencia de microplásticos con respecto a la calidad del agua?, ¿Qué índices se pueden generar a través de la teledetección de microplásticos o algas en los cursos de agua?

En Línea de investigación y desarrollo se explica el objetivo del artículo y cuál es el procedimiento implementado para obtener los resultados. En la sección Análisis de resultados se comparten los resultados obtenidos con el procedimiento. Finalmente, en la sección Formación de recursos humanos.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Este artículo presenta avances y la incorporación de imágenes satelitales al proyecto de investigación “CIENCIA DE DATOS COMO HERRAMIENTA DE SOPORTE EN LA GESTIÓN PÚBLICA DE CALIDAD DEL AGUA”. Con las imágenes satelitales se agregan a través de transformaciones específicas, datos crudos obtenidos del procesamiento digital de estas imágenes, en tomas puntuales del río Paraná. para la ingesta de información y aplicación en ciencia de datos. Contribuyendo a través de este medio al conocimiento del dominio, y aportar a la toma de decisiones . cómo tarea inicial, se buscó la familiarización de los términos y variables utilizadas en este contexto a través de un metaanálisis.

El metaanálisis de los resultados permite resumir en un solo valor numérico toda la evidencia relacionada con un tema puntual, aumentando la potencia estadística y la precisión del estimador puntual [2] Y se refiere al análisis estadístico de los datos de estudios primarios independientes enfocados en la misma pregunta, que tiene como objetivo generar una estimación cuantitativa del fenómeno estudiado, por ejemplo, la efectividad de la intervención [3]. Dichos

análisis son esencialmente observacionales y utilizan estudios como unidad de investigación. Si bien puede ser controversial, pues si los estudios seleccionados tienen algún sesgo también lo tendrá la conclusión, la fuerza del metaanálisis radica en la capacidad de resumir un gran volumen de literatura en una sola publicación y producir conclusiones relevantes. El metaanálisis permite combinar los resultados de varios informes diferentes en un informe, para crear una estimación única y más precisa de un efecto [4]. Los análisis estadísticos en un metaanálisis están guiados por un modelo estadístico que debe asumirse previamente, para responder a preguntas planteadas con antelación La tarea principal del modelo estadístico es establecer las propiedades de la población del tamaño del efecto a partir de la cual se estima el tamaño del efecto individual [4,5].

Como objetivo del metaanálisis se puede “aumentar el poder estadístico; lidiar con la controversia cuando los estudios individuales no están de acuerdo [6,7]. También posee ventajas como que permite a los investigadores agrupar datos de muchos ensayos demasiado pequeños por sí mismos para permitir conclusiones seguras. Aunque idealmente cualquier ensayo clínico debería planificar un tamaño de muestra adecuado, históricamente la mayoría de los ensayos no han tenido el poder estadístico suficiente.

En 2002, un estudio de 5503 ensayos clínicos [8] identificó que el 69% tenía menos de 100 sujetos. Los ensayos pequeños hacen que sea más difícil rechazar la hipótesis nula porque conducen a desviaciones estándar y errores estándar más grandes. También existe el riesgo de sesgo. Un ensayo pequeño que alcanzó significación (justificado o no) probablemente se publicará. [9].

La pregunta principal de la investigación que se aborda es: PI: “¿Para qué aplicamos teledetección en calidad de agua?”, y las subpreguntas de investigación:

SPI: “¿Qué nos indica la presencia de algas tóxicas con respecto a la calidad del agua?”

SP2: “¿Qué nos indica la presencia de microplásticos con respecto a la calidad del agua?”

SP3: “¿Qué índices se pueden generar a través de la teledetección de microplásticos o algas en los cursos de agua?”.

Definido como criterio de exclusión la antigüedad de publicación no mayor a tres años, los artículos anteriores a 2018 fueron excluidos y como criterio de selección de estudios se pondera la respuesta a 10(diez) preguntas definidas en una tabla con respuesta posible yes-no y parcial que mediante la siguiente operación matemática = $\text{CONTAR.SI}(\text{B12:K12}; \text{"Yes"}) + (\text{CONTAR.SI}(\text{B12:K12}; \text{"Partial"}) / 2)$ otorga un puntaje y se eligen los estudios que obtuvieron valores mayores o iguales a 4(cuatro).

RESULTADOS OBTENIDOS

De 317.893 (trescientos diecisiete mil ochocientos noventa y tres) estudios encontrados. La RSL permitió diferenciar 33 (treinta y tres) documentos en inglés y español mediante la cadena de búsqueda, para luego de analizar si los estudios cumplían además de las preguntas y subpreguntas de investigación, pautas prefijadas como los criterios de inclusión y exclusión, y la valoración de calidad, se obtuvo un total de 7(siete) que son base para el desarrollo de éste artículo.

A partir de esos datos, se calculó el porcentaje de artículos totales publicados como resultado de una cadena de búsqueda. En el repositorio IEEE se encontraron 572 estudios que representan el 0,2% de artículos totales publicados, en ACM se encontraron 281.161 estudios que presentan el 88,4%, en Google Scholar se encontraron 5.770 estudios que representan el 1,8%, en UNLP se encontraron 14.785 estudios que representan el 4,7% y en UNSA se encontraron 11.028 estudios que representan el 3,5%.

Ponderando luego la información de los resúmenes con un puntaje, obtenido valorando las respuestas a las 10 preguntas. Se decide como elegibles los documentos que obtengan

4 (cuatro) o más puntos y esos fueron los finalmente citados para lectura y análisis.

	1. ¿Los estudios mencionan ODS?	2. ¿El estudio está diseñado para alcanzar dichos objetivos?	3. ¿Responde todas las preguntas de investigación adecuadamente?	4. ¿El estudio relaciona calidad de agua con microplásticos?	5. ¿El estudio relaciona calidad de agua con algas tóxicas?	6. ¿El estudio relaciona calidad de agua con sólidos en suspensión?	7. En el estudio se menciona extracción de datos de imágenes satelitales exportables?	8. ¿En el estudio se menciona extracción de datos de drones?	9. ¿En el estudio se presentan índices de calidad de agua?	10. ¿El estudio refleja análisis de imágenes satelitales procesadas con software libre?	Puntaje
Estudio múltiple	Yes	Partial	-	-	-	Yes	Yes	-	Yes	Yes	5,5
Estimación de la	Partial	Partial	-	-	-	Yes	Yes	-	-	Yes	4
Revolución de la	Yes	Partial	-	-	-	Partial	Yes	-	Yes	Yes	5
Análisis del esta-	Yes	Partial	-	-	-	-	Yes	-	Yes	-	3,5
USO DE IMAGE	Yes	Partial	-	-	-	Yes	Yes	-	Yes	Yes	5,5
Optimización	-	-	Partial	-	-	-	Yes	-	Yes	Yes	3,5
Evaluación de	-	Partial	-	-	-	-	Yes	-	Yes	-	2,5
Investigación	-	-	Partial	Partial	Yes	Yes	Yes	-	Yes	Yes	6
Un algoritmo	-	-	Partial	Partial	Partial	Partial	Yes	-	Yes	Yes	5
Evaluación de	-	-	Partial	Partial	Partial	Partial	Yes	-	Yes	Yes	5
Mapa de la	-	Partial	Partial	Partial	Partial	Partial	Yes	-	Partial	Yes	4,5

Fig. 1. Ponderación y asignación de puntajes a los estudios.

En el análisis se obtuvieron datos acerca de las características de los estudios, Cada estudio fue evaluado respondiendo a las siguientes preguntas: 1-Los estudios mencionan ODS?, 2-El estudio está diseñado para alcanzar dichos objetivos?, 3-Responde todas las preguntas de investigación adecuadamente? 4-El estudio relaciona calidad de agua con microplásticos? 5-el estudio relaciona calidad de agua con algas tóxicas? 6-El estudio relaciona calidad de agua con sólidos en suspensión? 7-En el estudio se menciona extracción de datos de imágenes satelitales exportables? 8-En el estudio se menciona extracción de datos de drones? 9-En el estudio se presentan índices de calidad de agua? 10-El estudio refleja análisis de imágenes satelitales procesadas con software libre? Las respuestas contemplan tres posibilidades como mencionamos anteriormente, yes, no o parcial y los resultados hacen a un documento elegible cuando obtiene un puntaje superior o igual a 4 (cuatro). Como fin de este estudio e inicio de una nueva de etapa de investigación, se toman de los documentos relevados y ponderados con más puntajes las ideas que nutren las conclusiones, otorgando un enfoque de claridad sobre el tema de teledetección satelital y su relación y efecto en el análisis de datos obtenidos de las imágenes, terminología y aspectos básicos de temas relevantes.

Con respecto a la aplicación de la teledetección en calidad de agua: Los estudios analizados permiten comprender y dimensionar la aplicación de la teledetección en la calidad del agua. Con la información obtenida a partir de las imágenes satelitales, se pueden analizar grandes superficies de la tierra, disminuyendo tiempos y costos operacionales. Esto incluye la

posibilidad de investigar las cubiertas de agua, desde cuerpos pequeños hasta grandes masas oceánicas, considerándose como una alternativa eficaz para el estudio de dicho recurso natural. Este avance ha permitido un control y un conocimiento más ajustado de las condiciones atmosféricas, disminuyendo graves catástrofes naturales [10].

El análisis de los cursos de agua a través de teledetección se logra mediante “la interacción del flujo energético de los sensores con la superficie de la tierra” [7] hecho que recibe el nombre de radiación electromagnética. Esta interacción posibilita que “la adquisición de información por los sensores puede ser por reflexión, por emisión, y por emisión-reflexión” [11]. La adquisición de información por medio de los sensores, genera imágenes que pueden ser interpretadas mediante técnicas que permiten “analizar diversas variables biofísicas como la clorofila-a (Chl-a) y los sólidos totales en suspensión (SS), los cuales son de importancia para la calidad del agua” [12].

El avance en las técnicas de teledetección está facilitando este tipo de estudios debido a la mayor disponibilidad de imágenes y al gran desarrollo de nuevas tecnologías. Con estos métodos es posible obtener grandes cantidades de información con una resolución temporal, radiométrica y espacial elevadas, a un coste menor que con los métodos convencionales in situ [13]

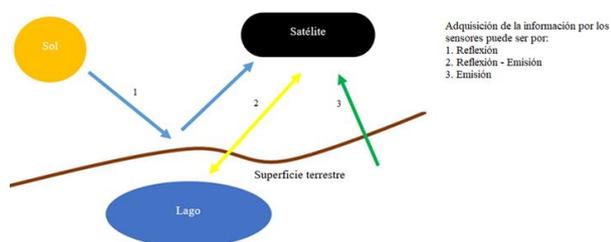


Fig. 2. Esquema de las formas de percepción remota. Adaptado de [8].

Se puede observar que las imágenes producto de la interacción del flujo energético de los sensores con la superficie de la tierra brindan información de grandes áreas a un menor coste, además, la posibilidad de monitorearlas

frecuentemente debido a que los satélites proporcionan datos que se encuentran en la web de forma gratuita. Calidad de agua: Calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros indicadores del estado del agua para ser usada con ciertos propósitos. Es el grupo de concentraciones, especificaciones, sustancias orgánicas e inorgánicas y la composición de la biota encontrada en el cuerpo de agua analizado, cabe destacar que la calidad de agua se ve afectada cuando el agua sufre cambios que afectan su uso real o propósito [11].

Entre los grupos de clasificación de parámetros de calidad, los parámetros físicos responden a los sentidos del tacto, olor y sabor, los parámetros químicos están relacionados con la solvencia del agua y los parámetros biológicos están asociados a la calidad del medio acuático, y se basan en los organismos que lo habitan [11].

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El grupo de trabajo se compone de un equipo interdisciplinario, 2 integrantes del equipo se recibieron de Magister en TI (UNaM-UNNE), 1 integrante está realizando su tesis de grado (UNaM), una integrante es doctorando del Doctorado en Informática (UNaM-UNNE-UTN (FRResistencia), desde donde sus integrantes contribuyen a la generación de conocimiento en áreas de ciencia de datos, gestión de calidad del agua, e imágenes satelitales.

CONCLUSIONES

Cuando los parámetros de calidad del agua no son adecuados para el uso real, podemos hablar de un deterioro. El deterioro de la calidad de las aguas superficiales se debe a la presencia de diversos tipos de contaminantes procedentes de actividades humanas como la agricultura, la industria, la construcción, la deforestación, etc. Así pues, la presencia de diversos contaminantes en las masas de agua puede conducir al deterioro tanto de la calidad

de las aguas superficiales como de la vida acuática [14].

Análisis in situ vs Análisis a través de teledetección: El avance de la tecnología permitió la existencia de otra forma para analizar la calidad del agua mediante técnicas de teledetección. A diferencia de los análisis in situ, “que sólo pueden representar estimaciones puntuales de la calidad del agua en un tiempo y espacio determinados. Algunas limitaciones de este método consisten en que el muestreo y las mediciones requieren mano de obra, tiempo y acarrear grandes gastos; el estudio de grandes áreas es casi imposible y a esto se suma variaciones espaciales y temporales y de las tendencias que son difíciles de seguir; también la exactitud y la precisión de los datos in situ recogidos pueden ser cuestionables [15].

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agua y saneamiento, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- [2] Greenhalgh T. How to read a paper? Papers that summarize others papers (systematic reviews and metaanalyses). *BMJ* 1997; 315: 672-5.
- [3] J. Gopalakrishnan , P Ganeshkumar Systematic Reviews and Meta-analysis: Understanding the Best Evidence in Primary Healthcare, PMID: 24479036, PMCID: PMC3894019, DOI: 10.4103/2249-4863.109934
- [4] Glass, GV Primaria, secundaria y metaanálisis de la investigación. Investigador educativo, 5, 3-8. <https://doi.org/10.3102/0013189X005010033>, 1976
- [5] Xian Liu, Métodos y aplicaciones de análisis de datos longitudinales , 2016
- [6] Hunter, John E., & Schmidt, Frank L. *Methods of Meta-Analysis: Correcting Error and Bias in Research Findings*. Newbury Park, CA: Sage.1990.
- [7] Jiyuan Liu a,* , Mingliang Liu a,b , Hanqin Tian a,b , Dafang Zhuang a , Zengxiang Zhang c , Wen Zhang d , Xianming Tang a , Xiangzheng Deng, Spatial and temporal patterns of China’s cropland during 1990–2000: An analysis based on Landsat TM data, 2000
- [8] Roderick P. McDonald and Moon-Ho Ringo Ho’Principles and Practice in Reporting StructuralEquation AnalysesUniversity of Illinois at Urbana–Champaign 2002
- [9] Stern, J.M. and Simes, R.J “Publication Bias: Evidence of Delayed Publication in a Cohort Study of Clinical Research Projects”. *BMJ*, 13, 640-645. 1997 <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.315.7109.640>
- [10] D. A. Gutiérrez Núñez, "Evaluación del uso de la teledetección para determinar parámetros de la calidad del agua en el embalse de la Planta Hidroeléctrica de Tacares", Trabajo de grado, Universidad de Costa Rica, 2019.
- [11] M. Escobar Valdivia, "Identificación de regiones contaminadas en la superficie del lago villarrica con base en imágenes sentinel en el periodo 2017-2018", Trabajo de grado, Universidad de Concepción, 2019.
- [12] "Estudio multitemporal de calidad del agua del embalse de Sitjar (Castelló, España) utilizando imágenes Sentinel-2", *Revista de teledetección*, vol. 56, n.º 117-130, octubre de 2020.
- [13] D. Uribe Ospina, "Estimación de la contaminación causada por la minería en cuerpos de agua del bajo cauca a través de imágenes satelitales", Trabajo de grado, UNIVERSIDAD EIA, 2019.
- [14] A. P. Cafa, "Monitorización de la calidad del agua de los lagos mediante técnicas de observación satelital", trabajo de especialización, ITBA, 2021.
- [15] D. C. Rivera Ruiz, "Estimación de parámetros de calidad de agua en la laguna santa elena usando imágenes satelitales", tesis maestría, Universidad de Concepción, 2020.