

04

ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO

SOBRE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS EN LA TOMA DE DECISIONES
MEDIOAMBIENTALES

BIBLIOMETRIC STUDY ON GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN ENVIRONMENTAL DECISION-MAKING

Lizania Expósito-Diéguez¹
E-mail: lexpositod@uho.edu.cu
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3496-2403>
María Pilar Rodríguez-Oro¹
E-mail: pilar@uho.edu.cu
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6434-1260>
Marlen Mora-Molina¹
E-mail: mmoram@uho.edu.cu
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4678-3712>

¹ Universidad de Holguín. Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Expósito-Diéguez, L., Rodríguez-Oro, M. P., & Mora-Molina, M. (2025). Estudio bibliométrico sobre los sistemas de información geográficos en la toma de decisiones medioambientales. *Revista Transdisciplinaria de Estudios Sociales y Tecnológicos*, 5(2), 36-47.

Fecha de presentación: 01/03/2025

Fecha de aceptación: 15/04/2025

Fecha de publicación: 01/05/2025

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica han transformado significativamente los procesos de toma de decisiones tanto en organizaciones como en entidades gubernamentales, al facilitar la integración de información geoespacial con avanzadas herramientas de análisis. Esta integración posibilita una evaluación más detallada y precisa de los desafíos complejos que enfrenta la sociedad contemporánea. El presente estudio tuvo como propósito explorar el uso de los Sistemas de Información Geográfica como herramientas clave en la toma de decisiones medioambientales, revisando la literatura existente para identificar las aplicaciones más relevantes, los desafíos enfrentados y las tendencias emergentes en este campo. Para ello, se empleó la plataforma LENS.org como fuente principal para la búsqueda de referencias, utilizando palabras clave específicas que permitieron identificar a los autores más productivos, las revistas más influyentes y los artículos más recientes y pertinentes para el avance de la investigación en este campo.

Palabras clave:

Estudio bibliométrico, sistemas de información geográfica, toma de decisiones.

ABSTRACT

Geographic Information Systems have significantly transformed decision-making processes in both organizations and government entities, by facilitating the integration of geospatial information with advanced analysis tools. This integration allows for a more detailed and accurate assessment of the complex challenges facing contemporary society. The purpose of this study was to explore the use of Geographic Information Systems as key tools in environmental decision-making, reviewing the existing literature to identify the most relevant applications, the challenges faced and the emerging trends in this field. To this end, the LENS.org platform was used as the main source for the search for references, using specific keywords that allowed the identification of the most productive authors, the most influential journals and the most recent and relevant articles for the advancement of research in this field.

Keywords:

Bibliometric study, geographic information systems, decision-making.

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) desempeñan un papel crucial en múltiples ámbitos de la vida, facilitando la gestión y análisis espacial para la toma de decisiones informadas. En el campo del urbanismo y en la planificación territorial, los SIG son herramientas esenciales para la gestión del uso del suelo, permitiendo planificar el desarrollo urbano, para identificar áreas adecuadas para la construcción y administrar espacios públicos. Además, facilitan la planificación de infraestructuras como carreteras, puentes y servicios públicos, optimizando la distribución y el diseño urbano (Kurowska et al., 2020; Bazkiaee et al., 2024; Машин et al., 2024).

La capacidad de los SIG para integrar y visualizar datos espaciales permite a los planificadores evaluar el impacto ambiental, gestionar riesgos y diseñar ciudades sostenibles, mejorando la eficiencia en la toma de decisiones y promoviendo la participación ciudadana (Nabati et al., 2020, 2022; Petrov et al., 2020). Por otra parte, en el ámbito ambiental, los SIG son herramientas fundamentales para la conservación y monitoreo de ecosistemas, la evaluación del impacto ambiental y para la gestión de áreas protegidas. Asimismo, se utilizan para modelar y predecir los efectos del cambio climático en distintas regiones del planeta, lo que contribuye a la creación de estrategias de mitigación y adaptación más efectivas (Dantas et al., 2023; Rangzan et al., 2024).

De igual forma, en la salud pública, los SIG permiten rastrear la propagación de enfermedades, facilitando la planificación de respuestas sanitarias y la identificación de zonas con necesidades de atención médica, lo que mejora la gestión epidemiológica y el acceso a servicios (Dantas et al., 2023; Rangzan et al., 2024). En el caso de la agricultura, los SIG apoyan la gestión de cultivos mediante la planificación del uso del suelo, el manejo del riego y el monitoreo de la salud del suelo, además de evaluar la calidad del terreno para distintos tipos de cultivo, optimizando así la productividad agrícola (Kurowska et al., 2020; Bazkiaee et al. 2024; Машин et al., 2024).

Debe señalarse además, que en el transporte, estas tecnologías optimizan las rutas logísticas y la gestión del tráfico, contribuyendo a una movilidad urbana más eficiente y a la planificación adecuada de las infraestructuras viales (Tahri et al., 2021; Abuzaid et al., 2022; Bagheri et al. 2023). Los estudios precedentes han demostrado que los SIG también, son vitales en seguridad y gestión de emergencias, donde permiten desarrollar planes de evacuación, gestionar desastres naturales y coordinar determinadas respuestas rápidas mediante la localización eficiente de los recursos existentes.

En otro orden de ideas, desde la perspectiva de Saleh et al. (2023), los SIG es una disciplina que depende de recibir y procesar datos, mostrarlos y luego almacenar esa

información como referencia para los investigadores. Son software con la capacidad de ingresar, procesar, almacenar y mostrar datos espaciales para una determinada área geográfica a estudiar. También se definen como un proceso que vincula componentes de hardware y software en términos de ingreso de datos, procesamiento, almacenamiento y luego visualización de los mismos en forma de mapas, imágenes o gráficos con el fin tomar decisiones que apoyen los recursos naturales y humanos (Abuzaid et al., 2022; Bagheri et al., 2023).

En las últimas décadas, el desarrollo y la evolución de los SIG ha transformado la manera en que se aborda la toma de decisiones en diversas disciplinas, desde la planificación urbana hasta la gestión ambiental. Estos sistemas permiten la integración, análisis y visualización de datos espaciales, facilitando así la identificación de patrones, tendencias y relaciones que son cruciales para la formulación de políticas informadas y efectivas.

En relación con la idea anterior, la teledetección (RS) y los SIG son herramientas modernas para evaluar agro ecosistemas en diferentes escalas. Las imágenes satelitales proporcionan una cobertura precisa de datos espaciales de manera rápida, confiable y rentable, mientras que los SIG recopilan, editan, almacenan y muestran datos georeferenciados (Bagheri et al. 2023). De igual forma, las herramientas de análisis estadístico de los SIG son importantes para evaluar las variaciones en las propiedades del suelo y predecir ubicaciones no muestreadas (Abuzaid et al., 2022) the principal component analysis (PCA).

Desde la perspectiva de Tahri et al. (2021), la integración de técnicas SIG y de toma de decisiones de atributos múltiples (MADM) se ha aplicado recientemente a problemas ambientales, incluidos el modelado espacial y los procedimientos para la selección de sitios así como el mapeo de riesgos y la planificación de la conservación. Por lo que Sztubecka et al. (2020), señalan que existen numerosos métodos de análisis multicriterio. Los más utilizados son los matemáticos, pero también existen métodos geométricos, métodos basados en la teoría de grafos, métodos taxonómicos y los métodos basados en inteligencia artificial; en particular, los sistemas difusos y las redes neuronales difusas. Al elegir un método, se deben tener en cuenta factores como la facilidad de recopilación de datos, el procesamiento y la verificación de los resultados, y la subjetividad de la solución obtenida.

Cabe resaltar, que este último factor es especialmente importante a la hora de tomar decisiones en cuestiones relacionadas con la planificación espacial, la arquitectura y la construcción, pues en estos ámbitos se utilizan los conocimientos de expertos, por lo que el resultado obtenido puede estar plagado de errores. De igual forma, los métodos de la teoría de utilidad de atributos múltiples (MAUT) y la teoría del valor de atributos múltiples (MAVT)

fueron de los primeros métodos que se introdujeron en las aplicaciones forestales. Se basan en métodos interactivos y de clasificación que construyen una función de utilidad/valor para cada criterio. La combinación lineal ponderada (WLC) y el promedio ponderado ordenado (OWA) determinan diferentes posibilidades relativas a los pesos de cada factor utilizando el proceso de agregación.

En palabras de Tahri et al. (2021), la combinación del proceso analítico jerárquico (AHP) o del proceso analítico en red (ANP) con SIG también se ha utilizado ampliamente en la gestión ambiental. Estos métodos proporcionan un medio para medir datos de criterios cuantificables y/o intangibles. Algunos investigadores (Sari & Koyuncu, 2021; Cavalcante et al., 2022; Mallick et al., 2022; Minea et al., 2022) han aplicado métodos difusos en la planificación de la gestión ambiental, en particular la combinación de AHP difuso integrado con SIG para la localización del mapeo de riesgos forestales. Esta técnica de extensión permite una aproximación para gestionar la vaguedad e incertidumbre de ciertos datos.

En resumidas cuentas, los SIG ofrecen múltiples beneficios que optimizan la gestión y el análisis de datos espaciales, facilitando procesos complejos y mejorando la toma de decisiones (Saleh et al., 2023). Uno de los beneficios más destacados es el almacenamiento automático de la información, lo que permite la preservación, coordinación, ordenamiento y tabulación de datos de manera rápida y sencilla. Esta automatización facilita el acceso inmediato a la información requerida, reduciendo errores y mejorando la eficiencia en la gestión de datos (Sari & Koyuncu, 2021; Minea et al., 2022).

La mayoría de los autores (Cavalcante et al., 2022; Mallick et al., 2022; Saleh et al., 2023; Машин et al., 2024; Raihan, 2024) analizados sostienen, que la extracción automática de información representa una ventaja significativa. Al digitalizar los datos y emplear tecnologías modernas, se reduce el espacio físico necesario para almacenar la información, se disminuyen los costos asociados y se incrementa la velocidad y precisión en la recuperación de datos. Esta capacidad agiliza los procesos y garantiza que la información esté disponible en el momento oportuno para su análisis y uso.

De igual forma, la velocidad en el procesamiento de la información es otro aspecto fundamental. Los SIG pueden generar mapas o reportes en cuestión de segundos, mostrando la información solicitada en diferentes formatos, ya sea digital, impreso o visual. Esta rapidez depende de la eficiencia del hardware y software utilizado, permitiendo que los usuarios obtengan resultados inmediatos y adaptados a sus necesidades específicas. Una característica destacada y reconocida por diferentes estudios (Машин et al., 2024; Raihan, 2024) de los SIG es su capacidad para realizar mediciones automáticas de longitudes y

áreas en mapas. Esto facilita la obtención precisa de dimensiones de líneas y formas, y permite proyectar y superponer mapas para generar nueva información derivada. Esta funcionalidad es esencial para el análisis espacial detallado y la planificación en diversos sectores.

De igual forma, Saleh et al. (2023), han demostrado que los SIG permiten vincular y analizar información geográfica con datos no geográficos, integrando atributos descriptivos con elementos espaciales. Esta integración es clave para la planificación y toma de decisiones informadas, al proporcionar un contexto más completo y multidimensional de los fenómenos estudiados. Los SIG también se destacan por su rapidez en el análisis y evaluación de modelos espaciales. No solo permiten estudiar la información almacenada, sino que facilitan la simulación y análisis de escenarios futuros en ámbitos urbanos, ambientales y territoriales. Esta capacidad de modelado es vital para anticipar impactos y diseñar estrategias efectivas (Машин et al., 2024; Raihan, 2024).

En relación con este tema, Saleh et al. (2023), han demostrado que el análisis temporal es otra ventaja importante de los SIG, pues estos posibilitan el estudio de cambios y tendencias a lo largo del tiempo. Esto es fundamental para evaluar el impacto de planes y políticas en diferentes períodos, identificando variables y patrones que afectan el desarrollo territorial y ambiental. Otro de sus beneficios es que, la presentación y visualización de datos geográficos es altamente eficiente con los SIG. Los elementos espaciales pueden representarse mediante dibujos y gráficos que se modifican rápidamente en forma, color y estilo, facilitando la interpretación y comunicación de resultados para una toma de decisiones acertada. En conjunto, estos beneficios posicionan a los SIG como herramientas indispensables para la gestión eficiente de información espacial, contribuyendo a procesos más ágiles, precisos y efectivos en múltiples disciplinas (Saleh et al., 2023).

Es por eso, que a través de la evaluación crítica de las investigaciones previas, mediante un estudio bibliométrico, se busca proporcionar una visión comprensiva que resalte la importancia de los SIG en la toma de decisiones. En consecuencia, este estudio bibliométrico tiene como objetivo explorar el uso de los SIG como herramientas clave en la toma de decisiones medioambientales, revisando la literatura existente para identificar las aplicaciones más relevantes, los desafíos enfrentados y las tendencias emergentes en este campo.

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este estudio bibliométrico, se eligió la plataforma LENS.org como principal herramienta de búsqueda. Esta ofrece acceso a una amplia gama de artículos científicos, tesis, libros y conferencias, permitiendo una recopilación exhaustiva de las investigaciones más

relevantes y recientes en el campo objeto de análisis. El empleo de esta plataforma facilita la identificación de fuentes confiables y de alta calidad, asegurando que el estudio bibliométrico esté basado en información precisa y actualizada. A través de la búsqueda de referencias usando título, palabras claves o resumen, se obtuvieron 29 publicaciones enmarcadas en el período 2015-2024 con los siguientes criterios de búsqueda: agroecological zoning, geographic information system, fuzzy logic, decision making. Se utilizó el toolkit de la misma plataforma para analizar la información y detallar sus principales factores bibliométricos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las publicaciones encontradas, 26 fueron artículos de revistas, una disertación, un libro y un capítulo de libro. El comportamiento de la bibliografía por tipo se muestra a continuación (Figura 1).

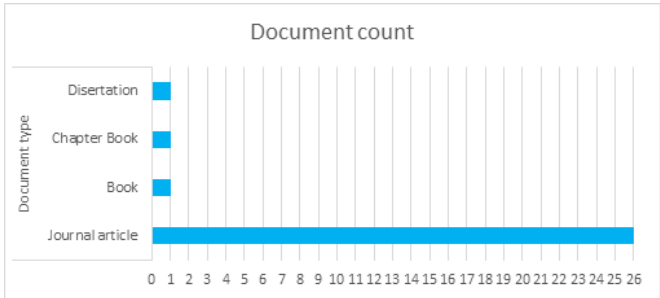


Figura 1. Distribución de publicaciones.

El uso de los SIG en la toma de decisiones ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años. Esto se debe a varios factores, incluyendo:

- El aumento de la disponibilidad de datos geoespaciales.
- El desarrollo de nuevas tecnologías SIG.
- La creciente conciencia de la importancia de la información geoespacial.

Como resultado, el número de publicaciones con respecto a los SIG en la toma de decisiones ha aumentado significativamente. La figura 2 se refleja el comportamiento de las publicaciones por años en la última década evidenciándose un incremento en las publicaciones a partir del año 2020.

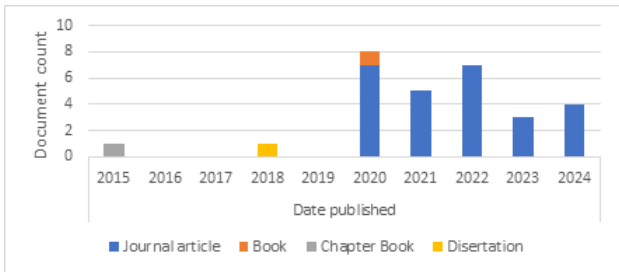


Figura 2. Distribución de publicaciones por años.

Teniendo en cuenta que la mayor parte de los resultados fueron artículos de revistas. En cuanto a las fuentes que han publicado el mayor número de investigaciones se destaca Sustainability de la cual provienen cinco artículos de los encontrados. A continuación, se procedió a identificar los autores más destacados en este campo, pues su trabajo ha moldeado las metodologías y enfoques actuales, impulsando avances en la investigación y la práctica profesional.

De igual forma, se consideraron criterios como el número de publicaciones, así como los trabajos más citados a lo largo del tiempo. La nube de palabras representada en la figura 3, muestra una comparación entre las principales áreas del conocimiento donde se ha demostrado mayor interés por abordar aspectos relevantes sobre el uso de los SIG como apoyo en la toma de decisiones. Entre ellas se destacan:

- 1. Ciencias Medioambientales:** con el aumento de los problemas ambientales, como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, las ciencias medioambientales requieren de herramientas que les ayuden a comprender y mitigar estos desafíos. Los SIG ofrecen un enfoque visual y analítico que es esencial para la toma de decisiones informadas.
- 2. Sistemas de información geográficos:** A medida que la tecnología avanza, la necesidad de especialistas en SIG ha crecido, impulsando su aplicación en múltiples sectores. Esto ha llevado a un interés académico y profesional significativo en la formación y práctica de los SIG.
- 3. Ciencias de la computación:** Con el auge de la inteligencia artificial y el big data, la intersección entre las ciencias de la computación y los SIG se ha vuelto crucial. Esto ha estimulado investigaciones que buscan mejorar la tecnología y el uso de los SIG.
- 4. Geografía:** Los geógrafos utilizan los SIG para representar y analizar fenómenos espaciales, lo que les permite comprender mejores patrones, procesos y relaciones en el espacio geográfico. Esto es vital para la planificación regional y la gestión del territorio.
- 5. Agricultura:** La necesidad de aumentar la productividad y la sostenibilidad en la agricultura ha hecho que los SIG sean esenciales para optimizar el uso de la tierra, el agua y otros recursos, así como para monitorear la salud de los cultivos.

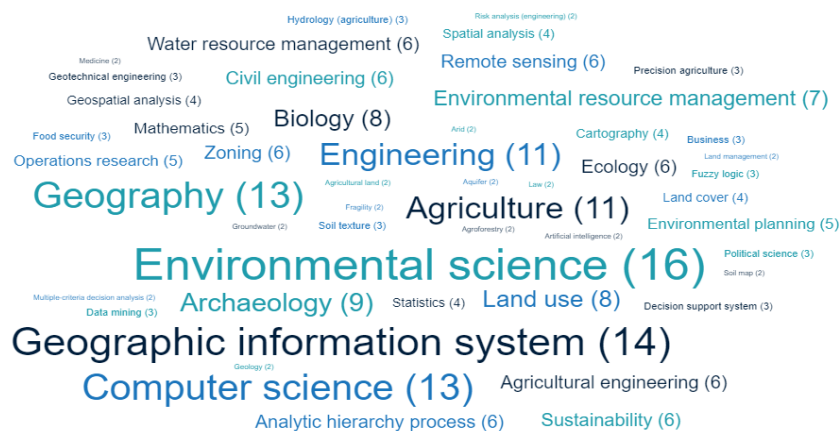


Figura 3. Principales campos de estudio.

La interrelación entre estas áreas del conocimiento y el uso de los SIG refleja una tendencia hacia un enfoque multidisciplinario en la resolución de problemas complejos. A medida que los desafíos globales, como el cambio climático, la urbanización y la gestión de recursos, se vuelven más pronunciados, la capacidad de los SIG para ofrecer análisis precisos y visualizaciones efectivas se vuelve cada vez más crítica en la toma de decisiones informadas. Esto subraya no solo la importancia de los SIG, sino también la necesidad de colaboración entre diversas disciplinas para abordar estos retos de manera integral. De modo, que la colaboración entre instituciones es esencial para avanzar en el campo de los SIG y maximizar su impacto en la sociedad. En la figura 4 se muestran las principales instituciones por sus contribuciones específicas al desarrollo y aplicación de los sistemas de información geográfica.

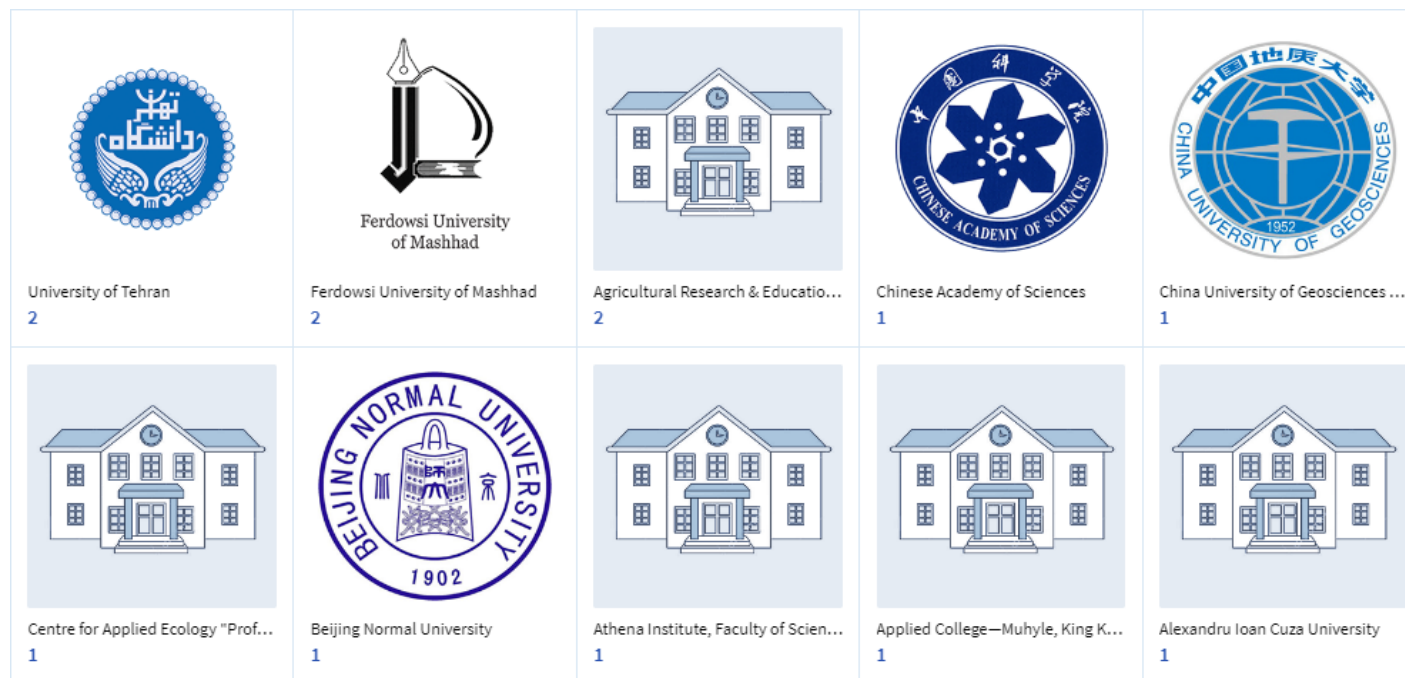


Figura 4. Distribución de publicaciones por instituciones.

El análisis de la distribución de países mostrado en la Figura 5 demuestra el predominio de Irán sobre el resto de los países con seis publicaciones.

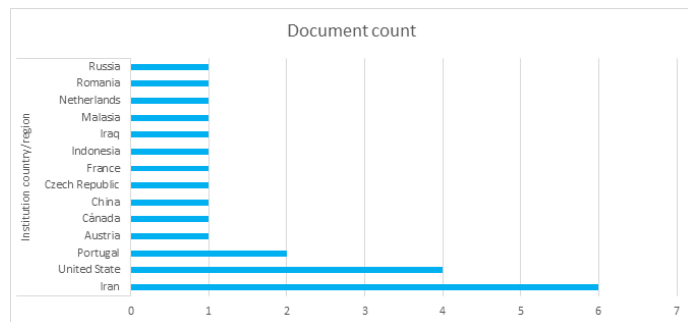


Figura 5. Distribución de publicaciones por países.

La bibliometría es una ciencia útil y sirve como indicador del avance en determinada investigación y procreador de nuevos entendimientos, para determinar los avances y retrocesos de determinada ciencia o estudio. El empleo de la plataforma LENS.org posibilitó el análisis, búsqueda e identificación del corpus de literatura primaria, es decir, las publicaciones en su sentido más amplio, dentro del área de los SIG. Como resultante de las publicaciones analizadas, se determinó que tres constituyen sistematizaciones, siendo las siguientes:

1. Application of GIS in Agriculture in Promoting Evidence-based Decision Making for Improved Agriculture Sustainability: A Systematic Review

El estudio sistematiza la evidencia sobre la aplicación de SIG y RS en la agricultura para mejorar las políticas y prácticas basadas en evidencia y promover la sostenibilidad agrícola, identificando obstáculos, especialmente en países de ingresos bajos y medios; concluyendo que la tecnología SIG ha ganado prominencia en la última década en la agricultura, con un aumento significativo en la publicación de artículos. Se destacan áreas clave de aplicación de SIG, mostrando su potencial para mejorar la sostenibilidad agrícola y promover la toma de decisiones basada en evidencia. Sin embargo, se identificó una brecha en la aplicación de SIG en África subsahariana (Mathenge et al., 2022).

2. A Systematic Review of Geographic Information Systems (GIS) in Agriculture for Evidence-Based Decision Making and Sustainability

El estudio sistematiza información sobre la utilización de los SIG en la agricultura, destacando su papel en la promoción de políticas basadas en evidencias para mejorar la sostenibilidad agrícola. Además, Identifica los desafíos que dificultan la adopción generalizada de estas tecnologías en países de ingresos bajos y medios. El artículo destaca la importancia de incorporar los SIG en políticas agrícolas para promover prácticas sostenibles e inteligentes, fundamentales para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola (Raihan, 2024).

3. Multi-attribute decision making and geographic information systems: potential tools for assessing forest ecosystem services

El artículo sistematiza el estado actual del conocimiento sobre el uso de enfoques de toma de decisiones combinados con tecnologías geoespaciales y los criterios más utilizados para evaluar los servicios de apoyo y culturales en la literatura científica. Se identificó que el método más común utilizado es el análisis jerárquico, combinado con conocimiento espacial, por su eficacia en evaluar posibles alternativas de decisión y respaldar resultados reproducibles (Tahri et al., 2021).

En relación con este tema, otras cuatro investigaciones abarcan el desarrollo de herramientas informáticas para facilitar la toma de decisiones basadas en datos y tecnología geoespacial, lo que contribuye a la sostenibilidad y mejor gestión de los recursos, siendo los siguientes:

1. FARMS: A Geospatial Crop Modeling and Agricultural Water Management System

El estudio se centró en desarrollar una aplicación web a escala global llamada FARMS, basada en un modelado geoespacial de cultivos, para simplificar la utilización del modelo de simulación de cultivos DSSAT, sin necesidad de que los usuarios creen archivos de entrada climática, de tiempo y suelo. Se construyó utilizando tecnologías de Sistemas de Información Geográfica (GIS) de código abierto y DSSAT, permitiendo la gestión adaptativa y la realización de predicciones de rendimiento en temporada para la alfalfa y el maíz. El estudio demostró cómo un modelo complejo como DSSAT se puede convertir en una herramienta de soporte de decisiones basada en la web utilizada para simulaciones casi en tiempo real. El desarrollo de FARMS representa un avance significativo en la simplificación del uso de modelos de simulación de cultivos, facilitando la toma de decisiones agrícolas basadas en datos y tecnología geoespacial, lo que contribuye a la sostenibilidad y mejor gestión de los recursos agrícolas (Kim & Kisekka, 2021).

2. Geographical Information System for Mapping and Analysis of Agricultural Areas in Merauke Regency

El estudio se centra en mapear y analizar el potencial de rendimiento de cultivos en Merauke, Indonesia, utilizando criterios como el uso estructural de la tierra y la intensidad del uso de la tierra. Se empleó la Ponderación Aditiva Simple (SAW) para buscar soluciones óptimas y desarrollar un SIG basado en la web. El SIG web se posiciona como una fuente de referencia para las partes interesadas en la agricultura, ofreciendo una visión general de los potenciales agrícolas y la cantidad de tierras utilizadas, sirviendo como guía para el desarrollo de políticas agrícolas a nivel regional y nacional (Marsujitullah et al., 2021).

3. A Volunteered Geographic Information-Based Environmental Decision Support System for Waste Management and Decision Making

El objetivo del estudio es desarrollar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones ambientales basada en la Información Geográfica Voluntaria (VGI), que permita la participación ciudadana en la generación de datos sobre contaminación por residuos. Además, se busca proporcionar herramientas analíticas adecuadas para la gestión de residuos y la toma de decisiones utilizando la información aportada por los ciudadanos. Se desarrolló un prototipo basado en la web del sistema de apoyo a la toma de decisiones para demostrar la viabilidad práctica, aplicabilidad y funcionalidades del sistema para análisis de decisiones relacionados con la contaminación. Se utilizó un enfoque participativo que involucra a los ciudadanos como observadores voluntarios para recopilar datos en tiempo real sobre la contaminación por residuos. Concluye que el uso de la VGI puede ser una estrategia efectiva para mejorar la participación ciudadana en la vigilancia ambiental y la toma de decisiones relacionadas con la contaminación por residuos. La herramienta desarrollada proporciona una plataforma para la generación de datos en tiempo real y el análisis de decisiones multicriterio para la gestión ambiental sostenible (Sadeghi et al., 2020).

4. An Innovative Decision Support System to Improve Energy Efficiency of Buildings in Urban Areas

El objetivo principal del estudio es desarrollar un sistema innovador de apoyo a la toma de decisiones que combine análisis de criterios múltiples y sistemas de información geográfica para planificar el desarrollo urbano. Se utilizó un sistema de apoyo a la toma de decisiones que integraba análisis de criterios múltiples y sistemas de información geográfica (DGIS) para identificar el potencial de mejora de la eficiencia energética en diferentes áreas de construcción. El sistema DGIS identificó áreas específicas en 53 barrios urbanos de Zielona Gora, una ciudad de tamaño medio, situada en Polonia donde se podría aumentar la eficiencia energética mediante la introducción de edificios de bajo consumo energético y el uso de fuentes de energía renovables lo que permite una toma de decisiones informada para adaptar las ciudades al cambio climático y proteger el medio ambiente (Sztubecka et al., 2020).

Otras investigaciones desarrolladas evalúan determinados aspectos mediante enfoques basados en indicadores múltiples y geoespaciales, lógica difusa y SIG:

1. Multi-Indicator and Geospatial Based Approaches for Assessing Land Quality Variation in Arid Agroecosystems

Cuyo objetivo fue evaluar la variación de la calidad de la tierra en agro ecosistemas áridos mediante enfoques

basados en indicadores múltiples y geoespaciales. Por lo tanto, el análisis de componentes principales (PCA), el análisis de conglomerados jerárquicos (HCA), el proceso analítico jerárquico (AHP), la lógica difusa y el sistema de información geográfica (GIS) se integraron para zonificar y cartografiar la calidad de las tierras agrícolas en una zona desértica árida de la gobernación de Matruh, Egipto. Se emplearon imágenes satelitales, estudios de campo y análisis de suelos para definir dieciocho indicadores de las cualidades del terreno, el suelo y la vegetación, que luego se redujeron mediante PCA a un conjunto mínimo de datos (MDS). El estudio reveló correlaciones positivas entre los índices desarrollados y destacó un índice en particular que logró la mayor discriminación en las calidades de la tierra, siendo altamente sensible a los cambios potenciales. El enfoque propuesto ofrece directrices para la planificación sostenible del uso de la tierra en áreas áridas y podría ser aplicable en regiones similares (Abuzaid et al., 2022) the principal component analysis (PCA).

2. Using a Mamdani Fuzzy Inference System Model (MFISM) to Classify Groundwater Quality in an Agro-Environmental Context: The Case of the Hammamet-Nabeul Aquifer (Tunisia)

El objetivo principal de este estudio es evaluar y clasificar la calidad del agua para riego en el acuífero poco profundo de Hammamet-Nabeul, en Túnez afectado por actividades agrícolas intensivas, utilizando un modelo de sistema de inferencia difusa Mamdani adaptativo para clasificar la calidad del agua subterránea para riego. El modelo se basó en las funciones de pertenencia de la conductividad eléctrica y la relación de absorción de sodio, así como en la función de pertenencia del índice de calidad del agua de riego. Se identificó que la contaminación del acuífero se debe al uso excesivo de agua para riego, fertilizantes químicos y rechazo de aguas residuales parcialmente tratadas. Además, se logró identificar la distribución espacial de la calidad del agua para riego en el área estudiada. El enfoque implementado se considera una herramienta útil para la sostenibilidad y la gestión agroambiental del agua. Los resultados destacan la importancia de abordar las prácticas negativas que afectan la calidad del agua subterránea para garantizar su conservación y un uso sostenible en contextos agrícolas (Hajji et al., 2021).

3. GIS-Based Decision Support System for Safe and Sustainable Construction in a Mountainous Region

El estudio se enfocó en desarrollar una metodología para calcular la selección del sitio seguro de un edificio en la región montañosa de Abha-Khamis Mushyet de Arabia Saudita, considerando criterios ambientales, físicos y socioeconómicos para el crecimiento urbano sostenible. Se utilizó un enfoque de toma de decisiones multicriterio basado en SIG, combinando el método de agregación de combinación lineal ponderada (WLC) y Fuzzy-AHP para

calcular el SSPZ. Se generó un mapa de idoneidad del sitio seguro agregando capas temáticas geofísicas, socioeconómicas y geoambientales. Se identificaron seis clases de sitios seguros para construcción con diferentes niveles de idoneidad. Se encontró que áreas cercanas a zonas habitadas, carreteras principales y servicios educativos y de salud eran más adecuadas, mientras que las zonas inadecuadas y menos adecuadas cubrían una parte significativa del área de estudio. La integración de la recolección difusa con el AHP se mostró altamente efectiva en la toma de decisiones y la evaluación de alternativas. El uso de técnicas de AHP difuso y SIG puede contribuir a la conservación del medio ambiente y mitigar los efectos adversos sobre el ecosistema y el clima en la región montañosa estudiada (Mallick et al., 2022).

4. The Role of Geographic Information Systems (GIS) in Soil Study and Classification

La investigación valora el uso de los SIG en el ámbito agrícola para estudiar y clasificar suelos, aprovechando observaciones de la cubierta vegetal, características físicas y químicas del suelo. Se empleó tecnología SIG, imágenes satelitales, datos de teledetección y simulación de datos con modelos matemáticos para ampliar estudios de suelos, predecir características futuras y acceder a zonas remotas (Saleh et al., 2023).

5. Multi criteria decision analysis to determine the suitability of agricultural crops for land consolidation áreas

El objetivo es seleccionar cultivos adecuados considerando aspectos químicos, físicos, medioambientales, económicos y sociales, especialmente después de proyectos de concentración parcelaria para lograr una gestión sostenible y eficaz de la tierra.. Se integran técnicas como el Proceso Jerárquico Analítico (AHP) y la Técnica para la Preferencia de la Solución Ideal por Similitud (TOPSIS) con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para determinar los cultivos más adecuados. Se generan mapas de idoneidad para trigo, trébol, remolacha azucarera y maíz, considerando diversos criterios químicos, físicos, topológicos y socioeconómicos (Sari & Koyuncu, 2021).

Dentro de este marco, la zonificación de la fragilidad ambiental y la calidad de la tierra es un tema recurrente. Los artículos mencionados a continuación destacan la importancia de crear mapas que identifiquen áreas vulnerables y que faciliten la implementación de prácticas de gestión adecuadas.

1. AHP approach applied to multi-criteria decisions in environmental fragility mapping

El objetivo de la investigación fue utilizar el método AHP como herramienta para la toma de decisiones multicriterio aplicada al mapeo de fragilidad ambiental en una cuenca hidrográfica en Brasil. Se combinaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica y métodos

matemáticos para lograr evaluaciones empíricas consistentes. El estudio demostró que el uso del método AHP permitió modelar evaluaciones empíricas de manera consistente, reduciendo la subjetividad en la planificación ambiental y territorial. Además, se resaltó la utilidad del AHP en la gestión de áreas prioritarias para la conservación, preservación o restauración ecológica (Cavalcante et al., 2020).

2. Tool for the establishment of agro-management zones using gis techniques for precision farming in Egypt

El objetivo principal es delimitar zonas de gestión para la fertilización a tasa variable (VRF) con el fin de mejorar la sostenibilidad de proyectos agrícolas egipcios, utilizando datos del suelo y un mapa de productividad del cultivo. Se utilizó la evaluación multicriterio espacial (SMCE) para muestrear el área de estudio en clases similares y unidades más pequeñas, considerando datos como textura del suelo, tipo de suelo, elevación del paisaje y pendiente. Las zonas de gestión finalmente identificadas representan diferentes nutrientes que podrían agregarse a diferentes zonas de pivote, lo que es crucial para la sostenibilidad ambiental y la reducción de impactos territoriales. El estudio proporciona una herramienta valiosa para el establecimiento de zonas de gestión agrícola en Egipto, utilizando técnicas SIG y enfocándose en la sostenibilidad y la eficiencia de los proyectos agrícolas en la región (Elsharkawy et al., 2022).

3. Environmental fragility zoning using gis and ahp modeling: perspectives for the conservation of natural ecosystems in Brazil

El estudio busca identificar áreas prioritarias para conservación o uso en Brasil, evaluando la fragilidad de la tierra desde perspectivas ambientales y espaciales. Se aplican conceptos de fragilidad ambiental en una cuenca hidrográfica en el sureste de Brasil. Se integra el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y la Combinación Lineal Ponderada (WLC) en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para evaluar niveles de fragilidad potencial y emergente en la cuenca. Se consideran parámetros como pendiente, clases de suelo, dominios geológicos, jerarquía de drenaje y uso de la tierra. El estudio introduce prácticas de conservación para el manejo del suelo según las categorías de fragilidad ambiental establecidas. La metodología es replicable en otras regiones globales, ofreciendo una zonificación territorial y ambiental de bajo costo adaptable a la planificación del uso del suelo (Cavalcante et al., 2022).

4. Assessment of recharge capacity potential of groundwater through comparative multicriteria decision analysis approaches

El estudio se centra en identificar áreas con mayor potencial de reposición de aguas subterráneas para un uso sostenible en los acuíferos de la región de la llanura de

Moldavia, Rumania. Se utilizó el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y la Teoría de Catástrofes (CT) para crear mapas con siete capas temáticas espaciales relevantes. Estas capas incluyeron datos como distribución de precipitación, estratos litológicos, textura del suelo, declive, densidad de drenaje, uso de la tierra y distribución de tendencias del nivel del agua subterránea. El estudio destaca la necesidad de soluciones sostenibles para la gestión de aguas subterráneas y la importancia de identificar áreas con alto potencial de recarga para garantizar un uso sostenible de los recursos hídricos en la región estudiada (Minea et al., 2022).

Por consiguiente, se observa un enfoque común en la integración de datos de diferentes fuentes, como imágenes satelitales y estudios de campo, para mejorar la precisión de los análisis. La combinación de técnicas de teledetección con SIG permite una evaluación más completa de las condiciones del suelo y la vegetación, lo que es crucial para la planificación sostenible. Los artículos antes expuestos abordan los desafíos que enfrentan los agroecosistemas, especialmente en regiones áridas y semiáridas, donde la degradación del suelo y la escasez de recursos son preocupaciones importantes. Se proponen soluciones basadas en la ciencia de datos y la gestión informada para mitigar estos problemas y promover la sostenibilidad.

CONCLUSIONES

Los artículos revisados analizan la aplicación de SIG como herramienta fundamental para la evaluación y gestión de recursos naturales, especialmente en contextos de sostenibilidad. Se enfatiza en su capacidad para recopilar, analizar y visualizar datos geoespaciales, lo que ha permitido una mejor toma de decisiones en la planificación del uso de la tierra. La mayoría de las investigaciones utilizan enfoques multicriterios, como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y el Análisis de Componentes Principales (PCA), para evaluar la calidad de la tierra y otros recursos. Estos métodos permiten reducir la complejidad de los datos y priorizar indicadores clave que afectan la sostenibilidad de los agroecosistemas.

El estudio realizado evidencia que el uso de inteligencia artificial está transformando la manera en que se utilizan los SIG. Estas innovaciones están mejorando la precisión y la eficiencia de los análisis, lo que abre nuevas oportunidades para su aplicación en problemas complejos. Se observa que la colaboración entre diferentes disciplinas es fundamental para el éxito de los proyectos que utilizan SIG; es decir, la integración de conocimientos de áreas como la geografía, la informática y las ciencias medioambientales enriquecen los enfoques analíticos y se promueven soluciones más integrales.

El futuro de los SIG está ligado a su capacidad para adaptarse a nuevos desafíos, como el cambio climático y la urbanización acelerada. Estas investigaciones son esenciales para desarrollar metodologías que respondan a estos problemas emergentes. Del análisis realizado se pueden extraer todo el material necesario para futuras investigaciones, teniendo en cuenta los autores más prolíferos y las revistas más destacadas en este ámbito. Así como los artículos más actuales para el desarrollo de investigaciones en estas ramas. A medida que la tecnología avanza y se resuelven los desafíos actuales, los SIG seguirán siendo herramientas clave para la planificación, gestión y toma de decisiones en un mundo cada vez más complejo y dinámico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abuzaid, A. S., Mazrou, Y. S. A., El Baroudy, A. A., Ding, Z., & Shokr, M. S. (2022). Multi-Indicator and Geospatial Based Approaches for Assessing Variation of Land Quality in Arid Agroecosystems. *Sustainability*, *14*(10), 5840–5840. <https://doi.org/10.3390/su14105840>
- Bagheri, N., Rajabipour, A., & Sabzevari, A. (2023). Zoning Suitable Land for the Cultivation of Rice, Wheat, and Barley by Integration of Artificial Intelligent Methods and Spatial Data. *Agricultural Research*, *13*(2), 243–252. <https://doi.org/10.1007/s40003-023-00686-3>
- Bazkiaee, P. A., Kamkar, B., Amiri, E., Kazemi, H., Rezaei, M., & Araj, H. A. (2024). Multi-criteria GIS-based land suitability analysis for rice cultivation: A case study in Guilan Province, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, *196*(7), 680. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12811-y>
- Cavalcante de Jesus França, L., Lopes, L. F., Santos de Morais, M., Dos Santos Lisboa, G., Silva Soares da Rocha, S., Toledo Machado de Morais Junior, V., Campos Santana, R., & Piuzana Mucida, D. P. (2022). Environmental Fragility Zoning Using GIS and AHP Modeling: Perspectives for the Conservation of Natural Ecosystems in Brazil. *Conservation*, *2*(2), 349–366. <https://doi.org/10.3390/conservation2020024>
- Cavalcante de Jesus França, L., Piuzana Mucida, D., Campos Santana, R., Santos de Morais, M., Rezende Gomide, L., & De Menezes Bateira, C. (2020). AHP approach applied to multi-criteria decisions in environmental fragility mapping. *FLORESTA*, *50*(3), 1623–1632. <https://doi.org/10.5380/rf.v50i3.65146>

- Dantas Rezende, M., Santos da Rosa, C., Palandi Cardoso, R., Da Motta Reis, J.S., & de Souza Sampaio, N.A. (2023). Statistics as a tool for decision making in agricultural and environmental experiments. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, 14(4), 5204–5217. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i4.1978>
- Elsharkawy, M. M., Sheta, A. E. A. S., D'Antonio, P., Abdelwahed, M. S., & Scopa, A. (2022). Tool for the Establishment of Agro-Management Zones Using GIS Techniques for Precision Farming in Egypt. *Sustainability*, 14(9), 5437–5437. <https://doi.org/10.3390/su14095437>
- Hajji, S., Yahyaoui, N., Bousnina, S., Brahim, F. B., Allouche, N., Faiedh, H., Bouri, S., Hachicha, W., & Aljuaid, A. M. (2021). Using a Mamdani Fuzzy Inference System Model (MFISM) for Ranking Groundwater Quality in an Agri-Environmental Context: Case of the Hammamet-Nabeul Shallow Aquifer (Tunisia). *Water*, 13(18), 2507. <https://doi.org/10.3390/w13182507>
- Kim, J. S., & Kisekka, I. (2021). FARMS: A Geospatial Crop Modeling and Agricultural Water Management System. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8), 553. <https://doi.org/10.3390/ijgi10080553>
- Kurowska, K., Marks-Bielska, R., Bielski, S., Aleknavičius, A., & Kowalczyk, C. (2020). Geographic Information Systems and the Sustainable Development of Rural Areas. *Land*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/land10010006>
- Mallick, J., Ibnatiq, A. A., Kahla, N. B., Alqadhi, S., Singh, V. P., Hoa, P. V., Hang, H. T., Hong, N. V., & Le, H. A. (2022). GIS-Based Decision Support System for Safe and Sustainable Building Construction Site in a Mountainous Region. *Sustainability*, 14(2), 888–888. <https://doi.org/10.3390/su14020888>
- Marsujitullah, M., Fransiskus, X. M., Adrianto Darsono, T., & Latif, A. (2021). Geographical Information System for Mapping and Analysis of Agricultural Areas in Merauke Regency. *E3S Web of Conferences*, 328, 3004–03004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132803004>
- Mathenge, M., Sonneveld, B. G. J. S., & Broerse, J. E. W. (2022). Application of GIS in Agriculture in Promoting Evidence-Informed Decision Making for Improving Agriculture Sustainability: A Systematic Review. *Sustainability*, 14(16), 9974–9974. <https://doi.org/10.3390/su14169974>
- Minea, I., Boicu, D., Chelariu, O.-E., Iosub, M., & Enea, A. (2022). Assessment of recharge capacity potential of groundwater using comparative multi-criteria decision analysis approaches. *Journal of Geographical Sciences*, 32(4), 735–756. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1970-0>
- Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., & Akbari, M. (2020). GIS-based agro-ecological zoning for crop suitability using fuzzy inference system in semi-arid regions. *Ecological Indicators*, 117, 106646. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106646>
- Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., & Akbari, M. (2022). An integrated approach land suitability for agroecological zoning based on fuzzy inference system and GIS. *Environment, Development and Sustainability*, 25(3), 2316–2338. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02127-7>
- Petrov, Y., Istomin, E., Stepanov, S., Sidorenko, A., & Vagizov, M. (2020). Development of a conceptual GIS model to support management decision making. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 574(1), 012062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/574/1/012062>
- Raihan, A. (2024). A Systematic Review of Geographic Information Systems (GIS) in Agriculture for Evidence-Based Decision Making and Sustainability. *Global Sustainability Research*, 3(1), 1–24. <https://doi.org/10.56556/gssr.v3i1.636>
- Rangzan, K., Kabolizadeh, M., Zaheri Abdehvand, Z., Karimi, D., Jafarnejadi, A., & Mokarram, M. (2024). Optimized Land Suitability Mapping for Wheat Cultivation by Integrating Fuzzy Hierarchical Analysis and Satellite Images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 52(5), 1135–1151. <https://doi.org/10.1007/s12524-024-01863-9>
- Sadeghi-Niaraki, A., Jelokhani-Niaraki, M., & Choi, S.M. (2020). A Volunteered Geographic Information-Based Environmental Decision Support System for Waste Management and Decision Making. *Sustainability*, 12(15), 6012. <https://doi.org/10.3390/su12156012>
- Saleh, T. M., Jubeir, A. R., & Al-Tememe, M. S. (2023). The Role of Geographic Information Systems (GIS) in Soil Surveying and Classification. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1158(2), 022028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/2/022028>
- Sari, F., & Koyuncu, F. (2021). Multi criteria decision analysis to determine the suitability of agricultural crops for land consolidation areas. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 64–73. <https://doi.org/10.26833/ijeg.683754>
- Sztubecka, M., Skiba, M., Mrówczyńska, M., & Bazan-Krzywoszańska, A. (2020). An Innovative Decision Support System to Improve the Energy Efficiency of Buildings in Urban Areas. *Remote Sensing*, 12(2), 259. <https://doi.org/10.3390/rs12020259>

Tahri, M., Kaspar, J., Vacik, H., & Marusak, R. (2021). Multi-attribute decision making and geographic information systems: Potential tools for evaluating forest ecosystem services. *Annals of Forest Science*, 78(2). <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01049-0>

Машин, В. В., Сергеев, А. Н., Мартынова, Н. Н., Галиуллина, А. Н., Якин, О. Г., Грошева, А. Ю., Глотова, Т. И., Катаева, В. В., & Загидуллин, Н. В. (2024). Geoinformation system integration and methods of multicriteria decision analysis for assessment of land suitability for agricultural use. *Химико-фармацевтический журнал*, 57(12), 38–42. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2023-57-12-38-42>