

Dando prioridad al mantenimiento de segmentos de canales agrícolas con el Proceso Analítico Jerárquico

Daniel B. Aviles^{1,*}, Andrés S. Gonzales¹

¹Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia

*da.aviles@umss.edu

Resumen

Mantener los canales de drenaje agrícola en buen estado es vital para mantener la capacidad de producción de alimentos. Dado que muchos factores, como la erosión del suelo y el movimiento en masa, afectan las capacidades de funcionamiento de los canales de drenaje agrícolas, es necesario realizar un mantenimiento periódico. Decidir dónde se debe priorizar el trabajo de mantenimiento es una tarea desafiante. En este estudio, se utiliza el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para decidir dónde se debe enfocar el trabajo de mantenimiento. Los criterios considerados en el modelo AHP fueron: susceptibilidad a la erosión del suelo mediante el esfuerzo cortante crítico para la erosión, evidencias visuales de movimiento en masa, presencia/ausencia de depósitos de suelo en el canal principal y presencia/ausencia de vegetación establecida en los bancos del canal. El método se utilizó en un canal de drenaje agrícola previamente estudiado, donde los segmentos que necesitaban mantenimiento ya habían sido identificados mediante inspección visual respaldada por análisis de suelo de laboratorio. Los resultados muestran que el modelo AHP pudo proporcionar una clasificación de prioridad para los segmentos de canal que efectivamente necesitaban mantenimiento. El modelo AHP propuesto ofrece una forma consistente, adaptable y replicable de priorizar costosos trabajos de mantenimiento en segmentos de canales de drenaje agrícola.

Palabras clave: *Mantenimiento de canales de drenaje, Evaluación del estado funcional de canales, Erosión de suelos, Proceso Analítico Jerárquico.*

Abstract

Keeping agricultural drainage ditches properly functional is vital for maintaining food production capacity. Given that many factors, such as soil erosion and mass movement, affect the functioning capabilities of agricultural drainage ditches, they need to be periodically maintained. Deciding where maintenance work needs to be prioritized is a challenging task. Here, the Analytical Hierarchy Process (AHP) is used to decide where maintenance work should be focused. The criteria considered in the AHP model were: Soil erosion susceptibility by means of the critical shear stress for erosion, mass movement manifestations, presence/absence of soil deposits in the main channel and presence/absence of established vegetation in the channel banks. The method was used in a previously surveyed agricultural drainage ditch, where segments in need of maintenance were already identified by visual inspection backed with laboratory soil analysis. Results show that the AHP model was able to provide a priority ranking for the ditch segments in need of maintenance. The proposed AHP model provides a consistent, adaptable, and replicable way to prioritize costly maintenance works in agricultural drainage ditch segments.

Key words: *Ditch maintenance, Ditch functional status evaluation, Soil erosion, Analytical Hierarchy Process.*

1. Introducción

Las tierras agrícolas y los agricultores que trabajan en ellas tienen la tarea fundamental de garantizar la producción de alimentos para la humanidad. La calidad

de los cultivos puede depender en gran medida del adecuado manejo del drenaje. El manejo del drenaje incluye la importante tarea de mantener los canales de drenaje, para asegurar su adecuado funcionamiento. Además de asegurar la calidad de los cultivos,

cuando se mantienen adecuadamente, los canales de drenaje agrícolas pueden proporcionar servicios ecosistémicos, como recarga de aguas subterráneas, atenuación de inundaciones, purificación del agua y conservación de la biodiversidad (Needelman et al., 2007). Dado que los canales de drenaje agrícolas se degradarán con el tiempo debido a la acción de múltiples factores, como el agua (ya sea en forma de lluvia o flujo en el canal), que puede provocar procesos de erosión del suelo; movimientos en masa de las paredes laterales, que alterarán la geometría del canal (cambiando así sus propiedades hidráulicas); vegetación, dentro del canal o en los bordes del mismo (lo cual puede reducir su capacidad para transportar agua); entre otros, es necesario mantener los canales para restaurar o mejorar su función.

El mantenimiento de los canales de drenaje es costoso. Se estima que en Minnesota se gastan hasta 12 millones de dólares al año en el mantenimiento y limpieza de canales de drenaje (Magner et al., 2010). Dado el alto costo de los trabajos de mantenimiento, se han propuesto procedimientos como el Minnesota Agricultural Ditch Reach Assessment For Stability (MADRAS), que es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, para ayudar a identificar los segmentos de canales que requieren trabajos de mantenimiento (Aviles, Wesström y Joel, 2018; Joel, Wesström y Messing, 2015; Magner et al., 2010).

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es una valiosa herramienta de apoyo para la toma de decisiones. A través de la generación de una estructura jerárquica, el AHP incluye un objetivo principal, varios criterios y subcriterios para evaluar dicho objetivo, y un conjunto de alternativas que se evalúan en función de los criterios y subcriterios (Saaty, 2008). Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en diversas áreas de toma de decisiones. Por ejemplo, se ha empleado en la delimitación de zonas potenciales de recarga de aguas subterráneas (Arshad et al., 2020), la determinación de zonas potenciales de aprovechamiento de aguas subterráneas (Ghosh et al., 2023), la delimitación de áreas sensibles a la desertificación (Kacem et al., 2021), la zonificación del potencial de erosión (Kabobah et al., 2021), la optimización de la cantidad de riego y la tasa de fertilización en cultivos (Wang et al., 2021), la evaluación del impacto de la sequía en el agua subterránea (Masroor et al., 2021), la evaluación de índices de calidad del agua (Mishra et al., 2022), la determinación de políticas de conservación de tierras (Setiawan et al., 2022), la zonificación del riesgo de

inundaciones (Dung et al., 2022; Parsian et al., 2021), la zonificación de la vulnerabilidad a la degradación de tierras (Tolche et al., 2022), la zonificación del uso potencial de la tierra para pastoreo, forestería y agricultura (Topuz, M y Deniz, M, 2023), y la zonificación de tierras para el desarrollo sostenible de la agricultura (Kumar et al., 2021), entre otros. Una fortaleza importante del AHP es la posibilidad de agregar/eliminar criterios en la jerarquía para adaptarse a las particularidades de los sitios de estudio.

Este trabajo se basa en los criterios empleados por MADRAS y presenta un modelo de decisión que utiliza el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como una herramienta alternativa para respaldar la toma de decisiones en cuanto a la priorización de las necesidades de mantenimiento en segmentos de canales de drenaje agrícolas. El objetivo del trabajo es implementar el AHP, como procedimiento sólido y estructurado, para evaluar y asignar de manera eficiente los recursos de mantenimiento a los segmentos de canales que requieren mayor atención.

2. Materiales y métodos

2.1 El Análisis Jerárquico de Procesos (AHP)

El AHP requiere la definición de un objetivo, un conjunto de criterios, (opcionalmente) subcriterios y un grupo de alternativas. Estos se organizan en un árbol jerárquico, con el objetivo en la parte superior, seguido de los criterios y subcriterios en el medio, y las alternativas en la parte inferior. El objetivo, por lo tanto, es priorizar las necesidades de mantenimiento de los segmentos de los canales de drenaje. Los criterios utilizados para tomar la decisión se basaron en los criterios utilizados en MADRAS (Aviles et al., 2018; Joel et al., 2015; Magner et al., 2010) y son: i) Movimientos en masa observados/no observados, ii) presencia/ausencia de depósitos de suelo en el canal principal, iii) presencia/ausencia de vegetación en el canal principal, iv) presencia/ausencia de vegetación en las paredes laterales del canal y v) esfuerzo cortante hidráulico por encima/por debajo del esfuerzo cortante crítico para la erosión. Las alternativas son cada uno de los segmentos de zanjas que se van a evaluar.

Con el árbol de decisión jerárquica establecido, el siguiente paso es construir una matriz de comparación de pares entre los criterios propuestos para establecer los pesos de importancia relativa entre ellos. Esta comparación se realiza utilizando una escala, llamada escala fundamental, que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1
La escala fundamental del AHP

Intensidad de la importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos criterios contribuyen igualmente al objetivo
2	Débil	
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente un criterio sobre otro.
4	Moderada +	
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente un criterio sobre otro.
6	Fuerte +	
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Un criterio es fuertemente favorecido y su dominio se demuestra en la práctica.
8	Muy, muy fuerte	
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece un criterio sobre otro es del más alto orden de afirmación

Fuente: Saaty y Vargas (2013)

Las comparaciones de pares obtenidos utilizando la escala fundamental, se utilizan para construir la matriz de comparación, como se muestra en la Figura 1, donde cada fila y columna representan los criterios comparados entre sí. Un aspecto importante de la matriz de comparación es que, si el criterio i tiene un valor asignado según la escala fundamental al compararlo con el criterio j , entonces j tiene el valor recíproco al compararlo con i . Es decir, si se compara el criterio i (C_i) con el criterio j (C_j) y se asigna un valor $w_{i,j} = a$, según la escala fundamental, entonces la comparación de C_j con C_i dará como resultado el recíproco $w_{j,i} = 1/a$ (Saaty, 2008).

$$\begin{matrix}
 & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_n \\
 \begin{pmatrix}
 1 & w_{1,2} & w_{1,3} & \dots & w_{1,n} \\
 w_{2,1} & 1 & w_{2,3} & \dots & w_{2,n} \\
 w_{3,1} & w_{3,2} & 1 & \dots & w_{3,n} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 w_{n,1} & w_{n,2} & w_{n,3} & \dots & 1
 \end{pmatrix} & C_1 \\
 & C_2 \\
 & C_3 \\
 & \dots \\
 & C_n
 \end{matrix}$$

Figura 2. Matriz de comparaciones de pares. Los $w_{i,j}$ son los valores asignados según la escala fundamental de tal manera que si $w_{i,j} = a$, entonces $w_{j,i} = 1/a$ (Saaty, 2008).

Una vez completada la matriz de comparaciones de pares, los pesos relativos pueden obtenerse de forma exacta elevando la matriz a potencias grandes y luego sumando cada fila; estas sumas se dividen luego por la suma total de todas las filas. Un procedimiento aproximado consiste en sumar cada fila de la matriz y dividir por la suma total de todas las filas (Saaty 2001, 2008). Una vez obtenidos los pesos para cada criterio, se asigna a cada alternativa una puntuación según la escala de cada criterio. Luego se realiza una suma ponderada para obtener una puntuación total que permite clasificar las alternativas. Esta clasificación establece la prioridad para el mantenimiento, donde una puntuación más alta significa una mayor prioridad para el mantenimiento.

2.2. Sitio de estudio

Para probar el modelo AHP propuesto, se evaluó un canal de drenaje ubicado en Ultuna, una región de Uppsala, Suecia. Este canal de drenaje de seis kilómetros de longitud fue evaluado previamente utilizando MADRAS (Aviles Ribera 2020; Aviles et al. 2018; Joel et al. 2015), donde se evaluaron seis segmentos. El canal de drenaje se muestra en la Figura 2.

Según MADRAS, se asigna una puntuación entre 0 y 30 para cada segmento. Cuanto mayor sea la puntuación, más degradado estará el segmento de la zanja. MADRAS se utilizó considerando tres criterios (estabilidad de las banquetas, ensanchamiento excesivo/desgaste de las banquetas y deposición de sedimentos)

(Aviles et al., 2018; Joel et al., 2015). Los puntajes totales de MADRAS se muestran en la Tabla 2. Los puntajes de MADRAS establecen que los segmentos D y E están muy degradados y, por lo tanto, deben tener prioridad en el mantenimiento. El segmento C sería el siguiente en prioridad.

Tabla 2

Valoraciones obtenidas con MADRAS en la escala de 0 a 30. Valores grandes representan segmentos degradados

Criterio	Segmento					
	A	B	C	D	E	F
Estabilidad de las banquetas	0	5	5	10	10	*
Ensanchamiento excesivo/desgaste de las banquetas	3	3	10	10	10	*
Deposición de sedimentos	0	0	3	10	10	*
Total	3	8	18	30	30	*

* El segmento estaba extremadamente degradado y no se pudo realizar la evaluación.

Fuente: Aviles et al. (2018); Joel et al. (2015)

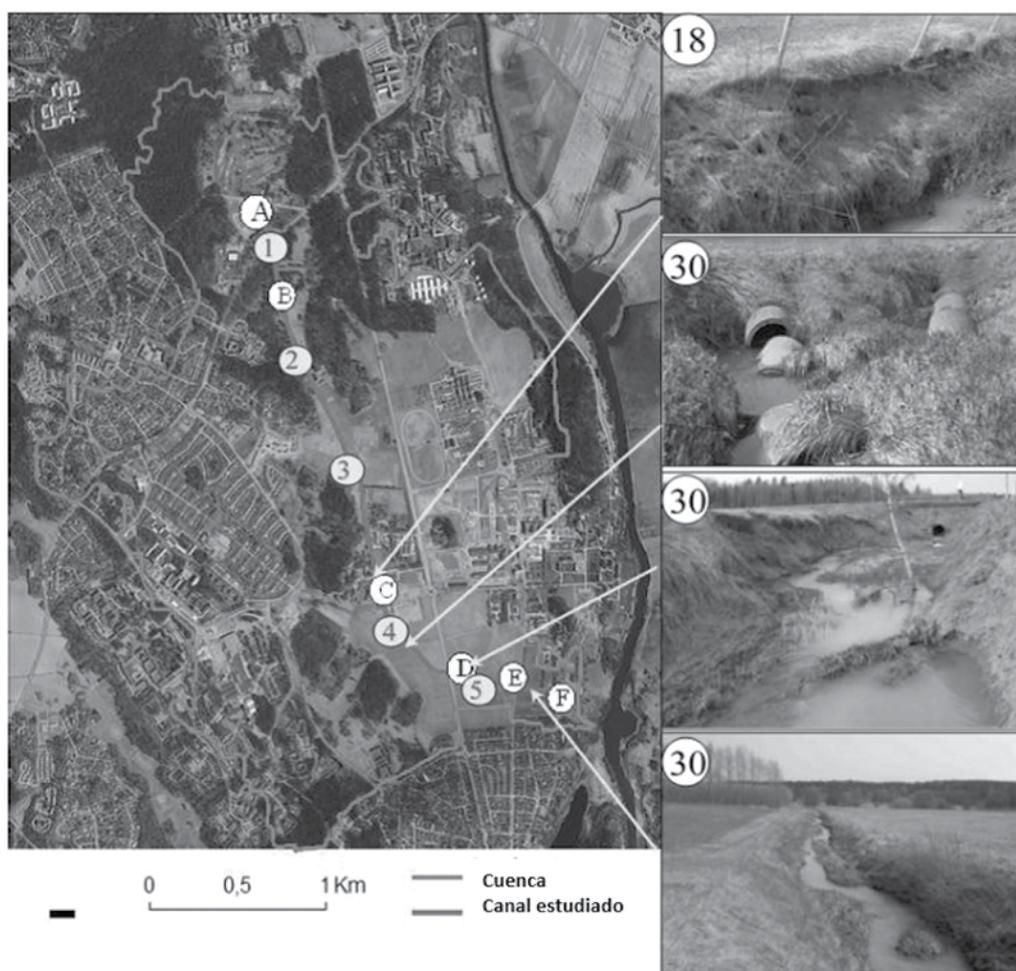


Figura 2. Canal de drenaje evaluado en Ultuna, Uppsala – Suecia. Las letras representan los segmentos del canal que fueron evaluados. Los números en círculos representan la valoración obtenida con MADRAS. Fuente: Aviles (2020); Aviles et al. (2018) y Joel et al. (2015).

3. Resultados y discusión

El primer paso fue construir el árbol de decisión jerárquico, tomando en cuenta los criterios propuestos

por MADRAS y dos criterios adicionales. El árbol de decisión resultante se muestra en la Figura 3.

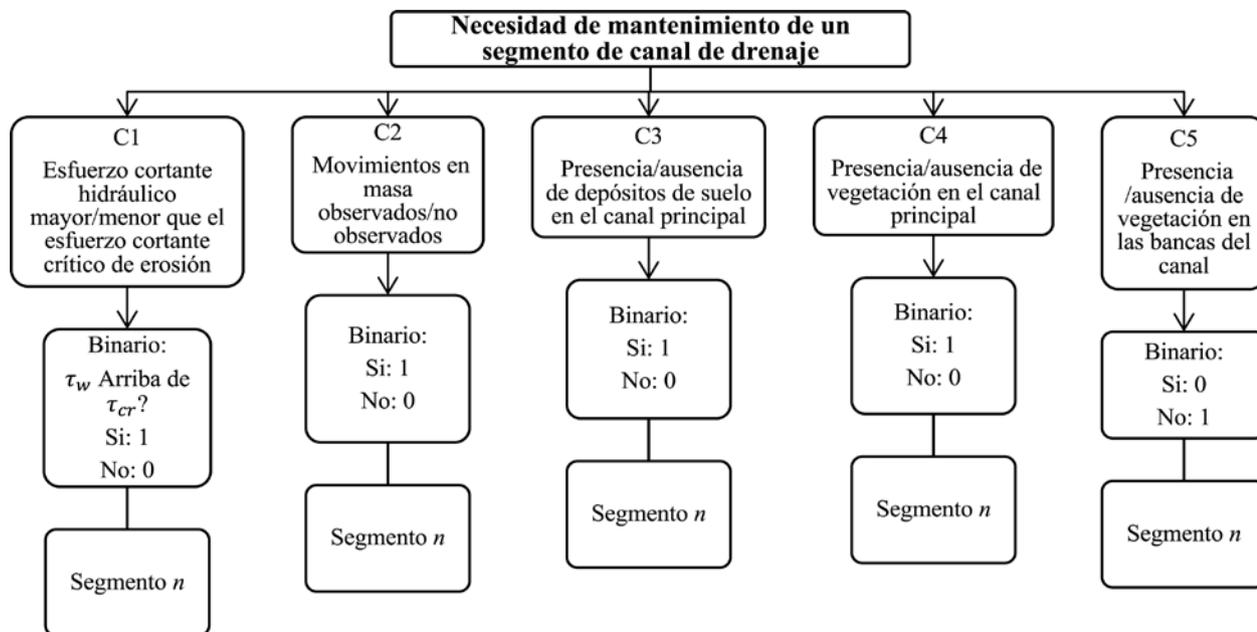


Figura 3. Árbol de decisión jerárquico para priorizar las necesidades de mantenimiento de los segmentos de un canal de drenaje. La escala de puntuación para cada criterio se incluye en el segundo nivel de la jerarquía.

El siguiente paso es establecer las puntuaciones para cada criterio. En el segundo nivel de la Figura 3 se muestra la escala de puntuación para cada criterio. Se eligió una escala binaria simple, donde cada alternativa se evalúa en términos de preguntas del tipo sí/no.

Una vez establecidas las escalas de puntuación establecidas, el siguiente paso consistió en realizar comparaciones directas entre los criterios para obtener sus respectivos pesos. En este proceso se contó con la ayuda de cuatro expertos en el campo pertenecientes a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Simón (Cochabamba, Bolivia) y a la Universidad de Ciencias Agrícolas (Uppsala, Suecia). Para construir la matriz existen dos posibilidades: i) Cada experto genera una matriz individual para luego, en un paso posterior, consolidar las distintas opiniones en una sola matriz asignando, para este fin, pesos a la opinión de cada experto o tomando promedios a los valores asignados individualmente y ii) cada valor de la matriz es seleccionado considerando la opinión de todos los expertos, de tal manera que se genera una sola matriz. En este trabajo, se siguió el segundo camino y una única matriz fue generada. La matriz de comparación resultante se muestra en la Figura 4.

C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	
1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	3	C_1
5	1	1	3	5	C_2
3	1	1	1	3	C_3
2	$\frac{1}{3}$	1	1	3	C_4
$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1	C_5

Figura 4. Matriz de comparaciones de a pares.

A partir de la matriz de comparaciones resultante, se obtiene el vector de pesos. Los resultados se muestran en la Tabla 3. Los pesos obtenidos consideran los movimientos de masa observados/no observados como el criterio más importante, por lo tanto, se clasifica en posición 1 de la jerarquía, con un peso final de 0.391 (39.1%). La presencia/ausencia de depósitos de suelo en el canal principal se clasifica en posición 2, con un peso final de 0.256 (25.6%). Es importante recordar que estos pesos reflejan lo que se consideró más importante para este caso de estudio.

Tabla 3
Vector de prioridades y posiciones para cada criterio

Código	Criterio	Peso	Posición
C1:	Esfuerzo cortante hidráulico mayor/menor que el esfuerzo cortante crítico de erosión.	10.5%	4
C2:	Movimientos en masa observados/no observados.	39.1%	1
C3:	Presencia/ausencia de depósitos de suelo en el canal principal.	25.6%	2
C4:	Presencia/ausencia de vegetación en el canal principal.	18.6%	3
C5:	Presencia /ausencia de vegetación en las bancas del canal	6.2%	5

Con los pesos obtenidos, a cada segmento se le asigna una puntuación para cada criterio según la escala de cada criterio. Cada una de estas puntuaciones se multiplica luego por el peso correspondiente a cada criterio para obtener la puntuación final del AHP. Las puntuaciones, finalmente, permiten construir un ranking de los segmentos según su necesidad de

mantenimiento. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Los resultados muestran que el segmento D y E están primero en el orden de prioridad para trabajos de mantenimiento, seguido por el segmento C, B y A. Los resultados son comparables a los obtenidos con MADRAS.

Tabla 4
Las valoraciones dadas a cada segmento para cada criterio, la puntuación AHP final y la prioridad asignada. Prioridad 1 es dada al segmento que está primero en prioridad

Sección	C1	C2	C3	C4	C5	Puntuación AHP	Prioridad
A	1	0	0	0	0	0.105	5
B	0	1	0	0	0	0.391	4
C	0	1	1	0	0	0.647	3
D	1	1	1	1	0	0.938	2
E	1	1	1	1	1	1	1
F	*	*	*	*	*	*	

* El segmento estaba extremadamente degradado y no se pudo realizar la evaluación

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos mediante AHP fueron comparables a los resultados de MADRAS, que es la única metodología aplicada al caso específico de evaluar el estado funcional de canales de drenaje. La ventaja del AHP sobre el MADRAS, es que en el AHP es posible eliminar o añadir criterios al árbol de decisiones según las condiciones de un estudio particular, como se hizo en el presente caso al agregar criterios, no considerados originalmente por MADRAS, como son la susceptibilidad a la erosión del suelo, la distinción entre la vegetación en

el canal principal (impacto negativo) y la vegetación en las bancas del canal (impacto positivo) como dos criterios separados. Además, las escalas utilizadas por AHP para cada criterio, en este caso de estudio todas binarias, pueden ser actualizadas y mejoradas a medida que se disponga de más información. Finalmente, los pesos obtenidos mediante las comparaciones de pares pueden ser actualizados o modificados una vez que se disponga de más conocimiento sobre la contribución de los diferentes criterios a la necesidad de mantenimiento, o cuando otro grupo de expertos esté a cargo de la evaluación.

5. Referencias bibliográficas

- Arshad, Arfan, Zhijie Zhang, Wanchang Zhang, and Adil Dilawar. (2020). "Mapping Favorable Groundwater Potential Recharge Zones Using a GIS-Based Analytical Hierarchical Process and Probability Frequency Ratio Model: A Case Study from an Agro-Urban Region of Pakistan." *Geoscience Frontiers* 11(5):1805–19. doi: 10.1016/j.gsf.2019.12.013.
- Aviles, Daniel, Ingrid Wesström, and Abraham Joel. (2018). "Status Assessment of Agricultural Drainage Ditches." *Transactions of the ASABE* 61(1):263–71. doi: 10.13031/trans.12307.
- Aviles Ribera, Daniel Bernardo Aviles. (2020). "Soil Erosion and Mass Movement in Agricultural Drainage Ditches." PhD Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Dung, Nguyen Ba, Nguyen Quoc Long, Ropesh Goyal, Dang Tran An, and Dang Tuyet Minh. (2022). "The Role of Factors Affecting Flood Hazard Zoning Using Analytical Hierarchy Process: A Review." *Earth Systems and Environment* 6(3):697–713. doi: 10.1007/s41748-021-00235-4.
- Ghosh, S., Das, D., Gayen, S. K., & Bhardwaj, P. (2023). Delineation of groundwater potential zones using the AHP technique: a case study of Alipurduar district, West Bengal. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1-31. doi: 10.1007/s40808-023-01733-2
- Joel, Abraham, Ingrid Wesström, and Ingmar Messing. (2015). "A Tool for Assessing the Status of Drainage Ditches and the Need for Remedial Measures." *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science* 65(sup1):100–109. doi: 10.1080/09064710.2014.996589.
- Kabo-bah, Kamila J., Tang Guoan, Xin Yang, Jiaming Na, and Liyang Xiong. (2021). "Erosion Potential Mapping Using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Fractal Dimension." *Heliyon* 7(6):e07125. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07125.
- Kacem, Hicham Ait, Said Fal, Mounir Karim, Hicham Mharzi Alaoui, Hassan Rhinane, and Mehdi Maanan. (2021). "Application of Fuzzy Analytical Hierarchy Process for Assessment of Desertification Sensitive Areas in North West of Morocco." *Geocarto International* 36(5):563–80. doi: 10.1080/10106049.2019.1611949.
- Kumar, Atul, Malay Pramanik, Shaury Chaudhary, and Mahabir Singh Negi. (2021). "Land Evaluation for Sustainable Development of Himalayan Agriculture Using RS-GIS in Conjunction with Analytic Hierarchy Process and Frequency Ratio." *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 20(1):1–17. doi: 10.1016/j.jssas.2020.10.001.
- Magner, J., B. Hansen, C. Anderson, B. Wilson, and J. Nieber. (2010). "Minnesota Agricultural Ditch Reach Assessment for Stability (Madras): A Decision Support Tool." St. Joseph, MI: ASABE.
- Masroor, Md, Sufia Rehman, Haroon Sajjad, Md Hibjur Rahaman, Meheboob Sahana, Raihan Ahmed, and Roshani Singh. (2021). "Assessing the Impact of Drought Conditions on Groundwater Potential in Godavari Middle Sub-Basin, India Using Analytical Hierarchy Process and Random Forest Machine Learning Algorithm." *Groundwater for Sustainable Development* 13:100554. doi: 10.1016/j.gsd.2021.100554.
- Mishra, Arun Pratap, Sachchidanand Singh, Mohit Jani, Kunwar Abhishek Singh, Chaitanya B. Pande, and Abhay M. Varade. (2022). "Assessment of Water Quality Index Using Analytic Hierarchy Process (AHP) and GIS: A Case Study of a Struggling Asan River." *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 1–13. doi: 10.1080/03067319.2022.2032015.
- Needelman, Brian A., Peter J. A. Kleinman, Jeffrey S. Strock, and Arthur L. Allen. (2007). "Drainage Ditches: Improved Management of Agricultural Drainage Ditches for Water Quality Protection: An Overview." *Journal of Soil and Water Conservation* 62(4):171–78.

- Parsian, Saeid, Meisam Amani, Armin Moghimi, Arsalan Ghorbanian, and Sahel Mahdavi. (2021). "Flood Hazard Mapping Using Fuzzy Logic, Analytical Hierarchy Process, and Multi-Source Geospatial Datasets." *Remote Sensing* 13(23):4761. doi: 10.3390/rs13234761.
- Saaty, Thomas L. (2001). "Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process." Pp. 15–35 in *The Analytic Hierarchy Process in Natural Resource and Environmental Decision Making*. Vol. 3, *Managing Forest Ecosystems*, edited by D. L. Schmoldt, J. Kangas, G. A. Mendoza, and M. Pesonen. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Saaty, Thomas L. (2008). "Decision Making with the Analytic Hierarchy Process." *International Journal of Services Sciences* 1(1):83. doi: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.
- Setiawan, C., O. S. Hardi, F. R. A'Rachman, O. Ariyanti, R. M. Fattah, M. Baihaqy, and Z. Abidin. (2022). "Determination of Land Conservation Policy Using the Analytical Hierarchy Process Method in Weninggalih Village, Jonggol District, Bogor Regency, West Java." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 986(1):012037. doi: 10.1088/1755-1315/986/1/012037.
- Tolche, Abebe Debele, Megersa Adugna Gurara, Quoc Bao Pham, and Duong Tran Anh. (2022). "Modelling and Accessing Land Degradation Vulnerability Using Remote Sensing Techniques and the Analytical Hierarchy Process Approach." *Geocarto International* 37(24):7122–42. doi: 10.1080/10106049.2021.1959656.
- Topuz, M., & Deniz, M. (2023). Application of GIS and AHP for land use suitability analysis: case of Demirci district (Turkey). *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 1-15. doi: 10.1057/s41599-023-01609-x
- Wang, Haidong, Minghui Cheng, Shaohui Zhang, Junliang Fan, Hao Feng, Fucang Zhang, Xiukang Wang, Lijun Sun, and Youzhen Xiang. (2021). "Optimization of Irrigation Amount and Fertilization Rate of Drip-Fertigated Potato Based on Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Comprehensive Evaluation Methods." *Agricultural Water Management* 256:107130. doi: 10.1016/j.agwat.2021.107130.