



*Vulnerabilidad intrínseca del acuífero costero Manglaralto mediante el método
DRASTIC*

*Intrinsic vulnerability of the Manglaralto coastal aquifer using the DRASTIC
method*

*Vulnerabilidade intrínseca do aquífero costeiro de Manglaralto usando o método
DRASTIC*

Marco Antonio Arévalo-Ulloa^I
maau1978@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0494-9435>

Víctor Manuel Reyes^{II}
vreyes@untumbes.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-8336-0444>

Paúl Carrión-Mero^{III}
pcarrion@espol.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3581-5774>

Carlos Alberto Deza-Navarrete^{IV}
cdezan@untumbes.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-3324-3741>

Correspondencia: vreyes@untumbes.edu.pe

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de septiembre de 2022 * **Aceptado:** 05 de octubre de 2022 * **Publicado:** 16 de noviembre de 2022

- I. Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú.
- II. Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú.
- III. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
- IV. Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú.

Resumen

El trabajo evaluó la vulnerabilidad intrínseca del acuífero costero Manglaralto mediante el método DRASTIC. Se seleccionarán 10 pozos distribuidos en el acuífero costero de Manglaralto debidamente georeferenciados. Se diseñó un contraste de hipótesis para determinar la diferenciación estacional de los índices de vulnerabilidad (2019-2021). Se empleó para tal fin el test de comparación de rangos con signo de Wilcoxon ($\alpha: 0.05$), considerando como meses indicadores febrero (temporada lluviosa) y julio (temporada seca). Se demostró que existe una vulnerabilidad que varió entre baja y muy alta. Se evidenció también una variabilidad estacional que sugiere la influencia de los niveles freáticos y la escorrentía sobre el sistema, en asociación con las condiciones morfológicas de la zona ($p\text{-valor} \leq 0.05$). Se recomienda continuar con la evaluación sistemática de la vulnerabilidad pasando a esquemas de muestreo mensuales o trimestrales que representen un avance con respecto al marco muestral empleado en este trabajo. Por otra parte surge la posibilidad de avanzar hacia estudios de vulnerabilidad específica donde se consideren los potenciales contaminantes de los acuíferos.

Palabras Clave: Aguas subterráneas; Vulnerabilidad en acuíferos; Método DRASTIC.

Abstract

The work evaluated the intrinsic vulnerability of the Manglaralto coastal aquifer using the DRASTIC method. Ten wells distributed in the Manglaralto coastal aquifer will be selected and properly georeferenced. A hypothesis test was designed to determine the seasonal differentiation of the vulnerability indices (2019-2021). The Wilcoxon signed-rank comparison test ($\alpha: 0.05$) was used for this purpose, considering February (rainy season) and July (dry season) as indicator months. It was demonstrated that there is a vulnerability that varied between low and very high. Seasonal variability was also evidenced, suggesting the influence of water table levels and runoff on the system, in association with the morphological conditions of the area ($p\text{-value} \leq 0.05$). It is recommended to continue with the systematic evaluation of vulnerability by moving to monthly or quarterly sampling schemes that represent an advance with respect to the sampling framework used in this work. On the other hand, the possibility of advancing towards specific vulnerability studies where the potential contaminants of the aquifers are considered arises.

Key words: Groundwater; Aquifer vulnerability; DRASTIC method.

Resumo

O trabalho avaliou a vulnerabilidade intrínseca do aquífero costeiro de Manglaralto usando o método DRASTIC. Dez poços distribuídos no aquífero costeiro de Manglaralto serão selecionados e georreferenciados. Um teste de hipóteses foi projetado para determinar a diferenciação sazonal dos índices de vulnerabilidade (2019-2021). O Wilcoxon assinou o teste de comparação de classificação ($\alpha: 0,05$) foi utilizado para este fim, considerando fevereiro (estação chuvosa) e julho (estação seca) como meses indicadores. A vulnerabilidade mostrou-se variando de baixa a muito alta. A variabilidade sazonal também era evidente, sugerindo a influência dos lençóis freáticos e do escoamento no sistema, em associação com as condições morfológicas da área ($p\text{-valor} \leq 0,05$). Recomenda-se continuar com a avaliação sistemática da vulnerabilidade, passando para esquemas de amostragem mensais ou trimestrais que representam um avanço em relação à estrutura de amostragem utilizada neste trabalho. Por outro lado, surge a possibilidade de avançar para estudos específicos de vulnerabilidade, onde são considerados poluentes potenciais em aquíferos.

Palavras-chave: Águas subterrâneas; vulnerabilidade do aquífero; método DRASTIC.

Introducción

Los acuíferos son cuerpos geológicos que se encuentran en el subsuelo, los cuales almacenan grandes cantidades de agua (Aller et al., 1987). Normalmente, los materiales existentes en dicha zona son materiales porosos y permeables, debido a que son las condiciones para mantener el agua, o, son cuerpos que contienen poros o espacios vacíos como fracturas, las cuales logran capturar y hacer circular el agua (Carrión-Mero et al., 2018; 2021).

La vulnerabilidad es una propiedad intrínseca que determina la sensibilidad de los acuíferos a ser afectados de manera negativa por un elemento externo (Foster, 1987; 2002). Corresponde a un indicador relativo, estimado y adimensional, cuya evaluación se realiza desde la concepción se basa en un proceso dinámico e iterativo. La vulnerabilidad puede ser intrínseca cuando está condicionada por los atributos hidrogeológicos del sector, y específica cuando se incorporan en la evaluación factores externos (pluviometría) o un contaminante en particular (Hoekstra, 2016; Nasri et al., 2021).

La vulnerabilidad de los acuíferos ha sido estudiada durante el siglo XX contándose con variadas metodologías (Aller et al., 1987; Martínez et al., 1998; Carrión Mero et al., 2021). Actualmente el estudio de las aguas subterráneas es una prioridad a nivel mundial (Hansen & Thorling, 2018), alternándose estudios de vulnerabilidades intrínsecas (Asfaw & Mengistu, 2020; Giambastiani et al. 2021), y específicas (Naturstyrelsen, 2014).

La vulnerabilidad se expresa a través de un índice multicriterio. El método DRASTIC (Aller et al., 1987) “clasifica y pondera parámetros intrínsecos, reflejo de las condiciones naturales del medio y es el más difundido para determinar la vulnerabilidad de acuíferos” Martínez et al. (1998, p. 414). DRASTIC valora como parámetros como “D (profundidad del nivel piezométrico), R (recarga), A (litología del acuífero), S (naturaleza del suelo), T (pendiente del terreno), I (naturaleza de la zona no saturada) y C (permeabilidad)” Martínez et al. (1998, p. 415). Una limitación de este método es la subjetividad al valorar los parámetros, por ello para minimizar este grado de subjetividad, deben utilizarse criterios homogéneos (Martínez et al. 1998; Carrión-Mero et al., 2021; Voutchkova, 2021). El índice DRASTIC se clasifica en función de intervalos que expresan el nivel de riesgo mayor riesgo en áreas superiores a 0.4 km² (Worthington et al., 2017).

En este artículo se determinó la vulnerabilidad intrínseca de las aguas subterráneas del acuífero costero Manglaralto mediante el método DRASTIC. El mismo se ubica en la costa ecuatoriana específicamente en la parroquia rural de Santa Elena, donde el servicio de agua potable se basa en el manejo de mediante 14 pozos perforados en las adyacencias de los centros poblados (Gricelda et al., 2018). En la parroquia son frecuentes los problemas asociados a fallas en el servicio de agua potable, y existe presión para el servicio por las nuevas construcciones e infraestructuras, ya sea para el sector turístico o de uso residencial.

Metodología

El estudio es cuantitativo tipificado como una investigación básica orientada al campo de la ingeniería y las ciencias ambientales (García, 2009), alcanzándose un nivel descriptivo-explicativo. La unidad de análisis fueron 10 pozos distribuidos en el acuífero costero de Manglaralto debidamente georeferenciados para poder posicionar su ubicación en un mapa. El muestreo fue estacional considerando los dos periodos pluviométricos del Ecuador, es decir, en temporada de lluvia, teniendo como mes referencial a febrero y en temporada seca al mes de

julio. El muestreo consideró mediciones de la vulnerabilidad entre 2019 y 2021.

Se contempló la metodología DRASTIC de Aller et al. (1987) donde a cada parámetro se le asigna un rango y un peso según su influencia (ver tabla 1) en la vulnerabilidad del acuífero, y son valores fijos, ya establecidos por el método. La valoración para el peso comienza del 1 al 5, y los rangos se estiman del 1 al 10 según las condiciones de cada acuífero. Posteriormente se multiplica el parámetro por su peso y se suma la multiplicación de los parámetros por el rango, y de la misma forma con todos los parámetros, la expresión matemática se observa la Ecuación 1.

$$DRASTIC = (D_r \times D_w) + (R_r \times R_w) + (A_r \times A_w) + (S_r \times S_w) + (T_r \times T_w) + (I_r \times I_w) + (C_r \times C_w) \quad Ec. 1$$

Dónde:

r: representa un valor dentro de un rango determinado de cada parámetro.

W: representa un valor que es considerado el peso del parámetro y no varía.

D: Nivel al que se encuentra el agua subterránea.

R: Recarga neta del acuífero.

A: Litología del acuífero.

S: Tipo de suelo.

T: Pendiente de la zona de estudio.

I: Naturaleza de la zona no saturada, o zona vadosa

C: Conductividad hidráulica presente en todo el acuífero

Figura 1: Pesos de los parámetros del método DRASTIC

	PARÁMETROS	PESO= w
D	Profundidad	5
R	Recarga	4
A	Naturaleza del acuífero	3
S	Tipo de suelo	2
T	Topografía	1
I	Naturaleza de la zona no saturada	5
C	Conductividad	3

Fuente: modificado de Aller et al. (1987).

Para estimar el grado de vulnerabilidad del acuífero, se clasifican los rangos del índice obtenido mediante la clasificación empleada en la tabla 2, donde se muestran los rangos, y el color de cada grado para visualizar en el mapa final.

Figura 2: Índices, rangos y grado de vulnerabilidad del modelo DRASTIC.

Índice	Grado de vulnerabilidad	Color
< 79	Despreciable	Violeta
88 - 99	Extremadamente baja	Azul oscuro
100 - 119	Baja	Azul claro
120 - 139	Media	Verde oscuro
140 - 159	Alta	Verde claro
160 - 179	Muy alta	Amarillo
180 - 199	Extremadamente alta	Anaranjado
> 200	Supremamente alta	Rojo

Fuente: modificado de Aller et al. (1987).

Fase analítica descriptiva y procedimiento de recopilación de base de datos

Para el presente estudio, se consideró información desde el año 2019 hasta el 2021. La base de datos obtenida estuvo constituida por:

- Niveles piezométricos de los pozos, los cuales son monitoreados mensualmente y por repetición (3 muestreos por pozo) por la “Escuela Superior Politécnica del Litoral” (ESPOL), y miembros de la “Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto” (JAAPMAN).
- La recarga del acuífero del 2019, 2020, y 2021, fue calculada con el software “*Easy Balance*”, con base en las precipitaciones y temperaturas proporcionadas por la web y base de datos de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NOAA).
- La conductividad hidráulica fue determinada por el método electrométrico validado en la zona por Carrión-Mero et al. (2021).
- El tipo de suelo se identificó mediante salidas de campo y ensayos en laboratorio a partir de la fracción textural.
- La topografía y pendiente de la zona de estudio fue obtenida mediante procesamiento de imágenes satelitales procesadas con el software ArcGis 10.5.

f) La geología de la zona vadosa y del acuífero, se identificó mediante la integración de mapas geológicos y perforaciones *in situ*.

Fase de contraste de hipótesis: Con ayuda del software R Project se contrastaron los índices de vulnerabilidad estacional [(temporada seca: julio / vs temporada húmeda: febrero)]. La comparación entre los índices se realizó con el test de comparación no paramétrico de rangos con signo de Wilcoxon. La hipótesis nula (H_0) fue: Los índices de vulnerabilidad *estacional* del acuífero costero Manglaralto resultantes de la aplicación los métodos DRASTIC no se diferencian significativamente.; Hipótesis alternativa (H_1): Los índices de vulnerabilidad *estacional* del acuífero costero Manglaralto resultantes de la aplicación los métodos DRASTIC si se diferencian significativamente, y arrojan diferencias en cuanto al grado de vulnerabilidad general del acuífero. Toma de decisiones: para todo $\alpha \leq 0.05$ se rechaza H_0 .

Resultados

Resumen para el año 2019: temporadas lluviosa y seca

En la tabla 3 se presenta el resumen de los índices de vulnerabilidad DRASTIC para el año 2019, correspondientes a las temporadas lluviosa y seca, en el acuífero costero Manglaralto. Para la temporada lluviosa (febrero) se registró un Índice promedio de vulnerabilidad DRASTIC (IV-DRASTIC: *vulnerabilidad media*) de 120.7 ± 6.8 (Mín: 110 – Máx: 132). Se aprecia una variabilidad para el método DRASTIC, expresado tanto para la desviación estándar IV-DRASTIC: 6.8, como para el rango de IV-DRASTIC: 22. Para la temporada seca (julio) se registró un Índice promedio IV-DRASTIC de *vulnerabilidad alta* (157.2 ± 14.7 ; Mín: 137 – Máx: 185) (ver tabla 3).

Figura 3: Comparación entre los índices de vulnerabilidad DRASTIC para el año 2019: temporadas lluviosa y seca.

		Media	DS	Mínimo	Máximo	Grado de vulnerabilidad	de Wilcoxon ¹ Z	p-valor
Vulnerabilidad DRASTIC - febrero 2019		120.7	6.8	110	132	Media	3.00	0.001**
Vulnerabilidad DRASTIC - julio 2019		157.2	14.7	137	185	Alta	1	

Nota: ¹Prueba de rangos con signo de Wilcoxon; *p-valor significativo al 0.05; **p-valor significativo al 0.01.

La comparación de los IV con base en el Test de Wilcoxon arroja diferencias significativas entre los dos índices de vulnerabilidad (temporada seca vs temporada lluviosa Wilcoxon: 3.001; p-valor: $0.001 \leq 0.05$). Esto indica que la magnitud de las diferencias resulta influida por los mayores promedios obtenidos con el índice DRASTIC en el mes de julio, que por tanto tiende a reflejar mayores valores de vulnerabilidad, más allá de la categorización teórica, la cual presenta intervalos muy amplios para precisar la misma. Se descarta la hipótesis nula (H_0) de igualdad de diferencias y magnitudes (ver tabla 3).

Resumen para el año 2020: temporadas lluviosa y seca

Para la temporada lluviosa (febrero) se registró un Índice promedio de vulnerabilidad DRASTIC *media* (IV-DRASTIC) de 121.6 ± 4.0 (Mín: 114 – Máx: 130; rango: 16), que resulta mayor con respecto al calculado con el método para la temporada seca (julio) donde se registró un Índice promedio IV-DRASTIC de *Vulnerabilidad baja* (119.6 ± 3.7 ; Mín: 112 – Máx: 124), con una variabilidad (DS) (IV-DRASTIC: 3.7), que resulta bastante similar a la apreciada en la temporada lluviosa (ver tabla 4).

Figura 4: Comparación entre los índices de vulnerabilidad DRASTIC para el año 2020: temporadas lluviosa y seca.

	Media	DS	Mínimo	Máximo	Grado de vulnerabilidad	de Wilcoxon ¹ Z	p-valor
Vulnerabilidad DRASTIC - febrero 2020	121.6	4.0	114	130	Media	2.75	0.002**
Vulnerabilidad DRASTIC - julio 2020	119.6	3.7	112	124	Baja	1	

Nota: ¹Prueba de rangos con signo de Wilcoxon; *p-valor significativo al 0.05; **p-valor significativo al 0.01.

El test de Wilcoxon nuevamente muestra diferencias significativas entre los dos índices de vulnerabilidad (temporada seca vs temporada lluviosa Wilcoxon: 2.751; p-valor: $0.002 \leq 0.05$). En tal sentido, se rechaza la hipótesis nula (H_0) (ver tabla 4).

Resumen para el año 2021: temporadas lluviosa y seca

Para la temporada lluviosa 2021 (febrero) se registró un Índice promedio de vulnerabilidad DRASTIC *alta* (IV-DRASTIC) de 143.8 ± 5.5 (Mín: 138 – Máx: 150), el cual es similar al obtenido para la temporada seca (julio), donde se registró un Índice promedio IV-DRASTIC de *Vulnerabilidad alta* (143.1 ± 4.9 ; Mín: 138 – Máx: 150) (ver tabla 5).

Figura 5: Comparación entre los índices de vulnerabilidad DRASTIC y DRASTIC-LQ para el año 2021: temporadas lluviosa y seca.

	Media	DS	Mínimo	Máximo	Grado de vulnerabilidad	de Wilcoxon ¹ Z	p-valor
Vulnerabilidad DRASTIC - febrero 2021	143.8	5.5	138	150	Alta	0.645	0.082
Vulnerabilidad DRASTIC - julio 2021	143.1	4.9	138	150	Alta		

Nota: ¹Prueba de rangos con signo de Wilcoxon; *p-valor significativo al 0.05; **p-valor significativo al 0.01.

El test de Wilcoxon no muestra diferencias significativas entre los dos índices de vulnerabilidad (temporada seca vs temporada lluviosa Wilcoxon: 0.645; p-valor: 0.082 > 0.05). En tal sentido, se acepta la hipótesis nula (H_0) (ver tabla 4). Este año no evidenció la tendencia observada en los dos años anteriores.

Discusión

Los resultados de este trabajo corroboran que el método DRASTIC propuesto por Aller et al. (1987) sigue siendo una ruta válida y confiable para establecer la vulnerabilidad de un acuífero, y que además es adecuado para utilizarse tanto en temporadas lluviosa como seca. Ya Morante et al. (2019) habían señalado la vulnerabilidad del acuífero a las prácticas agropecuarias, pero también a las condiciones hidrogeoquímicas y a la herencia geológica en el área. Este trabajo confirma la existencia de condiciones de vulnerabilidad.

La vulnerabilidad según el método DRASTIC resultó en general media, pero se registró un intervalo desde *vulnerabilidad baja* (IV-DRASTIC - JULIO 2020) hasta *alta* (IV-DRASTIC 2021). Se evidenció también una variabilidad estacional que sugiere la influencia de los niveles

freáticos y la escorrentía sobre el sistema, en asociación con las condiciones morfológicas de la zona.

Loor et al. (2019), habían resaltado este tipo de relaciones en su estudio sobre vulnerabilidad de los acuíferos en el cantón Gral. Antonio Elizalde (Bucay). Destacaron las condiciones intrínsecas y morfológicas del acuífero y sus potenciales efectos por la percolación de agroquímicos, resultantes de actividades agrícolas, empleando el método DRASTIC. Se coincide con Barbulescu (2020), en que el método DRASTIC resulta adecuado para evaluar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas, resaltando la amplitud de los parámetros que considera. Sin embargo, estudios más recientes han recomendado la incorporación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con especial énfasis en la contaminación agrícola tal como se han venido desarrollando en India (Bera et al., 2021), donde se ha logrado mitigar la contaminación antropogénica y agrícola con base en un mejor control y gestión. Aunque este trabajo solo se ocupa de la vulnerabilidad intrínseca, surge la posibilidad de evaluar el componente específico

Durango-Cordero et al. (2022), habían hecho una sugerencia similar para la evaluación de las aguas subterráneas en la Amazonia ecuatoriana mediante la integración SIG-DRASTIC modificado. Aunque en Manglaralto esto comienza apenas a implantarse mediante el desarrollo de mapas como los diseñados en este trabajo, falta avanzar para realizar un análisis espacial, donde se integren la planificación del uso de la tierra, el impacto en la salud pública y las variaciones mensuales.

Similares bondades del método DRASTIC para evaluar la vulnerabilidad de aguas subterráneas fueron señaladas por Asfaw & Mengistu (2020) en Ethiopia, aspecto con el cual se concuerda. Giambastiani et al. (2021), había mencionado la importancia de incorporar parámetros como la salinidad y el nivel freático en estimaciones en acuíferos costeros en la Emilia Romagna italiana, destacando localizaciones de cuña de playa, que facilitan la conectividad entre las aguas subterráneas y las superficiales. En este trabajo no se considera el papel de la salinización de las aguas superficiales y subterráneas a lo largo del contacto con la costa.

Sin embargo, si se realiza una estimación del papel del nivel freático con base en la variabilidad estacional. Esta arrojó diferencias en los índices de *vulnerabilidad* desde *baja* hasta *alta*, lo cual requeriría un estudio más amplio para determinar su influencia con base también en las oscilaciones de las precipitaciones en la región.

Conclusiones

Se demostró que existe una vulnerabilidad del acuífero costero Manglaralto la cual fue estimada por el método DRASTIC. La vulnerabilidad resultó en general media, pero se registró un intervalo desde *vulnerabilidad baja* (IV-DRASTIC - JULIO 2020) hasta *alta* (IV-DRASTIC 2021). Se evidenció también una variabilidad estacional que sugiere la influencia de los niveles freáticos y la escorrentía sobre el sistema, en asociación con las condiciones morfológicas de la zona.

Se recomienda continuar con la evaluación sistemática de la vulnerabilidad pasando a esquemas de muestreo mensuales o trimestrales que representen un avance con respecto al marco muestral empleado en este trabajo. Por otra parte surge la posibilidad de avanzar hacia estudios de vulnerabilidad específica donde se consideren los potenciales contaminantes de los acuíferos.

Referencias

1. Aller, L., Bennet, T., Lehr, J. H. & Petty, R. J. (1987) DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. US Environ. Protection Agency EPA/600/2-85-018.
2. Asfaw, D., & Mengistu, D. (2020). Modeling megech watershed aquifer vulnerability to pollution using modified DRASTIC model for sustainable groundwater management, Northwestern Ethiopia. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100375.
3. Barbulescu, A. (2020). Assessing groundwater vulnerability: DRASTIC and DRASTIC-like methods: a review. *Water*, 12(5), 1356.
4. Bera, A., Mukhopadhyay, B. P., Chowdhury, P., Ghosh, A., & Biswas, S. (2021). Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC model in Nangasai River Basin, India with special emphasis on agricultural contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214, 112085.
5. Carrión, P., Herrera, G., Briones, J., Sánchez, C., & Limón, J. (2018). Practical adaptations of ancestral knowledge for groundwater artificial recharge management of Manglaralto coastal aquifer, Ecuador. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 217, 375–386. <https://doi.org/10.2495/SDP180341>.
6. Carrión-Mero, P., Montalván, F. J., Morante-Carballo, F., Loor-Flores de Valgas, C., Apolo-Masache, B., & Heredia, J. (2021). Flow and Transport Numerical Model of a

- Coastal Aquifer Based on the Hydraulic Importance of a Dyke and Its Impact on Water Quality: Manglaralto—Ecuador. *Water*, 13(4), 443.
7. Durango-Cordero, J., Saqalli, M., Ferrant, S., Bonilla, S., Maurice, L., Arellano, P. y Elger, A. (2022). Risk assessment of unlined oil pits leaking into groundwater in the Ecuadorian Amazon: A modified GIS-DRASTIC approach. *Applied Geography*, (139), 102628. Doi: 10.1016/j.apgeog.2021.102628
 8. Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2002). Propuestas Metodológicas para la Protección del Agua Subterránea. En *Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guías para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales* (págs. 15-34). Banco Mundial.
 9. Foster, S.S.D. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. *Vulnerability of Soil and Groundwater to pollutants*. TNO Committee on Hydrological Research Information n°38, Ed. by W. Van Duijvenbooden and H.G. Van Waegenigh, The Hague: 69-86.
 10. García, F. (2009). *La investigación tecnológica. Investigar, idear e innovar en ingenierías y ciencias sociales*. México: Editorial Limusa.
 11. Giambastiani, B. M. S., Kidanemariam, A., Dagneu, A., & Antonellini, M. (2021). Evolution of salinity and water table level of the phreatic coastal aquifer of the Emilia Romagna region (Italy). *Water (Switzerland)*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/w13030372>.
 12. Gricelda, H. F., Paúl, C. M., & Niurka, A. M. (2018). Participatory process for local development: Sustainability of water resources in rural communities: Case manglaralto-santa Elena, Ecuador. In *Handbook of Sustainability Science and Research* (pp. 663-676). Springer, Cham.
 13. Hansen, B., & Thorling, L. (2018). *Kemisk Grundvandskortlægning (Geo-Vejledning No. 2018/2)*. GEUS, Copenhagen.
 14. Hoekstra, A. Y. (2016). A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. (J. Marques, & F. Müller, Edits.) *Ecological Indicators*, 66, 564- 573. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.026>.
 15. Loor Bruno, Á. C., Carrión Rodríguez, R. A., & Mantilla Campaña, G. V. (2019). Vulnerabilidad de los acuíferos ante la percolación de agroquímicos en el cantón Gral. Antonio Elizalde. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(2), 395-401.

16. Martínez, M., Delgado, P., y Fabregat, V. (1998). Aplicación del método DRASTIC para la evaluación del riesgo de afección a las aguas subterráneas por una obra lineal. Memorias de las Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente. Valencia 1998. AIH-GE.
17. Morante, F.; Montalván, F.J.; Carrión, P.; Herrera, G.; Heredia, J.; Elorza, F.J.; Pilco, D.; Solórzano, J. (2019). Hydrochemical and geological correlation to establish the groundwater salinity of the coastal aquifer of the Manglaralto River basin, Ecuador. WIT Trans. Ecol. Environ. , 229, 139–149.
18. Nasri, G., Hajji, S., Aydi, W., Boughariou, E., Allouche, N., & Bouri, S. (2021). Water vulnerability of coastal aquifers using AHP and parametric models: methodological overview and a case study assessment. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(1), 1-19.
19. Naturstyrelsen (2014). Nitratsårbarhed Og Afgrænsning Af NFI Og IO (Afgiftsfinansieret Grundvandskortlægning). Naturstyrelsen, København Ø.
20. Voutchkova, D. D., Schullehner, J., Rasmussen, P., & Hansen, B. (2021). A high-resolution nitrate vulnerability assessment of sandy aquifers (DRASTIC-N). *Journal of Environmental Management*, 277, 111330.
21. Worthington, S. R. H., Jeannin, P. Y., Alexander, E. C., Davies, G. J., & Schindel, G. M. (2017). Définitions contrastées pour le terme ‘aquifère karstique.’ *Hydrogeology Journal*, 25(5), 1237–1240. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1628-7>