Horizonte Académico
Revista Multidisciplinaria
Recibido:09/07/2025 Aprobado:10/08/2025

DOI: https://doi.org/10.70208/3007.8245.v5.n2.197

Propuesta de delimitación de áreas o zonas de protección para la explotación de agua en pozos que abastecen a la cuidad de Oruro. (Zona Cala Caja)

Adolfo García Aguilar
garciaaguilaradolfo6@gmail.com
https://orcid.org/0009-0006-2872-8329
Universidad Técnica de Oruro – Facultad Técnica
Oruro – Bolivia

RESUMEN

La protección de los acuíferos es crucial porque son fuentes vitales de agua dulce, que abastecen a poblaciones y ecosistemas. Su contaminación o agotamiento puede tener graves consecuencias, incluyendo la escasez de agua potable, la degradación de los ecosistemas y riesgos para la salud pública. Mencionamos algunas características importantes para la protección de acuíferos: Suministro de agua potable: Los acuíferos son la principal fuente de agua dulce para muchas comunidades, tanto para consumo humano como para riego y otras actividades. Sostenibilidad hídrica: La protección de los acuíferos ayuda a mantener el equilibrio del ciclo hidrológico, asegurando un suministro de agua constante y evitando la sobreexplotación de los recursos hídricos. Conservación de ecosistemas: Los acuíferos son esenciales para el funcionamiento de ríos, humedales y otros ecosistemas, que dependen de su agua para mantener su biodiversidad y equilibrio. Resiliencia al cambio climático: Los acuíferos pueden actuar como reservorios de agua durante períodos de sequía, ayudando a mitigar los efectos del cambio climático y garantizando un suministro de agua más estable. Reducción de costos de tratamiento de agua: La protección de los acuíferos evita la contaminación del agua subterránea, reduciendo la necesidad de tratamientos costosos para potabilizarla. Por la tanto la propuesta de este trabajo es el de delimitar la zona de pozos de Cala Caja que abastecen de agua potable al Municipio de Oruro, ante el alto riesgo de contaminación por varios factores circundantes en la Zona como ser: Asentamientos urbanos con falta de instalaciones sanitarias que desalojen la materia fecal a la respectiva planta de procesamiento, Zonas de Sembradío con uso de pesticidas las cuales llegan contaminar el suelo y la cercanía del Botadero de Basura; y así poder proteger la zona de pozos para el suministro de agua libre de contaminantes. Se propone usar el Método DRASTIC para poder determinar el índice de vulnerabilidad de la zona de pozos de Cala Caja y así poder determinar la importancia de su protección. Este trabajo puede ser aplicado para cualquier zona del mundo para poder determinar índices de vulnerabilidad que ayuden a la protección de zonas acuíferas.

Palabras clave: delimitación, agua potable, pozos de agua, método DRASTIC

Proposal for the delimitation of protected areas or zones for the exploitation of water from wells supplying the city of Oruro. (Cala Caja Zone)

ABSTRACT

Protecting aquifers is crucial because they are vital sources of freshwater, supplying populations and ecosystems. Their contamination or depletion can have serious consequences, including drinking water shortages, ecosystem degradation, and public health risks. We mention some important characteristics for aquifer protection: Drinking water supply: Aquifers are the main source of fresh water for many communities, both for human consumption and for irrigation and other activities. Water sustainability: Protecting aquifers helps maintain the balance of the hydrological cycle, ensuring a constant water supply and preventing overexploitation of water resources. Ecosystem Conservation: Aquifers are essential for the functioning of rivers, wetlands, and other ecosystems, which depend on their water to maintain their biodiversity and balance. Resilience to Climate Change: Aquifers can act as water reservoirs during periods of drought, helping to mitigate the effects of climate change and ensuring a more stable water supply. Ecosystem Conservation: Aquifers are essential for the functioning of rivers, wetlands, and other ecosystems, which depend on their water to maintain their biodiversity and balance. Resilience to Climate Change: Aquifers can act as water reservoirs during periods of drought, helping to mitigate the effects of climate change and ensuring a more stable water supply. Reducing water treatment costs:Protecting aquifers prevents groundwater contamination, reducing the need for costly treatment to make it potable. Therefore, the proposal of this work is to delimit the Cala Caja well zone that supplies drinking water to the Municipality of Oruro, given the high risk of contamination due to several surrounding factors in the area, such as: urban settlements lacking sanitary facilities to carry fecal matter to the respective processing plant, crop areas with pesticide use that contaminate the soil, and the proximity of the garbage dump; thus protecting the well zone for the supply of contaminant-free water. The DRASTIC method is proposed to determine the vulnerability index of the Cala Caja well zone and thus assess the importance of its protection. This work can be applied to any area in the world to determine vulnerability indices that contribute to the protection of aquifers.

Keywords: delimitation, drinking water, water wells, drastic method

INTRODUCCIÓN

Ante la cercanía de creciente urbanización del área de infiltración que conlleva problemáticas de alcantarillado (pozo séptico) y basura, El uso agrícola (pesticidas y abonos) y el depósito de basura del Municipio, se propone la delimitación urgente de esta zona.

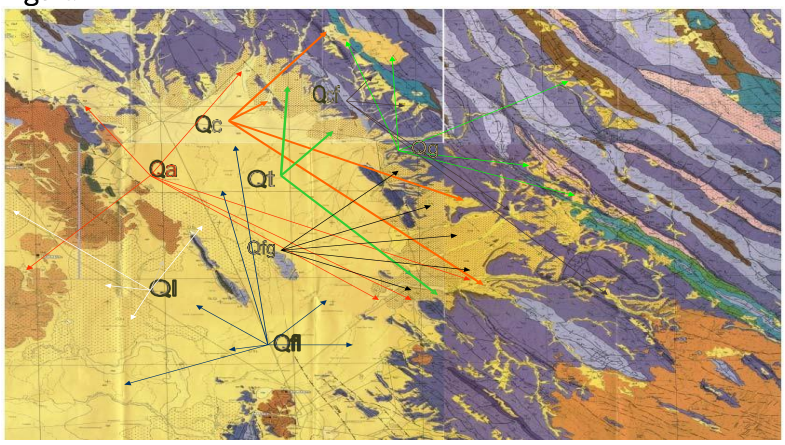
En la Figura 1, se ve que la zona de pozos de Cala Caja es una zona sumamente permeable por contarse con:

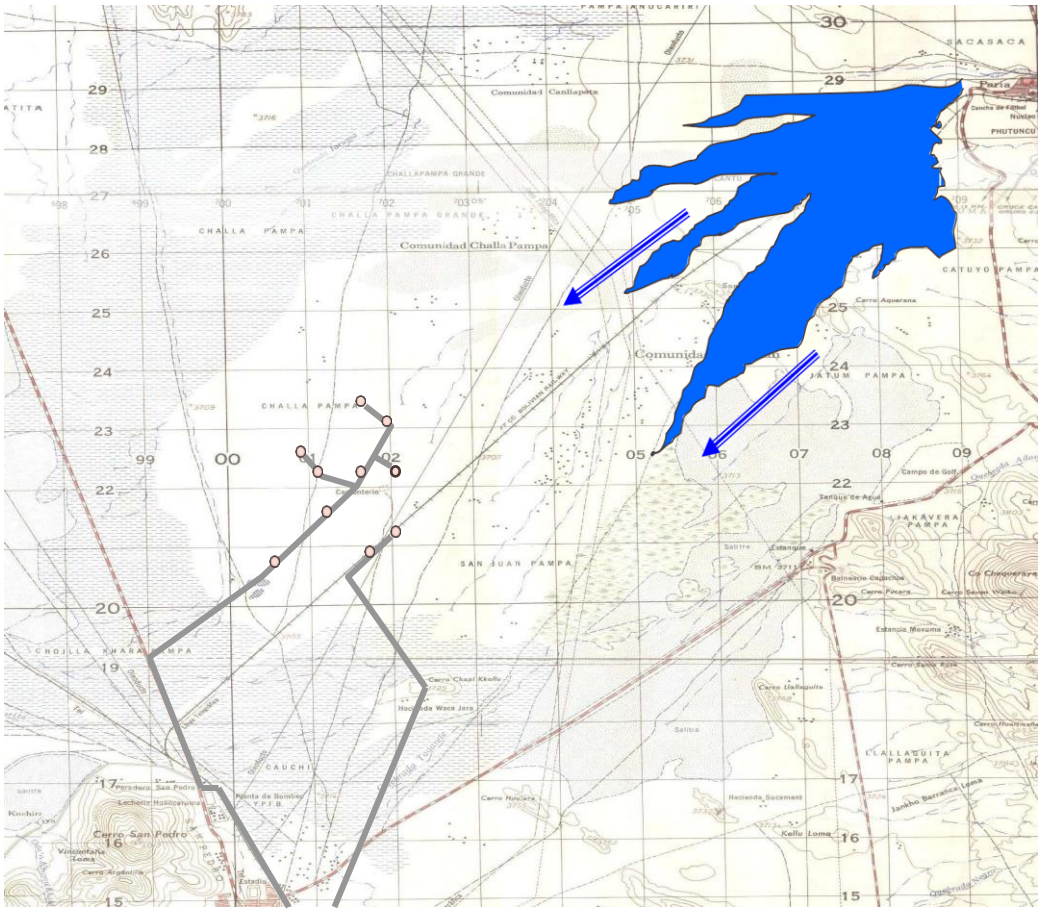
Tabla 1

Qc	Depósito coluvial		bloques y gravas
Qa	Depósito aluvial		cantos, gravas, arenas, limos y arcillas
Qt	Depósitos de terraza	cantos, gravas, arenas, limos y arcillas	
Qg	Depósito glacial		bloques, gravas y arcillas
Qfg	Depósito fluvio glacial	gravas, arenas y arcillas	
Qcf	Depósito coluvio fluvial	gravas, arenas, limos y arcillas	
Qfl	Depósito fluvio lacustre	gravas, arenas, limos y arcillas	
Ql	Depósito lacustre		limos, arcillas, arenas, calizas algares, detríticas

Como se mencionó anteriormente la zona es muy permeable, por lo tanto, las actividades contaminantes en la cercanía de la misma afectarían de manera directa el abastecimiento de agua.

Figura 1





Zona de recarga

Zona de pozos

Figura 3. En la figura anterior (Figura 3) se observa la zona de recarga y la zona de los pozos de Cala Caja

(D) PROFUNDIDAD DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO		(R) RECARGA NETA	
RANGO (m)	VALOR	RANGO(mm)	VALOR
< 1,5	10	0-50	1
1,5-5	9	50-100	3
5-10	7	100-180	6
10-20	5	180-255	8
20-30	2	>255	9
>30	1		

(A) NATURALEZA DEL ACUÍFERO			(S) NATURALEZA DEL SUELO	
DESCRIPCIÓN	RANGO	VALOR	TIPO DE SUELO	VALOR
A-Arcillas, margas, limos	1-3	2	Arcilla no expansiva y agregada	1
B-Ígneas/metamórficas	2-5	3	Suelo orgánico	2
C-Ígneas/metamórficas alteradas	3-5	4	Marga arcillosa	3
D-Alternancia de areniscas, arcillas y calizas	5-9	6	Marga limosa	4
E-Areniscas masivas	4-9	6	Marga	5
F-Calizas masivas	4-9	6	Marga arenosa	6
G-Arenas, gravas y conglomerados	4-9	8	Arcilla expansiva y/o agregada	7
H-Volcánicas	2-10	9	Turba	8
I-Calizas carstificadas	9-10	10	Arena	9
			Grava	10
			Delgado o ausente	10

(T) TOPOGRAFÍA		(C) PERMEABILIDAD	
RANGO %	VALOR	RANGO (m/día)	VALOR
0- 2	10	<4	1
2- 6	9	4-12	2
6-12	5	12-28	4
12-18	3	28-40	6
>18	1	40-80	8
		>80	10

(I) IMPACTO DE LA ZONA NO SATURADA		
DESCRIPCIÓN	RANGO	VALOR
A-Arcilla, limo, margas	1-2	1
B-Esquistos, pizarras	2-5	3
C-Calizas	2-7	6
D-Areniscas	4-8	6
E-Alternancia de calizas, areniscas y arcillas	4-8	6
F-Arenas y gravas con contenido en arcilla	4-8	6
G-Metamórficas, ígneas	2-8	4
H-Arenas y gravas	6-9	8
I-Volcánicas	2-10	9
J-Calizas carstificadas	8-10	10

Tabla 1. Rangos y valores de los parámetros (modificado de Aller et Al., 1987 en CCE-MOPTMA, 1994).

En la siguiente Tabla (Tabla 1), se podrá observar los rangos y valores para los parámetros del Método DRASTIC

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada para este trabajo es:

Enfoque metodológico: cuantitativo, por usarse satos numéricos para su análisis.

Tipo de inferencia: Inductivo, ya que se utiliza observaciones y datos para formular generalizaciones.

Obtención de información: Experimental: ya que se realiza la manipulación de variables para establecer relaciones de causa y efecto.

Ante este riesgo de contaminación se utilizó el método DRASTIC.

El método DRASTIC es un modelo empírico desarrollado por Aller et al (1987) para Environmental Protection Agency, EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos).

El método DRASTIC es el más utilizado y suele ser muy útil cuando se quiere construir mapas de vulnerabilidad con datos de profundidad de agua, recarga neta, litología del acuífero, tipo de suelo, topografía, naturaleza de la zona no saturada y conductividad hidráulica. Estos datos son mayores a los que considera el método GOD.

Este método DRASTIC se basa en:

La asignación de índices que van de 1 (mínima vulnerabilidad) a 10 (máxima vulnerabilidad), de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables consideradas en el acrónimo DRASTIC:

El método DRASTIC clasifica y pondera parámetros intrínsecos, reflejo de las condiciones naturales del medio y es el más difundido para determinar la vulnerabilidad de acuíferos.

DRASTIC valora como parámetros:

D = profundidad del nivel piezométrico.

R = tasa de recarga.

A = litología del acuífero.

S = naturaleza del suelo.

T = pendiente del terreno.

I = naturaleza de la zona no saturada.

C = permeabilidad.

Procedimientos

El parámetro D: Se refiere a la distancia que existe entre la superficie del suelo y el nivel freático (tabla 2). Este valor se obtiene de los monitoreos piezométricos mensuales en la zona de estudio.

Tabla 2

Profundidad (m)	Valoración D_r
0-1,5	10
1,5-4,6	9
4,6-9,1	7
9,1-15,2	5
15,2-22,9	3
22,9-30,5	2
> 30,5	1

El parámetro R: Se refiere al volumen de agua total que recarga el acuífero (Tabla 3.). Este valor se obtiene al realizar el balance hidrológico.

Tabla 3

Recarga (mm)	Valoración Rr
0-50	1
50-103	3
103-178	6
178-254	8
> 254	9

El parámetro A: Se refiere al tipo de material que conforma el acuífero (tabla 4). La estratigrafía de los piezómetros detalla esta información.

Tabla 4

Tipo de acuífero	Rango de clasificación A_r
Lutita masiva	1 - 3
Metamórfica/ Ígnea	2 - 5
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3 - 5
Till glacial	4 - 6
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5 - 9
Arenisca masiva	4 - 9
Caliza masiva	4 - 9
Arena o grava	4 - 9
Basaltos	2 - 10
Caliza kárstica	9 - 10

El parámetro S: El tipo de suelo es la cobertura que tiene la superficie en estudio (tabla 5). Esta información también se obtiene de la estratigrafía de los piezómetros.

Tabla 5

Tipo de suelo	Valoración S_r
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol - cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

El parámetro T: Se refiere a la pendiente topográfica de la zona de estudio (Tabla 6). Esta información se obtiene a partir de las curvas topográficas.

Tabla 6

Pendiente (%)	Valoración T_r
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	1

El parámetro I: Se refiere al material que conforma la zona superior del acuífero que no está saturada de agua (Tabla 7). Esta información se obtiene de la estratigrafía de los piezómetros.

Tabla 7

Naturaleza de la zona no saturada	Valoración I_r
Capa confinante	1
Cieno-arcilla	2-6
Lutita	2-5
Caliza	2-7
Arenisca	4-8
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	4-8
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4-8
Metamórfica/Ígnea	2-8
Grava y arena	6-9
Basalto	2-10
Caliza kárstica	8-10

El Parámetro C: La conductividad hidráulica es la facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por un fluido, en este caso agua (Tabla 8).

La conductividad se obtiene de las pruebas de permeabilidad efectuadas en campo.

Tabla 8

Conductividad hidráulica		Valoración C_r
cm/día	m/día	
0,04-4,08	$4,6 \cdot 10^{-5}$-$4,7 \cdot 10^{-3}$	1
4,08-12,22	$4,7 \cdot 10^{-3}$-$1,4 \cdot 10^{-2}$	2
12,22-28,55	$1,4 \cdot 10^{-2}$-$3,4 \cdot 10^{-2}$	3
28,55-40,75	$3,4 \cdot 10^{-5}$-$4,7 \cdot 10^{-2}$	6
40,75-81,49	$4,7 \cdot 10^{-2}$-$9,5 \cdot 10^{-2}$	8
> 81,49	> $9,5 \cdot 10^{-2}$	10

FACTOR DE PONDERACION

D_w	R_w	A_w	S_w	T_w	I_w	C_w
5	4	3	2	1	5	3

La valoración de los parámetros mostrados en los cuadros indica: 1 la mínima vulnerabilidad y el 10 la máxima.

Además de lo expresado, a cada variable se le asigna un peso o ponderación, de acuerdo a la influencia respecto a la vulnerabilidad. Para el peso ponderado se emplean índices entre 1 y 5, adoptando los autores el mayor (5) para la profundidad del agua (D) y la litología de la sección subsaturada (I) y el menor (1) para la topografía (T).

Ambos índices se multiplican y luego se suman los 7 resultados, para obtener un valor final o índice de vulnerabilidad, cuyos extremos son 23 (mínima) y 230 (máxima), aunque en la práctica el índice dominante varía entre 50 y 200.

En la siguiente tabla (tabla 9), se indica el grado de vulnerabilidad en función del valor obtenido por el método DRASTIC:

Tabla 9. Normativa W 101 de la DVGW.

Grado vulnerabilidad	Grado vulnerabilidad
Muy bajo	23-64
Bajo	65-105
Moderado	106-146
Alto	147-187
Muy alto	188-230

Zona de Protección Extensa

ZONA III-A.- Protección contra deterioros de gran alcance (química, radioactivas, etc.)

ZONA III-B.- Áreas de industria y producción, centrales termoeléctricas, cementerios, aeropuertos, minería, instalaciones militares, tratamiento de desechos, etc.

Zona de Protección Reducida

ZONA II.- Todas las instalaciones mencionadas en la zona III, carreteras, transporte de aceite, combustible o gas óleo, uso de abono orgánico, drenajes.

Zona de Captación

ZONA I.- Todas las instalaciones mencionadas en la zona III y II, tráfico de vehículos ni transeúntes, uso agrícola, fertilizantes.

El índice de vulnerabilidad obtenido es el resultado de sumar los productos de diferentes parámetros por su índice de ponderación:

DrDw+RrRw+ArAw+SrSw+TrTw+IrIw+CrCw=Índice de vulnerabilidad

siendo "r" el valor obtenido para cada parámetro y "w" el índice de ponderación.

RESULTADOS

Uso de pesticidas en sembradíos cerca de la zona de pozos, esta no debe ser permitida en el radio o figura de la Zona I.

Asentamientos urbanos en la zona de pozos, esta no debe ser permitida en el radio o figura de la Zona II.

Tratamiento de Residuos Sólidos (Enterrado) aledaño a la zona de pozos, esta no debe ser permitida en el radio o figura de la Zona IIIA.

DISCUSIÓN

Se prepara un mapeo simple de áreas vulnerables superponiendo una serie de características que exhiben la distribución regional de atributos considerados significativos para la caracterización del potencial de contaminación de las aguas subterráneas (por ejemplo, tipo de suelo, profundidad del agua subterránea y zona no saturada). A cada característica se le asigna un peso relativo a la otra en orden de importancia, mientras que las áreas con diferentes puntuaciones de vulnerabilidad se definen por rangos en función de su impacto en el potencial de contaminación del área. Normalmente, el producto es un mapa de vulnerabilidad que describe diferentes niveles de vulnerabilidad, que se designan mediante puntuaciones, patrones o colores. La evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas es con frecuencia una tarea difícil, de modo que una simplificación excesiva o una descripción inadecuada de los aspectos geológicos e hidrológicos y las características hidrogeológicas de los medios pueden comprometer la confiabilidad de los mapas resultantes. La confiabilidad de los diferentes parámetros utilizados también puede ser una limitación grave en la evaluación de la

vulnerabilidad de las aguas subterráneas, lo que puede influir en la confiabilidad de los mapas de vulnerabilidad.

Diferentes circunstancias pueden justificar la modificación del enfoque DRASTIC original cambiando los pesos y calificaciones de diferentes características o restando/incluyendo otros parámetros según estudios de casos específicos. Sin embargo, demostró que todos los parámetros ejercen una influencia igualmente significativa sobre la contaminación de las aguas subterráneas, mientras que cada factor indica una situación particular, donde ejerció el mayor impacto independientemente de sus pesos asignados.

Este es el mejor método para aumentar la confianza en el mapeo de vulnerabilidades es comparar los resultados de diferentes herramientas y analizar su consistencia mediante la realización de estudios de casos en áreas donde ocurrió contaminación.

Los métodos DRASTIC y SI se basan en el concepto de métodos paramétricos con un sistema de clases ponderado. Los diferentes parámetros utilizados por ambos enfoques tienen pesos diferentes. Por tanto, su contribución a la vulnerabilidad intrínseca final también varía. Alternativamente, el método GOD se basa en el concepto de sistema de clases paramétrico. Se supone que los diferentes parámetros utilizados en el enfoque ejercen el mismo efecto en términos de vulnerabilidad, lo que conduce a la falta de ponderación.

El enfoque GOD adopta un enfoque de combinación multiplicativa, dado que la vulnerabilidad intrínseca de las aguas subterráneas a la contaminación depende de un concepto de probabilidad condicional. En este caso, el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas se puede definir como la probabilidad de que una partícula contaminante llegue a un compartimento determinado de la sección litológica a través de las actividades de la superficie del suelo. Además, el riesgo puede ser resultado de la interacción entre la vulnerabilidad del acuífero y la carga contaminante aplicada en el lugar en cuestión. Por el contrario, los métodos DRASTIC y SI adoptan un modelo adicional, que se refiere a un concepto de probabilidad incondicional. Según estos enfoques, la contaminación de una capa determinada a través de un contaminante determinado puede ocurrir incluso si la superficie del suelo no está contaminada.

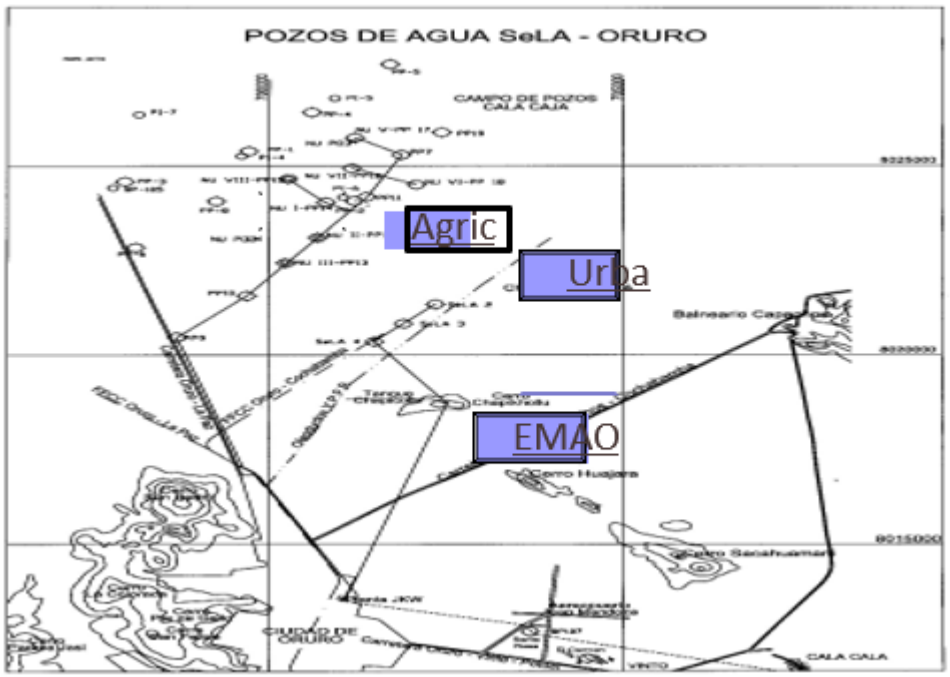
Revisión de la literatura de diferentes métodos, a saber, DRASTIC modificado, SINTACS modificado y métodos SI; DRÁSTICO, P-DRÁSTICO y el enfoque SI; GOD, DRÁSTICO y AVI; Los resultados revelan que los límites de las categorías estándar no siempre corresponden a la situación real de un área de estudio porque estas clases siempre pueden agruparse en diferentes entidades dentro de ellas. Por lo tanto, la agrupación de dimensiones, así como los índices de vulnerabilidad, pueden no ser siempre los mismos que los definidos por el enfoque DRASTIC, GOD o SI. Las diferentes categorías no son valores absolutos sino relativos. Estos límites pueden entonces variar según los estudios y las regiones.

El método DRASTIC no considera la dilución de las aguas subterráneas, aunque tiene un fuerte control sobre los niveles de contaminación, lo que puede llevar a resultados erróneos. Al omitir el impacto de la zona vadosa, SI minimiza el error de DRASTIC. Además, integra el uso del suelo, lo que añade información valiosa. Sin embargo, el enfoque SI tiende a sobreestimar la vulnerabilidad, lo cual es preferible a subestimarla, ya que implica la seguridad de la incertidumbre.

La revisión de la literatura:

Fotos

En las siguientes fotografías se pueden observar los altos riesgos de contaminación en la zona de pozos de Cala Caja



Fotografía 1. Asentamientos urbanos sin instalación de alcantarillado, solo cuentan con pozos sépticos

Fotografía 2. Áreas de sembradío, donde se usan pesticidas muy cerca la zona de pozos. Al fondo se ve la caseta de control de bombeo

Fotografía 3. Botadero de basura del municipio en la zona de recarga de los pozos de agua

Fotografia 1. Urbanizaciones



Fotografia 2. Uso Agricola



Fotografia 3. Depósito de basura



CONCLUSIONES

Mediante el uso del método DRASTIC se determinó que la zona de pozos de Cala Caja tiene un alto grado de vulnerabilidad.

Petición urgente mediante la oficina de regulación urbana de la H. Alcaldía Municipal se realice esta delimitación en el campo, lo más antes posible dado el peligro que representa.

La implementación de un monitoreo de la zona.

Hacer un análisis profundo de la legislación ambiental vigente para poder realizar esta delimitación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aboulouafa M, Ait Said N, El Bouqdaoui K, Tairi A, Ibn Ahmed S (2020) Un mapeo y evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas basado en SIG en la llanura de Berrechid, utilizando modelos DRASTIC, SINTACS y GOD. Ijep 40(2):197–202
2. Albinet M, Margat J (1970) Cartografía de la vulnerabilite a la pollution des nappes d'eau souterraine. Bulletin du bureau de recherches Géologiques et Minieres Bull BRGM 2da Serie, vol 3, págs. 13–22
3. Aliyari F, Bailey RT, Tasdighi A, Dozier A, Arabi M, Zeiler K (2019) Modelo SWAT-MODFLOW acoplado para cuencas fluviales agrourbanas mixtas a gran escala. Software de modelo ambiental 115:200–210. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.02.014
4. Aller L, Bennett T, Lehr JH, Petty RJ, Hackett G (1987) DRASTIC: Un sistema estandarizado para evaluar el potencial de contaminación de las aguas subterráneas utilizando entornos hidrogeológicos. Callejón. USEPA, Washington, Doc. EPA/600/2-87/035. DC, pág. 622

5. Anane M, Abidi B, Lachaal F, Limam A, Jellali S (2013) DRASTIC basado en SIG, DRASTIC de pesticidas y el índice de susceptibilidad (SI): estudio comparativo para la evaluación del potencial de contaminación en el acuífero poco profundo de Nabeul-Hammamet, Túnez. Hidrogeol J 21(3):715–731. https://doi.org/10.1007/s10040-013-0952-9
6. Andersen LJ, Gosk E (1989) Aplicabilidad de mapas de vulnerabilidad. Environ Geol Water Sci 13(1):39–43. https://doi.org/10.1007/BF01666570
7. Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR (1998) Modelado y evaluación hidrológica de áreas grandes, parte I: desarrollo de modelos. Asociación de Recursos Hídricos J Am 34(1):73–89. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x
8. Banton O, Villeneuve JP (1989) Evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a los pesticidas: una comparación entre el Índice Drástico de Pesticidas y las cantidades de lixiviación del PRZM. Hidrol contaminante 4(3):285–296. https://doi.org/10.1016/0169-7722(89)90013-2
9. Barbulescu A (2020) Evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas: métodos DRÁSTICOS y similares a DRÁSTICOS: una revisión. Agua (Suiza). https://doi.org/10.3390/W12051356
10. Bartzas G, Tinivella F, Medini L, Zaharaki D, Komnitsas K (2015) Evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en una zona agrícola del norte de Italia. Procesamiento de información en la agricultura 2(2):109–129. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.06.004
11. Basu NB, K Van Meter (2014) Sostenibilidad de los recursos hídricos subterráneos, en Calidad Integral del Agua y Purificación. Elsevier pág. 57–75
12. Ben-daoud M, Mouhaddach O, Essahlaoui A, Kestemont M, El Jaafari S (2013) Evaluación de la vulnerabilidad de las Eaux Souterraines à La Contaminación à l ' Aide Des Systèmes d ' Information Géographique. JHMER 3(2):7–13. Google Académico
13. Brindha K, Elango L (2015) Comparación cruzada de cinco enfoques populares de índices de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas. J Hidrol 524:597–613 https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.003

14. Cherkaoui DH (2006) Evaluación de La Vulnérabilité et de Lasensibilité Des Eaux Souterraines à La Pollution Moyennant Du SIG Etde La Télédétection. Aplicación Au Niveau Des Champs Captants Sudet Ahmar Boudhar. Université Mohammed V, Rabat, Marruecos, Thèse de Doctorat Ès Sciences Applíquées. Google académico
15. Dassargues RC, Gogu A (2000) Tendencias actuales y desafíos futuros en la evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas utilizando métodos de superposición e índice. Environ Geol. https://doi.org/10.1007/s002540050466. Google académico
16. Dixon B (2005) Aplicabilidad de técnicas neurodifusas en la predicción de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas: un análisis de sensibilidad basado en SIG. J Hidrol 309(1–4):17–38. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.11.010. Google académico
17. Elshall AS, Arik AD, El-Kadi AI, Pierce S, Ye M, Burnett KM, Wada CA, Bremer LL, Chun G (2020) Sostenibilidad de las aguas subterráneas: una revisión de las interacciones entre ciencia y política. Res. Ambiental Let. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8e8c. Google académico
18. Engel B, Navulur K, Cooper B, Hhann L (1996) Estimación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación de fuentes no puntuales por nitratos y pesticidas a escala regional. En: Conferencia HydroGIS'96. Viena, págs. 521–526
19. Focazio MJ, Reilly TE, Rupert MG, Helsel DR (2003) Evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación: proporcionar información científicamente defendible para los tomadores de decisiones. Circular del Servicio Geológico de Estados Unidos. https://doi.org/10.3133/cir1224
20. Foster SSD (1987) Conceptos fundamentales en vulnerabilidad de acuíferos, riesgo de contaminación y estrategia de protección. En: Van Duijvenbooden W, Van Waegeningh HG (eds) Vulnerabilidad del suelo y las aguas subterráneas a los contaminantes, Comité de investigación hidrológica. La Haya, págs. 69–86
21. Foster SSD (1998) Recarga de aguas subterráneas y vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos británicos: una visión crítica. Sociedad Geológica, Londres, Publicaciones Especiales 130(1):7–22. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1998.130.01.02

22. Frind EO, Molson JW, Rudolph DL (2006) Vulnerabilidad de pozos: un enfoque cuantitativo para la protección de fuentes de agua. Aguas subterráneas. https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2006.00230.x. Google académico
23. Ghazavi R, Ebrahimi Z (2015) Evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación en un entorno árido utilizando modelos DRASTIC y GOD. Int J Environ Sci Technol 12(9):2909–2918. https://doi.org/10.1007/s13762-015-0813-2. Google académico
24. Hamza MH, Maâlej A, Ajmi M, Added A (2010) Validez de los métodos de vulnerabilidad DRASTIC y SI aplicados mediante la técnica SIG al estudio de la contaminación agrícola difusa en dos acuíferos freáticos de una región semiárida (Noreste de Túnez). AQUAmundi. https://doi.org/10.4409/Am-006-10-0009. Google académico
25. Aguas Subterráneas y Acuíferos Juan Julio Ordoñez Gálvez SENAMHI, Lima, Perú
26. Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del Valle central de Costa Rica por Jonathan Agüero Valverde Rosendo Pujol Mesalle.
27. Delimitar el Área de Protección del Agua Fuente EPA (United States Environmental Protection Agency)
28. Delineación de zonas potenciales de aguas subterráneas basada en técnicas SIG y AHP Informes científicos
29. GIDAHATARI Gestión sostenible del agua, Métodos de determinación de la vulnerabilidad en acuíferos (DRASTIC)
30. Metodología Para La Delimitación Y Sectorización De Acuíferos Informe Final, Realizado Por: Gcf Ingenieros Ltda.
31. SeLA Oruro (Servicio Local de acueductos y alcantarillado)