



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63



ARTÍCULO DE
REVISIÓN

EL PAPEL DE LA HIDROGEOLOGÍA EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES: INUNDACIONES Y SEQUÍAS

THE ROLE OF HYDROGEOLOGY IN NATURAL DISASTER PREVENTION:
FLOODS AND DROUGHTS

Sara Luz García Ccahuana

garciascc839@gmail.com

ORCID: 0009-0003-8018-3643

Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú

Aceptación: 08 de Enero del 2025

Publicación: 31 de Enero del 2025

RESUMEN

El contraste directo con el del cambio climático en los sistemas de aguas superficiales, especialmente en reacción a eventos extremos como sequías e inundaciones ha permitido realizar una revisión sobre el papel de la hidrogeología en la prevención de inundaciones y sequías, destacando las técnicas, aplicaciones y desafíos actuales. Este estudio bibliográfico, que adopta un enfoque de revisión narrativa, se fundamentó en 65 fuentes extraídas de bases de datos científicas. El analizar los riesgos de inundaciones que reduzcan sus efectos mediante estudios hidrológicos e hidráulicos, logrando a través de simulaciones y datos como la topografía y registros meteorológicos obtener mapas de velocidades, alturas y niveles de inundación, así como simulaciones predictivas para el futuro, que son útiles en la prevención de desastres. Asimismo, diversos estudios que evalúan las inundaciones emplean como técnica información cartográfica, para aplicar la hidrogeología en la mitigación de desastres naturales. Por lo tanto, se recomienda que en investigaciones futuras similares, el personal que lleve a cabo la simulación esté capacitado en el uso de software, asegurando que la formación profesional en hidrogeología se ajuste a la evolución del campo: hay una considerable variedad y profundidad en las actividades asociadas con las aguas subterráneas.

Palabra clave: Hidrogeología, Desastres naturales, Inundaciones, Sequías, Aguas subterráneas, Cuencas hidrográficas.

ABSTRACT

The direct contrast with climate change in surface water systems, particularly in response to extreme events such as droughts and floods, has enabled a review of the role of hydrogeology in the prevention of flooding and droughts, highlighting current techniques, applications, and challenges. This bibliographic study, which adopts a narrative review approach, is based on 65 sources extracted from scientific databases. By analyzing flood risks to reduce their impacts through hydrological and hydraulic studies, simulations, and data such as topography and meteorological records, it is possible to generate maps of flow velocities, heights, and flood levels, as well as predictive simulations for the future, which are useful in disaster prevention. Additionally, various studies assessing flooding employ cartographic information as a technique to apply hydrogeology in mitigating natural disasters. Therefore, it is recommended that future research of a similar nature involve personnel trained in the use of software, ensuring that professional training in hydrogeology aligns with the evolution of the field, as there is considerable variety and depth in activities associated with groundwater.

Keyword: Hydrogeology, Natural disasters, Floods, Droughts, Groundwater, Watersheds.

EL PAPEL DE LA HIDROGEOLOGÍA EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES: INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Sara Luz García Ccahuana

ORCID: 0009-0003-8018-3643

<https://revista.scienceevolution.com/>





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63

EL PAPEL DE LA HIDROGEOLOGÍA EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES: INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Sara Luz García Ccahuana

ORCID: 0009-0003-8018-3643

<https://revista.scienceevolution.com/>



INTRODUCCIÓN

La hidrogeología es una disciplina científica firmemente establecida que estudia los sistemas de aguas subterráneas, abarcando el comportamiento químico y la intrincada dinámica del flujo de agua dentro de poros, fracturas y cavidades, dado que este campo técnico-científico profundiza en la ocurrencia, el flujo y el estado de calidad de este recurso vital, al mismo tiempo que aborda la gestión y planificación de diferentes y diversas interacciones ambientales y humanas con los sistemas de aguas subterráneas (Abrunhosa et al., 2024). Las características específicas de las aguas subterráneas dentro de los recursos de agua dulce hacen que la hidrogeoética sea vital para asegurar investigaciones éticas y promover la implementación de prácticas óptimas en la ciencia y la ingeniería de los acuíferos para la administración y planificación sostenible del agua, puesto que existe un elemento importante como es el compromiso de identificar las necesidades de la comunidad y conservar el equilibrio ecológico para alcanzar una gestión y planificación sostenible y balanceada de los recursos. Por tanto, esta visión tiene su basamento en el compromiso, direccionando una proporción armónica entre las personas y su medio ambiente eficiente (Peppoloni, 2023).

Asimismo, la integridad de orientar el agua dulce como un derecho fundamental para la conservación del medio ambiente dependerá de este, dado que la existencia de una complicada correspondencia del comportamiento humano y las aguas subterráneas pueden generar beneficios complicados. Este dinamismo cubre varios segmentos interesados, que incluyen investigadores, expertos, gestores con capacidades, gerentes, corporaciones y pobladores. Consecuentemente, es imprescindible la priorización de la administración honesta, con amplia responsabilidad de los afluentes de agua subterránea, asegurando su utilización sustentable en beneficio de las futuras gestiones (Chaminé et al., 2021). Empero, un discernimiento restringido puede originar operaciones inadecuadas e insensatas, porque el examinar el rol fundamental del afluente de agua subterránea, permitirá determinar la construcción ética de este desde el ámbito social y ambiental, causando además una perspectiva con mayor sostenibilidad, justa y garante para obtener una administración eficaz del vital líquido (Biswas & Tortajada, 2024).

La administración de las masas de aguas o aguas subterráneas es importante, puesto que asegura mantener de forma razonable los modos de vida dentro del mundo, destacando la excelencia de la organización, seguimiento y control sustentable de las fuentes de agua subterránea, labores de conservación ambiental y los impactos del calentamiento global en cuanto a la administración del manto acuífero. También, esta óptica combinada logra brindar una proporción en la adquisición del conocimiento profundo de la planeación efectiva de la gestión del agua subterránea, debido al rumbo delineado en las exploraciones científicas que coadyuvan a la selección de metodologías equilibradas y razonables para la gerencia de este reservorio natural (Biswas & Tortajada, 2024).

En esta circunstancia, el ulterior de la hidrogeología está enfrentado a desafíos y congruencias en cuanto a la resolución de la administración de las fuentes de agua, debido al incremento del poblamiento de las ciudades, sumado al acrecentamiento del derroche del vital líquido, pues se pronostica una insuficiencia mundial de esta demanda acuífera, llevando a las colectividades pender de forma continua de las aguas subterráneas. Este escenario, anexado a la explotación de los ecosistemas y la polución del agua dulce, genera inestabilidad atmosférica, afectando de forma negativa el abastecimiento de agua subterránea destinada a la explotación agrícola e inocuidad alimentaria. De igual forma, el choque del calentamiento global en las acuíferas abarca los elementos como los dispositivos de incremento, superficies y cuerpos de lluvia, volcado al océano, disposición de los manantiales de agua dulce y sus discrepancias para obtener el agua limpia (Buijze et al., 2020).

La corriente de la fuente de agua mediante porosas comunes es determinante en partículas sueltas como la arena y arcilla, dado que son depositadas en el fondo de una masa de agua. Además, se ve aumentada la penetración de la acumulación de agua subterránea, pues se agrupa en grietas o conductos interiormente de piedras impenetrables o de poca filtración. Por tanto, su utilización genera mayor claridad y disposición de atención al ajuste de los contextos del suelo y a la incompetencia de un experto que logre calcular y vislumbrar el subsuelo penetrable semejante (Kreamer et al., 2021).

Se puede ver, que con el aumento de producciones científicas que guardan relación con los efluentes de agua, se hace imperioso el conocimiento de las provisiones hídricas, teniendo como consecuencia volver a examinar la utilización de la terminología "acuífera", que implica efusión y acumulación de ésta como parte de las propiedades de la roca, y se considera inadecuada en argumentos seguros; por ello, es importante conocer cuando la salida de agua no está asociada a un mecanismo geológico específico, sino que oscila entre diversos mecanismos según su fragmentación, molde y estructura, donde cuyo término es sustituido por el de masas de agua (Stigter et al., 2023).



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63



Este concepto abarca un sistema de almacenamiento y circulación a través de los poros en una matriz rocosa, así como el almacenamiento y la circulación en fracturas o cavidades dentro de la roca, las cuales pueden tener escasa o nula relación con la litología o los límites estratigráficos. Además, se enfatiza la importancia de comprender la interacción entre el agua subterránea y la heterogeneidad de la geología estructural, así como los procesos sedimentarios, tectónicos, geotérmicos, geoquímicos, de meteorización y bioquímicos. Diversos procesos afectan la roca; algunos incrementan el tamaño de las aberturas, frecuencia y disposición de las fracturas en algunas de ellas, además, influyen en el espaciamiento y la conectividad de las fracturas, y obstruyen las cavidades, sellando las fracturas con precipitados químicos, en otras rocas (Zhu et al., 2020).

Los desafíos relacionados con el agua requieren del compromiso sostenido a largo plazo de los responsables de la toma de decisiones políticas, debido a que es fundamental invertir tiempo en la elaboración de un plan estratégico que sea tanto efectivo como viable. De manera que, una vez que dicho plan ha sido formulado, su implementación es crucial, dependiendo de la magnitud y complejidad de los proyectos, dado que su ejecución podría demandar entre 20 y 50 años. Además, la mera existencia de un plan de gestión hídrica a largo plazo no es suficiente. Es imperativo que estos planes sean revisados periódicamente para adaptarse a las condiciones políticas, económicas y climáticas en constante evolución, así como a los avances en ciencia, tecnología y gestión. (Molinos-Senante et al., 2023).

En tal sentido, Ricart et al. (2023) sostienen que la información sobre las aguas subterráneas es escasa y poco confiable, aunque existe un consenso mundial general que indica que las aguas subterráneas aportan actualmente el 42 % del agua para riego, el 36 % para consumo humano y el 24 % para uso industrial. Claro, son estadísticas mundiales que pueden diferir considerablemente de un país a otro, de ahí que la agricultura constituye la mayor parte de la utilización de las aguas subterráneas. Desafortunadamente, en casi todos los países del planeta, durante la época posterior a 1960, se han extraído las aguas subterráneas de forma insostenible durante períodos prolongados, lo que ha ocasionado la continua disminución del nivel de los acuíferos, provocando que la extracción continua de aguas subterráneas sea de alto precio y demande un elevado consumo energético (Ibrahim et al., 2023).

Las naciones en desarrollo también enfrentan las repercusiones negativas de la extracción incontrolada de aguas subterráneas, puesto que los agricultores son actores clave en la gestión de éstas, y gran parte de ellos obtiene beneficios económicos de los regímenes legales actuales insostenibles, esto amerita cambiar de forma significativa y rápida los sistemas de regulación existentes. Por consiguiente, a pesar de que los problemas de sobreexplotación son serios en varios países, las modificaciones legales pueden implementarse de forma lenta y posiblemente progresiva (Sprenger et al., 2019).

Debido al deterioro de la situación de las aguas subterráneas en la mayor parte del planeta el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA] (2025), tanto en lo que respecta a cantidad como a calidad, será fundamental que en la próxima década se realicen esfuerzos significativos para orientar la gestión de las aguas subterráneas hacia un enfoque más sostenible. Al menos, los países tendrían que desarrollar e implementar políticas que contemplen la posibilidad de disminuir considerablemente las tasas actuales de descenso de los niveles de aguas subterráneas, así como bajar la cantidad de contaminantes que las afectan. Este fenómeno conlleva numerosas implicaciones políticas relacionadas con la reducción de la pobreza, la estabilización y el aumento de los ingresos en áreas rurales, el mejoramiento del nivel de vida y la mejora de las condiciones de seguridad alimentaria y del agua para la población rural en naciones en desarrollo.

Respecto al agua, este incremento de los grados de calor provoca que la circulación del agua y los modelos atmosféricos de las masas de agua se tornen más inestables, más variables y actúen con mayor intensidad; las evidencias disponibles sugieren que una consecuencia de estas anomalías es el incremento de los extremos en relación con las precipitaciones. A veces, lidiar con episodios de sequías meteorológicas más intensas y duraderas; en otras ocasiones, dado que las lluvias más fuertes concentradas en un área y tiempo limitados, pueden generar inundaciones más severas y peligrosas. Así, el efecto del cambio climático ocasionado por el incremento general de los grados promedios está afectando las condiciones atmosféricas en todo el planeta por las diferencias significativas entre regiones (Bonati et al., 2024).

Por esta razón, la ausencia de medidas en un entorno caracterizado por fenómenos naturales extremos que son cada vez más intensos y recurrentes, las urbes latinoamericanas deben estar mejor preparadas para asegurar la protección de sus habitantes y la viabilidad económica. Para lograrlo, es fundamental que las políticas urbanas incluyan aspectos de mitigación y adaptación al cambio climático, además de implementar acciones coordinadas e intersectoriales según las características específicas de cada ciudad. También, es fundamental crear estrategias integrales y modelos de



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63



intervención que faciliten la gestión de riesgos desde diversos niveles de gobierno, con un enfoque particular en el entorno urbano, comprender más a fondo cuál es la función de la gestión local e implementar medidas intersectoriales adecuadas son aspectos esenciales para alcanzar ciudades más resilientes (World Economic Forum, 2024).

La investigación tiene como propósito hacer una revisión sobre el papel de la hidrogeología en la prevención de inundaciones y sequías, destacando las técnicas, aplicaciones y desafíos actuales, por tanto esta situación requiere acciones para combinar las políticas de clima y agua con el objetivo de salvaguardar a las zonas más frágiles de las próximas escaseces, en vista de que la defensa de los ecosistemas naturales para mantener la humedad en los terrenos debe ser un aspecto incluido en todas las contribuciones determinadas a nivel nacional (Global Commission on the Economics of Water, 2022).

Así, la relevancia de la investigación se centra en que la solución a la crisis del agua requiere una respuesta más rápida, colectiva y urgente, pues es clave restaurar la estabilidad del ciclo hídrico, no solo por el agua en sí, sino también para no fracasar en la batalla contra el cambio climático y en la conservación de todos los ecosistemas de la Tierra, así como lo indica cada uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). De esta manera, se protegerá la seguridad alimentaria, se sostendrán las economías en crecimiento, se impulsarán las oportunidades de empleo y se asegurará un futuro justo y sostenible para todos.

MÉTODO

La investigación se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica sobre el papel de la hidrogeología en la prevención de inundaciones y sequías, logrando destacar los modelos hidrológicos, prácticas y los retos presentes. Además, es importante darle un rastreo firme, que genere requisa, permita coadyuvar a la exploración científica y advertir sobre la gestión de los efectos que ocasionan los efluentes de agua y el calentamiento global.

1. Enfoque de la revisión

El artículo se estableció desde la perspectiva de revisión bibliográfica como técnica de estudio cualitativa, estableciéndose como un juicio ordenado y reflexivo que afronta el reto de ejecutar la investigación de diversas producciones científicas cualitativas. También, ayuda a la agudeza analítica del estudio, y a que facilite la obtención de hallazgos relevantes que favorezcan al enriquecimiento educativo relacionado con la temática (Cházaro, 2024).

2. Criterios de selección de fuentes

Para avalar la congruencia y novedad de las producciones científicas optadas, se logró definir los subsiguientes razonamientos:

Fuentes: Se optó por analizar 65 producciones científicas, que incluyeron trabajos de investigación, obras literarias, e informes avalados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]; World Economic Forum, Global Commission on the Economics of Water, y otras fuentes que permitieron abordar las temáticas vinculadas de forma directa con la hidrogeología y la prevención de inundaciones y sequías.

Criterios de inclusión: Para la elección de la literatura se consideraron artículos vinculados a "hidrogeología", "desastres naturales", "inundaciones", "sequías", "aguas subterráneas", "estrategias de prevención", "ciclo hidrológico", "gestión de desastres" y "recursos hídricos".

Criterios de exclusión: Se priorizaron las publicaciones que corresponden al periodo de 2019 a 2025, con el fin de incluir las investigaciones actuales sobre hidrogeología y la prevención de desastres naturales: inundaciones y sequías.

3. Bases de datos y fuentes de información

Para encontrar las fuentes de información, se utilizaron repositorios de búsqueda científica en las principales bases de datos académicas, tales como: ProQuest, Google Scholar, Scielo, Dialnet, ScienceDirect y Scopus.

4. Análisis de la información

Se tomó en consideración para la categorización de la información según temas clave: tecnologías aplicadas, modelos predictivos, casos de éxito y limitaciones.



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63

EL PAPEL DE LA HIDROGEOLOGÍA EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES: INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Sara Luz García Ccahuana

ORCID: 0009-0003-8018-3643

<https://revista.scienceevolution.com/>



5. Evaluación de la calidad de los estudios

Se llevó a cabo la valoración de la calidad metodológica de los estudios teniendo en cuenta criterios de rigor y pertinencia, priorizando los estudios que se encuentran en bases teóricas robustas, con metodologías coherentes y conclusiones bien fundamentadas. Todo ello, con el fin de garantizar las interpretaciones y sugerencias resultantes de la revisión que fuesen válidas y relevantes para el contexto del papel de la hidrogeología.

6. Limitaciones metodológicas

Se aceptan ciertas restricciones en este estudio, dado que la elección de investigaciones se realizó empleando bases de datos revisadas, es posible que se hayan dejado de lado fuentes importantes publicadas en otros archivos. Por otra parte, la mirada en estudios publicados en inglés y español podría haber restringido el acceso a investigaciones en otros idiomas que podrían haber tratado enfoques complementarios.

En resumen, la metodología utilizada ha facilitado una revisión detallada de la literatura disponible, identificando los desafíos del papel de la hidrogeología en la prevención de inundaciones y sequías.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Fundamentos teóricos de la Hidrogeología y su vínculo con los desastres naturales:

La hidrogeología es una disciplina de la meteorología que analiza el período completo de los acuíferos tanto externos como internos, además de su repartimiento y cambios a lo largo del tiempo y del espacio dentro del contexto de la geología regional. Es un área cuyo uso está adquiriendo mayor importancia cada día en un entorno global de escasez de agua, tanto para el consumo humano como para el aprovechamiento por parte de industrias públicas y privadas (Costa et al., 2021). Asimismo, la hidrogeología ha progresado a través del tiempo, llegando a ser una disciplina de la geología esencial para analizar sistemas ambientales complejos, dado que esta ciencia aborda aspectos relacionados las tipologías de la atmósfera, su patrón de precipitaciones y la estructura hídrica, así como los riesgos, considerando los atributos como la ligereza, filtración, distribución de los elementos, grietas y asuntos geotectónicos y geológicos, los lazos entre los acuíferos, las cavernas y la geociencia, además de todos los métodos que influyen en el movimiento de las masas de agua, tanto en sedimentaciones como en peñascos (Naciones Unidas, 2022).

Otros elementos están incluidos en el ciclo integral de las aguas, como la hidrogeoquímica. El agua es la materia que permite a los individuos crearse en diversos territorios determinados y prosperar en los mercados según el ser vivo, puesto que está compuesto del 50 al 90 % de la mezcla orgánica. También, el abastecimiento hídrico contaminado podría generar afecciones gástricas y debilidad viral según la calidad de la masa de agua para su aseo y las técnicas de higiene utilizadas (Lapworth et al., 2022).

Por esta razón, es esencial que todas las naciones realicen estudios hidrogeológicos tanto detallados como amplios que proporcionen conocimientos exactos sobre el repartimiento, cuantía y característica hídrica en sus áreas, para mejorar la planificación del 'progreso sostenible, considerando que el mundo se enfrenta a un constante deterioro en la calidad y disponibilidad del agua. Los informes hidrogeológicos son estudios solicitados por diferentes Empresas Hidrográficas, cuyo propósito es examinar los tipos hidrogeológicos del entorno concreto dañado por un aleatorio derrame de aguas residuales, construcciones, excavaciones de hoyos, captación hídrica y otras actividades (Wu et al., 2020).

En este contexto, el análisis hidrogeológico permite establecer la efectividad, calidad y flujo ideal en la recolección de manantial, además de las situaciones, restricciones y acumulaciones máximas de posibles contaminantes perjudiciales en las formaciones geológicas. De manera similar, se establecen orientaciones del flujo de agua subterránea para garantizar la sostenibilidad de la capa freática, al preparar una valoración hidrogeológica, dado que es fundamental considerar el paraje de la zona de utilidad, puesto que ofrece rastros sobre la coexistencia de acuíferos (Delgado et al., 2021).

Es fundamental tener en cuenta que es más probable hallar grandes volúmenes de aguas subterráneas con poca profundidad en las cuencas que en las montañas, puesto que éstas respetan la pesadez que proviene de los humedales. En las regiones secas, la presencia de plantas "sedientas" sugiere la existencia de agua subterránea a baja o media profundidad. Igualmente, en cualquier zona donde exista agua en el espacio, como estanques, fugas, marismas y lagunas, debe haber acuíferos de poca cuantía (Amanambu et al., 2020).



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63



Asimismo, si el lugar de interés está ubicado en una región rocosa, es fundamental estar atento a las formaciones que emergen en el área. Si se encuentra arenisca, caliza o granito, rocas permeables a través de las cuales el agua puede moverse, hay más probabilidades de encontrar aguas subterráneas. Si, en cambio, el área de interés se sitúa en un valle con sedimentos sueltos, habrá más posibilidades de encontrar una masa de agua aprovechable en capas de partículas rocosas que facilitan el paso del líquido mediante el suelo, puesto que es claro que el examen del paisaje y de las condiciones climáticas de la región analizada son muy importantes para llevar a cabo una evaluación hidrogeológica inicial (Bierkens & Wada, 2019).

Boretti y Rosa (2019) sugieren que para realizar una evaluación hidrogeológica en una zona específica es fundamental tener en cuenta:

1. Elaboración de un plano geológico. Corresponden a la incorporación de las tipologías de roca que emergen en la zona geográfica, porque la finalidad es distinguir entre las rocas que pueden estar agrietadas y fisuradas, permitiendo el paso del agua al subsuelo, y aquellas que están muy plegadas o que son relativamente sanas y poco afectadas por la meteorización.
2. Ubicación y propiedades hidrogeológicas de los pozos próximos al área de interés. Es necesario localizar y fijar la profundidad de perforación, el agua obtenida, el volumen, el nivel de descenso, y las tipologías de roca atravesados por los hoyos; y, de no existir estos en el área, o no tener información suficiente sobre los que ya existen, es fundamental realizar algunas perforaciones de prueba para determinar las características del acuífero, especialmente saber cuánta agua fluye en él y el volumen que puede ingresar al pozo.
3. Obtención de muestras de agua. Si el pozo se va a construir para el consumo humano, la calidad del agua es tan importante como la cantidad, por lo que será necesario tomar muestras para hacer análisis físico-químicos del agua y examinar su calidad.
4. Valoración hidrogeológica. Permite realizar un análisis hidrogeológico que incluya el plano mineral y muestre la localización idónea para la construcción del hoyo y su fondo, también la proyección por su elaboración y sus elementos físico-químicos.

Así, cada evento asociado a la lluvia genera efectos significativos en dimensiones espaciales y temporales, dado que es crucial percibir su eficiencia en los métodos de conexión, esto porque quedan conectados con las técnicas de separación de tierras, como deslizamientos, masa de lodo, desbordamientos y aguaceros. De manera que, se mueven inmediatamente ante las precipitaciones, así como ante las condiciones adversas de los ecosistemas en cada cuenca fluvial. Por ello, a lo largo de la historia, diversas comunidades se han instalado en cavidades y superficies de terreno que experimentan una crisis rápida y drástica dado el acelerado desarrollo de la población, provocando cambios significativos en el uso del suelo y aumentando el riesgo para la población (Mora et al., 2023).

Asimismo, muchas ciudades y zonas pobladas tienen construcciones establecidas en territorios lisos que, en ocasiones, son viejos movimientos de tierra que se nivelaron en las zonas con depreciaciones del valle, puesto que los cauces que se consideran secos pueden reactivarse y causar perjuicios durante épocas de lluvias fuertes. De forma parecida, se han producido numerosos desastres devastadores debido a la activación de quebradas que han destruido ciudades enteras, puesto que la problemática se agrava por la escasa proyección correcta y el desarrollo poblacional, como resultado de inmigraciones y ocupaciones inadecuadas (Tavera, 2021).

Uno de los elementos más alarmantes en cuanto a desastres naturales es la creciente intensidad y frecuencia de estos sucesos, dado que son fenómenos que han sido relacionados directamente con el cambio climático, tales como: huracanes, incendios forestales y sequías, tornándose más devastadores y menos predecibles. También, en los acontecimientos meteorológicos extremos, las consecuencias del cambio climático se han mostrado de otras maneras, como el deshielo acelerado de glaciares y el incremento en el nivel del mar, lo que ha causado inundaciones en zonas costeras y la destrucción de ecosistemas naturales. El aumento de las temperaturas en todo el mundo genera un ambiente más propicio para estos desastres y hace más difícil la recuperación de las áreas impactadas, a causa de que las condiciones extremas permanecen por más tiempo del anticipado (National Geographic España, 2024).

Esto representa un gran desafío para las comunidades que, al enfrentar la catástrofe inmediata, deben lidiar con las consecuencias perdurables de estos eventos. En este contexto, las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático son vistas como esenciales para reducir el impacto de futuros desastres y garantizar la resiliencia de las comunidades más expuestas.

Interacciones entre aguas subterráneas y los actores externos

Políticas públicas

Según el Grupo Banco Mundial (2022), las aguas subterráneas suelen verse como un recurso privado,



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63

EL PAPEL DE LA HIDROGEOLOGÍA EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES: INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Sara Luz García Ccahuana

ORCID: 0009-0003-8018-3643

<https://revista.scienceevolution.com/>



lo que implica que están íntimamente ligadas a la propiedad privada. Por esta razón, la regulación y la gobernanza, junto con la gestión, desde una perspectiva vertical, se vuelven complejas, porque los planes gubernamentales deben centrarse en desempeñar adecuadamente su rol de protector. Las regulaciones y legislaciones nacionales gestionan el paso a los acuíferos y el dinamismo humano, que perturban a la propiedad, existiendo diversas herramientas legales importantes que aseguran el camino para obtener el vital líquido para retribuir sus insuficiencias como una parte de las libertades, permiten la dirección hacia el acuífero como sustento que reglamenta el manejo de los terrenos que perjudican la procedencia de estos, y establecen normas para su debido uso e inspección.

En determinadas jurisdicciones, la administración acuífera se realiza de manera conjunta con la de las aguas escorrentías, como los ríos, por las situaciones de conflicto entre las retribuciones asociadas a las aguas subterráneas y los cuerpos de agua superficiales; por ello, es crucial implementar un enfoque de gestión integral que pueda gestionar las fuentes concretas de contaminación mediante permisos y normativas generales sobre efluentes y la calidad del agua ambiental. En cambio, la contaminación difusa, que no puede ser relacionada con una fuente específica, demanda la ejecución de estrategias preventivas, como la regulación de los usos del suelo y la adopción de métodos agrícolas y ambientales más sostenibles (Comisión Económica para América Latina, 2024).

Agricultura

Las masas de agua representan un elemento crucial para el cultivo y riego, rebaño y el procesamiento industrial alimentario, debido a que es necesario compensar la consulta global del vital líquido y el cultivo agrícola para los próximos 25 años, lo que implica un acrecentamiento apreciado del 50 % en la necesidad de provisiones alimentarias, pasto y combustibles derivados de fuentes orgánicas. Por eso, concurre el aumento de la producción agraria a través del desarrollo sustentable de los acuíferos y la disminución de fumigaciones y diversos agentes químicos que se aplican de forma descontrolada, produciendo la contaminación ambiental (EOS Data Analytics, 2024).

Las pruebas muestran la inexistencia de las normativas y regulaciones estrictas que logren advertir o restringir el contagio difuso del acuífero ocasionado por las prácticas agrícolas inadecuadas, que garanticen estrategias para abordar la contaminación hídrica en este sector como parte de un enfoque integral de acciones agrícolas y de gestión a nivel nacional de acuíferos. Asimismo, el tendido eléctrico en áreas rurales es elemento fundamental en el progreso de la formación geológica, especialmente cuando la electricidad se ha desplegado hacia áreas que dependían de la fuerza del viento. Los adelantos en los procesos tecnológicos como paneles solares permiten el progreso en las labores agrarias, surgiendo el peligro de un uso inadecuado del recurso hídrico si no se maneja y regula adecuadamente la implementación de los sistemas de irrigación solar (Helios Comunicación, 2024).

Asentamientos humanos

La utilización de acuíferos en muchas ciudades parece estar incrementándose, por lo que se estima que cerca del 50 % de la población mundial se provee actualmente de ellos. Sin embargo, las personas en situación de vulnerabilidad en zonas urbanas habitan en asentamientos periurbanos, los cuales son caóticos y carecen de reconocimiento legal, donde no se disponen de edificaciones ni servicios públicos de agua. En las regiones en desarrollo, la utilización de pozos de agua privados para abastecer de agua a las ciudades ha crecido en años recientes, en vista que esta costumbre a menudo surge como una táctica de supervivencia frente a un servicio de agua por tuberías poco confiable o insuficiente, y posteriormente se mantiene como una manera de disminuir gastos y evadir tarifas más elevadas por el vital líquido (UNESCO, 2023).

El efecto de un saneamiento deficiente en las aguas subterráneas se percibe en las zonas urbanas donde la infraestructura de alcantarillado es insuficiente y la mayoría de los desechos fecales de los hogares se manejan en letrinas de pozo. Por ello, las compañías de suministro de agua deben enfocarse más en la protección de sus fuentes hídricas vitales, limitando la agricultura y la edificación de viviendas en sus áreas de captación de aguas subterráneas, para proteger la salud pública y disminuir el costo del suministro de agua. De este modo, las aguas subterráneas representan la única opción realista y económica para aumentar el acceso fundamental al agua en las comunidades rurales desatendidas de gran parte del planeta, especialmente en el África Subsahariana y en el sur de Asia, donde existe una significativa población rural, a pesar de estar dispersa (Organización de las Naciones Unidas, 2022).

La combinación de limpieza in situ y el suministro de acuíferos generan una inquietud importante para los nacimientos de poca profundidad, debido a que se estima que el 30 % de las instalaciones rurales responsables del suministro de aguas subterráneas están afectadas por la contaminación persistente de patógenos. Este asunto impacta de forma desmedida a los sectores más vulnerables, siendo las mujeres y las niñas quienes corren un mayor peligro de sufrir enfermedades ocasionadas por la exposición a patógenos y toxinas en aguas residuales, por lo cual los campamentos, sean



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63



temporales o fijos, de personas transportadas piden un enfoque particular (Organización Mundial de la Salud, 2022).

Industria

Entre los ámbitos que utilizan aguas subterráneas están la producción, la minería, el petróleo y el gas, la generación eléctrica, la ingeniería y la construcción, puesto que, dentro de las industrias que dependen en gran medida de las aguas subterráneas en sus cadenas de suministro, se hallan los sectores de la confección y de alimentos y bebidas. Diversos procesos industriales utilizan recursos de aguas subterráneas en áreas donde hay escasez de aguas superficiales y en circunstancias donde la calidad de estas es esencial (Fundación Anesvad, 2024).

Por esta razón, numerosos procesos de producción requieren una gran cantidad de agua para el lavado y la limpieza de sus productos al concluir la producción, con el fin de eliminar los restos de los químicos utilizados en el proceso. Esto ocurre porque la utilización de aguas subterráneas para el enfriamiento difiere significativamente según el lugar y la clase de industria, generando grandes variaciones entre naciones. Igualmente, las edificaciones subterráneas, como los túneles, a menudo necesitan un drenaje que sea temporal o duradero. No obstante, las industrias del petróleo, gas y minería, mediante sus variadas actividades, son capaces de reunir una gran cantidad de datos internos acerca de la ubicación, el alcance de los acuíferos y sus características (Mas-Pla & Menció, 2019).

Prevención de inundaciones

Los sistemas de aviso previo de inundaciones son herramientas creadas para ofrecer advertencias anticipadas a las comunidades y autoridades impactadas, facilitando así que adopten medidas preventivas y de mitigación. A continuación, Agforest (2024) determina las siguientes características de este sistema:

1. Supervisión Hidrológica y Meteorológica: Se emplean estaciones de monitoreo hidrológico y meteorológico para obtener información en tiempo real acerca de precipitaciones, niveles fluviales, caudales y otras variables importantes. La información se envía a centros de control donde se estudia y se utiliza para analizar las condiciones actuales y anticipar posibles inundaciones.
2. Modelación y Predicción: Se utilizan modelos matemáticos para replicar el comportamiento hidrológico según las condiciones meteorológicas actuales y futuras, además estos modelos asisten en la predicción de posibles inundaciones y en la evaluación del ímpetu y la permanencia de los episodios.
3. Criterios de aviso: Se definen criterios de alerta fundamentados en límites establecidos, como niveles de agua críticos en ríos o la cantidad de lluvia acumulada en un tiempo determinado, se logran o se anticipan estas circunstancias y se generan alertas.
4. Correspondencia y adjudicación de alarmas: Se crean métodos de notificación fuertes para la transmisión de advertencias para la colectividad frágil, utilizando mensajes de texto, alarmas, silbatos, medios radiales y televisivos, medios sociales y otras líneas de comunicación.
5. Preparación y Concienciación: Se llevan a cabo operaciones de educación y concienciación para educar de forma colectiva a todas las personas en cuanto a la apreciación de las alarmas y la manera de actuar ante los eventos naturales.
6. Instalaciones para la reducción de eventos: Adopción de tácticas de atenuación en cuanto a desbordamientos.
7. Planos de riesgo de desbordamientos: Los planos de peligro de desbordamientos son herramientas cartográficas empleadas en la administración de peligro y la organización de la utilización del terreno, además estos explican las zonas riesgo a desbordamientos, ofreciendo respuestas antes los eventos naturales.

La utilización de representaciones mediante sistemas hidrogeológicos permite pronosticar los terrenos de peligro y planear deposiciones en la administración de cuerpos de agua dulce que aseveran el espacio, afianzamiento y cumplimiento de los instrumentos para la apropiada planificación del recurso hídrico mediante el modelo hidrodinámico. La técnica de moldeado sirve como un recurso para investigar las cuestiones más amplias sobre nuestra capacidad para analizar y desarrollar estrategias que traten los problemas presentes y futuros relacionados con el agua, dado que las habilidades técnicas de los modelos difieren significativamente entre los distintos aspectos asociados al recurso hídrico; sin embargo, se ha encontrado que los modelos capaces de examinar muchos de los temas relevantes en este campo están actualmente accesibles y tienen un gran potencial para aumentar la precisión y la efectividad de la información producida para los administradores, tomadores de decisiones y académicos (Timbe et al., 2019).

Por otro lado, hay numerosos casos en los que es necesario realizar la modelación de la dinámica del agua, la cual es fundamental no solo en el ámbito de la Gestión Integral del Recurso Hídrico, sino también en la administración de otros recursos naturales y sistemas sociales que dependen del agua.



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63



Además, estos modelos hidrogeológicos son utilizados para la reconstrucción de series de datos; conocer la disponibilidad hídrica de una cuenca o zona relacionada; examinar el comportamiento de ciertos elementos del sistema analizado; identificar alteraciones en los componentes del ciclo hidrológico por cambios en los usos del suelo y/o las coberturas vegetales y evaluar diversas amenazas de origen hidroclimático, como inundaciones, deslizamientos, lluvias intensas, crecidas repentinas, sequías, entre otras (Akram, 2023).

Del mismo modo, existe un nivel de reiteración y énfasis, donde se concretan las demandas de agua en la agricultura, se prevén las situaciones futuras del área de estudio, como las condiciones hidrológicas, hidrogeológicas, hidráulicas, de calidad del agua, y más. Asimismo, se estudian los efectos del cambio en la dinámica climática; se investiga la dinámica de las aguas subterráneas; se establece la necesidad y/o el impacto de infraestructuras hidráulicas; se analiza la dinámica sedimentológica de una cuenca; se evalúa la calidad del agua, ya sea física, química o biológica, y el efecto de una represa sobre la dinámica del agua en una cuenca; y se anticipan las afluencias de caudales hacia los embalses (Thouret et al., 2022).

Prevención de sequías

La administración de fuentes hídricas enfrenta desafíos como el calentamiento global, que genera períodos prolongados de sequía y lluvias intensas, además del desarrollo comunitario y el crecimiento urbano, presentando dificultades en diversas áreas para las jurisdicciones de la gestión del agua. De manera que, el calentamiento global también afecta las series de datos que sustentan investigaciones y proyectos, porque el historial de esos antecedentes no se han visto afectados por las consecuencias de este acontecimiento, requiriendo además de refutaciones flexibles, poseer habilidad para ajustarse ante los peligros de desbordamientos y sequedad de la tierra (IDRICA, 2024).

La sequedad de la tierra crea consecuencias que repercuten en las aguas de escorrentía, afectando a los acuíferos y deteriorando su propiedad, la cual está motivada por el aprovechamiento inapropiado de las áreas, dado que ante espacios de tiempo largos de sequía, es importante la implementación de una administración idónea que examine con claridad el contenido gradual del vital líquido, de ahí que el exceso complica sus características, incrementa la agrupación de poluciones e impurezas. También, es importante que la congregación de soporte a la determinación constituyan modelos hidrogeoquímicos para valorar y formalizar las características del agua en tiempos de sequedad (Scanlon et al., 2023).

Asimismo, la sequedad de la tierra trae consecuencias financieras y colectivas, dado que impacta a la explotación agrícola, causando detrimentos en la producción y aumento en los gastos de operación. De manera que, la colectividad en las diferentes zonas lidian con la escasez del agua dulce, lo que complica su situación de carencia y ocasiona disturbios sociales, intensificados por las condiciones meteorológicas extremas, constituyéndose como un gran desafío en los comienzos del siglo XXI (Foster, 2020).

Este tipo de sucesos ha causado una devastación económica y social en todo el mundo, dado que la pérdida de vidas, la destrucción de infraestructuras, la pérdida de bienes y el desplazamiento de comunidades, son solo algunos de los múltiples efectos que se han registrado. Desde un enfoque económico, las pérdidas, ya sean directas o indirectas, han alcanzado miles de millones de dólares, perjudicando la estabilidad financiera de comunidades completas. Igualmente, esto otorga a los sistemas de agua la habilidad de recuperarse, puesto que en condiciones extremas como sequías o lluvias fuertes, generan un incremento en la turbidez de los ríos y dificultan la recolección de agua superficial, debido a que la continuidad del suministro de agua puede garantizarse a través de la extracción de agua subterránea (Ochoa-Tocachi et al., 2019).

Dada su relevancia, es fundamental salvaguardar el recurso hídrico subterráneo frente a los riesgos que amenazan su calidad y disponibilidad futura, porque la contaminación de los acuíferos, por distintas razones, puede deteriorar estas fuentes para el suministro de la población; mientras que la sobreexplotación puede ocasionar problemas negativos como el hundimiento del suelo y la intrusión de agua salina. El hundimiento del terreno puede impactar gravemente a las urbes, visto que aparte de influir en la movilidad, crea tensión en las redes de agua, produciendo roturas que aumentan el agua no registrada y ocasionando inundaciones. Finalmente, el uso desmedido de los acuíferos aumenta la vulnerabilidad de las ciudades frente al cambio climático, puesto que pone en riesgo la disponibilidad futura del recurso y disminuye la capacidad de recuperación ante fenómenos climáticos extremos (Palma et al., 2022).

La administración eficiente de los recursos hídricos se ha convertido en una urgencia mundial debido a la creciente falta de agua y a los problemas ambientales que enfrenta el mundo. En este escenario, la recarga de acuíferos se ha establecido como una estrategia esencial para asegurar la disponibilidad y calidad del agua subterránea, la cual es crucial para abastecer comunidades, agricultura, industria y



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63



ecosistemas. De este modo, la sobrecarga del almacenamiento de agua conocida como recarga artificial, o Recarga Gestionada de Acuíferos (MAR en inglés), asegura la introducción deliberada de agua en los acuíferos, posibilitando así que desempeñe su función original como reserva y su posterior extracción para su uso (Cruz-Ayala & Megdal, 2020).

La MAR es un medio de almacenamiento de agua en acuíferos subterráneos que serán usadas a largo plazo y que viabilizan el relleno de los acuíferos a través de las programaciones como la filtración, renovación o irrigación de agua proveniente de fuentes naturales. Según la American Society of Civil Engineers [ASCE], la recarga gestionada de acuíferos de una categorización procedimental intencionada y estructurada para introducir agua en un acuífero tiene por objeto lograr pretensiones para aumentar el acaparamiento de agua, optimizando la eficacia de la misma y mitigar los impactos del exceso por el uso de los riquezas naturales (ASCE, 2020).

Además de lo previamente señalado, se establece que las metas de la recarga controlada de acuíferos son incrementar la disponibilidad de agua subterránea; aumentar el volumen de agua en los acuíferos para asegurar su acceso a largo plazo; restaurar el equilibrio entre la recarga y la extracción, lo que garantiza la sostenibilidad del recurso; y regular la calidad del agua al permitir que el agua de lluvia u otras fuentes se infiltre a través del suelo antes de alcanzar el acuífero, mejorando su calidad y disminuyendo los niveles de contaminación. Asimismo, ayuda a restringir la intrusión de agua salina en las regiones costeras, reduce el riesgo de inundaciones al retener temporalmente el exceso de agua durante la temporada de lluvias o en áreas con alto riesgo de inundación, y promueve la colaboración y sinergia entre múltiples actores al incluir a diversos participantes, como autoridades, agricultores, comunidades locales, entre otros (Climate Adapt, 2022).

Respecto a las tecnologías de vigilancia para la identificación temprana de estrés por falta de agua, se señala que el cambio climático es uno de los elementos más “desestabilizadores”, que se manifiesta a través de eventos extremos, los cuales son cada vez más frecuentes a nivel mundial. La investigación suministrada por la Convención de las Naciones Unidas para Combatir la Desertificación (por sus siglas en inglés, UNCCD) demuestra que la sequedad de la tierra es un “compromiso” hacia los diversos sectores. También, las industrias del sector tecnológico se esfuerzan por dar respuestas para aumentar la eficacia en cuanto la utilización del agua, respondiendo a las carencias de la colectividad en general, combinando el vigor hídrico, la alta tecnología para la administración del agua y acciones de supervivencia efectiva de la sostenibilidad del vital líquido (Aguas Residuales, 2024).

Actualmente, la planificación de los acuíferos se convierte en una ventaja competitiva global, debido a que los procesos tecnológicos juegan un rol esencial proveyendo reparaciones innovadoras para la optimización del agua en distintas zonas. Por ello, las innovaciones en los procesos tecnológicos del recurso hídrico son la admisión de modelos que permiten monitorear y controlar a través de dispositivos de la telemetría, permitiendo la obtención de información exacta sobre el registro, características y propiedades del agua, y ayudando en la determinación y perfeccionamiento del tratamiento y operación técnica del recurso hídrico (Sostenibles, 2024).

Las formas de aplicar el agua al suelo en la agricultura para su exactitud y la utilización de siembras son flexibles a la sequedad de la tierra mediante tácticas que promueven los métodos de conducción del terreno para incrementar la conservación de agua, minimizando el escurrimiento y el desgaste rocoso. De manera que, el cultivo de tierras se muestra como una sección eficiente en la utilización del agua, representando el 70 % de la cantidad de agua usada; por lo que es ineludible progresar mediante una agricultura sustentable con innovadoras tecnologías y producciones científicas para su impulso (Plataforma Tierra, 2024).

De igual forma, la administración del recurso hídrico simboliza un desafío en cuanto a la utilización de modelos hidrológicos que permitan darle soluciones al problema del agua de forma general, solicitando a las diversas corporaciones del mundo e industrias sacar provecho de los procesos tecnológicos y la adopción de novedosos métodos que permitan la optimización, eficiencia, pureza y desarrollo sustentable en la gestión del agua, promoviendo la transformación tecnológica a través de cadena de bloques (blockchain), IA y macrodatos e inteligencia de datos que representan una ventaja competitiva para la optimización, tratamiento del agua ante el calentamiento global (El Economista, 2024).

Desafíos y limitaciones actuales

Los desafíos climáticos actuales permiten afirmar que diversas investigaciones sobre el cambio climático han arrojado hallazgos más complejos, porque se deben unir fuerzas para encontrar soluciones, en vista que el cambio climático afecta a unas zonas más que a otras. Además, se necesitan investigaciones que analicen el panorama general para encontrar soluciones duraderas mediante investigaciones interdisciplinarias de la hidrogeología que ayudan a comprender cómo los humanos han afectado la naturaleza, puesto que este conocimiento es clave para planificar un futuro que



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63



funcione con la naturaleza y con los esfuerzos de las Naciones Unidas.

Por este motivo, la existencia de barreras como las restricciones en la financiación que afectan la asignación de recursos y obstaculizan las iniciativas de investigación en hidrogeología frente a futuros escenarios; los datos climáticos inconsistentes, dificultan el análisis y las conclusiones; y la resistencia al cambio en las universidades impide la acción climática y el agotamiento de los investigadores quienes dejan los proyectos relacionados con el cambio climático fuera de práctica. Igualmente, se debe impulsar un mayor apoyo para la investigación y financiamiento de programas, implementar métodos estandarizados para la recopilación de datos en cada estudio, fomentar un cambio cultural hacia prácticas sostenibles mediante reformas políticas, ofrecer condiciones laborales flexibles y dar prioridad a la investigación sobre el clima.

Casos de estudio relevantes:

Los resultados muestran que la hidrogeología exige un desafío importante en la paliación de desbordamientos y sequedad de la tierra, a través de un examen abismal de los recursos hídricos que afrontan amenazas motivadas por las fluctuaciones climáticas y la opresión ambiental y social, recalcando la perentoria parvedad de compendios que provoquen la conservación del medio ambiente por un tiempo prolongado, el desarrollo sustentable y la relación ecológica. Por tanto, esta creencia esgrime la construcción de argumentos que destaque la relevancia del recurso hídrico para un sostenimiento más razonable, ecuaníme y comprometido en la administración del agua.

Los hallazgos construidos por Nguyen et al. (2021) muestran un planteamiento innovador en cuanto a la evaluación de peligros de desbordamiento por inundación combinando modelos hidráulicos, observación y predicción del crecimiento poblacional, superficie terrestre y cambios sociales que permiten optimizar la valoración del peligro de desbordamientos en los territorios con mayor vulnerabilidad. De igual forma, emplearon el sistema hidráulico para crear un plano de riesgos, asociado con indagación sobre despliegue y debilidad por los desbordamientos, dado que esta evaluación es fundamental para sacar provecho de las tácticas y gestiones por parte de las instituciones encargadas de mitigar los riesgos por inundaciones.

De igual manera, Borzi et al. (2020) realizaron su estudio únicamente con imágenes satelitales y datos climáticos de mediciones diarias, sugiriendo un método para estimar inundaciones en áreas llanas con información limitada con modelos simplificados y datos restringidos para evaluar riesgos y formular estrategias de respuesta a inundaciones. A la par, Minywach et al. (2023) llevaron a cabo la implementación del modelo hidráulico HEC-RAS y el software Easyfit para analizar la frecuencia de inundaciones y crear mapas de zonas vulnerables a inundaciones, subrayando su utilidad en la gestión de desastres en contextos urbanos y rurales. Unes et al. (2020), en su investigación muestran y evidencian a través de mapas las regiones susceptibles a diferentes inundaciones, fundamentándose en el modelado hidráulico e hidrológico; además, presentaron la vulnerabilidad frente a tales situaciones.

Desde una perspectiva distinta, Alarcón et al. (2020) aplicaron modelos hidrológicos en HEC HMS para calcular zonas propensas a inundaciones, utilizando hietogramas generados a partir de la curva de estaciones hidrometeorológicas, ajustándose a un hidrograma aforado directo, lo cual derivó en un modelo efectivo. Luego, realizaron el modelado hidráulico usando el Programa IBER, integrando datos topográficos del cauce y las llanuras, lo que facilitó la identificación de zonas propensas a desbordamientos, concluyendo que la simulación hidrológica e hidráulica con los modelos propuestos son herramientas eficaces y confiables que evalúan las inundaciones.

Por su parte, Ramadán et al. (2022) mediante su investigación, demostraron el análisis morfométrico de una cuenca en Wadi Sudr, ubicado en el Sinaí del Sur, Egipto, seleccionando un sitio adecuado para una represa protectora y planificando las presas necesarias para mitigar el riesgo de inundaciones. La investigación actual integra un sistema de información geográfica (GIS) y un sistema de modelado de cuencas (WMS) para ilustrar y analizar incidentes de inundaciones en el área de estudio, resultando en una demostración hidrológica y un hidrograma de inundaciones para la cuenca. De esta manera, la metodología sugerida consiguió salvaguardar el área de investigación de riesgos de inundaciones y retener enormes volúmenes de agua que pueden ser aprovechados para varios fines, concluyendo que es útil en distintas zonas para la evaluación y reducción del riesgo de inundaciones.

Adicionalmente, Patil y Kambekar (2022) realizaron un estudio que produjo mapas de inundación al combinar GIS y HEC-RAS en el tramo del río Bhīma en Maharashtra, India. A través de series de descargas máximas anuales, se determinaron los caudales de inundación para diferentes intervalos de recurrencia, dado que las áreas impactadas por inundaciones a lo largo del río Bhīma exhiben caudales máximos para períodos de retorno de 25 y 100 años. En este sentido, se realizaron simulaciones para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, elaborando mapas de inundación para un intervalo de recurrencia de 100 años, lo que permitió el análisis de las riberas izquierda y



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63

EL PAPEL DE LA HIDROGEOLOGÍA EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES: INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Sara Luz García Ccahuana

ORCID: 0009-0003-8018-3643

<https://revista.scienceevolution.com/>



derecha, empleando las altitudes del nivel del agua producidas por el modelo HEC-RAS. Los resultados importantes evidenciaron que la orilla izquierda, ubicada en el lado este del río, es más susceptible a los desechos de agua que la orilla derecha; asimismo, señala que las zonas urbanas y agrícolas situadas río abajo del curso fluvial son más vulnerables a inundaciones.

CONCLUSIONES

El porvenir de la hidrogeología ofrece numerosos desafíos y oportunidades para científicos, ingenieros, expertos en ciencias sociales y responsables de la toma de decisiones, dado que las presiones futuras sobre las aguas subterráneas pueden ser semejantes, pero no serán idénticas a los retos actuales. El futuro y los límites de la ciencia y la investigación sobre aguas subterráneas poseen un gran potencial y proporcionan una visión muy optimista para el progreso hidrogeológico continuo. De manera que, estas invenciones y hallazgos pueden beneficiar a la humanidad, proteger los ecosistemas, facilitar la gestión sostenible de recursos y ofrecer caminos de investigación intelectualmente estimulantes para las futuras generaciones.

Por tanto, las ideas acerca de la esencia y la importancia del entorno subterráneo están evolucionando, motivadas por hallazgos en diversos ámbitos, alentadas por las crecientes demandas de varios sectores económicos, afectadas por transformaciones globales en el clima y condiciones meteorológicas, y fundamentadas en un mejor entendimiento ofrecido por los investigadores del agua subterránea en años anteriores. Dado que la hidrogeología es una de las disciplinas más interactivas, a medida que el mundo progresa en diversas áreas, la ciencia y la investigación de aguas subterráneas también lo hacen.

Igualmente, se deben analizar los riesgos de inundaciones súbitas y proporcionar estrategias de protección que reduzcan sus impactos a través de modelaciones hidrológicas e hidráulicas en los estudios, consiguiendo, mediante simulaciones y datos como la topografía y la información meteorológica, crear mapas de velocidades, alturas y niveles de inundación, así como proyecciones predictivas, las cuales resultan muy beneficiosas en la prevención de desastres y en el diseño de diversas clases de defensas y/o canalizaciones.

De la revisión se deduce que la mayoría de estudios para la estimación de inundaciones emplean, como metodología, datos cartográficos para luego realizar la delimitación de cuencas y la estimación de caudales máximos para distintos periodos de retorno, los cuales son utilizados para el modelado hidráulico y, en ciertos casos, se tiene como resultado los mapas de inundaciones.

Una de las contribuciones más importantes que los expertos en aguas subterráneas pueden ofrecer a la sostenibilidad de nuestro planeta, tanto ahora como en el futuro, es realizar un esfuerzo firme para comunicar nuestra comprensión del subsuelo a la población general, puesto que los científicos e ingenieros en esta área pueden continuar dialogando únicamente entre ellos o con un reducido grupo de profesionales y responsables de decisiones receptivos, con la esperanza de que algún día la sociedad comprenda y valore el significado global de las competencias y conocimientos hidrogeológicos. Por otro lado, el riesgo global de inundaciones podría disminuir gracias a la mejora en las condiciones socioeconómicas, sin embargo, los daños ocasionados por inundaciones aumentarán en eventos extremos; por lo tanto, la mitigación del riesgo de inundaciones debe ser una prioridad, a pesar de la disminución general del riesgo de estos eventos.

De manera similar, la incorporación de información para el desarrollo y la validación de políticas públicas que favorezcan el uso sostenible de los acuíferos debe ser analizada mediante sus marcos normativos y el diseño institucional, abarcando la regulación de las aguas subterráneas y la gestión integrada de los recursos hídricos, fomentando la cooperación entre los diferentes sectores involucrados como la agricultura, energía, minería, industria, entre otros.

Así, los resultados de la revisión se generalizaron para la aplicación de la hidrogeología en la prevención de los desastres naturales. Además, se sugiere que en futuros estudios similares, el personal que realice la simulación se familiarice con el uso de softwares con base en modelos hidrológicos, dado que introducir datos incorrectos podría generar cálculos distorsionados y, por ende, una investigación deficiente. Asimismo, la recolección sistemática de información facilitaría a los investigadores y expertos impulsar estrategias de adaptación y mitigación fundamentadas en evidencia científica y en la interseccionalidad entre las aguas subterráneas, el cambio climático y los modos de vida.

Por último, es un reto garantizar que la formación del profesional en hidrogeología se adapte al avance del propio campo, debido a que existe una gran amplitud y profundidad en las



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63

EL PAPEL DE LA HIDROGEOLOGÍA EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES: INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Sara Luz García Ccahuana

ORCID: 0009-0003-8018-3643

<https://revista.scienceevolution.com/>



aguas subterráneas, las cuales están en rápido aumento, pero infortunadamente, muchas de las herramientas creadas en la investigación no se practican. La capacidad para analizar meticulosamente cada circunstancia e incorporar información y contribuciones de diversas disciplinas continuará definiendo al profesional de las aguas subterráneas que esté comprometido activamente en la investigación de los próximos años.

REFERENCIAS

- Abrunhosa, M., Chambel, A. & Peppoloni, S. (2024). Water resources management for a sustainable nexus of hydrogeoethics and societal well-being. *Sustain. Water Resources Management*, 10, 97. <https://doi.org/10.1007/s40899-024-01085-4>
- Agforest (2024). Estudios de inundabilidad. <https://agforest.ai/estudios-inundabilidad/>
- Aguas Residuales (2024). Año 2024: Urge adoptar medidas audaces y tecnológicas en la eficiencia hídrica <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/ano-2024-urge-adoptar-medidas-audaces-y-tecnologic-bPsTH>
- Akram, S. (2023). Flood hazard modelling using hydraulic simulation model and satellite images: a case study of chaj doab, punjab, pakistan. *Pakistan Journal of Science*, 75(04), 634–644. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:269830709>
- Alarcón-Neva, A., Chávez, J., Palacios, Ó. & Ibanez, L. (2020). Estimación de áreas vulnerables a inundaciones en zonas urbanas: Morelia, Michoacán, México. *Tecnología y ciencias del agua*, (3), 1–26. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7449174>
- Amanambu, A. C., Obarein, O. A., Mossa, J., Li, L., Ayeni, S. S., Balogun, O., Oyebamiji, A. & Ochege, F. U. (2020). Sistema de aguas subterráneas y cambio climático: Estado actual y consideraciones futuras. *Journal of Hydrology*, 589, doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125163
- Aragão A (2021) Cuestiones éticas y principios jurídicos en relación con la gestión conjunta de cuencas hidrográficas compartidas en el contexto del cambio climático y la escasez de agua en la península Ibérica. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 3, 319–337. <https://doi.org/10.1007/s42990-021-00060-x>
- Archer, D., & M. Newson. (2021). The use of indices of flow variability in assessing the hydrological and instream habitat impacts of upland afforestation and drainage. *Journal of Hydrology*, 268(1–4), 244–258. [10.1016/S0022-1694\(02\)00171-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00171-3)
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2020). *Standard Guideline for the Implementation of Managed Aquifer Recharge for Water Resources Development*. ASCE/EWRI 67-20. Reston, Virginia. <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/9780784415283.fm>
- Bierkens, M. & Wada, Y. (2019). Non-renewable groundwater use and groundwater depletion: a review. *Environmental Research Letters*, 14(6). doi.org/10.1088/1748-9326/ab1a5f
- Biswas AK. & Tortajada, C (2024) Agua subterránea: un recurso invisible, sobreutilizado y no apreciado. *International Journal of Water Resources Development*, 40(1), 1–6. <https://doi.org/10.1080/07900627.2024.2292448>
- Bonati, S., Fernández, A. & Seiz, R. /2024). Cómo adaptarnos a los efectos extremos del cambio climático: inundaciones y sequías. *WWF España*. <https://wwf.es/awssassets.panda.org/downloads/adaptacionefectoscc.pdf>
- Boretti, A. & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the World Water Development Report. *npj Clean Water*, 2(15). doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9
- Borzi, G. E., Cellone, F., Tanjal, C., Melendi, E. & Carol, E. (2020). Propuesta metodológica para el estudio de inundaciones en áreas de llanura con escasez de información. *DYNA*, 87(215), 221–228. <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n215.85140>
- Buijze L., van Bijsterveldt L., Cremer H., Paap B., Veldkamp H., Wassing B. B., Wassing B. B., van Wees J.-D., van Yperen G. C., ter Heege J. H., & Jaarsma B. (2020). Review of induced seismicity in geothermal systems worldwide and implications for geothermal systems in the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences*, 98, e13. <https://doi.org/10.1017/njg.2019.6>
- Comisión Económica para América Latina (11 de marzo de 2024). *IV Edición de los Diálogos Regionales del Agua en América Latina y el Caribe 2024: Hacia el Foro Mundial del Agua 2024*. <https://www.cepal.org/es/discursos/iv-edicion-dialogos-regionales-agua-america-latina-caribe-2024-foro-mundial-agua-2024>



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63

EL PAPEL DE LA HIDROGEOLOGÍA EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES: INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Sara Luz García Ccahuana

ORCID: 0009-0003-8018-3643

<https://revista.scienceevolution.com/>



Chaminé, H., Afonso, M.J. & Barbieri, M (2022) Advances in Urban Groundwater and Sustainable Water Resources Management and Planning: Insights for Improved Designs with Nature, Hazards, and Society. *Water*, 14(20), 3347. <https://doi.org/10.3390/w14203347>

Cházaro, E. (2024). Análisis de datos en las investigaciones cualitativas: El reto frente al investigador. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA*, 9(17), 168-171. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i17.3163>

Climate Adapt (22 de noviembre de 2022). *Adaptación de la gestión de las aguas subterráneas*. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/metadata/adaptation-options/adaptation-of-groundwater-management>

Global Commission on the Economics of Water (2022). *La economía del agua: valorar el ciclo hidrológico como un bien común global*. <https://economicsofwater.watercommission.org/>

Costa, D., Zhang, H. & Levison, J (2021) Impactos del cambio climático en las aguas subterráneas en la cuenca de los Grandes Lagos: una revisión. *Journal of Great Lakes Research*, 47, 1613-1625. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.10.011>

Cruz-Ayala, M.B. & Megdal, S.B. (2020). An Overview of Managed Aquifer Recharge in Mexico and its Legal Framework. *Water* 12(474). <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/2/474>

EOS Data Analytics (18 de abril de 2024). *Uso Del Agua En La Agricultura Con Métodos Sostenibles*. <https://eos.com/es/blog/uso-del-agua-en-agricultura/>

Delgado Martín, A.; Rodríguez, D., Amadéi, C, Makino, M. (2021). El agua en la economía circular y la resiliencia (WICER) (inglés). *Práctica mundial del agua* Washington, DC: Grupo del Banco Mundial. <http://documents.worldbank.org/curated/en/542201631540762485/Water-in-Circular-Economy-and-Resilience-WICER>

El Economista (2024). *Agua digital, tecnología y políticas públicas*. <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Agua-digital-tecnologia-y-politicas-publicas-20240322-0033.html>

Foster, S. (2020). Global Policy Overview of Groundwater in Urban Development—A Tale of 10 Cities! *Water* 12(2), 456. <https://doi.org/10.3390/w12020456>

Grupo Banco Mundial (2022). *Gestión de los recursos hídricos*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/waterresourcesmanagement>

Helios Comunicación (25 de abril de 2024). *Aguas Subterráneas*. <https://www.heliosmx.org/aguas-subterraneas/>

Ibrahim, A., Bartsch, K., & Sharifi, E. (2023). Waterways transformation and green stormwater infrastructure: enabling governance for Adelaide's River Torrens Catchment, Australia. *International Journal of Water Resources Development*, 40(1), 33-56. <https://doi.org/10.1080/07900627.2022.2163624>

IDRICA (10 de abril de 2024). *Tendencias del agua en la gestión de recursos hídricos para 2024: desafíos y soluciones*. <https://www.idrica.com/es/blog/tendencias-el-agua-recursos-hidricos-2024>

Kreamer, D., Ball, D., Re, V., Simmons, C., Bothwell, T., Verweij, H, Mukherjee, A. & Moreau, M. (2021). Chapter 37- The future of groundwater science and research, Editor(s): Abhijit Mukherjee, Bridget R. Scanlon, Alice Aureli, Simon Langan, Huaming Guo, Andrew A. McKenzie, *Global Groundwater*, Elsevier, 503-517. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818172-0.00037-2>

Lapworth, D., Boving, T., Kreamer, D., Kebede, S., & Smedley, P. (2021). Groundwater quality: Global threats, opportunities and realising the potential of groundwater. *The Science of the Total Environment*, 811, 152471. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152471>

Molinos-Senante, M., Maziotis, A., Sala-Garrido, R., & Mocholi-Arce, M. (2023). Assessment of the economic and water leakage efficiency in Chilean urban water utilities. *International Journal of Water Resources Development*, 40(1), 105-122. <https://doi.org/10.1080/07900627.2023.2232048>

Minywach, L., Lohani, T. & Ayalew, A. (2023). Inundation mapping and flood frequency analysis using HEC-RAS hydraulic model and easyfit software. *Journal of Water Management Modeling*. <https://doi.org/10.14796/JWMM.C513>

Mora Chaparro, J.C., Hernández Borges, E.E. & Mora Mora, L.L. (2023). Mapa de riesgos de inundación en la Microcuenca Hidrográfica 24 de Junio, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 7(1), 116-130. <https://doi.org/10.55467/reder.v7i1.111>



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63

EL PAPEL DE LA HIDROGEOLOGÍA EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES: INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Sara Luz García Ccahuana

ORCID: 0009-0003-8018-3643

<https://revista.scienceevolution.com/>



Naciones Unidas (2022). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2022. Aguas subterráneas: hacer visible lo invisible*. UNESCO, WWAP - Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380721>

National Geographic España (30 de diciembre de 2024). *Los desastres naturales más devastadores de 2024*. https://www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/desastres-naturales-mas-devastadores-2024_23950

Nguyen, H. D., Fox, D., Dang, D. K., Pham, L. T., Du, Q. V. V., Nguyen, T. H. T., Dang, T. N., Tran, V. T., Vu, P. L., Nguyen, Q., Nguyen, T. G., Bui, Q., & Petrisor, A. (2021). Predicting future urban flood risk using land change and hydraulic modeling in a river watershed in the central province of Vietnam. *Remote Sensing*, 13(2), 262. <https://doi.org/10.3390/rs13020262>

Ochoa-Tocachi, B., Bardales, J.D., Antiporta, J., Pérez, K., Acosta, L., Mao, F., Zulkafli, Z., Gil-Ríos, J., Angulo, O., Grainger, S., Gammie, G., De Bièvre, B. & Wouter, B. (2019). Potential contributions of pre-Inca infiltration infrastructure to Andean water security. *Nature sustainability*. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0307-1>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2022). *Las aguas subterráneas pueden ser la solución a las crisis hídricas si se gestionan correctamente*. <https://news.un.org/es/story/2022/03/1505842>

Organización Mundial de la Salud (2022). *Agua para el consumo Humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Palma, A., Parker, T. & Carmona, R. (2022). Challenges and Experiences of Managed Aquifer Recharge in the Mexico City Metropolitan Area. *Groundwater* (5), 675-684. <https://doi.org/10.1111/gwat.13237>

Patil, M. & Kambekar, A. (2022). Floodplain mapping using hydraulic simulation and geographic information system. *Indian Journal Of Science And Technology*, 15(39), 2027-2036. <https://indjst.org/articles/floodplain-mapping-using-hydraulic-simulation-and-geographic-information-system>

Plataforma Tierra (12 de junio de 2024). *Tecnologías Emergentes que Transforman la Gestión del Agua*. <https://www.plataformatierra.es/comunidad/horizonte-agroalimentario/tecnologias-emergentes-que-transforman-la-gestion-del-agua>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA] (2025). *En el núcleo del desarrollo sostenible: Agua*. <https://www.undp.org/es/agua>

Ramadan, EM; Shahin, HA; Abd-Elhamid, HF. & Zelenakova, M. (2022). Evaluation and Mitigation of Flash Flood Risks in Arid Regions: A Case Study of Wadi Sudr in Egypt. *Water*, 14, 2945. <https://doi.org/10.3390/w14192945>

Ricart, S., Villar-Navascués, R., Reyes, M. & Rico-Amorós, AM (2023). Water-tourism nexus research in the Mediterranean in the past two decades: a systematic literature review. *International Journal of Water Resources Development*, 40(1), 57-83. <https://doi.org/10.1080/07900627.2023.2207686>

Scanlon, B. R., Fakhreddine, S., Rateb, A., De Graaf, I., Famiglietti, J., Gleeson, T., Grafton, R. Q., Jobbagy, E., Kebede, S., Kolusu, S. R., Konikow, L. F., Long, D., Mekonnen, M., Schmied, H. M., Mukherjee, A., MacDonald, A., Reedy, R. C., Shamsudduha, M., Simmons, C. T., ... Zheng, C. (2023). Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(2), 87-101. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00378-6>

Sostenibles (3 de abril de 2024). *Estrés hídrico: Integración de datos y el futuro del riego inteligente*. <https://sostenibles.org/2024/04/03/integracion-de-datos-y-el-futuro-del-riego-inteligente/>

Sprenger, M., Stumpp, C., Weiler, M., Aeschbach, W., Allen, ST, Benettin, P, Dubbert, M, Hartmann, A, Hrachowitz, M, Kirchner, JW. & McDonnell, JJ (2019). The Demographics of Water: A Review of Water Ages in the Critical Zone. *Reviews of Geophysics*, 57(3), 800-834. <https://doi.org/10.1029/2018RG000633>

Stigter1, T., Miller, J., Chen, J. & Re, V. (2023). Correction: Groundwater and climate change: threats and opportunities. *Hydrogeology Journal*, 31, 7-10. <https://doi.org/10.1007/s10040-023-02592-y>



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

48 - 63

EL PAPEL DE LA HIDROGEOLOGÍA EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES: INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Sara Luz García Ccahuana

ORCID: 0009-0003-8018-3643

<https://revista.scienceevolution.com/>



Tavera, H. (2021). Un año del huaico en Tacna: IGP recuerda que las quebradas secas pueden reactivarse. *ANDINA*.

<https://andina.pe/Agencia/noticia-a-un-ano-del-huaico-tacna-igp-recuerda-quebradassecas-pueden-reactivarse-34651.aspx>

Timbe Castro, L., Crespo P. & Cabrera-Balarezo, J. (2019). Evaluation of the HEC-HMS model for the hydrological simulation of a paramo basin. *DYNA*, 86(210), 338–344.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532019000300338

Thouret, J.C., Arapa, E., Charbonnier, S., Guerrero, A., Kelfoun, K., Cordoba, G., Rodriguez, D., & Santoni, O. (2022). Modeling tephra fall and sediment-water flows to assess their impacts on a vulnerable building stock in the city of Arequipa, Peru. *Frontiers in Earth Science*, 10.

<https://doi.org/10.3389/feart.2022.865989>

Üneş, F., Kaya, Y., Varçin, H., Demirci, M., Tasar, B. & Zelenakova, M. (2020). Flood hydraulic analyses: a case study of amik plain, turkey. *Water*, 12(7).

<https://doi.org/10.3390/w12072070>

UNESCO (6 de noviembre de 2023).

Asentamientos Humanos Informales y Gestión del Agua Urbana.

<https://www.unesco.org/es/articles/asentamientos-humanos-informales-y-gestion-del-agua-urbana>

World Economic Forum (26 de noviembre de 2024). *7 datos sobre la crisis mundial del agua y la resiliencia hídrica que los líderes de la COP29 deben saber*.

<https://es.weforum.org/stories/2024/11/7-datos-sobre-la-crisis-mundial-del-agua-y-la-resiliencia-hidrica-que-los-lideres-de-la-cop29-deben-saber>

Wu, WY., Lo, MH., Wadam Y., Famiglietti, JS., Reager, JT., Yeh, PJ-F., Ducharne, A.. & Yang, ZL (2020) Efectos divergentes del cambio climático en la disponibilidad futura de agua subterránea en acuíferos clave de latitudes medias. *Nature Communications*, 1, 3710.

<https://doi.org/10.1038/s41467-020-17581-y>

Zhu, A., Yang, Z., Liang Z., Gao, L., Li, R., Hou, L., Li, S., Xie, Z., Wu, Y., Chen, J. & Cao, L. (2020) Integración de enfoques hidroquímicos y biológicos para investigar las interacciones de las aguas superficiales y subterráneas en la zona hiporreica de la cuenca del río Liuxi, en el sur de China. *Journal of Hydrology* 583, 124622.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124622>