



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Técnicas nucleares e isotópicas para el desarrollo sostenible de
los recursos hídricos: Revisión sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Mayta Castro, Daniel Martin (ORCID: 0000-0002-6671-8555)

ASESOR:

Mgtr. Honores Balcazar, Cesar Francisco (ORCID: 0000- 0003- 3002- 1327)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en casa reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora. Los Amo con mi Vida.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia, por haberme dado su fuerza y apoyo incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	
ÍNDICE DE TABLAS	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	viii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	ix
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA.....	18
3.1. Tipo y diseño de investigación	19
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización	19
3.3. Escenario de estudio	21
3.4. Participantes	21
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21
3.6. Procedimiento.....	21
3.7. Rigor científico.....	23
3.8. Método de análisis de información.....	23
3.9. Aspectos éticos	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25

V. CONCLUSIONES.....	36
VI. RECOMENDACIONES.....	38
REFERENCIAS.....	40
ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Tipos generales de contaminantes del agua

Tabla N°2: Rangos estándar y algunos aproximados para depósitos importantes de hidrógeno, carbono, oxígeno y azufre

Tabla N°3: Antecedentes de los tipos de isótopos empleados en el desarrollo sostenible de los recursos hídricos

Tabla N°4: Matriz de categorización apriorística

Tabla N°5: Técnicas nucleares en la estimación de la contaminación

Tabla N°6: Técnicas nucleares más empleadas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Mapa en relieve sombreado de California

Figura N°2: Contaminación del recurso hídrico por actividad minera y su transporte hacia el ser humano

Figura N°3: Factores que influyen a la falta de sostenibilidad hídrica

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Procedimiento de información

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

OIEA= Organismo Internacional de Energía Atómica

WUE= Eficiencia del uso del agua en la agricultura

CRNS=Sensor de neutrones de rayos cósmicos

CG= Craig-Gordon

MCE= Elevación media de la cuenca de captación

SW= Agua superficial

GW= Agua subterránea

FRN= Radionúclidos ambientales provenientes de las precipitaciones radiactivas

CSSI= Componentes específicos de los isotopos estables

RESUMEN

Se ha estudiado el desarrollo sostenible de los recursos hídricos para lo cual se buscó determinar los aspectos más importantes en el uso de las técnicas nucleares e isotópicas. En base a ello se ha empleado un estudio de tipo cualitativa aplicada, de diseño no experimental. Donde los resultados obtenidos señalan que las técnicas nucleares ayudan en la estimación de la contaminación de los recursos hídricos como una ayudan en la toma de decisiones de manejo de agua y nutrientes agrícolas a mayor escala (hasta de 20 ha de área). Las técnicas nucleares más empleadas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos en un 95% son las técnicas de hidrología isotópica; el cual utiliza trazadores naturales para evaluar entre otros la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas. Por último, las causas más comunes para una inadecuada sostenibilidad de los recursos hídricos en la falta de gestión de los recursos hídricos en marco al desarrollo sostenible son los relacionados con la escasez de agua y la degradación del medio ambiente; donde, las principales causas de los problemas de escasez de agua son: La explosión demográfica, el aumento del nivel de vida, los cambios climáticos a corto plazo y la mala gestión de los recursos hídricos. Para lo cual, los principales deberes son prevenir pérdidas innecesarias de agua, asegurar una mayor reutilización de la misma, llevar al nivel más bajo, casi insignificante, de contaminación de ríos y cuerpos de agua, tomar medidas de control sobre las fuerzas destructivas del agua que podrían causar daños o perjuicios.

Palabras clave: Técnicas isotópicas, recursos hídricos, sostenibilidad, técnicas nucleares.

ABSTRACT

The sustainable development of water resources has been studied for which it was sought to determine the most important aspects in the use of nuclear and isotopic techniques. Based on this, a qualitative applied study of non-experimental design has been used. Where the results obtained indicate that nuclear techniques help in estimating the contamination of water resources as an aid in making decisions about the management of water and agricultural nutrients on a larger scale (up to 20 ha of area). The nuclear techniques most used for the sustainable development of water resources are 95% isotope hydrology techniques; which uses natural tracers to evaluate, among others, the dynamics of surface and groundwater. Finally, the most common causes for inadequate sustainability of water resources in the lack of management of water resources in the framework of sustainable development are those related to water scarcity and environmental degradation; where, the main causes of water scarcity problems are: The demographic explosion, the increase in the standard of living, short-term climate changes and the mismanagement of water resources. For which, the main duties are to prevent unnecessary losses of water, ensure greater reuse of it, bring to the lowest, almost insignificant level of contamination of rivers and bodies of water, take control measures on the destructive forces of water. that could cause damage or harm.

Keywords: Isotopic techniques, water resources, sustainability, nuclear techniques.

I. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, las preocupaciones ambientales han recibido una atención creciente; hoy en día, el cambio climático, el control de la contaminación, la sobreexplotación de la pesca, la preservación de la biodiversidad y la gestión de los recursos hídricos constituyen preocupaciones públicas importantes a escala local, estatal e incluso mundial (Ahmadov E., 2020, p.1). Al enfocarnos en el recurso hídrico, se puede decir que el agua es un elixir para sustentar todas las formas de vida en el planeta Tierra y a medida que el aumento de la temperatura y el cambio climático asociado exacerban la disponibilidad de agua dulce para los seres vivos disminuye (Singh A. y Singh A., 2021, p.1).

Además del clima cambiante, los factores antropogénicos como el aumento de la población, el aumento de la urbanización y la industrialización profundizan aún más la creciente demanda de agua a nivel mundial, lo que enfatiza la máxima necesidad de gestión de los recursos hídricos (Burns E., 2017, p.3). También, el Perú es un país con una ubicación estratégica para los recursos hídricos, sin embargo, como muchos otros países, enfrenta problemas de suministro y demanda de agua debido al crecimiento de la densificación demográfica y problemas de contaminación debido al uso agrícola e industrial (Eda L., 2016, p.1).

Además, las crisis, la degradación y los riesgos que afectan la salud humana o el medio ambiente, junto con la permanencia de la pobreza, han fomentado la sospecha pública sobre la evolución de la tecnología y el crecimiento económico, al mismo tiempo que suscitan dudas sobre la capacidad de las políticas públicas para abordar estos problemas en el tiempo (Vasilaki V., 2019, p.1).

Debido a ello, el concepto de desarrollo sostenible y el principio de precaución entran en escena en este contexto (Díaz-Asencio M. et al., 2017, p.2). En la región de América Latina y el Caribe se están introduciendo técnicas novedosas para fortalecer la vigilancia y monitoreo del fenómeno de sedimentación en los reservorios de aguas superficiales, como es el caso del uso integrado de las técnicas nucleares que permite una evaluación más completa de la sostenibilidad del agua y la tierra (Vital J. et al., 2020, p.1).

El desarrollo de varios proyectos regionales apoyados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), ha permitido un avance sustancial en los usos de las técnicas nucleares, como herramientas técnicas que contribuyen a la evaluación del agua, el suelo y los sedimentos (Gil Reinaldo et al., 2015, p.2). Estas herramientas permiten a los tomadores de decisiones, definir mejores estrategias y programas ambientales nacionales que aseguren finalmente la tierra y los recursos hídricos sostenibles (Kashim I., 2016, p.3).

Las técnicas nucleares e isotópicas también desempeñan un papel importante y único al proporcionar información esencial para desarrollar estrategias para mejorar la eficiencia del uso del agua en la agricultura (WUE) y, por lo tanto, proporcionar soluciones para mitigar la creciente escasez de agua (Sobhana S. et al., 2021, p.1). La ciencia y la tecnología nucleares, y las innovaciones asociadas, han permitido la creación de una nueva diversidad genética en plantas mediante el mejoramiento por mutación (Chaudhary S. et al., 2021, p.2). Esto, combinado con técnicas nucleares en la gestión del suelo y el agua, ha llevado a la obtención de rendimientos de cultivos más altos y estables. Pudiendo estas tecnologías llegar a ser aún más importantes para desarrollar variedades mejoradas de cultivos que se adapten a los fenómenos del cambio climático, como sequías cada vez más frecuentes, altas temperaturas, inundaciones, etc. (Lorito I. et al., 2018, p.4).

Debido a la realidad problemática planteada se desarrolló el siguiente problema general: ¿Cuáles son los aspectos más importantes en el uso de las técnicas nucleares e isotópicas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos? Dando lugar a los siguientes problemas específicos: ¿Cómo actúan las técnicas nucleares en la estimación de la contaminación de los recursos hídricos?, ¿Cuáles son las técnicas nucleares más empleadas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos? Y ¿Cuáles son las causas más comunes para una inadecuada sostenibilidad de los recursos hídricos?

Generado de la misma manera los objetivos específicos; siendo el objetivo general: Determinar los aspectos más importantes en el uso de las técnicas nucleares e isotópicas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos y como objetivos específicos se tuvo a: Identificar como actúan las técnicas nucleares en la estimación de la contaminación de los recursos hídricos, Definir cuáles son las técnicas nucleares

más empleadas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos y Analizar las causas más comunes para una inadecuada sostenibilidad de los recursos hídricos.

En la actualidad para obtener el desarrollo sostenible de una región, es necesario garantizar la seguridad del agua del país mejorando la eficiencia de la gestión y el consumo del agua; por ello el presente trabajo de investigación presenta una justificación teórica, basándose en la recopilación de diversas literaturas actualizadas enfocadas en las técnicas nucleares e isotópicas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos; buscando así fomentar el conocimiento de nuevas tecnologías para resolver los problemas de gestión del agua, incentivando a futuros investigadores a ahondar en el tema y servir como base de información académica.

II. MARCO TEÓRICO

El agua es un componente universal de todos los seres vivos, pero, lo que es más importante, que es un componente de la vida humana; no solo es el hogar de miles de especies marinas, sino también un gran impulsor de la conveniencia económica y social del hombre, lo que hace que su hogar sea mucho más habitable (Mugagga F. y Nabaasa B., 2016, p.1). A nivel mundial, el agua es uno de los principales impulsores del desarrollo económico, pero también una fuente de contención y conflicto; incluso cuando las imágenes de nuestro planeta muestran grandes cantidades de agua, esto es solo un espejismo ya que la mayor parte del agua es salada y no apta para el consumo humano (Chen Huazhou et al., 2020, p.1).

De acuerdo con la ONU en el 2015, afirma que solo el 2% del agua mundial es agua dulce apta para el uso humano; esto deja a la población mundial con sólo un 0,5% (10.000.000 km³ en acuíferos subterráneos, 119.000 km³ netos de lluvia cayendo, 91.000 km³ en lagos naturales, más de 5000 km³ en instalaciones artificiales y 2120 km³ en ríos) para sobrevivir (Connor Richard., 2015, p.3).

Debido a ello, California ejemplifica la creciente crisis mundial de suministro de agua, exacerbada por el rápido crecimiento de la población en algunas de las regiones más secas y las limitaciones de un sistema de agua que requiere energía y está sobre asignado.



Figura N°1: Mapa en relieve sombreado de California

Fuente: Langridge R. y Fenck A., 2019

La importancia socioeconómica de las llanuras aluviales fluviales es bien reconocida, además de la retención de agua de la inundación, el suministro de agua potable y el espacio provisto para las actividades recreativas juegan un papel importante (Frick Christina et al., 2020, p.1). Es una cuestión vital, ya que, también la seguridad del agua afecta a la calidad del recurso agrícola para la plantación de cultivos (Suri Mayhah R. et al., 2019, p.1).

Pero, los recursos hídricos están amenazados no sólo por el cambio climático sino también por el aumento de los niveles de contaminación, que se ha convertido en un grave problema medioambiental a escala mundial (Ashouri N. y Rafei M., 2021, p.1).

La contaminación fecal es un peligro sustancial para estos recursos hídricos, especialmente en términos de suministro de agua (Derx Julio et al., 2016, p.1). A causa de ello, para los sistemas de remanso aluvial, se deben considerar dos fuentes potenciales de contaminación: fuentes alóctonas del cauce principal del río y fuentes autóctonas de la propia llanura aluvial, además, ambas fuentes pueden verse afectadas por humanos o animales o por una combinación de ambos (Mccarthy D. et al., 2017, p.2).

En el actual escenario, donde hay una creciente demanda de agua dulce, los suministros de agua no contaminada y libre de enfermedades son cada vez más escasos (Burritt R. y Christ K., 2018, p.2) y son el compartimento ambiental más vulnerable a los impactos de diversas actividades industriales (López nuñes R. et al., 2019, p.1).

También, la contaminación de los recursos hídricos por metales pesados supone un riesgo real para los medios acuáticos y la salud humana debido a la toxicidad, persistencia y acumulación biológica de estos contaminantes (López Rafael et al., 2019, p.1). Siendo definido los recursos hídricos como el compartimento ambiental más vulnerable a los impactos directos de la minería, especialmente en las regiones semiáridas (Santana Caroline S. et al., 2020, p.1).

Si bien la minería es fundamental para el desarrollo económico humano, se encuentra entre las fuentes antropogénicas más contaminantes que influyen seriamente en los recursos hídricos (Kumar Satendra et al., 2021, p.1).

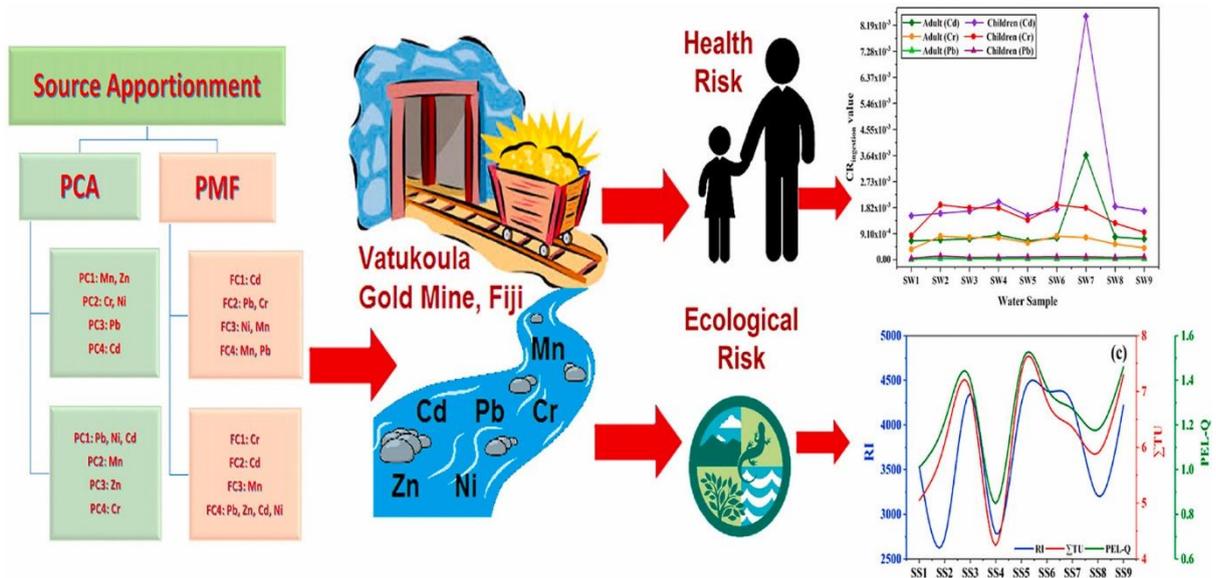


Figura N°2: Contaminación del recurso hídrico por actividad minera y su transporte hacia el ser humano

Fuente: Kumar Satendra et al., 2021

Como se observa en la figura 2, la contaminación y el transporte llegan a dañar el ecosistema y la salud humana, donde la línea morada muestra el aumento de la intoxicación por Cd en niños llegando a sobrepasar los 8.19×10^{-3} de ingestión y en adultos la línea verde muestra la ingestión de Cd en un 3.64×10^{-3} , la línea amarilla la ingestión por Cr en adultos, la línea roja ingestión de Cd en niños y por último la línea verde fosforescente ingestión por Pb en adultos y morado intenso en línea recta la ingestión por Pb en niños.

Otra de las fuentes de contaminación hídrica son los efluentes industriales, como tintes, surfactantes, minerales y ciertos metales, provenientes del procesamiento industrial representan una seria amenaza para la biota acuática y los ecosistemas. Dependiendo de la cantidad y composición de los efluentes, los desechos textiles son el contaminante más dañino entre todos los desechos industriales (Wu Yonghong, 2017, p.1).

Así también, las aguas residuales de la vida diaria y la producción industrial contienen varios productos químicos que se supone que son contaminantes que conducen a la

disminución de la calidad del agua (Chen Huazhou et al., 2020, p.1). Con las actividades humanas y las producciones industriales, los desechos domésticos y los residuos químicos se arrojados al agua, lo que da lugar a la reproducción de varios componentes/elementos químicos nocivos en el recurso hídrico (Elleuch B. et al., 2018, p.1).

Entre los diversos contaminantes que existen en los recursos, se encuentran los tipos generales de contaminantes mostrados en la tabla N°1.

Clase de contaminante	Significado
Metales pesados	Salud, toxicidad, biota acuática
Metales y metaloides ligados orgánicamente	Toxicidad, biota acuática
Especies inorgánicas	Calidad del agua, toxicidad, biota acuática
Rastrear contaminantes orgánicos	Toxicidad
Bifenilos policlorados	Toxicidad, biota acuática, fauna
Plaguicidas	Toxicidad, biota acuática, fauna
Detergentes	Toxicidad, biota acuática
Carcinógenos químicos	Incidencia de cáncer

Tabla N°1: Tipos generales de contaminantes del agua

Fuente: Nunes C. y Malmlof K., 2018

Además, los ríos, lagos y océanos se utilizan como alcantarillas abiertas para desechos industriales y residenciales (Sleiman Mohamad et al., 2016, p.1). Los pesticidas, herbicidas, productos derivados del petróleo, metales pesados (como mercurio, plomo y zinc), detergentes y desechos industriales pueden matar los organismos acuáticos o hacer que el ambiente sea tan inhóspito que las especies ya no pueden prosperar (Ameta S. C., 2018, p.2).

Volviéndose un problema cada vez más grave que probablemente destruya el desarrollo sostenible de los recursos hídricos (Le Ba Tuan, 2020, p.2). Para ello es esencial el estudio del agua, que significa enfrentar y estudiar el sistema natural más grande en la superficie de la tierra, y el ciclo hidrológico que sigue al agua y evalúa su impacto en la tierra y los humanos (Dhaoui Zahra et al., 2016, p.2). La información hidrológica es necesaria para un enfoque eficiente y equitativo para medir la

disponibilidad de agua y explorar la naturaleza de los problemas y conflictos (Bicalho C. et al., 2019, p.1).

Entonces, se aplica el desarrollo sostenible de los recursos hídricos subterráneos; que se refiere a la gestión eficiente de los recursos hídricos subterráneos existentes como fuente de suministro de agua para satisfacer las necesidades del presente, a largo plazo y de manera equitativa, manteniendo su calidad (Krizhevsky A. et al., 2017, p.4). Esta gestión se da sin negociar los riesgos asociados con el daño físico del acuífero, características, capacidad de almacenamiento y capacidad de recuperación para las necesidades de la generación futura (Sujay R. y Deka P., 2016, p.1).

Para ello se realizan diversas técnicas como el uso reciclado del agua, siendo esto importante en términos de conservación de recursos y es bueno para el desarrollo sostenible del medio ambiente ecológico (Molle F. y Tanouti O., 2017, p.1). Pero existen otro tipo de técnicas como es el caso de las técnicas nucleares e isotópicas (Amiri S., Mazaheri M. y Samani J., 2019, p.1).

El uso de técnicas de radioisótopos en la detección de fuentes de agua subterránea es una de las últimas tecnologías científicas empleadas y los isótopos más utilizados son los de oxígeno, hidrógeno, carbono y nitrógeno (Saleh H. y Hassan A., 2021, p.1).

Sistema isotópico	valores δ	Estándar	valores δ
Reservorios importantes		Reservorios importantes	
Isótopos de oxígeno: $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$	-	Agua oceánica media estándar	-
Corteza y manto	-	Reservorios de superficie	-
Manto	$\delta^{18}\text{O} \approx 5,5$	Carbonato marino	+ 17 & lt; $\delta^{18}\text{O}$ & lt; +34
Luna	≈ 5.5	Esquisto	+ 14 & lt; $\delta^{18}\text{O}$ & lt; +40
Basalto de la cresta midoceánica	≈ 5.7	Rocas clásticas	+ 8 & lt; $\delta^{18}\text{O}$ & lt; +30
	-	Hidrosfera	$\approx - 1$

Corteza oceánica alterada	+ 1 & lt; $\delta^{18} \text{O}$ & lt; + 16	Océano	≈ 0
Eclogita	+ 1 & lt; $\delta^{18} \text{O}$ & lt; + 8	Agua meteórica	Promedio ≈ -4
Rocas graníticas de biotita de hornblenda	+ 6 & lt; $\delta^{18} \text{O}$ & lt; + 10	Capas de hielo	Promedio ≈ -35
Dos rocas graníticas de mica	+ 10 & lt; $\delta^{18} \text{O}$ & lt; + 14		
Isótopos de carbono: $^{13} \text{C} / ^{12} \text{C}$		Pee Dee Belemnite	
Corteza y manto		Reservorios de superficie	
MORB CO_2	- 6 \pm 2	Carbonatos marinos	- 2 & lt; $\delta^{13} \text{C}$ & lt; + 4
Roca ígnea (C)	- 33 & lt; $\delta^{13} \text{C}$ & lt; - 7	Carbonatos autigénicos	- 30 & lt; $\delta^{13} \text{C}$ & lt; + 30
Grafito	-38 & lt; $\delta^{13} \text{C}$ & lt; - 5	Materia orgánica	Promedio $\approx -26 \pm 10$
Diamante	pico -5, cola - 35	Dióxido de carbono	-7
		Metano	-47 pico, cola -110
Azufre: $^{34} \text{S} / ^{32} \text{S}$		Cañón Diablo Troilite	
Corteza y manto		Reservorios de superficie	
Meteorito	$\delta^{34} \text{S} \approx 0$	Agua de mar	+20
Manto / fuente MORB	≈ 0	Evaporitas	+ 12 & lt; $\delta^{34} \text{S}$ & lt; + 35
		Sulfuros sedimentarios	- 40 & lt; $\delta^{34} \text{S}$ & lt; 20
Rocas ígneas	-9 & lt; $\delta^{34} \text{S}$ & lt; + 19		-
Sulfuros de depósitos de mineral	10 & lt; $\delta^{34} \text{S}$ & lt; + 10		
Sulfuros extremos	- 35; + 25		

Hidrógeno: D / H	Agua oceánica media estándar		
Corteza y manto		Reservorios de superficie	
Manto / MORB	$\approx - 80 \pm 5$	Océano	$\delta D \approx - 0$
Flogopitas del manto	$- 85 \text{ \& lt; } \delta D \text{ \& lt; } - 50$	Agua meteórica	$\approx - 22$
Anfíboles del manto	$-90 \text{ \& lt; } \delta D \text{ \& lt; } -30$	Capas de hielo	$\approx - 270$
Rocas ígneas	$-85 \text{ \& lt; } \delta D \text{ \& lt; } -40$	Hidrosfera	$\approx - 10$
Serpentina del fondo marino	$- 60 \text{ \& lt; } \delta D \text{ \& lt; } -30$	Sedimentos marinos	$- 65 \pm 20$

Tabla N°2: Rangos estándar y algunos aproximados para depósitos importantes de hidrógeno, carbono, oxígeno y azufre

Fuente: Agyekum Ephraim et al., 2020

En la Tabla 2 se proporciona los estándares y algunos rangos aproximados para importantes depósitos de isótopos de hidrógeno, carbono, oxígeno y azufre; siendo los rangos aproximados porque la tasa de adquisición de nuevos datos está creciendo exponencialmente con más del doble de los espectrómetros de masas en uso durante la última década.

Los isótopos estables en agua tienen amplias aplicaciones en el estudio de los procesos hidrológicos fluviales, en particular, el enriquecimiento isotópico que ocurre a lo largo de la dirección del flujo se puede utilizar como indicador para estimar la evaporación de la superficie del río (Chen Y. y Tian L., 2021, p.1).

Debido a ello, estas técnicas nucleares e isotópicas desempeñan un papel importante y único al proporcionar información esencial para desarrollar estrategias para mejorar la eficiencia del uso del agua en la agricultura (WUE) y, por lo tanto, proporcionar soluciones para mitigar la creciente escasez de agua (Bailey Serres J. et al., 2019, p.1). Puesto que, sectores como la producción agrícola y la seguridad alimentaria dependen en gran medida de la disponibilidad de agua y mejorar la gestión del agua agrícola y su calidad es clave para una agricultura productiva y sostenible (Hozayn M. y col., 2016, p.3).

La medición y evaluación precisas de la dinámica espacial y temporal del contenido de agua del suelo es crucial; este es el primer paso para abordar los problemas de gestión del agua (Chatterjee y col., 2017, p.1). También la seguridad alimentaria depende en gran medida de la disponibilidad de agua (Sharpley A., 2018, p.1).

Por ejemplo, la variación en la composición de los isótopos del agua (^{18}O y ^2H) en el vapor de agua que rodea a las plantas hace posible separar el proceso de evapotranspiración en componentes individuales de la transpiración de la planta y la evaporación del suelo, de modo que se puedan tomar medidas para minimizar el componente de evaporación para mejorar el WUE (Langridge R. y Fencl A., 2020, p.439).

La sonda de neutrones de la humedad del suelo es un dispositivo preciso para la gestión del riego, especialmente en condiciones salinas y agrietamiento del suelo para mejorar la gestión de agua (Segadelli Stefano et al., 2017, p.2).

Se ha demostrado que el sensor de neutrones de rayos cósmicos (CRNS) recientemente establecido es adecuado para proporcionar mediciones precisas y en tiempo real del contenido de agua en el suelo del paisaje, lo que lo hace ideal para largos períodos de tiempo (Desilets et al., 2010; Wahbi et al., 2018).

Los isótopos estables en el agua (^{18}O y ^2H) también son adecuados para evaluar las fuentes de agua subterránea y cuantificar las tasas de recarga de las aguas subterráneas, ya que cada fuente de agua tiene una composición de isótopos de agua única, que permanecen constantes siempre que no haya cambios de fase a lo largo de la trayectoria del flujo (Kpegli Kodjo et al., 2018, p.3).

Hasta cierto punto, los isótopos estables y los isótopos radiactivos, aunque costosos, proporcionan información relevante sobre edades del agua subterránea, direcciones del flujo del agua subterránea, zonas de recarga y descarga del acuífero (Dhaqui Anhra et al., 2016, p.4). Por lo tanto, los datos isótopos, piezométricos y también geológicos se utilizan a menudo para construir modelos conceptuales de flujo de agua subterránea (Dieng Ndeye M. et al., 2017, p.2).

Debido a que el ciclo del agua interactúa dinámicamente con una serie de otros sistemas terrestres, incluida la atmósfera y el sistema climático, la biosfera y la litosfera, el inventario y la complejidad de los mecanismos y retroalimentaciones que

pueden afectar los flujos hidrológicos, son enormes (Li Zongxing et al., 2019, p.5). Por lo tanto, la caja de herramientas del científico del ciclo del agua debe incluir herramientas para medir y dividir los flujos de agua en y entre una variedad de sistemas (Sánchez Murillo R. y Birkel C., 2016, p.3). La variación natural en las proporciones de isótopos estables del agua representa una de esas herramientas (Enalou Hojjatollah et al., 2018, p.2).

De acuerdo a lo expuesto respecto a las técnicas nucleares e isotópicas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos se expone en la tabla N°3, 15 de los 75 antecedentes más resaltantes:

Tabla N°3: Antecedentes de los tipos de isótopos empleados en el desarrollo sostenible de los recursos hídricos

Investigación	Tipo de isótopo empleado	Objetivo	Autor
Aplicación del conocimiento indígena a la ganadería colonial: patrones isotópicos en recursos hídricos y pastizales en los paisajes desérticos de la Pimería Alta	Isótopos de oxígeno y carbono	Examinar las proporciones de isótopos de oxígeno y carbono del esmalte arqueológico de dientes de ganado caprino y bovino mediante muestreo a granel y en serie; para comparar los resultados con la precipitación y las muestras de agua locales y encontrar evidencia de los animales que consumieron agua almacenada y evaporada.	Mathwich Nicole et al., 2019
Recursos hídricos en las regiones del interior de Asia central: evidencia del rastreo de isótopos estables	Isótopos estables (hidrógeno y oxígeno)	Usar las Montañas Qilian y el Corredor Hexi en China como un estudio de caso de la región interior, recolectar un total de 2311 muestras de agua del área y realizar una investigación integral del ciclo del agua para obtener información sobre los procesos hidrológicos y ayudar a mejorar la gestión del agua en las regiones interiores de Asia Central.	Li Zongxing et al., 2019
Distribución de fuentes y evaluación de riesgos para la salud del fluoruro	Isótopos estables ($\delta^{18}O$ y δD)	En este estudio se investigan los factores clave que influyen en el enriquecimiento de fluoruro en los recursos hídricos, al sur de la provincia	Enalou Hojjatollah et al., 2018

en los recursos hídricos, al sur de la provincia de Fars, Irán: isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$ y δD) y enfoques de modelado geoquímico		de Fars, Irán. Para ello, se realizaron estudios hidrogeoquímicos, estadísticos e isotópicos sobre el agua y los tipos de rocas dominantes.	
Evaluación geoquímica de los recursos geotérmicos en la prefectura de Toyama, Japón, basada en las características químicas e isotópicas de las aguas termales	Isótopos de hidrógeno y oxígeno	Se analizaron las composiciones químicas, incluidos los isótopos de hidrógeno y oxígeno, de 35 aguas termales en la prefectura de Toyama, en el centro de Japón, para examinar sus características geoquímicas y recursos geotérmicos mediante aguas termales.	Sasaki Kohei et al., 2021
Evaporación de la superficie del canal a lo largo de la desviación de agua de sur a norte de China cuantificada por isótopos de agua	Isótopos estables (hidrógeno y oxígeno)	Se llevó a cabo estudios hidrometeorológicos y muestreamos el agua del canal a lo largo de la Ruta Media del SNWDP (MRP) en dos temporadas, julio de 2018 y abril de 2019, para $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$, luego simuló el enriquecimiento isotópico en el agua del canal utilizando el modelo de evaporación de Craig-Gordon (CG).	Chen Y. y Tian L., 2021
Vinculación de las precipitaciones y los isótopos de las aguas subterráneas en Etiopía: implicaciones de las líneas de agua e isótopos meteorológicos locales	Isótopos de hidrógeno y oxígeno	Un análisis espacial combinado de la composición de isótopos estables del agua subterránea, el agua superficial y la precipitación podría ayudar a comprender las fuentes de agua subterránea y los procesos de recarga.	Bedaso Zelalem et al., 2020
Efectos del mantillo plástico en la migración del agua del suelo en tierras de cultivo de oasis áridos:	Isótopos estables	Con el fin de analizar la racionalidad del modo de riego existente y evaluar el efecto del acolchado plástico en la migración del agua de riego, esta investigación monitoreó la composición isotópica estable de hidrógeno y oxígeno del	Zhu Guofeng et al., 2021

evidencia de isótopos estables		agua del suelo en las tierras agrícolas del oasis de Minqin ubicadas en la zona árida del noroeste de China.	
Estimaciones bayesianas de las elevaciones medias de recarga de las fuentes de agua en la región de América Central utilizando isótopos de agua estables	Isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$).	Se identificaron diferentes patrones de elevación de recarga media (ERM) para las cuencas del Pacífico y el Caribe, que se caracterizaron por firmas isotópicas distintas: 1) la vertiente del Pacífico tuvo una recarga que se produjo en elevaciones más altas en relación con la elevación media de la cuenca de captación (MCE) de la fuente y 2) la vertiente del Caribe tuvo una recarga en gran parte en elevaciones más bajas que el MCE.	Avellano L. et al., 2020
Recarga de agua subterránea en un contexto kárstico semiárido utilizando cloruro e isótopos de agua estable	Isótopos de $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$	El estudio tiene como objetivo conceptualizar los procesos de recarga y estimar la recarga de agua subterránea en un acuífero kárstico ubicado en el semiárido sur de la India. Por esta razón, utilizamos isótopos estables de lluvia y agua subterránea para comprender la dinámica de los acuíferos y estimar el volumen de recarga, así como para conocer los diferentes factores que están afectando a los acuíferos.	Dar Farooq. Et al., 2021
Uso de conocimientos de isótopos de agua para mejorar la simulación de interacciones agua superficial-agua subterránea	Isótopos de agua (H, O)	En este documento, las interacciones agua superficial (SW) - agua subterránea (GW) se simulan utilizando modelos numéricos integrados con conocimientos de isótopos de agua .	Jafari Tina et al., 2021
Impactos de los árboles frutales de raíces profundas en la recarga del agua del suelo profundo utilizando isótopos estables y radiactivos	Isótopos estables y radiactivos (H y O).	Se recolectó muestras de suelo desde la superficie hasta 20 m bajo cuatro tipos de uso de la tierra (tierra de cultivo, huerto de manzanas de 8 años, huerto de duraznos de 12 años y huerto de manzanas de 25 años) en la meseta de Loess de China. Luego medimos el contenido de agua	Shi Peijun et al., 2021

		del suelo, estable (δ 2 H y δ 18 O) y radioactivo (3H) composiciones isotópicas.	
Variaciones temporales y espaciales de la composición de la escorrentía reveladas por señales isotópicas en la cuenca del río Nianchu, Tíbet	Isótopos de agua (2 H, 18 O y 3 H) y radón disuelto (222 Rn)	Sobre la base de múltiples isótopos de agua (2 H, 18 O y 3 H) y radón disuelto (222 Rn), se examinaron las variabilidades temporales y espaciales de los principales procesos hidrológicos a lo largo del flujo principal y los afluentes en la cuenca del río Nianchu y se analizaron los valores isotópicos.	Shi Dongping et al., 2021
Los efectos de los parámetros locales y regionales en los valores de δ 18 O y δ 2 H de la precipitación y los recursos hídricos superficiales en el Medio Oriente	Isótopos estables (δ 18 O y δ 2 H)	Los resultados del estudio isotópico actual muestran los efectos de los principales parámetros locales (temperatura y precipitación) y regionales (índices de teleconexión) sobre los valores de δ 18 O de las precipitaciones y los recursos hídricos superficiales en Oriente Medio.	Heydarizad Mojtaba et al., 2021
Patrones de fuentes de agua de los bosques tropicales revelados por isótopos estables: un análisis preliminar de 46 especies vecinas	Isótopos δ 2 H y δ 18 O	El trabajo sugiere que los trazadores de isótopos estables pueden ayudar a comprender mejor las profundidades de absorción de agua de los bosques tropicales y su relación con los rasgos funcionales de los árboles y la posible segregación de nichos hidrológicos entre las especies tropicales coexistentes.	Sohel Md. Et al., 2021
Variaciones estacionales en isótopos de nitrato estables combinados con isótopos de agua estables en una planta de tratamiento de aguas residuales: implicaciones para las fuentes de nitrógeno y la transformación	Isótopos de nitrato estables (δ 15 N NO ₃ y δ 18 O NO ₃) combinados con isótopos de agua estables (δ 18 O H ₂ O y δ 2 H H ₂ O)	Identificar el impacto potencial de la fuente de N en el efluente descargado de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el arroyo circundante y aclaramos las variaciones estacionales en los valores isotópicos del efluente y el agua del arroyo de 2019 a 2020 en el sur. Corea	Jung Hyejung et al., 2021

Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo de investigación es cualitativa aplicada, ya que, hace uso de la recolección y análisis de los estudios utilizados para determinar aspectos más importantes en el uso de las técnicas nucleares e isotópicas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos.

De acuerdo con Erlingsson, C. y Brysiewicz, P. (2012, p.10) la investigación cualitativa se basa en lo subjetivo y mira las realidades humanas en lugar de las realidades concretas de los objetos y el investigador cualitativo forma parte del estudio y es, de hecho, el instrumento de investigación.

Así también Edgar T. y Manz D., (2017, p.271) señalan que la investigación aplicada es el paso en el ciclo de vida de la investigación en el que comprendemos qué tan bien usamos nuestro conocimiento para diseñar un sistema que resuelva un problema urgente y genere resultados predecibles.

Mientras que el diseño de investigación es narrativo de tópico; siendo ello; estos diseños describen las ideas y hechos generados por los investigadores para obtener un resultado, ello se obtiene en base a la recolección de informaciones de artículos científicos que abarquen el tema elegido por el investigador (Salgado, 2007, p.1). Este diseño es utilizado ya que se va a recolectar artículos y revistas científicas virtuales que se encuentren enfocados en determinar los aspectos más importantes en el uso de las técnicas nucleares e isotópicas; extrayendo información de las experiencias obtenidas por los autores y realizando una comparación literaria.

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

En la tabla N°4 se detallan los objetivos específicos y problemas específicos con sus respectivas categorías y subcategorías acerca de las técnicas nucleares empleadas empeladas para un desarrollo sostenible de los recursos hídricos.

Tabla N°4: Matriz de categorización apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
Identificar como actúan las técnicas nucleares en la estimación de la contaminación de los recursos hídricos	¿Cómo actúan las técnicas nucleares en la estimación de la contaminación de los recursos hídricos?	Técnicas nucleares (Christoforidis Theodoros et al., 2021, p.1)	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos isotópicos • Métodos radioisótopos (Langridge R. y Fencl A., 2020, p.439)	De acuerdo a métodos de incorporación de isótopos estables	De acuerdo a métodos de incorporación de radioisótopos para medir la masa microbiana in vitro e in vivo
Definir cuáles son las técnicas nucleares más empleadas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos	¿Cuáles son las técnicas nucleares más empleadas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos?	Técnicas nucleares o isotópicas a utilizar (Temiz M. y Dincer I., 2021, p.1)	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrología isotópica • FRN (radionúclidos ambientales provenientes de las precipitaciones radiactivas) • CSSI (componentes específicos de los isotopos estables) (Dhaqui Anhra et al., 2016, p.4)	De acuerdo al sector que se quiera utilizar	De acuerdo a lo que se quiere obtener
Analizar las causas más comunes para una inadecuada sostenibilidad de los recursos hídricos	¿Cuáles son las causas más comunes para una inadecuada sostenibilidad de los recursos hídricos?	Factores que influyen a la falta de sostenibilidad hídrica (Karaca Ali. Et al., 2020, p.4).	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio climático • Variabilidad del recurso • Factores antropogénicos (Dieng Ndeye M. et al., 2017, p.2)	De acuerdo al deterioro del agua	De acuerdo a los ecosistemas acuáticos afectados

Elaboración propia

4.3. Escenario de estudio

La revisión sistemática no cuenta con un escenario físico debido a ello se toma como escenario de estudio al entorno en el que fueron realizadas las técnicas nucleares e isotópicas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos de las diversas literaturas como artículos científicos virtuales añadidos al estudio.

3.4. Participantes

Los participantes son todos los artículos científicos indizados que fueron seleccionados de diversas páginas web a nivel nacional e internacional. Siendo empleados bibliotecas electrónicas como Scielo, Sciencedirect, scopus, dialnet y redalyc.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica empleada en esta revisión sistemática es un análisis documental; ello debido a que, en la técnica de análisis documental el investigador debe analizar cada uno de los documentos (edictos, documentos legales, artículos de periódicos, revistas e informes de investigación), como si hubiera estado presente en ese tiempo y hubiera presentado las preocupaciones sobre su contenido en ese momento (Edgar T. y Manz D., 2017, p.270). Si el investigador analiza los documentos producidos durante un período o períodos de tiempo prolongados, buscará cambios en las actitudes, creencias, acciones, etc., y lo más probable es que los fundamentos de las políticas y los requisitos organizativos de lo que se está analizando evolucionen y se pongan en práctica (Zeegers M. y Barron D., 2015, p.9).

Además, para el análisis de una investigación sistemática es esencial aplicar una ficha de recolección; siendo propuesta en el presente estudio la ficha de análisis de contenida encontrada en el Anexo N°1.

De acuerdo con Monje, (2011, p.149) una ficha de recolección tiene como finalidad recaudar datos esenciales de las investigaciones, en base al análisis y síntesis de manera aleatoria, en la cual se detallan datos generales como: datos de autor, tipo de investigación, objetivos, problemas, metodología y resultados.

3.6. Procedimiento

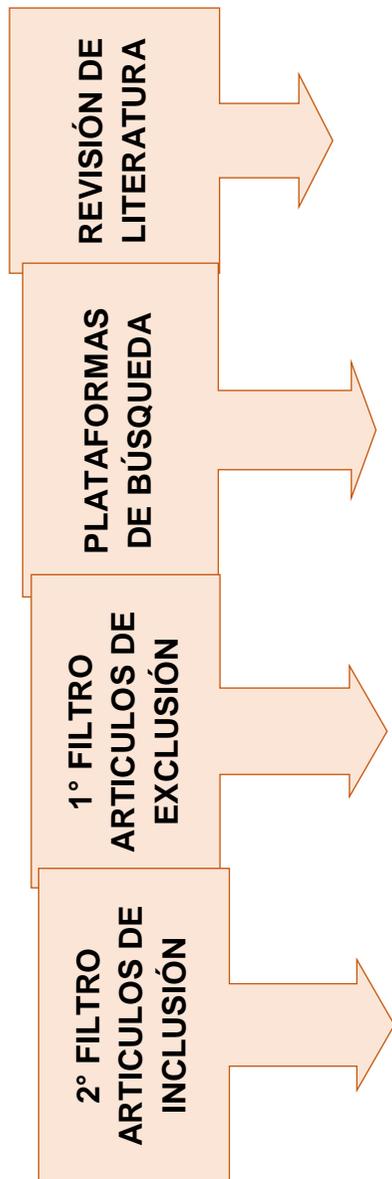
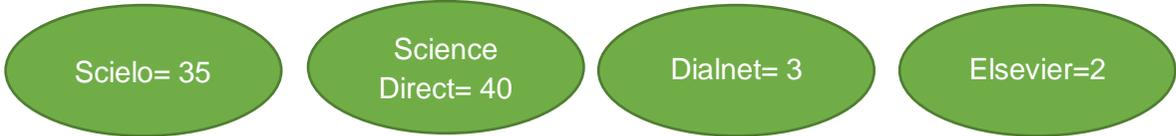


Gráfico N°1: Procedimiento de información

Términos buscados: nuclear techniques, isotopic, nuclear, water deterioration, aquatic, isotopic hydrology, anthropogenic, natural.



Literatura Seleccionada = 80

Artículos duplicados	= 23
Artículos no relevantes	= 17
Artículos sin resultados	= 25

Total, Artículos Excluidos = 65

Estudios con potencial para incluir a la revisión= 5

Total, Artículos Incluidos = 5

Total, de artículos incluidos al estudio = 20

3.7. Rigor científico

En el proceso del desarrollo del presente estudio se tuvo como ambición cumplir con 4 rigores científicos; confiabilidad, dependencia, transferibilidad y credibilidad (Guba y Lincoln, 1989, pp. 241-243).

Siendo el término más descriptivo para este tipo de validez es la "confiabilidad": La confiabilidad podría definirse como la confianza en que una segunda persona, presentada con los mismos datos, llegaría a la misma interpretación (Erlingsson C. y Brysiewicz P., 2012, p.1). Esto es obtenido mediante los resultados parecidos o iguales que se obtienen empleando la misma metodología o procedimiento para llegar a determinar cómo actúan las técnicas nucleares en la estimación de la contaminación de los recursos hídricos.

La dependencia o consistencia hace referencia a la firmeza de los antecedentes y a la manera en que diversos investigadores independientemente van a llegar a obtener resultados coherentes de un mismo tema (Noreña, Alcaraz, Rojas y Rebolledo, 2012, p.268). Y esto es demostrado en el presente estudio ya que no se emplearon datos subjetivos, opiniones propias o alteraciones de las informaciones extraídas.

La transferibilidad, es la capacidad de trasladar y transferir los resultados obtenidos por investigadores que realizaron un estudio práctico y se transfiere a otros contextos, generando ampliar otros estudios en base a los experimentos y resultados obtenidos por los autores originales (Arias y Giraldo, 2011, p.503). Ello es logrado al emplear técnicas y métodos para determinar los aspectos más importantes en el uso de las técnicas nucleares e isotópicas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos, así futuros investigadores podrán continuar con el estudio de esta problemática.

La credibilidad es cuando los investigadores señalan como reales los hechos suscitados en el estudio de investigación, y esto se logra cuando los investigadores brindan su punto de vista propio u opiniones personales (Hernández et al., 2014, p.456). Ello se ha obtenido recabando información objetiva de se plasmó en el estudio sin alteraciones de los datos que brindan la seguridad de que los hallazgos son verdaderos.

3.8. Método de análisis de información

El método de triangulación busca analizar los resultados de un mismo estudio utilizando diferentes métodos de recopilación de datos, con la finalidad de brindar

validez al estudio, obtener resultados más concisos de un problema y entender las diferentes formas de resolver un problema; dicho ello se indica que se implicó en el estudio el método de triangulación de datos para contrastar una misma problemática con otros investigadores.

De esta manera se siguió con el procedimiento de la generación de las categorías y sub categorías que fueron obtenidas y desarrolladas en base a los objetivos específicos y problemas específicos; como se muestra en la tabla N°4.

3.9. Aspectos éticos

El presente estudio cuenta con los aspectos éticos ya que cumple con 3 criterios: Cumplimiento de la normativa vigente implantada por la Universidad Cesar Vallejo; se cumplió también con el referenciado indicado acorde al manual ISO 690 y 690-2; por último, se comprobó la autenticidad del estudio pasando por el programa Turnitin que demuestra cualquier tipo de plagio generado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar los aspectos más importantes en el uso de las técnicas nucleares e isotópicas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos, primero se identifica como actúan las técnicas nucleares en la estimación de la contaminación de los recursos hídricos; siendo detallado los resultados en la tabla 5:

Tabla N°5: Técnicas nucleares en la estimación de la contaminación

Técnicas nucleares	Isótopos radioactivos o estables	Métodos de incorporación de isótopos	Eficiencia	Fuentes
Métodos isotópicos (métodos de incorporación de isótopos y radioisótopos)	Estables	Isótopos ^{18}O y carbono	Contribuyen en la regulación del recurso hídrico para un desarrollo sostenible	Mathwich Nicole et al., 2019
	Estables	Isótopos ^{18}O y carbono	Los hallazgos del rastreo de isótopos estables brindan información sobre los procesos hidrológicos y pueden ayudar a mejorar la gestión del agua en las regiones del interior de Asia Central	Li Zongxing et al., 2019
	Estables	Isótopos $\delta^{18}\text{O}$ y δD	Revelación sobre el riesgo de exposición al flúor en niños y adultos por la ingestión de agua rica en flúor	Enalou Hojjatollah et al., 2018

Estables	Isótopos $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$	La información del subsuelo obtenida en este estudio permitió el uso efectivo de los recursos geotérmicos bajos a medianos	Sasaki Kohei et al., 2021
Pesado	Isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$	Destaca el potencial de los isótopos del agua en la aplicación de la gestión de los recursos hídricos entre cuencas, en particular, con un estrés creciente por la escasez de agua y el impacto antropogénico.	Chen Y. y Tian L., 2021
Estables	Isótopos $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$	Racionalidad del modo de riego existente y evaluar el efecto del acolchado plástico en la migración del agua de riego.	Zhu Guofeng et al., 2021
Estables	Isótopos $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$	La inclusión de incertidumbres isotópicas, correcciones evaporativas y probabilidades de recarga afectan positivamente las estimaciones de elevación de recarga media MRE.	Avellano L. et al., 2020

	Estables	Isótopos de $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$	Comprender la dinámica de los acuíferos y estimar el volumen de recarga, así como para conocer los diferentes factores que están afectando a los acuíferos.	Dar Farooq. Et al., 2021
	Estables	Isótopos de $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$	Mejora el rendimiento del modelado hidrológico	Jafari Tina et al., 2021
	Estables	Isótopos de $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$	Sostenibilidad de los recursos hídricos	Shi Peijun et al., 2021
	Radioactivos	Isótopo de ^3H		
	Estables	Isótopos de agua ^2H , ^{18}O	Variaciones temporales y espaciales de la composición de la escorrentía de los ríos	Shi Dongping et al., 2021
	Radioactivos	Radón disuelto ^{222}Rn y ^3H		
	Estables	Isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$)	Muestran los efectos de los principales parámetros locales y regionales sobre los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las precipitaciones y los recursos hídricos superficiales	Heydarizad Mojtaba et al., 2021

	Estables	Isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$)	Ayudan a comprender mejor las profundidades de absorción de agua de los bosques tropicales y su relación con los rasgos funcionales de los árboles y la posible segregación de nichos hidrológicos entre las especies tropicales coexistentes.	Sohel Md. Et al., 2021
	Estables	Isótopos de nitrato estables ($\delta^{15}\text{N}$ NO_3 y $\delta^{18}\text{O}$ NO_3) combinados con isótopos de agua estables ($\delta^{18}\text{O}$ H_2O y $\delta^2\text{H}$ H_2O)	Pueden ayudar a identificar la fuente de nitrógeno y comprender el proceso de transformación en un sistema de agua de río	Jung Hyejung et al., 2021
	Estables	Isótopo ^2H , ^{18}O	Define las edades del agua del suelo profundo	Xiang Wei et al., 2020
	Radiactivos	Isótopo ^3H		
	Estables	Isótopo D- ^{18}O	Ayuda a la gestión de los recursos hídricos y la protección de los ecosistemas en las zonas áridas y semiáridas	Yang Nuan et al., 2021
	Radiactivos	Isótopo ^{222}Rn		

	Estables	Isótopo δ 18 O, δ 37 Cl y δ 13 C	Determinar el origen de las aguas subterráneas, las direcciones de flujo y el desarrollo kárstico	Bagheri Fatemeh et al., 2021
	Estables	δ 18 O, δ D	Los sistemas de isótopos muestran evidencias de perturbación humana: una fuente antropogénica de tritio que afecta la precipitación	Zhao L. et al., 2018
	Radiactivos	3 H y 14 C		
	Estables	Isótopos de δ 2 H, δ 18 O	Sostenibilidad de las aguas subterráneas	Rajaomahefasoa Riva et al., 2019
	Estables	Isótopos de δ 2 H, δ 18 O	Sostenibilidad de los recursos hídricos	Mahlangu Sarah et al., 2020

Elaboración propia

De acuerdo a la comparación de 20 literaturas a nivel mundial nos da como resultado que las técnicas nucleares actúan como medio de información sobre los procesos hidrológicos y pueden ayudar a mejorar la gestión del agua; siendo un 100% de los investigadores estudiados quienes indican su efectividad para la regulación de los recursos hídricos para un desarrollo sostenible.

Ello es también corroborado por Dar Farooq. Et al., 2021 y Jafari Tina et al., 2021; quienes emplearon isótopos estables de δ 2 H, δ 18 O para conocer los diferentes factores que están afectando a los acuíferos y mejorar el rendimiento del modelado hidrológico.

De acuerdo con Mahlangu Sarah et al., 2020, los isótopos se utilizan como herramienta en estos estudios para definir la interconexión entre los diferentes componentes de los recursos hídricos y la información obtenida de los estudios de

isótopos es valiosa en la planificación de actividades en áreas donde los componentes de los recursos hídricos que interactúan pueden verse potencialmente afectados.

Así también, de acuerdo con Shi Peijun et al., (202, p.1) ayuda a comprender cómo el agua del suelo profundo (DSW) se repone y posteriormente se agota por los árboles frutales de raíces profundas, por lo tanto, es importante para informar la gestión sostenible de los recursos hídricos. Esto es también apoyado por Rajaomahefasoa Riva et al., 2019, en la tabla 5; quien afirma en su estudio empleando isótopos estables de $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, que se permite estimar la potencialidad del acuífero, predecir la sostenibilidad si la fuente de agua es segura para la salud y luego ayudar al tomador de decisiones para la mejor gestión de los recursos de aguas subterráneas.

Así también es fundamental definir cuáles son las técnicas nucleares más empleadas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos; siendo clasificadas en 3 sub categorías; Hidrología isotópica, FRN (radionúclidos ambientales provenientes de las precipitaciones radiactivas) y CSSI (componentes específicos de los isotopos estables); de las cuales se presentan las más empleadas en la tabla 6.

Tabla N°6: Técnicas nucleares más empleadas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos

Técnica nuclear	Tipo de técnica	Aplicación	Autor
Hidrología isotópica	Isótopos ^{18}O y carbono	Dinámica de las aguas superficiales	Li Zongxing et al., 2019
	Isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ y δD	Dinámica de las aguas subterráneas	Enalou Hojjatollah et al., 2018
	Isótopos de hidrógeno y oxígeno	Características geoquímicas y recursos geotérmicos de aguas termales	Sasaki Kohei et al., 2021
	Isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$	Procesos hidrológicos fluviales	Chen Y. y Tian L., 2021

	Isótopos de hidrógeno y oxígeno	Dinámica de aguas superficiales	Avellano L. et al., 2020
	Isótopos de hidrógeno y oxígeno	Recarga de agua subterránea en un acuífero kárstico	Dar Farooq. Et al., 2021
	Isótopos de hidrógeno y oxígeno	Simulación de interacciones agua superficial (SW) y el agua subterránea (GW)	Jafari Tina et al., 2021
	Isótopos de agua (2 H, 18 O y 3 H) y radón disuelto (222 Rn)	Dinámica de aguas superficiales	Shi Dongping et al., 2021
	Isótopos de (δ 18 O y δ 2 H)	Recursos hídricos superficiales	Heydarizad Mojtaba et al., 2021
	Isótopos de nitrato estables (δ 15 N NO3 y δ 18 O NO3) combinados con isótopos de agua estables (δ 18 O H2O y δ 2 H H2O)	Sistema hídrico de los ríos	Jung Hyejung et al., 2021
	Isótopos de D- 18 O y 222Rn	Aguas superficiales y subterráneas	Yang Nuan et al., 2021
	Isótopo δ 18 O, δ 37 Cl y δ 13 C	Manantiales kársticos	Bagheri Fatemeh et al., 2021
	δ 18 O, δ D, 3 H y 14 C	Tiempo de residencia del agua subterránea	Zhao L. et al., 2018
	Isótopos de δ 2 H, δ 18 O	Aguas subterráneas en las tierras	Rajaomahefasoa Riva et al., 2019
	Isótopos de δ 2 H, δ 18 O	Agua superficial y agua subterránea	Mahlangu Sarah et al., 2020
FRN	No se emplea	No se emplea	No se emplea

CSSI	Isótopos C y O	Recursos hídricos y pastizales	Mathwich Nicole et al., 2019
	Isótopos de hidrógeno y oxígeno	Prácticas de riego y conservación del agua.	Zhu Guofeng et al., 2021
	Isótopos de 2H y 18O y 3H	Contenido de agua del suelo	Shi Peijun et al., 2021
	Isótopos de ($\delta 18\text{O}$ y $\delta 2\text{H}$)	Recursos hídricos superficiales	Sohel Md. Et al., 2021
	Isótopos estables 2H , 18O y 3H	Agua del suelo profundo	Xiang Wei et al., 2020

Elaboración propia

Las prácticas de riego razonables y los métodos eficaces de conservación del agua son fundamentales para la utilización eficiente de los recursos hídricos. Debido a ello se estudiaron las técnicas nucleares más empleadas de acuerdo a la comparación y análisis de 20 literaturas; donde el 95% de los investigadores emplea la hidrología isotópica; la cual utiliza trazadores naturales para evaluar entre otros la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas.

Esto es corroborado por Li Zongxing et al., 2019, Enalou Hojjatollah et al., 2018, Sasaki Kohei et al., 2021, Chen Y. y Tian L., 2021, Avellano L. et al., 2020, Dar Farooq. Et al., 2021, Jafari Tina et al., 2021, Shi Dongping et al., 2021, Heydarizad Mojtaba et al., 2021, Jung Hyejung et al., 2021, Yang Nuan et al., 2021, Bagheri Fatemeh et al., 2021, Zhao L. et al., 2018, Rajaomahefasoa Riva et al., 2019, Mahlangu Sarah et al., 2020.

Mientras que la técnica nuclear CSSI que usa los componentes específicos de los isótopos estables para evaluar el origen de los suelos sedimentados; se emplea en un 5%; ello de acuerdo con: Mathwich Nicole et al., 2019, Zhu Guofeng et al., 2021, Shi Peijun et al., 2021, Sohel Md. Et al., 2021, Xiang Wei et al., 2020.

Además, la escasez de agua, relacionada con la extracción excesiva de las reservas de agua subterránea o la contaminación de los recursos hídricos superficiales existentes, solo promete aumentar como un problema. Actualmente, la agricultura representa más del 70% del uso del agua. En la mayoría de los países, siguen

dominando las políticas de apoyo vinculadas a la producción. Este marco fomenta el uso excesivo y la ineficiencia y no aborda el daño ambiental que resulta de la escorrentía contaminada (Fanucchi Michielle V., 2017, p.1).

Por ello el 3er resultado busca analizar cuales son las causas más comunes para una inadecuada sostenibilidad de los recursos hídricos; detallando los factores en la Figura N°3.



Figura N°3: Factores que influyen a la falta de sostenibilidad hídrica

Fuente: ANA, 2016, p.5

De acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua, las fuentes naturales como antropogénicas influyen en la falta de sostenibilidad hídrica; generando deterioro de la calidad del recurso hídrico; así como su escases y falta de sostenibilidad.

Así también, de acuerdo con Mohammad J., (2021, p.1), entre 2 de los problemas más comunes a nivel mundial en la falta de gestión de los recursos hídricos en marco al desarrollo sostenible son los relacionados con la escasez de agua y la degradación del medio ambiente; donde, las principales causas de los problemas de escasez de agua son:

1. La explosión demográfica
2. El aumento del nivel de vida
3. Los cambios climáticos a corto plazo

4. La gestión de los recursos hídricos

Por otro lado, Khalifehei Kamran et al., (2018, p.3) afirma que las razones por las cuales ninguna medida ha ayudado a resolver el problema son debido a que, esta falla está relacionada con lo siguiente: (i) La protección contra inundaciones se considera independientemente de los problemas de escasez de agua. (ii) El desbordamiento de agua de lluvia durante el invierno se deja sin explotar. La aplicación de la recarga artificial de los acuíferos mejoraría claramente la situación, no solo de forma cuantitativa sino también cualitativa.

V. CONCLUSIONES

OE1: Las técnicas nucleares en la estimación de la contaminación de los recursos hídricos actúa como una ayuda en la toma de decisiones de manejo de agua y nutrientes agrícolas a mayor escala (hasta de 20 ha de área). Esto incluye el pronóstico de sequías e inundaciones, ya que proporciona datos a gran escala sobre la saturación de la capa de suelo cercana a la superficie, que controla la partición de la infiltración y la escorrentía. Debido a ello; la idea aquí es enfocarse en los neutrones rápidos en el suelo; ya que, si se encuentra agua, los neutrones se ralentizan y un detector de neutrones térmicos los registra fácilmente.

OE2: Las técnicas nucleares más empleadas para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos en un 95% es la técnica de hidrología isotópica; el cual utiliza trazadores naturales para evaluar entre otros la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas. Mientras que la técnica nuclear CSSI que usa los componentes específicos de los isótopos estables para evaluar el origen de los suelos sedimentados; se emplea en un 5%.

OE3: Las causas más comunes para una inadecuada sostenibilidad de los recursos hídricos en la falta de gestión de los recursos hídricos en marco al desarrollo sostenible son los relacionados con la escasez de agua y la degradación del medio ambiente; donde, las principales causas de los problemas de escasez de agua son: La explosión demográfica, el aumento del nivel de vida, los cambios climáticos a corto plazo y la mala gestión de los recursos hídricos.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Los principales deberes son prevenir pérdidas innecesarias de agua, asegurar una mayor reutilización de la misma, llevar al nivel más bajo, casi insignificante, de contaminación de ríos y cuerpos de agua, tomar medidas de control sobre las fuerzas destructivas del agua que podrían causar daños o perjuicios.
- ✓ Se recomienda aumentar mayores investigaciones empleando métodos de medición actual y los avances recientes en el análisis de isótopos ambientales a partir de muestras pequeñas.
- ✓ Se recomienda utilizar trazadores ambientales y artificiales (clasificados en trazadores radiactivos, activables, químicos y de partículas) estudios de aguas superficiales, subterráneas y sedimentos, donde se consideren tanto sustancias estables como radiactivas.

REFERENCIAS

1. AHMADOV, Elshan. Water resources management to achieve sustainable development in Azerbaijan. *Sustainable Futures*, 2020, vol. 2, p. 100030. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2020.100030>
2. Ameta, S. C. (2018). Introduction. *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment*, 1–12. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810499-6.00001-2>
3. AMIRI, Siamak; MAZAHERI, Mehdi; SAMANI, Jamal Mohammad Vali. Introducing a general framework for pollution source identification in surface water resources (theory and application). *Journal of environmental management*, 2019, vol. 248, p. 109281. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109281>
4. ARIAS, María y GIRALDO, Clara. El rigor científico en la investigación cualitativa. *Investigación y Educación en Enfermería* [en línea]. 2011, 29(3), 500-514[fecha de Consulta 3 de Julio de 2020]. ISSN: 0120-5307. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105222406020>
5. ASHOURI, Mohammad Javad; RAFEI, Meysam. How do energy productivity and water resources affect air pollution in Iran? New evidence from a Markov Switching perspective. *Resources Policy*, 2021, vol. 71, p. 101986. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.101986>
6. AVELLANO, L. Nicole, et al. Bayesian estimates of the mean recharge elevations of water sources in the Central America region using stable water. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100739>
7. BAILEY-SERRES, Julia, et al. Genetic strategies for improving crop yields. *Nature*, 2019, vol. 575, no 7781, p. 109-118. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1679-0>
8. BEDASO, Zelalem K.; WU, Shuang-Ye. Linking Precipitation and Groundwater Recharge in Ethiopia-Implications from Local Meteoric Water Lines and

- Isoscapes. En AGU Fall Meeting Abstracts. 2020. p. PP003-0018. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126074>
9. BICALHO, C. C., et al. A conceptual model for groundwater circulation using isotopes and geochemical tracers coupled with hydrodynamics: A case study of the Lez karst system, France. *Chemical Geology*, 2019, vol. 528, p. 118442. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.08.014>
 10. BAGHERI, Fatemeh, et al. Geochemical and multi-isotopes ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$, ^3H and $\delta^{37}\text{Cl}$) evidences to karst development and flow directions in transboundary aquifer, Northeast of Iran. *Applied Geochemistry*, 2021, p. 105071. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105071>
 11. BURRITT, Roger L.; CHRIST, Katherine L. Water risk in mining: Analysis of the Samarco dam failure. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 178, p. 196-205. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.042>
 12. BURNS, Erick R. y col. Efecto térmico del cambio climático en ecosistemas alimentados por aguas subterráneas. *Investigación sobre recursos hídricos*, 2017, vol. 53, no 4, pág. 3341-3351. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/2016WR020007>
 13. CHAUDHARY, Sumit Kumar, et al. Artificial neural network for the estimation of soil moisture using earth observation datasets. En *Agricultural Water Management*. Academic Press, 2021. p. 227-239. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812362-1.00012-6>
 14. CHEN, Huazhou, et al. A deep learning CNN architecture applied in smart near-infrared analysis of water pollution for agricultural irrigation resources. *Agricultural Water Management*, 2020, vol. 240, p. 106303. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106303>
 15. CHEN, Yiliang; TIAN, Lide. Canal surface evaporation along the China's South-to-North Water Diversion quantified by water isotopes. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 779, p. 146388. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146388>

16. CHRISTOFORIDIS, Theodoros, et al. The dynamic links between nuclear energy and sustainable economic growth. Do institutions matter?. Progress in Nuclear Energy, 2021, vol. 139, p. 103866. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103866>
17. CONNOR, Richard. The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world. UNESCO publishing, 2015. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=zQV1CQAAQBAJ&pg=PR1&ots=9jYOfg5oJh&dq=UN.%20.%20The%20United%20Nations%20World%20Water%20Development%20Report%202015%20Water%20For%20a%20Sustainable%20World.%20facts%20and%20figures.%20https%3Awww.unesco-ihe.org/sites/default/files/wwdr_2015.pdf.%20Accessed%2012.04.16&lr&hl=es&pg=PR1#v=onepage&q&f=false
18. DAR, Farooq Ahmad, et al. Groundwater recharge in semi-arid karst context using chloride and stable water isotopes. Groundwater for Sustainable Development, 2021, vol. 14, p. 100634. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100634>
19. DEX, Julia, et al. QMRACatch: human-associated fecal pollution and infection risk modeling for a river/floodplain environment. Journal of environmental quality, 2016, vol. 45, no 4, p. 1205-1214. Disponible en: <https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0560>
20. DHAOUI, Zahra, et al. Hydrochemical and isotopic investigations as indicators of recharge processes of the Continental Intercalaire aquifer (eastern piedmont of Dahar, southern Tunisia). Environmental Earth Sciences, 2016, vol. 75, no 16, p. 1-14. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5990-x>
21. DIENG, Ndeye Maguette, et al. Temporal changes in groundwater quality of the Saloum coastal aquifer. Journal of Hydrology: Regional Studies, 2017, vol. 9, p. 163-182. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.12.082>
22. DÍAZ-ASENCIO, Misael, et al. ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs as tracers of recent sedimentary processes in two water reservoirs in Cuba. Journal of environmental radioactivity, 2017, vol. 177, p. 290-304. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.07.005>

23. EDA, Laura E. Higa; CHEN, Weiqi. Integrated water resources management in Peru. *Procedia environmental sciences*, 2016, vol. 2, p. 340-348. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.039>
24. Edgar, T. W., & Manz, D. O. (2017). Applied Experimentation. *Research Methods for Cyber Security*, 271–297. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805349-2.00011-x>
25. ELLEUCH, Boubaker, et al. Environmental sustainability and pollution prevention. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0619-5>
26. ENALOU, Hojjatollah Balaghi, et al. Source apportionment and health risk assessment of fluoride in water resources, south of Fars province, Iran: Stable isotopes ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) and geochemical modeling approaches. *Applied Geochemistry*, 2018, vol. 98, p. 197-205. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.09.019>
27. ERLINGSSON, Christen; BRYSIEWICZ, Petra. Orientation among multiple truths: An introduction to qualitative research Orientation attraverso le verità multiple: Une introduction à la recherche qualitative. 2012. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.afjem.2012.04.005>
28. Fanucchi Michielle V. Drinking Water and Sanitation. *International Encyclopedia of Public Health (Second Edition)*. 2017, Pages 350-360. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00118-1>
29. FRICK, Christina, et al. Elucidating fecal pollution patterns in alluvial water resources by linking standard fecal indicator bacteria to river connectivity and genetic microbial source tracking. *Water Research*, 2020, vol. 184, p. 116132. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116132>
30. GIL, Reinaldo H., et al. Utilización de técnicas nucleares para estimar la erosión hídrica en plantaciones de tabaco en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 2015, vol. 36, no 4, p. 07-13. Disponible en: ISSN 1819-4087
31. GUBA, E. & Lincoln, Y. (1989). *Fourth generation evaluation*. Newbury Park: Sage. Recuperado de https://books.google.com.pe/bookshl=es&lr=&id=k_zxEUst46UC&oi=fnd&pg=

[PA7&dq=Fourth+generation+evaluation.+Newbury+Park&ots=_b8pjhUFX&sig=9hW8taN7xoup1gwsXp54ab36mbg#v=onepage&q&f=false](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126485)

32. HEYDARIZAD, Mojtaba, et al. The effects of local and regional parameters on the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values of precipitation and surface water resources in the Middle East. *Journal of Hydrology*, 2021, p. 126485. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126485>
33. HOZAYN, M. y col. Aplicaciones de la tecnología magnética en la agricultura: una herramienta novedosa para mejorar la productividad de los cultivos (1): Canola. *Revista Africana de Investigación Agrícola*, 2016, vol. 11, no 5, pág. 441-449. Disponible en: <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9382>
34. JAFARI, Tina, et al. Using insights from water isotopes to improve simulation of surface water-groundwater interactions. *Science of The Total Environment*, 2021, p. 149253. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149253>
35. JUNG, Hyejung, et al. Seasonal variations in stable nitrate isotopes combined with stable water isotopes in a wastewater treatment plant: Implications for nitrogen sources and transformation. *Journal of Hydrology*, 2021, vol. 599, p. 126488. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126488>
36. KADHIM, Inaam H.; MUTTALEB, Mohsin Kadhim. Measurement of radioactive nuclides present in soil samples of district Touirij of Karbala province for radiation safety purposes. *Int. J. Chem. Tech. Res*, 2016, vol. 9, p. 228-235. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2014.03.006>
37. KARACA, Ali Erdogan; DINCER, Ibrahim; GU, Junjie. Life cycle assessment study on nuclear based sustainable hydrogen production options. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, vol. 45, no 41, p. 22148-22159. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.030>
38. KEYHANPOUR, Mohammad Javad; JAHROMI, Seyed Habib Musavi; EBRAHIMI, Hossein. System dynamics model of sustainable water resources management using the Nexus Water-Food-Energy approach. *Ain Shams Engineering Journal*, 2021, vol. 12, no 2, p. 1267-1281. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.07.029>

39. KHALIFEHEI, Kamran; AZIZYAN, Gholamreza; GUALTIERI, Carlo. Analyzing the Performance of Wave-Energy Generator Systems (SSG) for the Southern Coasts of Iran, in the Persian Gulf and Oman Sea. *Energies*, 2018, vol. 11, no 11, p. 3209. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en11113209>
40. KPEGLI, Kodjo Apelete Raoul, et al. Development of a conceptual groundwater flow model using a combined hydrogeological, hydrochemical and isotopic approach: A case study from southern Benin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2018, vol. 18, p. 50-67. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.06.002>
41. KRIZHEVSKY, Alex; SUTSKEVER, Ilya; HINTON, Geoffrey E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 2017, vol. 60, no 6, p. 84-90. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3065386>
42. KUMAR, Satendra, et al. Water resources pollution associated with risks of heavy metals from Vatukoula Goldmine region, Fiji. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 293, p. 112868. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112868>
43. LANGRIDGE, Ruth; FENCL, Amanda. Implications of Climate Change to Groundwater. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12021-4>
44. Langridge, R., & Fencl, A. (2019). Implications of Climate Change to Groundwater. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.12021-4>
45. LE, Ba Tuan. Application of deep learning and near infrared spectroscopy in cereal analysis. *Vibrational Spectroscopy*, 2020, vol. 106, p. 103009. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2019.103009>
46. LI, Zongxing, et al. Water resources in inland regions of central Asia: Evidence from stable isotope tracing. *Journal of hydrology*, 2019, vol. 570, p. 1-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.003>

47. LÓPEZ NÚÑEZ, Rafael, et al. Heavy metal pollution in soils and urban-grown organic vegetables in the province of Sevilla, Spain. 2019. Disponible en: <http://doi.org/10.1080/01448765.2019.1590234>
48. LÓPEZ, Rafael, et al. Heavy metal pollution in soils and urban-grown organic vegetables in the province of Sevilla, Spain. *Biological Agriculture & Horticulture*, 2019, vol. 35, no 4, p. 219-237. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01448765.2019.1590234>
49. LORITE, Ignacio J., et al. Water management and climate change in semiarid environments. En *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment*. Academic Press, 2018. p. 3-40. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813164-0.00001-6>
50. MAHLANGU, Sarah, et al. Surface water-groundwater interaction using tritium and stable water isotopes: A case study of Middelburg, South Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 2020, vol. 171, p. 103886. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103886>
51. MATHWICH, Nicole M.; PAVÃO-ZUCKERMAN, Barnet; RUFF, Alexander. Applying indigenous knowledge to colonial livestock: Isotopic patterns in water and range resources in the desert landscapes of the Pimería Alta. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2019, vol. 27, p. 101919. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.101919>
52. MCCARTHY, D. T., et al. Source tracking using microbial community fingerprints: method comparison with hydrodynamic modelling. *Water research*, 2017, vol. 109, p. 253-265. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.043>
53. MOLLE, François; TANOUTI, Oumaima. Squaring the circle: Agricultural intensification vs. water conservation in Morocco. *Agricultural Water Management*, 2017, vol. 192, p. 170-179. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.07.009>
54. MONJE-ÁLVAREZ, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa: Guía didáctica*. Neiva, Colombia: Universidad Surcolombiana.

Facultad de Ciencias Sociales y Humanas. Programa de Comunicación Social y Periodismo. Disponible en: <https://goo.gl/lyYzxJ>

55. MUGAGGA, Frank; NABAASA, Benon B. The centrality of water resources to the realization of Sustainable Development Goals (SDG). A review of potentials and constraints on the African continent. *International Soil and Water Conservation Research*, 2016, vol. 4, no 3, p. 215-223. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.05.004>
56. NOREÑA et al. Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. *Aquichan*, vol. 12, no 3, 2012. pp. 263-274.
57. NUNES, Carlos Simoes; MALMLOF, Kjell. heavy metals, pesticides, polycyclic aromatic hydrocarbons, dyes, and animal waste. *Enzymes in Human and Animal Nutrition: Principles and Perspectives*, 2018, p. 331. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805419-2.00017-4>
58. RAJAOMAHEFASOA, Riva Eliniaina, et al. Radium isotopes for groundwater age and sustainability in the highland of Antananarivo, Madagascar. *Journal of African Earth Sciences*, 2019, vol. 156, p. 94-107. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.05.011>
59. SALEH, Hosam M.; HASSAN, Amal I. Water chemistry in the biological studies by using nuclear analytical techniques. En *Water Engineering Modeling and Mathematic Tools*. Elsevier, 2021. p. 133-156. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820644-7.00001-3>
60. SALGADO, Ana. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. 2007, vol. 13 n° 13. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1729-48272007000100009
61. SÁNCHEZ-MURILLO, Ricardo; BIRKEL, Christian. Groundwater recharge mechanisms inferred from isoscapes in a complex tropical mountainous region. *Geophysical Research Letters*, 2016, vol. 43, no 10, p. 5060-5069. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/2016GL068888>

62. SANTANA, Caroline S., et al. Assessment of water resources pollution associated with mining activity in a semi-arid region. *Journal of Environmental Management*, 2020, vol. 273, p. 111148. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111148>
63. SASAKI, Kohei, et al. Geochemical evaluation of geothermal resources in Toyama Prefecture, Japan, based on the chemical and isotopic characteristics of hot spring waters. *Geothermics*, 2021, vol. 93, p. 102071. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102071>
64. SEGADELLI, Stefano, et al. A conceptual hydrogeological model of ophiolitic aquifers (serpentinised peridotite): The test example of Mt. Prinzera (Northern Italy). *Hydrological Processes*, 2017, vol. 31, no 5, p. 1058-1073. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/hyp.11090>
65. SHARPLEY, Andrew N. *Agriculture, Nutrient Management and Water Quality*. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20758-9>
66. SHI, Dongping, et al. Temporal and spatial variations of runoff composition revealed by isotopic signals in Nianchu River catchment, Tibet. *Journal of Hydro-environment Research*, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jher.2021.04.001>
67. SHI, Peijun, et al. Impacts of deep-rooted fruit trees on recharge of deep soil water using stable and radioactive isotopes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2021, vol. 300, p. 108325. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108325>
68. SINGH, Aditya Abha; SINGH, Arvind K. Climatic controls on water resources and its management: challenges and prospects of sustainable development in Indian perspective. En *Water Conservation in the Era of Global Climate Change*. Elsevier, 2021. p. 121-145. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820200-5.00015-4>
69. SLEIMAN, Mohamad, et al. Emissions from electronic cigarettes: key parameters affecting the release of harmful chemicals. *Environmental science & technology*, 2016, vol. 50, no 17, p. 9644-9651. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01741>

70. Sobhana Sivasankar, Lee Kheng Heng, Si-Yong Kang. Agriculture: Improving Crop Production. 2021, Pages 290-301. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12323-1>
71. SOHEL, Md Shawkat I., et al. Tropical forest water source patterns revealed by stable isotopes: A preliminary analysis of 46 neighboring species. Forest Ecology and Management, 2021, vol. 494, p. 119355. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119355>
72. SUJAY RAGHAVENDRA, N.; DEKA, Paresh Chandra. Sustainable Development and Management of Groundwater Resources in Mining Affected Areas: A Review. Energy and Economics, 2015, vol. 617, p. 617. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.06.061>
73. SURI, Mayhah R., et al. US farmers' opinions on the use of nontraditional water sources for agricultural activities. Environmental research, 2019, vol. 172, p. 345-357. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.035>
74. TEMIZ, Mert; DINCER, Ibrahim. Design and analysis of nuclear and solar-based energy, food, fuel, and water production system for an indigenous community. Journal of Cleaner Production, 2021, p. 127890. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127890>
75. VASILAKI, Vasileia, et al. A decade of nitrous oxide (N₂O) monitoring in full-scale wastewater treatment processes: a critical review. Water research, 2019, vol. 161, p. 392-412. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.04.022>
76. VITAL, José Luis Peralta, et al. Integrated nuclear techniques for sedimentation assessment in Latin American region. International Soil and Water Conservation Research, 2020, vol. 8, no 4, p. 406-409. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.06.003>
77. WU, Yonghong. The removal of methyl orange by periphytic biofilms: equilibrium and kinetic modeling. Periphyton: Functions and Application in Environmental Remediation.[Internet], London, Elsevier, 2017, p. 367-387.

78. XIANG, Wei; EVARISTO, Jaivime; LI, Zhi. Recharge mechanisms of deep soil water revealed by water isotopes in deep loess deposits. *Geoderma*, 2020, vol. 369, p. 114321. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114321>
79. YANG, Nuan, et al. Hydrochemical and isotopic interpretation of interactions between surface water and groundwater in Delingha, Northwest China. *Journal of Hydrology*, 2021, vol. 598, p. 126243. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126243>
80. Zeegers, M., & Barron, D. (2015). Milestone 6. Milestone Moments in Getting Your PhD in Qualitative Research, 75–85. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100231-5.00006-7>
81. ZHAO, L. J., et al. Origin and residence time of groundwater based on stable and radioactive isotopes in the Heihe River Basin, northwestern China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2018, vol. 18, p. 31-49. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.05.002>
82. ZHU, Guofeng, et al. Effects of plastic mulch on soil water migration in arid oasis farmland: Evidence of stable isotopes. *CATENA*, 2021, vol. 207, p. 105580. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105580>

ANEXOS

ANEXO N° 1: Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Título:				
FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO				
Palabras clave:				
Bibliografía:				
Año de publicación	Lugar de publicación	Doi	Página	Tipo de documento
Tipos de técnicas nucleares	Métodos isotópicos:			
	Métodos radioisótopos:			
Causas de una inadecuada sostenibilidad hídrica				
Objetivos:				
Resultados:				

Elaboración propia