



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Uso de Marcadores para Monitorear la Calidad de Aguas -
Revisión Sistemática 2020**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

Ochoa Carrillo, Flor Yanela (ORCID: 0000-0002-1979-6120)

ASESORA:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID: 0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

El estudio realizado lo dedico a mis padres Florentino Ochoa Alarcón y María Magdalena Carrillo Jiménez, quienes fueron mi apoyo en todo momento, porque gracias a ustedes he logrado llegar hasta esta etapa, y que este logro sea significativo para que se sientan orgullosos a su esfuerzo, sacrificio, dedicación como padres.

A mis hermanos Fredy Jordi Ochoa Carrillo, Giancarlo Cornejo Carrillo, por alentarme siempre a seguir adelante, y a toda mi familia quienes confiaron en mí y me apoyaron en todo momento.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta aquí y poder culminar con éxito una meta que siempre tenía en mente y darme fortaleza en cada momento, a mis señores padres que con mucho esfuerzo y sacrificio me apoyaron todos estos años, y a toda mi familia por su apoyo incondicional.

A mi asesora Ing. Rita Jaqueline Cabello Torres por ser mi guía y brindarme sus conocimientos, experiencia durante este proceso.

Índice de contenido

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	14
3.1. Tipo y diseño de investigación	14
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización	14
3.3. Escenario de estudio	16
3.4. Participantes	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	16
3.6. Procedimiento	16
3.7. Rigor científico	16
3.8. Método de análisis de datos	17
3.9 Aspectos éticos	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
V. CONCLUSIONES	45
VI. RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS	49
ANEXOS	57
Anexo 1. Declaratoria de autenticidad (autores)	
Anexo 2. Declaratoria de autenticidad (asesor)	
Anexo 3. Matriz de operacionalización de variables	
Anexo 4. Matrices ambientales, parámetros y análisis aplicado en la identificación de y composición de nanopartículas	

Índice de tablas

Tabla 1	Matriz de categorización apriorística Uso De Marcadores para Monitorear la calidad de aguas. Revisión Bibliográfica 2020	15
Tabla 2	Marcadores: isotopos usados para identificar las fuentes de contaminación de cuerpos de aguas	22
Tabla 3	Selección de isotopos en estudios de fuentes contaminantes de los cuerpos de agua	27
Tabla 4	Método de identificación y cuantificación de contaminantes usando isotopos.	32

Índice de figuras

Figura 1	Países con investigaciones sobre monitoreo de aguas usando isotopos	18
Figura 2	Investigaciones sobre el uso de marcadores en fuentes de agua.	18
Figura 3	Aplicación de marcador Agentes de blanqueo con fluorescencia (ABF).	21

Resumen

La identificación de las fuentes difusas de contaminación de los cuerpos de agua es fundamental debido a la necesidad de determinar su destino y de predecir las amenazas potenciales para optimizar la gestión integrada del recurso hídrico. Esta investigación cualitativa, descriptiva tuvo como objetivo evaluar el uso de marcadores para monitorear la calidad de aguas. La metodología empleada se basó en la revisión sistemática de artículos científicos especializados en marcadores químicos e isotópicos publicados en la base de datos de Scopus . Los resultados señalaron marcadores divididos en grupos de esteroides y estanoles de tipo fecal (EE), productos farmacéuticos de aseo personal (PFAP), edulcorantes sintéticos (ES), agentes de blanqueo con fluorescencia (ABF) y elusos e isotopos tales como $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Sr^{2+} , $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$, $\delta\text{D}(\text{‰})$, $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$, $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3 -$ y $\delta^{18}\text{O} - \text{NO}_3$ entre otros, cuyo uso depende de las características propias del sitio de estudio, es decir del uso de suelo, geomorfología, clima y meteorología, actividades económicas entre otros aspectos. En conclusión el uso de marcadores en un sitio es específico y no necesariamente es aplicable para otros, se debe hacer un análisis previo antes de usarlo para determinar fuentes difusas de contaminación de los cuerpos de agua.

Palabras clave: fuente difusa, marcadores, isotopos, calidad de aguas, monitoreo.

Abstract

The identification of diffuse sources of pollution in water source is essential due to the need to determine their fate and to predict potential threats to optimize integrated water resource management. This qualitative, descriptive research aimed to evaluate the use of markers to monitor water quality. The methodology used was based on the systematic review of scientific articles specialized in chemical and isotopic markers published in the Scopus database. The results indicated markers divided into groups of fecal-type sterols and stanols (EE), pharmaceutical personal hygiene products (PFAP), synthetic sweeteners (ES), fluorescence whitening agents (ABF) and elusod and isotopes such as $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$, Sr^{2+} , $\delta^{34}\text{S}$ (‰), δD (‰), $\delta^{18}\text{O}$ (‰), $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$ and $\delta^{18}\text{O} - \text{NO}_3^-$ among others, whose use depends on the characteristics of the study site, that is, the use of soil, geomorphology, climate and meteorology, economic activities among other aspects. In conclusion, the use of markers in one site is specific and not necessarily applicable to others, a prior analysis should be done before using it to determine the diffuse sources of pollution of water sources.

Keywords: diffuse source, markers, isotopes, water quality, monitoring.

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación está basada en la revisión de material bibliográfico especializado en investigaciones sobre el alcance uso y diversidad de marcadores que se viene aplicando para identificar las fuentes contaminantes sobre la calidad de los recursos hídricos y brinda información actualizada sobre el alcance y riesgos de estos materiales en el ambiente. El uso de marcadores resuelve muchas incógnitas relacionadas con los aspectos normativos de control o prevención especialmente frente al cambio climático que amenaza la disponibilidad del recurso hídrico fundamental para el desarrollo de la vida, siendo crucial conocer las tendencias actuales y su alcance para seleccionar de manera adecuada y responsable tales marcadores químicos.

El cambio climático, el aumento del crecimiento de la población y la reducción del suministro confiable de recursos hídricos han creado muchos desafíos para la gestión sostenible del suministro de agua. El manejo inapropiado de las aguas residuales urbanas que engloba descargas domésticas e industriales, comerciales, etc. puede traer consigo enfermedades como el cólera e infecciones estomacales limitando el desarrollo económico de un país.

En Sudamérica respecto a los servicios de saneamiento, sólo el 51% de los habitantes forma parte de la red pública de alcantarillado mientras que el 26% desarrolla sistemas en sus orígenes (de Anda, 2017). Cuando un país presenta estrés hídrico, las lluvias representan un recurso prioritario, pero la escorrentía formada a casusa de este proceso natural en la urbe se convierte en una fuente preocupante de contaminación ambiental que afecta a las aguas superficiales y subterráneas incluso cuando estas se infiltran en los suelos; su ingreso a los sistemas pluviales o embalses que sirven como fuentes de agua a los usuarios, por eso la calidad de las aguas superficiales o subterráneas siempre es de vital interés para su manejo apropiado debido a su escases aunque en Europa este En Europa, el riesgo a esta escasez hídrica es menor (Silva, Sousa, Carvalho, 2015). En la actualidad aun persiste el problema de las descargas de aguas residuales de la industria con la presencia de sustancias químicas que son evacuadas de forma directa de los cuerpos receptores, su manejo no ha recibido

toda la atención frente a las descargas domésticas o municipales afectando seriamente la calidad acuática de las aguas superficiales (Van Wezel, et al 2018).

Es muy complicado y resulta un desafío diferenciar a entre los contaminantes que provienen de fuentes de aguas residuales no tratadas de otros fuentes contaminantes en las aguas superficiales, para poder distinguir tales fuentes que afectan un agua superficial existen varias técnicas apropiadas, el uso de marcadores moleculares es muy practicado, se usan componentes químicos, microbianos o combinados, las bacterias se usan porque caracterizan o indican el origen del material fecal, de esta forma se usan como marcadores microbianos para conocer tales fuentes, pero no siempre este biomaterial se relaciona directamente con la fuente original, bacterias como *Escherichia coli* (*E. coli*) y los enterococos han sido muy usadas, por eso se ha llevado a nuevas rutas de vigilancia de fuentes microbianas para medir el alcance de la contaminación por residuos fecales entre seres humanos y animales e inclusive entre los mismos animales (Kabiri, et al 2016).

Respecto a la identificación o detección de los agentes químicos contaminantes provenientes de una fuente requiere solucionar el desafío ante la diversidad de sustancias, grupos funcionales diversos con diferentes concentraciones, rutas inclusive los mecanismos de transporte hacia el ambiente cuerpos receptores, así la aplicación de marcadores químicos tales como componentes farmacéuticos o de aseo personal, edulcorantes sintéticos, blanqueadores que fluorescen, sustancias lipídicas como esteroides y estanoles, isotopos de NO₃ y nitrógeno, entre otros han sido muy aplicados por muchos investigadores como marcadores (Lim, Ong, Hu, 2017).

Debido a este problema se planteó la el problema general ¿Cuál es el uso actual de marcadores para monitorear la calidad de las aguas?, asimismo se ha planteado como problemas específicos ¿Qué tipos de marcadores son usados para monitorear la calidad de agua? ¿Qué aspectos de selección de los marcadores son usados para monitorear la calidad de aguas? ¿Cuáles son los métodos de identificación y cuantificación de marcadores usados para monitorear la calidad de aguas? ¿Cuál es el destino final de los marcadores?

Esta investigación tiene su justificación teórica que basa en la necesidad de conocer y actualizar las teorías recientes desarrolladas en el uso de marcadores para identificar la fuentes contaminantes, asimismo la justificación metodológica radica en la información respecto a la formas y técnicas empleadas en el monitoreo o muestreos así como en los análisis en laboratorio para la identificación de las fuentes. La justificación social se debe a difundir esta información para conocimiento público e inclusive debido a la connotación política relacionada con la normativa existente que rige la gestión de los recursos hídricos y la responsabilidad social de velar por el cuidado del agua.

Con la finalidad de sustentar esta investigación se ha desarrollado el siguiente objetivo general OG: Evaluar el uso de marcadores para monitorear la calidad de las aguas. Los objetivos específicos desarrollados fueron los siguientes: OE1 Analizar los tipos de marcadores usados para monitorear la calidad de agua, OE2 Analizar los aspectos de selección de los marcadores para monitorear la calidad de aguas, OE3 Analizar los métodos de identificación y cuantificación de marcadores usados para monitorear la calidad de aguas.

II MARCO TEÓRICO

Usodemarcadoresquímicos En la actualidad existe más de 397 000 agentes químicos distribuidos en muchos lugares del mundo, las cuales se hallan registradas y normadas (CHEMLIST, 2020). De esta forma la producción y aplicación de las sustancias químicas se incrementa día a día a tasas que superan ampliamente a los emisión de los agentes del cambio a nivel mundial y es reconocido para la cantidad de bienes químicos autorizados y usados (Bernhardt et al., 2017), así han surgido los contaminantes emergentes, los cuales forman parte de un gran grupo de agentes químicos que no son vigilados normalmente existiendo una limitada información respecto a los posibles efectos de tal forma que en la actualidad no existe un normatividad para su control o estándares cualitativos por lo cual su presencia en los medios genera riesgos potenciales (Halden, 2015). En el caso de las aguas superficiales su empleo en la potabilización, en las actividades de recreación, la producción alimentaria, o como parte del servicio eco sistémico, resulta crucial identificar, ubicar y controlar aquellas áreas que presentan un riesgo potencial asociado a estos compuestos sintéticos emergentes (Van Wezel et al., 2018).

Aunque se han utilizado una diversidad de agentes químicos como marcadores para detectar la contaminación generada por las descargas de aguas residuales sobre aguas superficiales o subterráneas, recientemente se ha incrementado muchos investigaciones exitosas sobre el uso de productos farmacéuticos de aseo personal (PFAP), edulcorantes sintéticos (ES), agentes de blanqueo con fluorescencia (ABF) así como los esteroides y estanoles de tipo fecal (EE) que sirven para detectar las fuentes de contaminación de aguas residuales sobre los cuerpos de agua superficial y subterráneas. A pesar de ello, representa un desafío importante determinar con precisión el alcance de los vertimientos de las aguas residuales al entorno aplicando metodologías específicas para el uso de marcadores químicos e isotópicos.

Hoy en día, no se cuenta con un agente químico exclusivo que sirva para identificar proceso de contaminación por aguas residuales, en todos los casos

aplicables en todos los sitios de evaluación con igual precisión. En base a ello es importante conocer el patrón de uso del suelo, la clase de contaminantes y niveles de contaminación originados por las aguas residuales, el destino final y el transporte de tales agentes químicos, con la finalidad de seleccionar marcadores más oportunos para la función de la detección (Lim, Ong, Hu, 2017).

Estos marcadores se dividen en 03 categorías muy bien diferenciadas: compuestos que son generados por los seres humanos como el estero fecal, compuestos que atraviesan los cuerpos humanos como los PFAP, componentes que proviene de aguas residuales (contaminadas) como los detergentes, estos compuestos químicos presentan una rápida detección, simple y confiable, además de ser más estables a diferencia de los marcadores microbiológicos. De esta manera los PFAP y los ES se han aplicado a menudo para detectar la presencia de contaminantes orgánicos emergentes en distintos entornos hídricos, como los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas (Yang et al., 2018). Sin embargo no son específicos, para señalar la contaminación debido a las aguas residuales, ya que son afectados por factores del ambiente y pueden ser degradados y sorbidos. La característica principal para su uso como marcador es que el compuesto sea ubicuo, se encuentre presente en el agua residual sin tratar y en altas concentraciones asimismo estos mismos compuestos al estar en cuerpos de agua deben estar ausentes o en concentraciones bajas de manera significativa (Lim, Ong, Hu, 2017).

Tipos de Marcadores. Productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCP). En años recientes los PPCP y los AS han servido para detectar contaminantes orgánicos emergentes en concentraciones trazas de pg/L a mg/L en diferentes cuerpos de agua, como aguas superficiales y subterráneas (Postigo y Barcelo, 2015).

Asimismo, la relación de indicadores frágiles a indicadores estables es útil para identificar el ingreso de los contaminantes desde las aguas residuales no tratadas directamente vertidas a las aguas superficiales (Sun et al., 2016).

Se ha observado que la aplicación y el patrón de uso de estos compuestos químicos varían en los distintos lugares del mundo., por ejemplo Yang et al

(2017) analizaron distintos productos químicos de tipo orgánicos correspondientes a las aguas residuales y seleccionaron aquellos más adecuados para monitorear en áreas del río Pearl (al sur de China).

Así este tipo de componentes están conformados por sub productos de la excreta de orina y de heces, también por productos de cosmética, medicina y de prácticas agrícolas. Destacan en general la carbamazepina y la dietiltoluamida debido a que presentan baja capacidad de adsorción y generalmente los sistemas de tratamiento no los eliminan apropiadamente, entonces estos ingresarían al sistema de cuerpos receptores a través de los efluentes. La mejora de los métodos de detección y de cuantificación de los marcadores químicos e isotópicos a niveles ultra trazas, depende del tiempo rápido de respuesta de análisis y una mayor especificidad lo cual determinara las ventajas del uso de un marcador.

Edulcorantes artificiales (AS). Los edulcorantes (AS) representa sustancias sintéticas empleadas como reemplazo del azúcar por su aporte en calorías y de características dulces, la Unión Europea tienen registrado 7 edulcorantes alimentario tales como el acesulfamo (K), aspartamo (ASP), sucralosa (SUC), ácido ciclámico (CIC) y sacarina (SAC) y EEUU es uno de los principales consumidores del mundo lo cual va en aumento (Sylvetsky y Rother, 2016). Estos productos tiene múltiples usos además de ser dietéticos también se aplican en chicles, y alimentos dulces como helados, gelatinas o zumos, lo que normalmente sucede con su consumo es que las AS son excretadas por el ser humano sin presentar cambios metabólicos significativos inertes evacuándolos en las aguas residuales (Baena-Nogueras et al. 2018). Este comportamiento del productos en el ambiente son estudiados debido a su presencia en altas concentraciones tanto en los cuerpos receptores como en los efluentes PTAR, caracterizados por sus bajos porcentajes de remoción en los tratamientos, esta situación indica la formación de complejos o compuestos conjugados como reversibles porque tienden a mantener el producto original (Li et al., 2018).

Los ACE y SUC son productos muy estables para su degradación en las aguas residuales y están presentes en concentraciones mayores a 45 µg/L en ciertos países Europeos lo que suma su resistencia y alta persistencia en entornos de

agua superficiales y subterráneas, apareciendo como contaminantes emergentes (Baena-Nogueras et al. 2018). Existen casos en los que la persistencia de estos AS por más de 15 años en aguas subterráneas ha servido para rastrear los las plumas de los lixiviados de efluentes, conocer la fuente y la edad de la contaminación (Zirlewagen et al., 2016). Hay información sobre la presencia de SUC en el mar debido a que el océano representa el ultimo receptáculo de las aguas residuales que traen consigo estos aditivos alimentarios derivadas de los diversos efluentes, siendo el primer edulcorante detectado en el mar por ellos es muy estudiado por su alta ocurrencia y persistencia. Brumovský et al., (2016) informo de concentraciones trazas (0.03 µg/L) halladas en el Mar del Norte, que no generan toxicidad que altere a las especies acuáticas para su supervivencia o desarrollo de algas, y cualquier organismo de la cadena trófica, a este producto se suman otros como el ACE, CYC, SAC pero aún no se ha comprobado si la persistencia a largo plazo podría tener algún efecto sobre el comportamiento en la fisiología de los organismos acuática (Baena-Nogueras et al 2018).

Agentes blanqueadores fluorescentes (ABF o FWA). Los ABF en realidad son agentes activos de los detergentes usados para lavado de ropa su uso es muy amplio en todo el mundo, su uso abundante mantiene una fuerte preocupación debido a la elevada solubilidad en el agua y su composición recalcitrante a la biodegradación permite su acumulación en los lodos de las aguas residuales s a ello se debe su difícil eliminación de FWA en los procesos de tratamiento de aguas residuales (Lim, Ong, Hu, 2017).

El uso de estos componentes no solo en la industria textil, en los detergentes e inclusive en el papel además de aplicados para recubrir productos plásticos que mantiene contacto con alimentos ha hecho que se considere un marcador para detectar una fuente contaminantes. China ha detectado elevadas concentraciones en diversos productos comerciales y ha generado una profunda preocupación para la seguridad en términos alimentarios, en este contexto se han categorizado su uso a 3 tipos de ABF (FWA) en la comunidad Europea y en China con especificaciones muy precisas para su uso que incluyen limites específicos de migración (0.6 mg/kg) incluyendo para aplicaciones en poli

estireno y cloruro de polivinilo con valores inferiores a 0.02%. Es importante destacar que se requieren especificos para detectarlos, siendo la luz ultravioleta la forma de detectar la totalidad del compuesto aunque no precisa el tipo de compuesto, sin embargo existen otros métodos solo para su identificación en papel, agua, detergentes de uso doméstico y ropa infantil (Wu et al. 2016)

Esteroles / Estanoles (SS). Este tipo de compuestos denominados esteroides fecales se vienen aplicando también como marcadores químicos para detectar la contaminación fecal tanto del ser humano como de los animales efectuados por Emrich et al., (2017), fuentes fecales humanas investigadas por Fahrenfeld et al., (2016), como la aplicación de la metodología de huellas dactilares de esteroles para evaluar la contaminación fecal en sistemas acuáticos efectuados por Lu et al., (2016). En este grupo aparecen el colesterol el cual se biohidrogena transformándose en estanol en el aparato digestivo de ciertos animales (Devane et al. 2018), los valores en el ambiente dependerán de la dieta del ser vivo incluyendo las bacterias anaerobias presentes en los sistemas intestinales, los productos más comunes son esteroles y estanoles, es posible que sean bio-generado por ciertas especies incluido el ser humano que produce colesterol, las diferencias de concentración entre los seres vivos de sangre caliente origina huellas digitales o firmas asadas en las proporciones de los variados esteroides fecales, por ejemplo la relación entre el coprostanol/etilcoprostanol se suele usar para discriminar fuentes fecales herbívoras de las humanas (Devane et al. 2018).

Isotópicas de nitrato y nitrógeno. Uso de los isótopos estables del agua, $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$. El agua es un compuesto formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, pero el hidrógeno existe en el planeta en dos formas de isótopos estables denominados protio (^1H), deuterio (^2H o D) y uno de naturaleza radiactiva como es el tritio (^3H o T). De otro lado, el oxígeno presenta 03 isótopos estables: ^{16}O , ^{17}O y ^{18}O , de lo cual las relaciones proporcionales entre $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ es casi 1:500 y la de $^2\text{H}/^1\text{H}$ es 1:6600 en aguas oceánicas (Valenzuela et al., 2013). La siguiente figura representa la Línea Meteórica Mundial trazada como una fuente estable frente a las variaciones en la composición isotópica de un cuerpo de agua que se genera debido a los distintos procesos ambientales, además considera que el estado líquido del agua marina representa el 98% del

agua líquida dispuesta en la superficie terrestre de tal forma que su composición media se considera estándar o patrón internacional (SMOW, Standard Mean OceanWater) para efectos de comparación, por tanto distintas muestras de agua presentaran desviaciones (δ) por mil (‰) con relación al patrón de acuerdo a :

$$\delta(\text{‰}) = 1000 \times (R_{\text{muestra}} / R_{\text{standard}}) - 1$$

Donde, $R_{\text{muestra}} / R_{\text{standard}}$ representan relaciones isotópicas de $^2\text{H}/^1\text{H}$ o $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ se refiere a la media estándar del agua del océano de Viena (VSMOW) (Torres-Martínez, et la 2020). Esta composiciones isotópicas, se utilizan para comprender procesos relacionados con el ciclo hidrológico, el clima polar, y la combinación de sus medidas, como d-exceso = $\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$, determina el nivel de variación de los valores de $\delta^2\text{H}$ esperados en latitudes bajas y templadas para procesos de equilibrio como responsables absolutos de la relación entre $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$.

Composiciones de isótopos estables de nitrógeno y oxígeno. El Nitrógeno con sus isotopos estables de fuentes naturales son ^{14}N y ^{15}N con abundancias de 99,633% y 0,366% en el planeta y el oxígeno conformado por tres isótopos estables, tales como ^{16}O (99.76%), ^{17}O (0.04%) y ^{18}O (0.2%) participan en diferentes procesos físicos y químicos en el ambiente. La composición se expresa conforme se ha descrito para el Hidrogeno y sus isotopos de tal forma que un signo + indica un enriquecimiento y el signo – un agotamiento comparado con una muestra estandarizada (Zhang et al. 2019).

Las concentraciones de nitrato- $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$ varían de acuerdo a sus fuentes, por ejemplo nitrato- $\delta^{15}\text{N}$ es liviano en las lluvias con un rango entre -10 ‰ a 8 ‰ y si proviene de un fertilizante químico, varía entre 0 ‰ y 3 ‰. También una vez que los procesos de nitrificación microbiana este valor del nitrógeno del suelo oscila entre -3 ‰ y 5 ‰, por el contrario $\delta^{15}\text{N}$ es (7 ‰ a 20 ‰ o > 20 ‰) (Bu et al 2016).

La aplicación de $\delta^{15}\text{N}$ por sí misma no sirve para identificar de manera precisa la fuente de nitrato, generalmente se combina con $\delta^{18}\text{O}$, lo cual permite identificar la fuente de nitrato con menor incertidumbre ya que su valor es alto en la precipitación (+ 20 ‰ y + 70 ‰), mientras que para el fertilizante nitrogenado sintético es 22 ‰ a 3 ‰, y el valor $\delta^{18}\text{O}$ en la nitrificación NH_4^+ (-5 ‰ y 5 ‰)

(Zhang et al 2019). Sin embargo la producción final de $\delta^{18}\text{O}$ dependen de las formas de nitrificación y de la relación $\delta^{18}\text{O}$ de $\delta^{18}\text{O}-\text{O}_2$ atmosférico a $^{18}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$ en el agua aunque en el estiércol y aguas residuales los valores son $< 15 \text{‰}$. La determinación de fuentes de nitrato se efectúa comparando isótopos estables dobles ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$) de otras fuentes potenciales a las del agua superficial.

Productos químicos potenciales alternativos. De acuerdo a las practicas a nivel mundial respecto al uso de los marcadores químicos los resultados a la fecha señalan que su selección ara aguas residuales siempre será específica para el sitio de interés en la investigación. Existen otros compuesto como el azufre orgánico de tipo adsorbible que puede usarse como indicador de aguas residuales que forman parte de los FWA, o en su defecto se viene practicando la combinación de marcadores como indicadores inorgánicos, como es el caso del boro y del cloruro o los trazadores isotópicos, incluido hasta el ácido cítrico de aguas grises (sanitarias) (Lim, Ong, Hu, 2017).

Selección de marcadores. Consideraciones del Uso de marcadores químicos para detectar la contaminación de aguas residuales. El incremento de poblacional a nivel mundial genera mucha presión y estrés hídrico, los problemas ambientales y el avance productivo industrial incluido las actividades agrícolas acrecienta la problemática de la contaminación de los cuerpos de agua receptores de efluentes directos sin tratamiento u de fuentes difusas, el uso de trazadores químicos incluyendo los isotopos deben ser seleccionados apropiadamente considerando la falta de conocimiento de las fuentes y destino final de los contaminantes que es un factor que no ayuda a definir las normativas de conservación y preservación del recurso hídrico, inclusive la mejora constante en las metodologías de detección y cuantificación en niveles ultra trazas han permitido su identificación lo cual genera nuevas perspectivas de avance en el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos (Mizukawa et al 2019)

La selección de marcadores depende de factores esenciales como usos del suelo, población, topografía, geomorfología, tipo y concentración de contaminantes en las aguas residuales, tipo de actividades industriales, agrícolas, condiciones climáticas o meteorológicas y ambientales entre otras.

Para seleccionar marcadores de aguas residuales realistas, es útil comprender las características de los marcadores. En general, se acepta que el uso de un solo marcador no es suficiente para proporcionar esta información adicional. La tendencia reciente sugiere el uso de múltiples marcadores. Por ejemplo, la proporción de coprostanol / colesterol se puede utilizar para evaluar el grado de contaminación de las aguas residuales. Una proporción más alta de estigmastanol con respecto a otras SS es una indicación de la presencia de materia fecal de animales herbívoros como la vaca y la oveja. Además, se recomienda la medición de parámetros físico-químicos relacionados. Los datos pueden ser útiles para respaldar los hallazgos sobre la fuente de contaminación. En un estudio reciente de De Sousa et al. (2014), demostraron que la medición de la conductividad eléctrica no solo era útil para detectar el nivel de contaminación, sino que también podía utilizarse para respaldar los hallazgos sobre las fuentes de contaminación con la ayuda de análisis estadísticos (análisis de componentes principales (PCA) y correlación).

Inspección del lugar. Los agentes químicos que se encuentran en las aguas residuales son específicos del lugar y de la fuente. La ocurrencia, los tipos, el transporte y el destino de los contaminantes dependen en gran medida de la actividad humana, las condiciones ambientales y el patrón de uso de la tierra. Por lo tanto, la selección y consideración de los marcadores químicos en un sitio nuevo comienza con el estudio del sitio y la recolección de datos. La caracterización del sitio / cuenca especificada y la posible entrada de materia fecal son pasos importantes en la selección de marcadores potenciales. La caracterización del sitio con la evaluación y análisis del uso de la tierra, hidrología, población, condiciones climáticas, suelo, procesos de tratamiento de aguas residuales y otra información relacionada podría ayudar a identificar marcadores potenciales apropiados para la selección. Además, los tipos y el nivel de concentración de los contaminantes podrían evaluarse y predecirse en función de la recopilación de datos, como los datos de consumo de PPCP, las tasas de biodegradación y sorción, la estabilidad durante el transporte y el destino en el suelo, y la capacidad media de eliminación en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Los datos de caracterización del sitio deben analizarse e interpretarse para una evaluación integral como la fuente potencial.

Por ejemplo, los desechos de alimentos y bebidas de los patios de comidas y los restaurantes pueden ser una fuente de AS. Esta información sugiere que los AS podrían usarse para rastrear la contaminación, ya que se informó que los edulcorantes artificiales (ASS) son persistentes y se eliminan de manera deficiente en las EDAR convencionales (Lim, Ong, Hu, 2017).

La identificación de las fuentes de contaminación ayudará en la gestión de la contaminación de las aguas residuales. La selección de marcadores apropiados permite rastrear la fuente de contaminación, que podría distinguir entre humanos y no humanos, y discernir entre los diferentes orígenes de los animales. La mayoría de los estudios para diferenciar las fuentes de contaminación se basan en el uso de marcadores SS. La identificación y distribución de la fuente podría lograrse mediante el análisis de la relación de marcadores y herramientas estadísticas y regresión lineal múltiple.

Métodos de identificación y cuantificación de marcadores. La detección de marcadores químicos tanto en la fuente de aguas residuales como en los cuerpos receptores puede ser una tarea desafiante debido a la dilución durante el transporte y la interferencia de la matriz en las muestras de agua. Se recomienda que los límites de cuantificación del método para los marcadores sean niveles inferiores a ppt, para que puedan detectar los analitos diana en los cuerpos receptores. Recientemente, ha habido una mejora y un desarrollo significativos en los métodos de cuantificación de marcadores químicos para proporcionar una capacidad de alto rendimiento y mejorar la sensibilidad de detección. Los avances en las técnicas analíticas permiten detectar marcadores químicos en las aguas residuales

Se están usando equipos de alta resolución para identificar y cuantificar los marcadores, los detectores de cada equipamiento identifican los analitos pero los sensores cuantifican los niveles presentes, como las aplicaciones efectuadas por Dodgen et al. (2017) para la cafeína que es un PPCP, mientras que O'Brien et al (2017) aplica la ionización por electropulverización (ESI) acoplada al sistema HPLC para cuantificar medicamentos tales como la sulfametazina y sulfadiazina. Los **edulcorantes artificiales tales como ACE** y otros fueron cuantificados por Stefania et al. (2019) usando cromatografía líquida-

espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS) de gases-espectrometría de masas (GC/MS). Sin embargo la cuantificación de marcadores blanqueadores fluorescentes (FWA) se realiza por fluorescencia.

En el caso de los marcadores isotópicos estables de carbono (^{13}C) y nitrógeno (^{15}N) se determinan mediante espectrometría de masas acoplado con un analizador elemental Flash. Cuando Jia, Howard, Qian, (2020) muestrearon isotopos de aguas acompañados de otros agentes químicos como los nutrientes NO_2 , NO_2 o NH_4^+ , mientras el NH_4^+ se cuantifica por espectrofotometría con timol, el NO_2 se hace por colorimetría de acoplamiento diazo. Si se trata de medir NH_4^+ también se aplicara espectrofotometría, pero los isotopos estables tales como $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en H_2O se analizan usando un analizador de isótopos de agua líquida (IWA-35-EP)(VSMOW).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipoydiseñodeinvestigación

Esta investigación se ha efectuado revisando material bibliográfico respecto a palabras claves relacionadas con el uso de marcadores, la investigación es de tipo descriptiva y básica ya que pretende mostrar todas las alternativas empleadas en el uso de marcadores isotópicos para determinar la fuente de contaminación o de origen del estado situacional de una fuente de agua o un ecosistema. Se explica las ventajas y desventajas de su aplicación y cuáles son las perspectivas de su uso en el futuro (Fernández, Hernández y Baptista. 2014, p. 470).

3.2 Categorías,Subcategoríasymatrizdecategorización.

En la tabla 1 se presenta la matriz de categorización apriorística que detalla cada problema planteado, sus objetivos y sus categorías y subcategorías correspondientes resueltas en esta investigación.

Tabla 1. Matriz de categorización apriorística Uso De Marcadores para Monitorear la calidad de aguas. Revisión Sistemática 2020

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categorías	Sub categorías	Unidad de análisis
Analizar los tipos de marcadores usados para monitorear la calidad de agua	¿Qué tipos de marcadores son usados para monitorear la calidad de agua?	Marcadores	Químicos Radiactivos/nucleares	Telesford-Checkley et al. (2017), Yang et al (2017), Kempínska, Kot-Wasik, (2018), Devane et al. (2018), Sylvetsky y Rother, (2016), Niloy, Haque y Tareg, (2021), Katam et al, (2018), Zielinski et al. (2019).
Analizar los aspectos de selección de los marcadores para monitorear la calidad de aguas	¿Qué aspectos de selección de los marcadores son usados para monitorear la calidad de aguas?	Selección de marcadores	Tipos de agua	Qu et al (2018), Sylvetsky y Rother, (2016); Brumovský et al., (2016), Zirlewagen et al., (2016), Emrich et al.,(2017), Zhang et al (2019), Zhang et al (2019), Jia, Howard, Qian, (2020), Shi, et al. (2019), Carrey , et al. (2020), Xing, Liu, (2016), Jin, et al. (2018), Adebowale, et al. (2018), Margalef-Marti et al. (2020), Abdullah, et al. (2018) , Torres-Martínez, et al. (2020)
Analizar los métodos de identificación y cuantificación de marcadores usados para	¿Cuáles son los métodos de identificación y cuantificación de marcadores usados para	Métodos de identificación y cuantificación	Tratamiento físico-químico Uso de equipo de alta resolución	Dodgen et al. (2017), que O'Brien et al (2017), Yuan et al (2020), Stefania et al. (2019), Lee et al- (2019), Niloy et al (2021).

monitorear la calidad de aguas	monitorear la calidad de aguas?			
Analizar el destino final de los marcadores	¿Cuál es el destino final de los marcadores?	Destino final	Cuerpos de agua Suelo	,

3.3 Escenario de estudio

Esta investigación no ha precisado de un lugar para desarrollar como escenario, debido a que el diseño correspondió a una revisión bibliográfica, a nivel global, mas bien los artículos revisados corresponden a distintas regiones del mundo donde se ha empleado los marcadores con la finalidad de monitorizar la calidad de los cuerpos de agua y de las aguas residuales que afectan su composición.

3.4 Participantes

Se ha seleccionado de acuerdo a la metodología la base de datos Scopus y Elsevier, documentos emitidos por el Gobierno del Perú como El Ministerio del Ambiente, Defensoría del pueblo y otros como el Banco Mundial y la Organización Mundial de la Salud.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se empleó la revisión de bibliografía como una técnica de recolección de la información de la cual fueron extraídas aspectos relevantes de las categoría planteada en la investigación como señala Domínguez, (2015, p. 15). La búsqueda ha consistido en el uso de ciertas palabras clave que con el tiempo fueron más específicas como “tipos de marcadores, destino final, selección, etc.

3.6 Procedimiento

La búsqueda se ha efectuado mediante la base de datos Scopus y se han obtenido artículos con las palabras clave TITLE-ABS-KEY (use **AND** of **AND** isotopes **AND** to **AND** identify **AND** sources **AND** of **AND** aquatic **AND** pollution)definidas sin distinción de años ya que se sabe que es una práctica reciente en consecuencia se han considerado 57 artículos que forman parte de este informe. La matriz de categoría apriorística se presenta en la tabla 1.

3.7 Rigor científico

Arias y Giraldo, (2011) han definido el concepto de rigor científico como los instrumentos del trabajo de campo, que bien se cumplido de manera paralela con el

trabajo de búsqueda de la información , también han mencionado al análisis y muestreo teórico y a la integridad del investigador como aspectos relevantes de la conceptualización de rigor científico que se ha cumplido en esta investigación, se destacan los siguientes criterios aplicados: validez, confiabilidad, objetividad que han sido rigurosamente usados en esta investigación..

3.8 Método de análisis de datos

Se presenta un cuadro con la clasificación de la información y se cumple con la especificidad de matriz de consistencia para ordenar toda la información a partir de allí se estableció la discusión y conclusiones de la revisión.

3.9 Aspectos éticos

Toda la información es verdadera, la revisión esta enmarcada en los criterios establecidos sistemáticos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los países donde se ha publicado artículos recientes aparecen en el mapa siguiente:

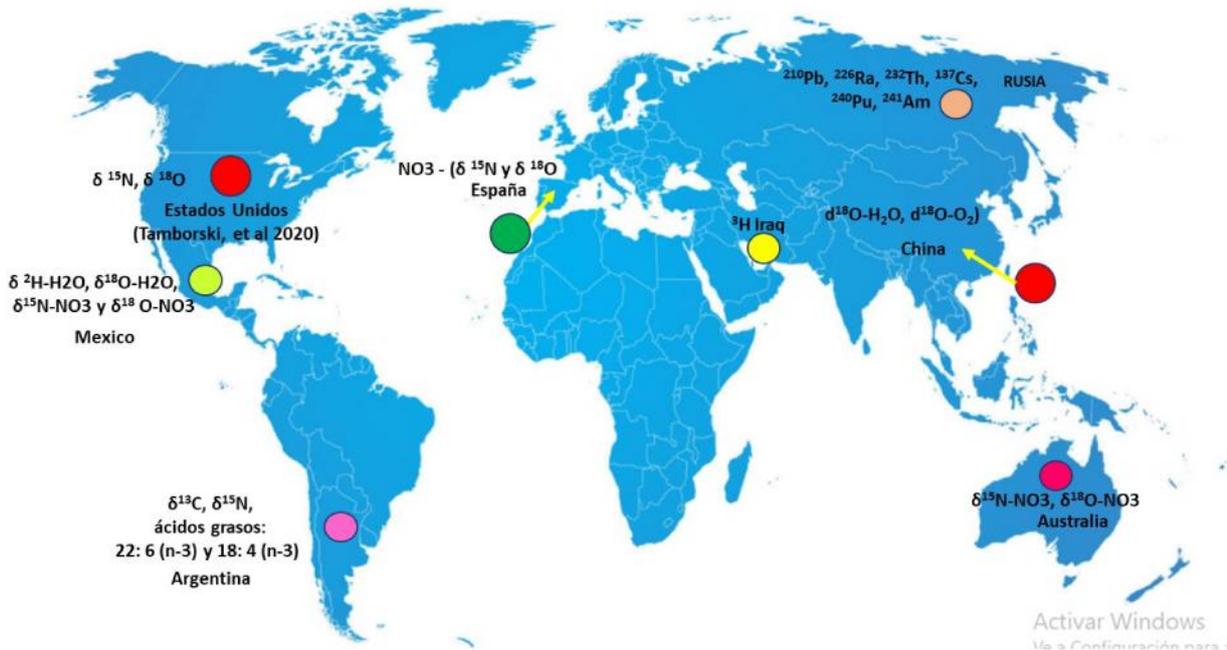


Figura 1. Países con investigaciones sobre monitoreo de aguas usando isotopos

También se observa que las aguas subterráneas han sido las más estudiadas seguidas de los efluentes de aguas residuales (20%)



Figura 2. Investigaciones sobre el uso de marcadores en fuentes de agua

Tipo de marcadores

En la actualidad no solo están presentes la aquellos contaminantes tradicionales como los metales pesados y los hidrocarburos de petróleo, sino agentes emergentes como los residuos de productos organoclorados, organobromados, aquellos que forman parte de los contaminantes descritos en el Convenio de Estocolmo, sino también residuos de fármacos usados en la medicina de los seres humanos sino también en las actividades agropecuarias. Es decir debido a que las fuentes de contaminación ambiental que van a parar en los cuerpos superficiales de aguas o en las subterráneas y en el mar, es que se han producido al menos dos formas de contaminarlo, sea por vertimientos directos, los cuales son muy fáciles de identificar y de caracterizar y aquellos provenientes de fuentes difusas, en la que es casi imposible determinar la fuente contaminante. De acuerdo a recientes investigaciones en la actualidad el uso de marcadores se está ampliando respecto a la variedad de agentes químicos que existen con el requisito fundamental de no encontrarse presente o encontrarse en niveles muy bajos con relación al cuerpo de agua que se desea investigar. Considerando este requisito los tipos de marcadores debe ser oportunos para cumplir la función de la detección (Lim, Ong, Hu, 2017) para lo cual se dividen en 4 tipos fundamentalmente:

Compuestos presentes en los seres humanos como el esteroles fecal

- **Esteroles y estanoles de tipo fecal (EE)**

Agentes tales como colesterol y estigmasterol han sido usados para identificarlos en muestras fecales, mientras que en agua, se han usado colesterol, coprostanol y colestanol (Telesford-Checkley et al. 2017).

Compuestos que atraviesan los cuerpos humanos como los PFAP,

- **productos farmacéuticos de aseo personal (PFAP)**,

Yang et al (2017) usaron la **carbamazepina** y la **dietiltoluidina** como marcadores en las aguas de un río para identificar el aporte de aguas de PTAR debido a que estos marcadores son excretados en las orinas y heces de los seres humanos y no suelen ser eliminados en las plantas de purificación entonces su presencia en el río indicaría a esta fuente contaminantes.

Kempińska, Kot-Wasik, (2018) reportaron agentes tales como acesulfame-K, cafeína, carbamazepina, ciclamato, ibuprofeno, metil parabeno, paracetamol en aguas residuales, además de acesulfamo-K, carbamazepina en efluentes diversos. o también basadas en proporciones mencionadas para otros agentes tales como coprostanol/etilcoprostanol que sirven para discriminar fuentes fecales herbívoras de las humana (Devane et al. 2018).

- **edulcorantes sintéticos (ES)** tales como: Sylvetsky y Rother, (2016) describieron el uso de acesulfamo (K), aspartamo (ASP), sucralosa (SUC), ácido ciclámico (CIC) y sacarina (SAC)
Kempińska, Kot-Wasik, (2018) encontraron sacarina en muestras correspondientes a aguas residuales y también hallaron sucralosa en muestras de efluentes.

Componentes que proviene de aguas residuales (contaminadas) como los detergentes:

- **Agentes de blanqueo con fluorescencia (ABF)**

Agentes como:

DSBP (sal disódica de 4,4'-bis (2-sulfostiril) bifenilo) (Niloy, Haque y Tareg, 2021)

DAS1 (Disodio 4, La concentración de 4'-bis [(4-anilino-6-morfolino-1, 3,5-triazin-2-il) amino] estilbeno-2,2'-disulfonato) (Niloy, Haque y Tareg, 2021)

alquilbencenosulfonato lineal (LAS) (Katam et al, 2018)

Estos materiales han sido usados por Niloy, Haque y Tareg (2021) en el monitoreo de ríos para identificar detergentes comerciales y domésticos como indicadores de aportes de aguas residuales domésticas (Figura 3).

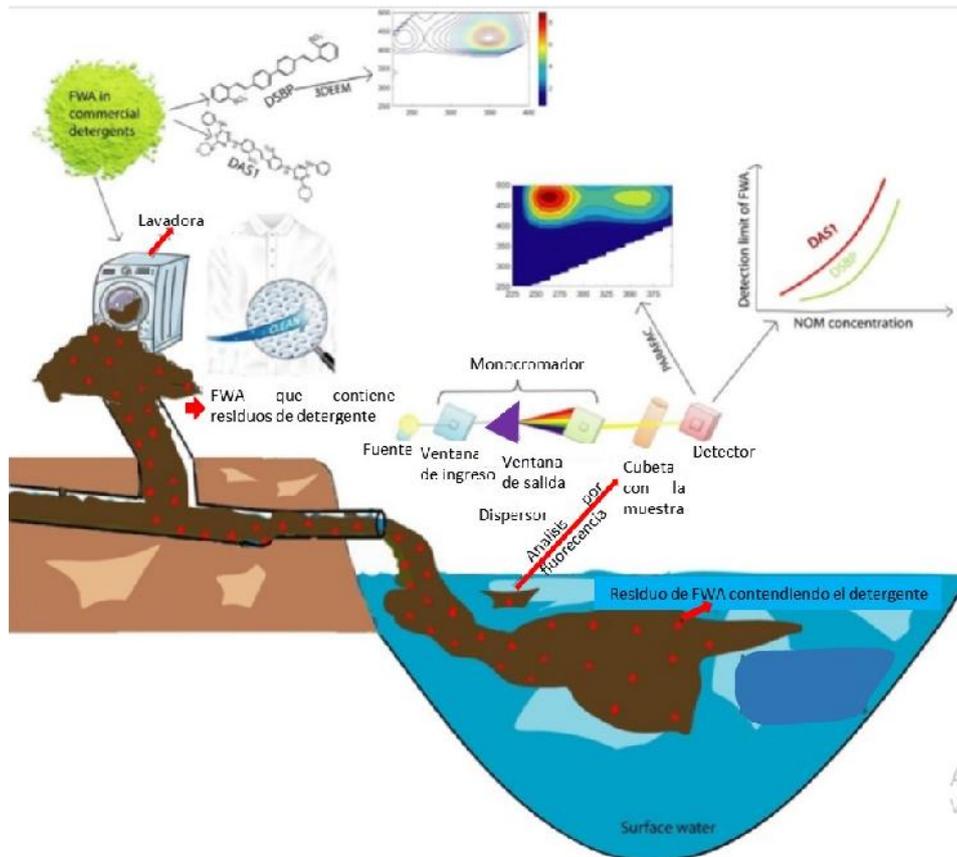


Figura 3. Aplicación de marcador Agentes de blanqueo con fluorescencia (ABF).
Fuente: Niloy, Haque y Tareg (2021)

Isotopos

Zielinski et al. (2019) Usaron isótopos de estroncio ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$) para evaluar la naturaleza del suministro de aguas a un lago además es posible relaciones este isotopo con el contenido de Sr-Cl para indagar la fuente de nutrientes en el agua.

Destacan los isótopos estables del agua, $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$, basados en el protio (^1H), deuterio (^2H o D) y el tritio (^3H o T), así como ^{16}O , ^{17}O y ^{18}O , en proporciones de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ de 1:500 y la de $^2\text{H}/^1\text{H}$ es 1:6600 en aguas oceánicas (Valenzuela et al., 2013). (Bu et al 2016) ha destacado que las concentraciones de nitrato- $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$ varían de acuerdo a sus fuentes: nitrato- $\delta^{15}\text{N}$ liviano en las lluvias (-10 ‰ a 8 ‰), de fertilizante químico (0 ‰ y 3 ‰). A continuación se ha recopilado

información de los tipos de isotopos más usados en el monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas.

Tabla 2. Marcadores: isotopos usados para identificar las fuentes de contaminación de cuerpos de aguas

TIPO DE MARCADORES	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	REFERENCIA
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Sr^{2+} , $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$, $\delta\text{D}(\text{‰})$, $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	<p>Se efectúa una caracterización química del agua subterránea, y se evalúa las características de los isótopos ambientales $\delta^{18}\text{O}$ y δD en cada tipo de agua colectada, al mismo tiempo se analiza las características isotópicas de Sr^{2+} y Sr mediante una relación matemática que origina un índice y la fuentes de SO_4^{2-} y ^{34}S</p>	<p>Qu et al (2018)</p>
$\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en H_2O , $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$ y $\delta^{18}\text{O} - \text{NO}_3^-$	<p>Se evalúa los entornos geológicos e hidrogeológicos y se colecta muestras de agua subterránea para su análisis de laboratorio y evaluación de mezcla de agua binaria. Para tal fin se estudia las fuentes de nitrato en aguas subterráneas, se evidencia el perfil del suelo. También se estudia la hidroquímica de iones principales y se aplican δD y $\delta^{18}\text{O}$ para evaluar las características acuáticas y la contribución del río Shidi a estas aguas subterránea.</p>	<p>Jia, Howard, Qian, (2020).</p>
$\delta^{15}\text{N}$ y $\Delta^{18}\text{O}$	<p>Se evaluaron las propiedades de las aguas superficiales y se determinó la distribución espacial de la contaminación por nitrógeno, usando las composiciones de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en aguas superficiales y tasa de contribución de diversas fuentes. Para tal fin se efectuó un muestreo y análisis de agua para evaluar parámetros fisicoquímicos, isotopos, para cuantificar fuentes de nitrógeno, se empleó un análisis de redundancia (RDA) con Software CANOCO 5.</p>	<p>Shi, et al. (2019)</p>

NO ₃ - (δ 15N y δ 18O) , (δ 11B).	<p>Caracterización química e isotópica</p> <p>Recuento de bacterias y bacteriófagos indicadores fecales</p> <p>Análisis de seguimiento de fuentes moleculares</p> <p>Extracción de ácido nucleico</p> <p>Cuantificación de marcadores MST por métodos moleculares</p> <p>Cuantificación de marcadores MST por métodos moleculares</p> <p>Criterios para la identificación de la contaminación por nitratos mediante un enfoque multiisotópico.</p>	Carrey et al. (2020)
δ 15N y δ 18O-NO ₃ δ 2H-H ₂ O, δ 18O-H ₂ O	Se efectúa un análisis de la química del agua, concentración de especies de nitrógeno presentes y de las composiciones isotópicas de agua de río y nitrato.	Xing, Liu. (2016)
δ 15N-NO ₃ y δ 18O-NO ₃ δ D-H ₂ O y δ 18O-H ₂ O	Se efectuó un análisis de los parámetros hidrológicos y principales composiciones de iones en cada muestra de aguas Se evaluó la concentración de especies de nitrógeno y la composición isotópica del nitrato en el agua	Jin et al (2018)
e δ 15NNO ₃ and Δ 18ono ₃	Se evaluó las fuentes de nitrato en las aguas subterráneas mediante la evidencia de la química del agua, y la isotópica, para ello se delimitaron los impactos de las PTAR frente a la agricultura y se evaluó la evidencia de desnitrificación / procesos secundarios que impactan las concentraciones de nitrato.	Adebowale et al (2018)

<p>isótopos ambientales (δ 2HH₂O, δ 18OH₂O, δ 15NNO₃ / δ 18 21 ONO₃), con datos de uso de la tierra / cobertura terrestre</p>	<p>Se ha efectuado una evaluación de las fuentes de nitrato y atenuación interpretadas por indicadores químicos y de las fuentes de nitratos y procesos biogeoquímicos en las aguas subterráneas estudiadas, así como la distribución de NO₃ – en las fuentes basadas en el modelo MixSIAR. Para ello se estudiaron las agrupaciones de muestras de agua y caracterización hidrogeoquímica, la composición isotópica del agua y la composición isotópica de nitrato</p>	<p>Torres-Martínez, et al (2020)</p>
<p>isótopo inestable de tritio. Las concentraciones de tritio se expresan en unidades de tritio (TU), donde 1 TU se describe como la aparición de un tritio en 10¹⁸ átomos de hidrógeno (H).</p>	<p>Se aplicó un modelo DRASTIC modificado con una validación contra la edad del agua subterránea usando isótopos inestables, para esto se contó preliminarmente con una fuente de datos y el modelo y se le aplicó un proceso de jerarquía analítica (AHP) y se usó tritio para validar el modelo</p>	<p>Abdullah et al (2018)</p>
<p>δ 15N -NO₃ -, δ 18O -NO₃ - y δ 15N -NO₂ -</p>	<p>Se efectúa una reducción microbiana de NO₃ por minerales que contienen Fe (II) y se evalúa los niveles de NO₃ - y NO₂ -y su reactividad abiótica con Fe (II). Para esto se hace una caracterización isotópica por fraccionamiento isotópico de NO₃ – con reducción microbiana, y un fraccionamiento isotópico de N -NO₂ - durante la reducción abiótica para luego evaluar la evolución isotópica de N₂O en experimentos microbianos y abióticos</p>	<p>Margalef-Marti, Carrey, Benito (2020)</p>
<p>δ 13C, δ 15N, 22: 6 (n-3), 20: 5 (n-3), 18: 4 (n-3), 16: 4 (n-1), 16: 3 (n-4) y 16: 2 (n-4),</p>	<p>Se aplicó un enfoque combinado que fusiona isótopos estables y ácidos grasos para estudiar la contaminación antropogénica en el estuario del Río Negro. Los marcadores de ácidos grasos de los</p>	<p>Kopprio, et al. (2018)</p>

los ácidos grasos monoinsaturados, 18:2 (n-6) y 18:3 (n-3) detritos vegetales indicaron considerables aportes alóctonos en los sitios de agua dulce.

$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$	Se efectuó un análisis de la hidroquímica de las aguas, se valoraron las concentraciones de NO_2^- , N , NO_3^- , N y $\text{NH}_4^+ -\text{N}$, así como la distribución espacial del nitrato y sus factores de control y las fuentes y transformaciones de nitrato.	Xue et al (2016)
------------------------------	--	---------------------

Selección de marcadores

En realidad seleccionar marcadores para realizar un monitoreo de la calidad de aguas que permita identificar a su vez las fuentes de contaminación, dependerá de las características del entorno de tales fuentes de agua a monitorear, es decir dependerá del uso de suelos y de saber que contaminantes están presentes en el, de la población, la geomorfología de la zona, la existencia de plantas de tratamiento, industriales etc. Esta información es relevante dado que es difícil diferenciar las fuentes que tienen un mismo contaminante (Kabiri, et al 2016). De otro lado, también es importante conocer las características o propiedades de los marcadores químicos tales como los componentes farmacéuticos o de aseo personal, edulcorantes sintéticos, blanqueadores que fluorescente i si son componentes lipídicas esteroides y estanoles, o los isotopos (Lim, Ong, Hu, 2017).

El estigmastanol suele usarse para indicar presencia heces de animales herbívoros pero debe acompañarse de información de los parámetros fisicoquímicos para respaldar los hallazgos. Además los PFAP y los ES a menudo se han aplicado para hallar contaminantes orgánicos emergentes en diferentes cuerpos de aguas superficiales y subterráneas (Yang et al., 2018). También se seleccionan los edulcorantes artificiales (AS) como productos más consumidos en muchas partes del mundo (Sylvetsky y Rother, 2016; Brumovský et al., 2016), son excretadas por el hombre sin los menores cambios metabólicos

y luego evacuados en las aguas residuales que no terminan de eliminarlo (Baena-Nogueras et al. 2018). También se usan en muestras de aguas subterráneas para rastrear las plumas de efluentes (Zirlewagen et al., 2016). Asimismo los esteroides/Estanoles (SS) como los esteroides fecales se usan para detectar la contaminación fecal humana y de animales (Emrich et al., 2017; Fahrenfeld et al., 2016; Lu et al., 2016). Con mayor razón se usa los agentes blanqueadores fluorescentes (FWA) aplicados en el lavado de ropa que no se elimina en los procesos de tratamiento de aguas residuales textiles (Lim, Ong, Hu, 2017).

En cambio los isotopos de nitrógeno son usados para identificar fuentes contaminantes con nitrógeno, pero además estas concentraciones en presencia de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$ ofrecen información de fuentes contaminantes como las, lluvias, o fertilizante químico, procesos de nitrificación microbiana, en estiércol y aguas residuales (Bu et al 2016). Zhang et al (2019) señala que la aplicación de $\delta^{15}\text{N}$ por si misma identifica de manera precisa la fuente de nitrato por lo tanto su combinación con $\delta^{18}\text{O}$, ayuda a identificar la fuente de nitrato con menor incertidumbre (Zhang et al 2019). A continuación se presenta un resumen de los hallazgos sobre la selección de isotopos en función a las fuentes contaminantes.

Tabla 3. Selección de isotopos en estudios de fuentes contaminantes de los cuerpos de agua.

OBJETIVO	LUGAR	MATRIZ	REFERENCIA
Identificar fuentes de agua en minas abandonadas mediante el uso de isótopos estables (δD , $\delta^{18}O$, $\delta^{34}S$ y $87Sr / 86Sr$)	Distrito minero de carbón de Fengfeng, norte de China	agua de mina abandonada agua subterránea agua superficial	Qu et al. (2018)
identificar fuentes de nitrato en aguas subterráneas poco profundas mediante múltiples trazadores isotópicos y químicos	vertiente norte de las montañas Qinling, China	aguas superficiales manantiales aguas subterráneas aguas residuales agua del embalse de Jijiahe agua subterránea local en su estado prístino	Jia, Howard, Qian, (2020).
identificar la contaminación por nitrógeno y sus fuentes en el río	río Weihe, noroeste de China	Agua de río	Shi, et al. (2019)
Determinar fuentes de nitrato en aguas por combinación de datos multi-isotópicos, marcadores MST, indicadores microbianos tradicionales e información de campo adicional	Cataluña (NE de España).	agua subterránea agua superficial efluentes PTAR	Carrey , et al. (2020)
1) Comparar las condiciones del nitrógeno en las cuencas hidrográficas que difieren en sus usos de la tierra; (2) identificar las fuentes de nitrógeno y las transformaciones usando firmas isotópicas del nitrato ($\delta^{15}N-NO_3^-$ y $\delta^{18}O-NO_3^-$) y el agua de río ($\delta^2 H-H_2O$ y $\delta^{18}O-H_2O$); (3) aplicar el modelo SIAR para estimar la proporción de contribuciones potenciales de	Cuencas hidrográficas de la meseta de Loess en China, cuatro ramales menores del río Jinghe, tales como los ríos Yanzichuan, Xujiahe, Bajahe y Baizihe	agua de manantial aguas subterráneas aguas residuales agua doméstica	Xing, Liu, (2016)

fuentes de NO3 (4) comprender el efecto de la precipitación estacional analizando las concentraciones de nitrógeno y las composiciones isotópicas en julio y septiembre.			
Combinar isótopos y usar un modelo de mezcla de isótopos bayesianos para conocer la contribución de fuentes de nitrato en aguas superficiales en múltiples áreas de uso de la tierra	Río East Tiaoxi, al este de China.	agua de superficie El agua de lluvia aguas residuales industriales	Jin, et al. (2018)
Validar un modelo DRASTIC para evaluar la vulnerabilidad de agua subterránea en la cuenca hidrogeológica de Halabja Saidu, Irak, a la contaminación mediante la modificación del modelo basado en AHP e isótopos de tritio.	cuenca de Halabja Saidu (HSB).noreste de Irak, a 25 km al oeste de la ciudad de Sulaimani	Agua subterránea	Adebowale, et al. (2018)
Reducir la incertidumbre para estimar contribuciones difusas de actividades ganaderas y agrícolas como fuentes de nitratos (NO3 - 18) y transformaciones biogeoquímicas en aguas subterráneas	Región central del norte de México Laguna de Mayrán y Bolsón de Mapimí.	aguas subterráneas	Torres-Martínez, et al. (2020)
Revelar el peso modificado del modelo DRASTIC basado en el Proceso Analítico Jerárquico para estimar la probabilidad proporcional de contaminación de los recursos de agua subterránea.	la cuenca de Basara, que se encuentra ubicada en el noreste de Irak, a 25 km al oeste de la ciudad de Sulaimani cuenca de Halabja Saidu	muestra de lluvia agua subterránea	Abdullah, et al. (2018)
Evaluar la viabilidad del uso de minerales de (Fe (II)) para estimular la desnitrificación microbiana y evitar el intercambio de contaminación como la acumulación de subproductos NO2 - u N2O.	Barcelona, España	agua subterránea	Margalef-Martí et al. (2020)

<p>Aplicar un enfoque combinado que fusiona isótopos estables y ácidos grasos para estudiar la contaminación antropogénicas en el estuario del Río Negro</p>	<p>río Negro (RN) es la principal fuente de agua dulce de la Patagonia Argentina</p>	<p>agua de río</p>	<p>Kopprio, et al. (2018)</p>
<p>1) Identificar el nivel de contaminación por nitratos en las aguas superficiales; (2) evaluar la variación espacial de la contaminación por nitratos; y (3) rastrear las principales fuentes y transformaciones de nitrato. mediante la evaluación hidroquímica y la medición isotópica</p>	<p>Cuenca del río Weihe, China</p>	<p>agua de río</p>	<p>Xue, et al (2016)</p>

Métodos de identificación y cuantificación

Es importante destacar que los contaminantes tales como metales pesados se determinación por espectrofotometría uv con horno de grafito o llama acoplado a espectrometrías de masas o ICP o dependiendo de las concentraciones por espectrofotometría visible, las metodologías son variadas.

Para la identificación de los marcadores PPCP tales como la cafeína, gemfibrozil, sulfametoxazol y triclocarban; Dodgen et al. (2017), aplicaron una extracción en fase sólida de muestras de agua previamente acidificadas (1 L) para luego concentrar los analitos y así reducir el volumen de la matriz y se usaron ciertos sustitutos isotópicos como subrogados para corregir efectos causado por la naturaleza del agua, luego se aplicó la cromatografía líquida y espectrometría de masas en tándem (LCMS / MS). Mientras que O'Brien et al (2017) aplicó una ionización por electropulverización (ESI) acopladas a sistemas de HPLC usando fase móvil de metanol del 1 al 95% con ácido acético al 0,1% para identificar y cuantificar acesulfamo, atenolol, cafeína, carbamazepina, codeína, furosemida, gabapentina, hidroclorotiazida, ibuprofeno, iopromida, naproxeno, norfloxacin, paracetamol, ácido salicílico. Yuan et al (2020) reportó la identificación y cuantificación de compuestos de PPCP fueron extraídos en fase sólida (SPE) al vacío, los materiales que fueron adsorbidos en cartuchos de extracción fueron eluidos con 6 ml de una solución de metanol + 1 ml de metanol previamente acidificado con ácido fórmico (0.10% de metanol, v/v). Cada extracto fue concentrado en una corriente de nitrógeno de 0,05 ml (máximo), el residuo se re disolvió en 0.20 ml de una mezcla de ácido fórmico (0.10%) y de metano en una proporción de 90:10 (v/v). Cada PPCP inmersas en las muestras de agua se detectó por medio de un análisis de instrumentación por espectrometría de masas-tándem de cromatografía líquida (LC-MS/MS) y la cuantificación se hizo en un espectrómetro de masas en modo de ionización mediante ionización por electropulverización (ESI). La metodología se representa por HPLC y ESI-MS/MS. Esto son los compuestos investigados son: cafeína imulante, el antibiótico cloranfenicol, el antiepiléptico carbamazepina y el repelente de insectos dietiltoluamida , carbamazepina, dietiltoluamida,

tetraciclina, sulfametoxazol, ciprofloxacina, roxitromicina, triclosán, propilparabeno, sulfametazina y ofloxacina. sulfonamidas (sulfametoxazol, sulfametazina y sulfadiazina), trimetoprim. Propilparabeno.

Respecto a los edulcorantes artificiales, Stefania et al. (2019) informo que los edulcorantes artificiales denominados (SUC, ACE, CYC y SAC) en muestras de aguas superficiales y subterráneas fueron extraídas en fase sólida y posteriormente fueron analizadas por cromatografía líquida y por espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS), a excepción de SUC cuyo lixiviado fue analizado por cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC/MS). Lee et al- (2019) explica la reparación preliminar de las muestras filtraron microfiltros de vidrio de 0.45 µm el pH 3 extracción de compuestos objetivo de muestras de agua subterránea filtradas se realizó con un método de extracción en fase sólida utilizando cartuchos. El análisis de AS: Acesulfam, Aspartame, Cyclamate, Saccharin, Sucralose a 50 mL de muestra filtrada a pH=2 en HCl la muestra se vertió en un cartucho previamente lavado con metanol y se eluyó con 12 ml de metanol luego fue concentrado y reconstituido en 0.20 ml de metanol: agua (1: 3,% v/v).

Niloy et al (2021) **determino agentes blanqueadores fluorescentes (FWA)** como el DSBP por fluorescencia.

Para el análisis de esteroides y esteroles fueron colesterol, coprostanol, epicoprostanol, etilcoprostanol, etilepicoprostanol, colestanol, metilcolesterol, estigmasterol, etilcolesterol y etilcolestanol por cromatografía de gases (GC) acoplado a espectrómetro de masas (MS) en modo de monitorización de iones seleccionados (SIM). En este caso las muestras de agua (4L) fueron filtradas para el análisis de esteroides tuvieron que filtrarse para luego seguir con la extracción y posterior análisis GC-MS (Fevane et al. 2018)

Respecto al análisis y cuantificación de isotopos así como los parámetros físico que los acompañan para la discriminación de fuentes se presenta el siguiente resumen dela tabla:

Tabla 4. Método de identificación y cuantificación de contaminantes usando isotopos

ISOTOPOS
87Sr/86Sr , Sr2+, δ34S(‰), δD(‰), δ18O(‰)
METODOS ANALITICOS
Parámetros fisicoquímicos con multiparámetros metales con espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) Cl ⁻ y SO ₄ ²⁻ por cromatografía iónica (Huang et al.2017). HCO ₃ ⁻ por titulación y TDS por suma de concentraciones de iones principales. Isótopos ambientales D y 18O en H ₂ O por analizador de isótopos de agua líquida LGR, reportados como δD y δ18O (‰). La relación 87Sr / 86Sr, se concentró por evaporacion para obtener Sr (> 5 µg)se adifico con HCl y se midió por espectrometría de masas de ionización térmica
RESULTADOS
Piedra caliza Ordovícico: δ18O de -9,32 a -8,37 ‰ (promedio: -9,00 ‰), δD de -67,79 a -63,75 ‰ (promedio: -66,34 ‰). agua de capa fina de piedra caliza: δ18O de -9,45 a -9,24 ‰ (promedio de -9,31 ‰) y δD de -71,39 a -65,39 ‰ (promedio: -67,32 ‰) agua de mina abandonada: δ18O de -9,25 a -8,9 ‰ (promedio de -9,10 ‰), δD de -68,16 a -65,15 (promedio: -66,47 ‰) El intercambio catiónico puede ocurrir en el agua de descarga de la mina Quantou, de Ca ²⁺ y Mg ²⁺ a Na ⁺ por el contenido de δD-δ18O del agua subterránea que se interconectan. Baja concentración de Sr ²⁺ y 87Sr / 86Sr demostraron interacción agua-roca caliza
REFERENCIA: Qu et al (2018)

ISOTOPOS
$\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en H_2O , $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3$ - y $\delta^{18}\text{O} - \text{NO}_3$ -
METODOS ANALITICOS
<p>Temperatura, el pH y el total de sólidos disueltos con un medidor portátil.</p> <p>NO_3 por espectrofotometría con timol, NO_2 por colorimetría de acoplamiento diazo. El NH_4^+ por espectrofotometría de reactivo de sodio</p> <p>Isótopos estables $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en H_2O por un analizador de isótopos de agua líquida (IWA-35-EP)(VSMOW).</p>
RESULTADOS
$\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3$ – (+2.4 a +18.9 ‰), $\delta^{18}\text{O} - \text{NO}_3$ – (+11.2 a +16.8 ‰). Efectos de desnitrificación en el agua subterránea no son significativos. Área industrial y el río Shidi, asociación espacial fuerte riqueza de $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3$
REFERENCIA: Jia, Howard, Qian, (2020).

ISOTOPOS
δ15N y Δ18o
METODOS ANALITICOS
<p>CE, pH, oxígeno disuelto (OD) y potencial redox (ORP) con analizador multiparamétrico portátil.</p> <p>NO3 --N, NO2 --N y NH4 + -N por Auto analizadores discretos</p> <p>δ15N y δ18O del nitrato se extrajeron por el método de resina de intercambio aniónico y se midieron con espectrómetro de masas con sistema llama.</p> <p>Relaciones isotópicas: 15N / 14N o 18O / 16O relativas al N2 (aire) y al agua oceánica media estándar, se usó el método descrito por Zhang et al., (2018).</p> <p>δ15N o δ18O se calculan como: $\delta RR (\text{‰}) (/ 1) 1000 = - \text{muestra estándar} \times (1)$</p>
RESULTADOS
<p>δ15N-NO3 de 1,81 a 21,60 ‰ y δ18O-NO3 de 1,49 a 49,39 ‰. Los isótopos de nitrógeno y oxígeno estuvieron asociados con fuentes de NO3: 71,3%, de contribución de fuentes de estiércol y las aguas residuales, con la precipitación atmosférica (8,2%), con fertilizantes (7,2%), que se transforman en nitrógeno- nitrato a través de la mineralización del suelo y luego ingresan a las aguas superficiales en la escorrentía superficial(10,5%)</p>
REFERENCIA: Shi, et al. (2019)

ISOTOPOS
NO3 - (δ 15N y δ 18O) , (δ 11B).
METODOS ANALITICOS
<p>Temperatura, pH, potencial redox (Eh), Oxígeno disuelto oficiales por multiparámetros (APHA-AWWA-WEF, 1998). (Cl-, NO3-, NO2-, SO4 2-) por cromatografía iónica (IC) utilizando un cromatógrafo de iones, oligoelementos por espectrometría de emisión óptica de plasma acoplada inductivamente (ICP-OES).</p> <p>Para medir isotopos se usa δmuestra = (Rmuestra / Rstd) - 1, donde R = 15N / 14N, 18O / 16O, 11B / 10B y 2H / 1H en la muestra y el estándar (std) y se expresa como ‰.</p> <p>Los isotopos disuelto δ 15N y δ 18O de NO3 -, δ 15N de NH4 +, δ 2H y δ 18O de H2O y δ 11B se determinaron por el método de reducción de cadmio modificado.</p> <p>El δ 15N y δ 18O del N2O por un Pre-Con acoplado a un espectrómetro de masas de relación de isótopos (IRMS).</p> <p>δ 11B por un HR-ICP-MS de alta resolución acoplado inductivamente.</p>
RESULTADOS
<p>PTAR: NO3 - en 15 efluentes (hasta 57 mg / L), NO2 - en 6 efluentes (hasta a 5,6 mg / L), y NH4 + en 9 efluentes (hasta 51,4 mg / L). B promedio de 130,8 μg / L. El δ 15N y δ 18O del nitrato disuelto en 7 muestras > 3 mg / L. δ 15N-NO3 - y δ 18O-NO3 - entre +17,6 ‰ y +6,5 ‰. El δ 15N-NH4 + en 8 EDAR dio δ 15N-NO3 - en +9,7 ‰ a +23,6 ‰, el δ 11B EDAR entre +2,9 ‰ y +20,4 ‰. Agua superficial: 66% de muestras NO3 < 20 mg / L, niveles moderados a bajos, 5% > 50 mg / L. 20% de NO2 > a 1 mg / , 15% de NH4+ > 1 mg / L, 25% De B> 100 μg / L, 4 muestras > 200 μg / L). Isótopos 88% de δ 15N-NO3- > 8 ‰, 28% de δ 18O-NO3- > +8.0 ‰ en solo el 28% de las muestras. El 20% de δ 11B < de +14 ‰, el 41% entre +14 ‰ y +20 ‰, y el 25% > +20 ‰. Aguas subterráneas: 38% de NO3 - > 50 mg / L. (36%) de NO3 - entre 20 y 50 mg / L, 26% <20 mg / L. 36% de δ 15N-NO3 - < +8.0 ‰, 49% entre +8.0 ‰ y +15.0 ‰, y 18% > +15 ‰. 48% de δ 18O-NO3 - < +6.0 ‰. El 25% de δ 11B < +14.0 ‰, el 22% entre +14 ‰ y +20 ‰, y 55% > +20 ‰</p>
REFERENCIA: Carrey et al. (2020)

ISOTOPOS
<p>δ15N y δ18O-NO3 δ2H-H2O, δ18O-H2O</p>
METODOS ANALITICOS
<p>Cl⁻, SO4²⁻, NO2⁻ -N y NO3⁻ -N por cromatografía iónica NH4⁺ -N por espectrofotometría mediante el método de Nessler TN por digestión con persulfato de potasio alcalino y análisis por espectrofotómetro después de reducción de NO3⁻ -N a NO2. δ15N-NO3 y δ18O-NO3, filtración para eliminar partículas grandes más finas, el NO3 disuelto paso a AgNO3 sólido por intercambio iónico. El AgNO3 se usó para medir δ15N por un espectrómetro de masas, δ18O por instrumento Delta-Plus conectado a un analizador elemental de conversión de alta temperatura Isótopos de oxígeno e hidrógeno se analizaron por espectroscopía de anillo descendente de cavidad escaneada en longitud de onda (WS-CRDS).</p>
RESULTADOS
<p>δ15N y δ18O mostraron que NO3⁻ derivaron de la precipitación, el estiércol, las aguas residuales, el nitrógeno orgánico del suelo y el fertilizante sintético NO3. δ18ONO3⁻ - en julio de 2012 (media ± DE = + 18,1 ± 1,5 ‰) > septiembre de 2013 (media ± DE = + 7,8 ± 3,7 ‰), no hubo nitrificación ni desnitrificación intensas en los cinco ríos El modelo bayesiano mostro contribuciones variables de las fuentes de contaminación</p>
REFERENCIA: Xing, Liu. (2016)

ISOTOPOS

$\delta^{15}\text{N-NO}_3$ y $\delta^{18}\text{O-NO}_3$
 $\delta\text{D-H}_2\text{O}$ y $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$

METODOS ANALITICOS

Conductividad eléctrica (CE), temperatura por medidores portátiles

Na⁺, K⁺ (Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ por cromatografía iónica

Nitrógeno total (TN) por espectrofotométrico UV digerido con persulfato de potasio alcalino

HCO₃⁻ por titulación con HCl y C₁₄H₁₄O₃N₃Na

$\delta\text{D-H}_2\text{O}$ y $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ (isotopos estables) por espectroscopia de anillo descendente de cavidad escaneada en longitud de onda Picarro

$\delta^{15}\text{N-NO}_3$ y $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ por el método del desnitrificador, el NO₃⁻ se transformó en óxido nitroso (N₂O) por bacterias desnitrificantes

(*Pseudomonas aureofaciens*) para ser eliminado y los isotopos se midieron por espectrometría de masas

δ (‰) = $(R_{\text{muestra}} - R_{\text{estandar}}) / (R_{\text{estandar}}) * 1000$, donde R = D / H, 15N / 14N o 18O / 16O.

Los valores de 15N / 14N se informaron en relación con el aire atmosférico, y los valores de D / H y 18O / 16O se informaron en relación con el agua oceánica media estándar de Viena.

RESULTADOS

Los valores de $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ variaron de + 1.8 ‰ a + 14.0 ‰ y los valores de $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ variaron de + 3.0 ‰ a + 11.5 ‰ en el sistema del río East Tiaoxi.

Se reveló que la nitrificación, en lugar de la desnitrificación, actuaba como el principal proceso de ciclo del N en el sistema del río East Tiaoxi.

Las contribuciones de las fuentes diferían significativamente: aguas residuales / estiércol, fertilizantes químicos, el nitrógeno del suelo

REFERENCIA: Jin et al (2018)

ISOTOPOS
e $\delta^{15}\text{NNO}_3$ and $\delta^{18}\text{ONO}_3$
METODOS ANALITICOS
<p>Colecta en agosto (lluvias) y diciembre (seca) de 2014.</p> <p>Análisis de $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ y $\delta^{18}\text{O-NO}_3$: por filtraron de 0,45 mm análisis por espectrofotometría.</p> <p>Valores de $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ - y $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ - en agua subterránea por el método de desnitrificación bacteriana (Ji et al. (2017)).</p> <p>Se extrajo el ADN total del agua subterránea por electroforesis en gel de agarosa estándar y se mido concentraciones de ADN en fluorómetro,</p> <p>el ARNr 16S bacteriano se amplificó con cebadores (515F y 806R) para el procesamiento de Illumina, con 97% de similitud</p>
RESULTADOS
<p>Aguas subterráneas cercanas a la PTAR: $\delta^{15}\text{NNO}_3$ (10,4 a 41,2 ‰) y $\delta^{18}\text{ONO}_3$ (-0,5 a 21,3 ‰)</p> <p>cerca de huertos comerciales, evidencia de fertilizantes mixtos (estiércol y nitratos sintéticos): $\delta^{15}\text{NNO}_3$ (7.2 y 29.8 ‰) y $\delta^{18}\text{ONO}_3$ (0.4 a 15.1 ‰)</p>
REFERENCIA: Adebowale et al (2018)

ISOTOPOS
isótopos ambientales (δ 2HH ₂ O, δ 18OH ₂ O, δ 15NNO ₃ y δ 18 21 ONO ₃), con datos de uso de la tierra / cobertura terrestre y un mod
METODOS ANALITICOS
<p>Aniones por cromatografía iónica</p> <p>Cationes por espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)</p> <p>δ 2H-H₂O y δ 18 O-H₂O por analizador de isótopos de agua con espectroscopia de salida de cavidad integrada fuera del eje (OAICOS)</p> <p>Valores δ 15NNO₃ y δ 18201 ONO₃:por el método de reducción química (Ti et al., 2018) reduciendo NO₃ - a NO₂ - a través de un catalizador de cadmio, y convirtiéndolo químicamente en N₂O, luego lectura por espectrómetro de masas de relación de isótopos de gases traza (TG-IRMS; GVI IsoPrime).</p> <p>Expresión de isotopos: δ (‰). Calculo δ (‰)= 1000 × (Rmuestra / R estándar) - 1</p> <p>Rmuestra y R estándar son las relaciones isotópicas medidas (2H / 1H, 15N / 14N o 18O / 16 211 O)</p> <p>La relación 15N / 14N en nitratos se informa como δ 15 212 NNO₃ con respecto al N₂ atmosférico, mientras que las relaciones 2H / 1H y 18O / 16 213 O se informan con respecto a 214 Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW).</p>
RESULTADOS
<p>58% de las muestras de agua subterránea > al umbral para insumos antropogénicos</p> <p>32% > al límite de agua potable segura de la OMS de 10 mg / L.</p> <p>Modelo de mezcla de isótopos bayesianos en combinación con el uso de la tierra y mapas de cobertura terrestre mostro contribuciones de fuentes no puntuales de NO₃ - , fugas derivadas del uso intensivo de estiércol (~ 48 %) y fugas de aguas residuales urbanas o fosas sépticas (~ 43%).</p> <p>Las huellas dactilares isotópicas (δ 2H, δ 18OH₂O, δ 15NNO₃, δ 18 ONO₃), identificaron nitrificación sustancial en áreas de recarga y en áreas de descarga desnitrificación, en concordancia con los valores fisicoquímicos.</p>
REFERENCIA: Torres-Martínez, et al (2020)

ISOTOPOS
δ 15N -NO ₃ -, δ 18O -NO ₃ - y δ 15N -NO ₂ -
METODOS ANALITICOS
<p>Análisis de: NO₃ - y NO₂ - por cromatografía líquida de alta resolución HPLC. NH₄ + por espectrofotometría UV-visible)- método del azul de indofenol o por cromatografía iónica.</p> <p>El N₂O por cromatografía de gases (GC) con un detector de captura de electrones (ECD) El Fe</p> <p>Oligoelementos disueltos por espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP).</p> <p>Isotopos δ 15N -NO₃ -, δ 18O -NO₃ - y δ 15N -NO₂ - por reducción de cadmio y azidas. La composición isotópica del N₂O por un Pre - Con (Thermo Scientific) acoplado a un IRMS.</p> <p>La notación se expresa como δ (‰), N₂ atmosférico (AIR) para δ 15 N y para δ 18 O de agua oceánica media estándar de Viena (V - SMOW). Calculo: $\delta = (R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}) / R_{\text{standard}}$, R: relación entre los isótopos pesados y ligeros.</p>
RESULTADOS
<p>En experimentos microbianos, la reducción de NO₃ a nitrógeno gaseoso (N₂) se completó en microcosmos que tenían nanopartículas de magnetita y no micro, con d15 N-NO₃ (- 33,1 ‰), d 18 O-NO₃ (-10,7 ‰) y d 15 N-NO₃/d 18 O-NO₃ (3,1).</p> <p>En experimentos abióticos, no se observó reactividad entre NO₃ - o NO₂ - y magnetita, siderita u olivina. Pero si N O₂ - se redujo conó Fe²⁺ + disuelto que estimuló el proceso, con -d15 NNO₂ (-14,1 y -17,8 ‰).</p>
REFERENCIA: Margalef-Martí, Carrey, Benito (2020)

ISOTOPOS
δ ¹³ C, δ ¹⁵ N, 22: 6 (n-3), 20: 5 (n-3), 18: 4 (n-3), 16: 4 (n-1), 16: 3 (n-4) y 16: 2 (n-4), los ácidos grasos monoinsaturados, 18: 2 (n-6) y 18: 3 (n-3)
METODOS ANALITICOS
<p>Abundancia de grupos de plancton fraccionado conservado en Lugol se contó por el método Utermöhl en una cámara de placas combinada.</p> <p>El zooplancton de seston > 200 µM conservado en formaldehído tamponado se contó basado en el diseño de Bogorov.</p> <p>El pigmento se extrajo en acetona/agua al 90% y la clorofila y feo-pigmentos.</p> <p>Los nutrientes inorgánicos disueltos por métodos estándar (Grasshoff et al., 1999)</p> <p>Carbono orgánico disuelto por oxidación catalítica a alta temperatura en un analizador Shimadzu TOC-VCPN.</p> <p>Isótopos estables de carbono (¹³C) y nitrógeno (¹⁵N) por espectrómetro de masas acoplado con un analizador elemental Flash.</p> <p>Valores expresados como (δ ‰), carbono en relación con Pee Dee Belemnite y nitrógeno en relación con el nitrógeno en el aire según a la fórmula: $R = \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}$ o $\frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}}$ y $\delta (\text{‰}) = \left[\left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000 \right]$.</p>
ISOTOPOS
δ ¹³ C, δ ¹⁵ N, 22: 6 (n-3), 20: 5 (n-3), 18: 4 (n-3), 16: 4 (n-1), 16: 3 (n-4) y 16: 2 (n-4), los ácidos grasos monoinsaturados, 18: 2 (n-6) y 18: 3 (n-3)
RESULTADOS

El agotamiento de ^{15}N y los picos de 18: 1 (n-7) fueron marcadores de contaminación por aguas residuales, contaminación por la descarga de aguas residuales en el estuario del RN.

La evidencia correlativa de ácidos grasos de diatomeas, $\delta^{13}\text{C}$, clorofila y materia orgánica particulada sugirió la importancia de las diatomeas para la producción de materia orgánica autóctona en la desembocadura del río. Los valores bajos de $\delta^{15}\text{N}$ (~ 0 ‰) y altas concentraciones de ácidos grasos 18: 1 (n-7) en el material particulado en suspensión, en combinación con los picos de coliformes y amonio, indicaron un fuerte impacto de la descarga de aguas residuales sin tratar. El agotamiento del ^{15}N se relacionó con los procesos de amonificación limitados en oxígeno y la incorporación de amonio empobrecido en ^{15}N a los microorganismos. Este trabajo demuestra que el uso combinado de marcadores lipídicos e isotópicos puede aumentar en gran medida nuestra comprensión de los factores biogeoquímicos y los contaminantes que influyen en los estuarios, y nuestros hallazgos destacan la urgente necesidad de acciones de gestión del agua para reducir la eutrofización.

REFERENCIA: Kopprio, et al. (2018)

ISOTOPOS
δ 15N-NO3-
METODOS ANALITICOS
<p>pH, conductividad eléctrica (EC), oxígeno disuelto (OD) y potencial de oxidación-reducción (ORP) se midieron con multiparamétero portátil</p> <p>Las muestras de agua se filtraron con filtro de celulosa de acetato de 0,45 μm y se almacenaron a 4°C</p> <p>SO4 2-, Cl-, NO3-, NO2- y NH4+ analizadas por analizador auto discreto</p> <p>Ca2 +, Mg2 +, Na + y K + por espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)</p> <p>HCO3- y CO3 2- por titulación ácido-base</p> <p>Agua con nitrato > 45 mg / L fueron elegidas para análisis isotópicos de nitrógeno. El nitrato se separó mediante el método de resina de intercambio aniónico</p> <p>Valores de δ 15N-NO3 – por espectrómetro de masas con un analizador elemental flash en línea</p> <p>Isótopos estables de carbono (13C) y nitrógeno (15N) por espectrómetro de masas acoplado con un analizador elemental Flash.</p> <p>Donde Rmuestra y Restandard 15N / 14N de muestras de agua y N2 en el aire, respectivamente. La precisión analítica 1δ para el análisis de δ15N-NO3 fue \sim0.3</p>
RESULTADOS

$\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$: + 8,3 ‰ y + 27,0 ‰. Desnitrificación solo ocurrió en el río Weihe en el condado de Huayin y en el río Shitou. $\text{NO}_3^- > 45 \text{ mg/L}$, las aguas residuales domésticas son la principal fuente de nitrato. Aguas residuales domésticas y las actividades agrícolas son las principales fuentes de nitrato en la cuenca semiárida.

REFERENCIA: Xue et al (2016)

V. CONCLUSIONES

OG: Se ha evaluado el uso de marcadores para monitorear la calidad de las aguas. La literatura revisada ha mostrado un especial interés en el estudio de las aguas subterráneas esto es debido a que estos cuerpos de agua suelen recibir infiltraciones de lluvias contaminadas o no, así como el ingreso de fuentes de aguas residuales o de ríos que la contaminan. Le siguen investigaciones sobre las aguas residuales para caracterizar principalmente la presencia de marcadores químicos en sus 03 formas y poder aplicarlos en los cuerpos de agua para evaluar la fuente de contaminación. Sin embargo, la selección de los marcadores dependerá de las características del entorno, ya sea respecto al uso dado a los suelos, presencia plantas de tratamiento industriales o domésticas y la cantidad poblacional asociada a las actividades económicas que podrían causar fugas de contaminantes que terminan en los cuerpos de aguas. Se ha determinado que los marcadores seleccionados deben encontrarse en niveles imperceptibles con relación a la matriz (muestra de agua) de fondo para ser aplicado además no es suficiente usar un único marcador, casi siempre se usan más marcadores asociados a los parámetros físicos de tal manera que podrían establecerse proporciones que sirvan de indicadores de la alimentación de contaminantes por una determinada fuente antropogénicas y su identificación y cuantificación requiere de equipamiento de alta resolución. Este método es fundamental para determinar fuentes de contaminación antropogénicas que por escorrentías contaminan fuentes de aguas superficiales o subterráneas.

OE1: Se ha analizado los tipos de marcadores usados para monitorear la calidad de agua, Se está ampliando el uso de los marcadores debido a su presencia en la vida humana cotidiana, económica y hasta social. Se han hallado 4 tipos de marcadores principales, los esteroides y estanoles de tipo fecal (EE), usados para identificar fuentes fecales como el de las plantas de tratamientos que no logran eliminarlos, tales como el colesterol, coprostanol y colestanol también están los productos farmacéuticos de aseo personal (PFAP), estos son los principios

activos medicinales tanto de la salud humana como animal. La carbamazepina y la dietiltoluamida se usan para identificar a las fuentes antropogénicas de la ciudad, mientras que los edulcorantes tan usados en ciertas regiones son muy aplicados justamente por ser un producto popular que casi no se metaboliza y se vierte con los efluentes de los PTAR. Sin embargo son los agentes de blanqueo con fluorescencia (ABF) los que además sirven para identificar fuentes textiles. Otro grupo de importancia ha sido los marcadores isotópicos, basados en su disponibilidad en la tierra, estos derivan de los átomos de nitrógeno $\delta^{15}\text{N}$, oxígeno, del agua ($\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$), el estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) entre otros, que mediante relaciones proporcionales con otros elementos de la tabla sirven de indicadores. La importancia de su uso radica en que $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ denotan aguas oceánicas, y que las proporciones de nitrato- $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$ varían de acuerdo a sus fuentes sea de lluvias, de fertilizante químico (0 ‰ y 3 ‰) etc. Esto significa que cada zona geográfica debe configurar su sistema de marcadores, porque no necesariamente el sistema de una región funciona para otra.

OE2 Se ha analizado los aspectos de selección de los marcadores para monitorear la calidad de aguas. La selección de marcadores se hace de mera particular por cada zona de estudio y esto se debe a la cultura de la población, forma de vida, desarrollo industrial, plantas de tratamiento usos de suelo, etc. Las fuentes de contaminación varían de un lugar a otro, la cuestión es que las escorrentías o lixiviaciones producidas desde el suelo o desde a la atmosfera con las lluvias, o el deshielo inclusive desde otros cuerpos de agua como los ríos, pueden transportar diversos contaminantes muy característicos de sus fuentes, como los blanqueadores usados en la industria textil, o los edulcorantes usados por los seres humanos los que excretan sin casi metabolizar el producto y que además las PTAR no eliminan en su tratamiento, entonces las necesidades de investigación son diversas en cada sitio. La selección de marcadores requiere de un conocimiento previo de los características geomorfológicas de la zona y de todas las actividades desarrolladas en ella, así se proyecta las combinaciones de marcadores en ciertas proporciones e inclusive el uso de isotopos

combinados con los parámetros fisicoquímicos que den razón de la presencia de un agente contaminantes de la zona.

OE3: Se ha analizado los métodos de identificación y cuantificación de marcadores usados para monitorear la calidad de aguas. La identificación de los marcadores depende de su composición y sus propiedades fisicoquímicas, en el caso de los PPCP tales como la cafeína, gemfibrozil, sulfametoxazol y triclocarban; Dodgen et al. (2017), luego de la extracción de los analitos se suele aplicar la cromatografía líquida y espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS) , generalmente se produce una extracción polar usando metanol para la recuperación de cada marcador quicio, mientras que en el caso de los esteroides se suele usa la cromatografía líquida de alta resolución HPLC acoplada a una ionización por electropulverización (ESI). En ambos casos se describen el uso de HPLC y ESI-MS/MS que resuelven. En el caso de los isótopos Isótopos estables $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en H_2O por un analizador de isótopos de agua líquida (IWA-35-EP)(VSMOW), con espectrómetro de masas con sistema llama.

VI. RECOMENDACIONES

Es importante considerar las características propias de cada zona para seleccionar el juego de marcadores adecuados, sean químicos o isotópicos. Se sugiere hacer una prospección previa para reconocer las influencias sobre el cuerpo de agua a investigar, especialmente fuentes directas o difusas.

Debido a que vienen surgiendo nuevos contaminantes emergentes se sugiere hacer una identificación específica de los principales agentes contaminantes desde las fuentes terrestres de contaminación para seleccionar el sistema de marcadores ideales, debido a que las respuestas halladas en otras regiones no siempre servirán para ser aplicada en el lugar de interés.

REFERENCIAS

ARIAS VALENCIA, MARÍA MERCEDES; GIRALDO MORA, CLARA VICTORIA
El rigor científico en la investigación cualitativa *Investigación y Educación en Enfermería*, vol. 29, núm. 3, octubre-diciembre, 2011, pp. 500-514 Universidad de Antioquia Medellín, Colombia

ADEBOWALE, T., SURAPANENI, A., FAULKNER, D., MCCANCE, W., WANG, S., & CURRELL, M. (2018). Delineation of contaminant sources and denitrification using isotopes of nitrate near a wastewater treatment plant in peri-urban settings. *Science of The Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.146

BAENA-NOGUERAS, R. M., TRAVERSO-SOTO, J. M., BIEL-MAESO, M., VILLAR-NAVARRO, E., & LARA-MARTÍN, P. A. (2018). Sources and trends of artificial sweeteners in coastal waters in the bay of Cadiz (NE Atlantic). *Marine Pollution Bulletin*, 135, 607–616. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.07.069

BERNHARDT, E. S., ROSI, E. J., & GESSNER, M. O. (2017). Synthetic chemicals as agents of global change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(2), 84–90. doi:10.1002/fee.1450

BRUMOVSKÝ, M., BEČANOVÁ, J., KOHOUTEK, J., THOMAS, H., PETERSEN, W., SØRENSEN, K., SÁŇKA, O., NIZZETTO, L., 2016. Exploring the occurrence and distribution of contaminants of emerging concern through unmanned sampling from ships of opportunity in the North Sea. *J. Mar. Syst.* 162, 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.03.004>

BU, H., ZHANG, Y., MENG, W., & SONG, X. (2016). Effects of land-use patterns on in-stream nitrogen in a highly-polluted river basin in Northeast China. *Science of The Total Environment*, 553, 232–242. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.02.104

CARREY RAUL, ELISENDA BALLEST ´ E , ANICET R. BLANCH , FRANCISCO LUCENA F , ´ PERE PONS , JUAN MANUEL LOPEZ , MARINA RULL , JOAN

SOLA , NURIA MICOLA , JOSEP FRAILE , TERESA GARRIDO , TONI MUNNE , ALBERT SOLER , NEUS OTERO , Combining multi-isotopic and molecular source tracking methods to identify nitrate pollution sources in surface and groundwater, *Water Research* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116537>

CHEMLIST, 2018. Regulated Chemicals Listing. Available via. <https://www.cas.org/support/documentation/regulated-chemicals>

DE ANDA, JOSÉ. Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Soc. ambient.* No.14 Lerma Campeche jul. 2017.

DE SOUSA, D. N. R., MOZETO, A. A., CARNEIRO, R. L., & FADINI, P. S. (2014). Electrical conductivity and emerging contaminant as markers of surface freshwater contamination by wastewater. *Science of The Total Environment*, 484, 19–26. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.02.135

DEVANE, M. L., MORIARTY, E. M., ROBSON, B., LIN, S., WOOD, D., WEBSTER-BROWN, J., & GILPIN, B. J. (2018). Relationships between chemical and microbial faecal source tracking markers in urban river water and sediments during and post-discharge of human sewage. *Science of The Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.09.258

DODGEN, L. K., KELLY, W. R., PANNO, S. V., TAYLOR, S. J., ARMSTRONG, D. L., WILES, K. N., ... Zheng, W. (2017). Characterizing pharmaceutical, personal care product, and hormone contamination in a karst aquifer of southwestern Illinois, USA, using water quality and stream flow parameters. *Science of The Total Environment*, 578, 281–289. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.10.103

Domínguez Granda Julio Benjamín. 2015. Manual de Metodología de la Investigación científica. https://evidencia.com/wp-content/uploads/2016/01/Manual_metodologia_investigacion_evidencia.pdf

EMRICH, K., MARTINEZ-COLON, M., ALEGRIA, H., 2017. Is untreated sewage impacting coral reefs of Caye Caulker, Belize? *J. Foraminifer. Res.* 47, 20–33.

FAHRENFELD, N. L., DEL MONACO, N., COATES, J. T., & ELZERMAN, A. W. (2016). Fecal Sterol and Runoff Analysis for Nonpoint Source Tracking. *Journal of Environment Quality*, 45(1), 315. doi:10.2134/jeq2015.06.0312

HALDEN, R. U. (2015). Epistemology of contaminants of emerging concern and literature meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 282, 2–9. doi:10.1016/j.jhazmat.2014.08.074

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ Carlos, BAPTISTA, María. METODOLOGÍA de la investigación. Quinta edición. Mac Graw Hill. ISBN: 978-607-15-0291-9. [en línea].2014[Fecha de consulta: 30 de diciembre de 2020]. Disponible en https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20a%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf

JIA, H., HOWARD, K., & QIAN, H. (2020). Use of multiple isotopic and chemical tracers to identify sources of nitrate in shallow groundwaters along the northern slope of the Qinling Mountains, China. *Applied Geochemistry*, 113, 104512. doi:10.1016/j.apgeochem.2019.1045

KABIRI, L., ALUM, A., ROCK, C., MCLAIN, J. E., & ABBASZADEGAN, M. (2016). A tool box strategy using *Bacteroides* genetic markers to differentiate human from non-human sources of fecal contamination in natural water. *Science of The Total Environment*, 572, 897–905. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.07.188

KABIRI, L., ALUM, A., ROCK, C., MCLAIN, J. E., & ABBASZADEGAN, M. (2016). A tool box strategy using *Bacteroides* genetic markers to differentiate human from non-human sources of fecal contamination in natural water. *Science of The Total Environment*, 572, 897–905. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.07.188

KATAM KEERTHI, KOTA MAETANI, TOSHIYUKI SHIMIZU, JUN NAKAJIMA, DEBRAJ BHATTACHARYYA. 2018. Study of Aerobic Biodegradation of Surfactants and Fluorescent Whitening Agents in Detergents of a Few Selected Asian Countries (India, Indonesia, Japan, and Thailand). *Journal of Water and*

<https://doi.org/10.2965/jwet.17-007>

KEMPIŃSKA, D., KOT-WASIK, A. The use of RP-HPLC–Q-TOF–MS as a powerful tool for wastewater composition profiling and selection of water pollution marker specific to wastewater contamination. *Monatsh Chem* 149, 1595–1604 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00706-018-2259-y>

KOPPRIO, G. A., DUTTO, M. S., GARZÓN CARDONA, J. E., GÄRDES, A., LARA, R. J., & GRAEVE, M. (2018). Biogeochemical markers across a pollution gradient in a Patagonian estuary: A multidimensional approach of fatty acids and stable isotopes. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 617–626. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.10.059

LEE, H.-J., KIM, K. Y., HAMM, S.-Y., KIM, M., KIM, H. K., & OH, J.-E. (2019). Occurrence and distribution of pharmaceutical and personal care products, artificial sweeteners, and pesticides in groundwater from an agricultural area in Korea. *Science of The Total Environment*, 659, 168–176. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.12.258

LI, S., GENG, J., WU, G., GAO, X., FU, Y., REN, H., 2018. Removal of artificial sweeteners and their effects on microbial communities in sequencing batch reactors. *Nature* 8 (3399), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21564-x>

LIM, F., ONG, S., & HU, J. (2017). Recent Advances in the Use of Chemical Markers for Tracing Wastewater Contamination in Aquatic Environment: A Review. *Water*, 9(2), 143. doi:10.3390/w9020143

LU, Y.M., PHILP, R.P., BIACHE, C., 2016. Assessment of fecal contamination in Oklahoma water systems through the use of sterol fingerprints. *Environment* 3, 28. <https://doi.org/10.3390/environments3040028>

MARGALEF-MARTI R., R. CARREY, J.A. BENITO, et al., Nitrate and nitrite reduction by ferrous iron minerals in polluted groundwater: Isotopic characterization of batch experiments, *Chemical Geology* (2020), <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119691>

MIZUKAWA ALINNE , TAIS CRISTINA FILIPPE, LUIS OTÁVIO MIRANDA PEIXOTO, BRUNA SCIPIONI, IVAN RODRIGO LEONARDI, JÚLIO CÉSAR RODRIGUES DE AZEVEDO. 2019. *affeine as a chemical tracer for contamination of urban rivers*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. RBRH. (24) Porto Alegre 2019 Epub June 13, 2019. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180184>

NILOY NAHIN MOSTOF, MORSHEDUL HAQUE, SHAFI M. TAREG. 2021. *Fluorescent whitening agents in commercial detergent: A potential marker of emerging anthropogenic pollution in freshwater of Bangladesh*. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. Volume 15, May 2021, 100419. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100419>

O'BRIEN, J. W., BANKS, A. P. W., NOVIC, A. J., MUELLER, J. F., JIANG, G., ORT, C., ... THAI, P. K. (2017). *Impact of in-Sewer Degradation of Pharmaceutical and Personal Care Products (PPCPs) Population Markers on a Population Model*. Environmental Science & Technology, 51(7), 3816–3823. doi:10.1021/acs.est.6b02755

POSTIGO, C., BARCELO, D., 2015. *Synthetic organic compounds and their transformation products in groundwater: occurrence, fate and mitigation*. Sci. Total Environ. 503- 504, 32–47. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.019>

QU, S., WANG, G., SHI, Z. ET AL. *Using stable isotopes (δD , $\delta^{18}O$, $\delta^{34}S$ and $^{87}Sr/^{86}Sr$) to identify sources of water in abandoned mines in the Fengfeng coal mining district, northern China*. Hydrogeol J 26, 1443–1453 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1803-5>

QU, S., WANG, G., SHI, Z. ET al. *Using stable isotopes (δD , $\delta^{18}O$, $\delta^{34}S$ and $^{87}Sr/^{86}Sr$) to identify sources of water in abandoned mines in the Fengfeng coal mining district, northern China*. Hydrogeol J 26, 1443–1453 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1803-5>

SHI, P., ZHANG, Y., SONG, J., LI, P., WANG, Y., ZHANG, X., ... ZHU, T. (2019). *Response of nitrogen pollution in surface water to land use and social-economic*

factors in the Weihe River watershed, northwest China. *Sustainable Cities and Society*, 101658. doi:10.1016/j.scs.2019.101658

SILVA, C. M., SOUSA, V., & CARVALHO, N. V. (2015). Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences. *Resources, Conservation and Recycling*, 94, 21–34. doi:10.1016/j.resconrec.2014.11.004

STEFANIA, G. A., ROTIROTI, M., BUERGE, I. J., ZANOTTI, C., NAVA, V., LEONI, B., ... BONOMI, T. (2019). Identification of groundwater pollution sources in a landfill site using artificial sweeteners, multivariate analysis and transport modeling. *Waste Management*, 95, 116–128. doi:10.1016/j.wasman.2019.06.010

SUN, Q., LI, Y., LI, M., ASHFAQ, M., LV, M., WANG, H., HU, A., YU, C.P., 2016. PPCPs in Jiulong River estuary (China): spatiotemporal distributions, fate, and their use as chemical markers of wastewater. *Chemosphere* 150, 596–604. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.036>

SYLVETSKY, A.C., ROTHER, K.I., 2016. Trends in the consumption of low-calorie sweeteners. *Physiol. Behav.* 164, 446–450. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.03.030>

TELESFORD-CHECKLEY JUDLYN M., MIGUEL A. MORA, TERRY J. GENTRY, THOMAS J. MCDONALD, DIANE E. BOELLSTORFF. Impacts of Heronries on Water Quality as Evaluated through Escherichia coli and Fecal Sterol Analyses. 2017. *Water Environment research*.(89)6 p 483-575 . <https://doi.org/10.2175/106143017X14902968254430>

TORRES-MARTÍNEZ, J. A., MORA, A., MAHLKNECHT, J., DAESSLÉ, L. W., CERVANTES-AVILÉS, P. A., & LEDESMA-RUIZ, R. (2020). Estimation of nitrate pollution sources and transformations in groundwater of an intensive livestock-agricultural area (Comarca Lagunera), combining major ions, stable isotopes and MixSIAR model. *Environmental Pollution*, 115445. doi:10.1016/j.envpol.2020.115445

VALENZUELA LORENZO, JORGE RAMÍREZ-HERNÁNDEZ Y RAMÓN B. PALOMARES. 2013. Composición Isotópica del Agua Subterránea y su Relación con la Salinidad en el Valle de San Luis Río Colorado en Sonora, México. Información tecnológica. (24).2 La Serena 2013. versión On-line ISSN 0718-0764

VAN WEZEL, A. P., VAN DEN HURK, F., SJERPS, R. M. A., MEIJERS, E. M., ROEX, E. W. M., & TER LAAK, T. L. (2018). Impact of industrial waste water treatment plants on Dutch surface waters and drinking water sources. *Science of The Total Environment*, 640-641, 1489–1499. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.05.325

WU, Z., XU, Y., LI, M., GUO, X., XIAN, Y., & DONG, H. (2016). Determination of three fluorescent whitening agents (FWAs) and their migration research in food contact plastic packaging containers and food simulants by UPLC-MS/MS method. *RSC Advances*, 6(22), 17941–17946. doi:10.1039/c5ra25491d

XING, M., LIU, W. Using dual isotopes to identify sources and transformations of nitrogen in water catchments with different land uses, Loess Plateau of China. *Environ Sci Pollut Res* 23, 388–401 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5268-y>

XUE, Y., SONG, J., ZHANG, Y., KONG, F., WEN, M., & ZHANG, G. (2016). Nitrate Pollution and Preliminary Source Identification of Surface Water in a Semi-Arid River Basin, Using Isotopic and Hydrochemical Approaches. *Water*, 8(8), 328. doi:10.3390/w8080328

YANG, Y.-Y., ZHAO, J.-L., LIU, Y.-S., LIU, W.-R., ZHANG, Q.-Q., YAO, L., ... YING, G.-G. (2017). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and artificial sweeteners (ASs) in surface and ground waters and their application as indication of wastewater contamination. *Science of The Total Environment*, 616-617, 816–823. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.10.241

YUAN, X., HU, J., LI, S., & YU, M. (2020). Occurrence, fate, and mass balance of selected pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in an urbanized river. *Environmental Pollution*, 266, 115340. doi:10.1016/j.envpol.2020.115340

ZHANG YAN, PENG SHI, JINXI SONG, QI LI. Application of Nitrogen and Oxygen Isotopes for Source and Fate Identification of Nitrate Pollution in Surface Water: A Review. *Appl. Sci.* 2019, 9(1), 18; <https://doi.org/10.3390/app9010018>

ZIELÍŃSKI MATEUSZ, ANNA A SZCZUCIŃSKA, MATEUSZ DROŹDŹYŃSK, MARCIN FRANKOWSKI, ANDRZEJ PUKACZ. 2019. Water Quality Assessment of a Meromictic Lake Based on Physicochemical Parameters and Strontium Isotopes ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) Analysis: A Case Study of LubiŃskie Lake (Western Poland). *Water* 2019, 11, 2231.

ZIRLEWAGEN, J., LICHA, T., SCHIPERSKI, F., NÖDLER, K., SCHEYTT, T., 2016. Use of two artificial sweeteners, cyclamate and acesulfame, to identify and quantify wastewater contributions in a karst spring. *Sci. Total Environ.* 547, 356–365. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.112>.