

República Dominicana
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
“Sembrando el oro para forjar el futuro”



Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales
Escuela de Agronomía

Trabajo de Grado para Optar por el Título de Ingeniero Agrónomo, Mención
Producción Agrícola

TÍTULO:
ISÓTOPOS AMBIENTALES PARA EVALUAR LAS FUENTES DE
CONTAMINACIÓN CAUSADAS POR LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA-
ENFOQUE: CALIDAD DE AGUAS EN LAS FINCAS DE LA UTECO: FINCA 2

Sustentantes:
Domingo José Velásquez
Esther Cruz Ruiz
Félix Santiago Amparo García
Juan Carlos Paulino Sánchez
Miguel Ángel Sánchez Bautista
Rafy José Leocadio García
Ramón Mercedes Capellán Ovalle

Asesora:
Ing. Leocadia Sánchez Martínez, M.Sc.

Cotuí, provincia Sánchez Ramírez
Año Académico, 2025

TÍTULO:
ISÓTOPOS AMBIENTALES PARA EVALUAR LAS FUENTES DE
CONTAMINACIÓN CAUSADAS POR LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA-
ENFOQUE: CALIDAD DE AGUAS EN LAS FINCAS DE LA UTECO: FINCA 2

Hoja de Evaluación
ISÓTOPOS AMBIENTALES PARA EVALUAR LAS FUENTES DE
CONTAMINACIÓN CAUSADAS POR LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA-ENFOQUE:
CALIDAD DE AGUAS EN LAS FINCAS DE LA UTECO: FINCA 2

Por:

Domingo José Velásquez
Félix Santiago Amparo García
Miguel Ángel Sánchez Bautista

Esther Cruz Ruiz
Juan Carlos Paulino Sánchez
Rafy José Leocadio García
Ramón Mercedes Capellán Ovalle

Trabajo de Grado sometido a la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO).
Como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo, mención
Producción Agrícola.

Ing. Leocadia Sánchez,
M.Sc.

Asesora

Dra. Glenny López
Rodríguez

Miembro de Comité
Evaluador

Lic. Sigfredo Rodríguez

Miembro de Comité
Evaluador

Lic. Bélgica Lázala

Miembro de Comité
Evaluador

Lic. Sigfredo Rodríguez
Director de Escuela de Agropecuaria

Ing. Juan Antonio Graciano Domínguez
Decano de Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales

Calificación: _____

Cotuí prov. Sánchez Ramírez República Dominicana
Enero 2025

Declaración de Autoría

Los conceptos emitidos en la presente propuesta de investigación titulada **“ISÓTOPOS AMBIENTALES PARA EVALUAR LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN CAUSADAS POR LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA-ENFOQUE: CALIDAD DE AGUAS EN LAS FINCAS DE LA UTECO: FINCA 2.”**, son responsabilidad de los sustentantes de la misma. Las citas y consultas bibliográficas se han realizado respetando el derecho de autor; por tanto, se libera a la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO) de su responsabilidad, sin embargo, para la reproducción total o parcial se requiere de su autorización.

Sustentantes:

Domingo José Velásquez

Esther Cruz Ruiz

Félix Santiago Amparo García

Juan Carlos Paulino Sánchez

Miguel Ángel Sánchez Bautista

Rafy José Leocadio García

Ramón Mercedes Capellán Ovalle

ÍNDICE DE CONTENIDO

Pág.	
Hoja de Evaluación	ii
Declaración de Autoría	iii
FUENTE DEÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURA.....	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DEDICATORIA	ix
RESUMEN	xvi
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO.....	1
1.1 Descripción del contexto del proyecto.....	1
1.1.1 Descripción de la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO).....	2
1.1.2 Identidad y filosofía de la UTECO	3
a) Misión	3
b) Visión.....	3
c) Valores	3
d) Objetivos de la institución	4
1.1.3 Ubicación y topografía de la UTECO.....	4
1.2 Diagnóstico del estado actual.....	5
1.2.1 Objetivos del diagnóstico.....	6
1.2.2 Metodología	7
1.2.3 Presentación de resultados	11
1.2.4 Análisis de los resultados.....	11
1.3 Descripción del problema específico a solucionar en el proyecto	12
1.4 Análisis del problema	13
1.5 Análisis de objetivos.....	14
1.6 Justificación del proyecto	16
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	18
2.1. Antecedentes	18
2.2 Marco teórico	19
2.2.1 Calidad del agua.....	19
2.2.2 Agentes contaminantes del agua.....	20
2.2.3 El uso y control del agua en las áreas de producción	20
2.2.4 Conducciones de agua.....	22
2.2.5 Componentes químicos de productos de procesos naturales en las aguas.....	22
2.2.6 Contaminación de agua.....	28
2.2.7 Isótopos ambientales	37
2.2.8 Tipos de isótopos ambientales	41
2.3 Marco conceptual	46

CAPÍTULO III: PROPUESTA DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA SELECCIONADO	48
3.1. Descripción de la propuesta	48
3.2. Alcances y límite	48
3.3. Objetivos	49
3.3.1 Objetivo general	49
3.3.2 Objetivos específicos	49
3.3. Operacionalización de las variables	50
3.4. Plan de Acción	51
3.5. Cronograma de Implementación	52
3.6. Presupuesto.....	53
3.7. Análisis de factibilidad.....	53
3.8.1 Análisis de la factibilidad ambiental.....	53
3.8.2 Análisis de la factibilidad técnica.	54
3.8.3 Análisis de la factibilidad financiera.....	54
3.8. Sostenibilidad	55
3.9. Monitoreo y seguimiento	55
CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE SOLUCIÓN	56
4.1. Propuesta	56
4.1.1 Introducción	56
4.1.2. Objetivo de la Propuesta	56
4.1.3 Método de Solución	57
4.1.4 Implementación del Plan de Acción	57
4.1.5. Plazos de Implementación	58
4.1.6 Resultados Esperados.....	58
CAPÍTULO V: CONSIDERACIONES FINALES	59
5.1 Conclusiones	59
5.2 Recomendaciones.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS	72

ÍNDICE DE CUADROS

No.	Descripción	Pág.
Cuadro 1.	Sustancias químicas de origen natural para las que no se han establecido valores de referencia.	23
Cuadro 2.	categorización de las fuentes de componentes químicos	25
Cuadro 3.	contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua	26
Cuadro 4.	valores máximos aceptables de parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en los cuerpos hídricos superficiales.	27
Cuadro 5.	análisis FODA sobre los isótopos ambientales	48
Cuadro 6.	Operacionalización de las variables	50
Cuadro 7.	plan de acción.....	51
Cuadro 8.	Cronograma de implementación	52
Cuadro 9.	Presupuesto	53
Cuadro 10.	Acciones del proyecto impacto ambiental	54

ÍNDICE DE FIGURA

No.	Descripción	Pág.
	Figura 1. Imagen satelital de la Universidad UTECO	5
	Figura 2. Entrada a la Finca Experimental UTECO	5
	Figura 3. Análisis del problema	14
	Figura 4. Análisis de los objetivos.....	15
	Figura 5. Isotopos radioactivos	44

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios nuestro Señor todopoderoso que todo lo puede y lo hace, por darnos la vida, fortaleza, sabiduría e inteligencia para lograr las metas.

A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), por abrirnos la puerta para en ella lograr nuestra meta.

Es un grato placer agradecer a la asesora Ing. Leocadia Sánchez Martínez, por guiarnos en la realización de esta investigación.

A los maestros y maestras de la UTECO por brindarnos los conocimientos que nos servirán de guía para ser profesionales críticos, autocríticos y democráticos capaces de servirle a la sociedad con calidad.

Domingo José Velásquez

Esther Cruz Ruiz

Félix Santiago Amparo García

Juan Carlos Paulino Sánchez

Miguel Ángel Sánchez Bautista

Rafy José Leocadio García

Ramón Mercedes Capellán Ovalle

DEDICATORIA

Agradecer infinitamente a Dios por estar conmigo en cada momento de mi vida, por luminar mi camino y bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado, y por haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido mi soporte y compañía en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Con orgullo a mis padres José Dolores Velásquez y Francisca Guzmán, por su constante apoyo, por su confianza y amor que me brindan día a día, por sus ejemplos dignos de superación, sacrificio y entrega.

A los compañeros de tesis y colegas por estar siempre atentos a nuestra investigación siempre estar dispuesta a salir adelante.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, han estado a mi lado durante este proceso. Su apoyo, paciencia, motivación y orientación han sido fundamentales para lograr este importante paso en mi vida académica y personal.

Muchas gracias a todos de manera especial.

Domingo José Velásquez

DEDICATORIA

Amado Dios gracias por brindarme la oportunidad y la dicha de la vida, al ofrecerme los medios necesarios para continuar mi formación, ya que sin él no hubiera podido.

Con amor a mis padres Joaquín Amparo y Carlita García por su constante apoyo, confianza y amor que me brindan día a día, por sus ejemplos dignos de superación, sacrificio y entrega.

Con entrega dedico a mi esposa Dahiana Coronado y a mis hijas Sharianny Amparo y Sharleny Amparo, por ser los pilares de mi vida y la razón de mis esfuerzos.

A los compañeros de tesis y colegas de carrera de Agronomía: por estar siempre atentos a nuestra investigación y siempre estar dispuesta a salir adelante.

Gracias a todas las personas que han sido parte de mi trayecto profesional a las que les encantaría agradecerle su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí.

Félix Santiago Amparo García

DEDICATORIA

Dios Todopoderoso, gracias por darme la vida y acompañarme en cada etapa de mi existencia. Tu guía y tu fortaleza han sido mi luz en los momentos de incertidumbre y mi firmeza en los desafíos. Gracias por estar siempre presente y por mostrarme el camino, incluso cuando el sendero parecía incierto.

Con amor a mi madre Silveria Sánchez Ramírez, cuyo amor incondicional y sacrificio constante han sido el pilar de mi vida. Tu fe en mí y tu apoyo inquebrantable me han inspirado a alcanzar mis metas y a perseverar en los momentos más difíciles.

Es un orgullo dedicar a mi padre Marcos Paulino Hernández, por tu sabiduría, tu orientación y tu aliento en cada etapa de este viaje. Tu ejemplo de trabajo y dedicación me ha enseñado el valor del esfuerzo y la importancia de seguir adelante con determinación.

Con agrado a mi hermana Yandra Paulina Sánchez, por tu compañía y tu cariño constante. Tu presencia ha sido una fuente de fortaleza y motivación, y tus palabras de aliento han sido un alivio en los momentos de estrés.

A mis amigos y amigas en especial a **José Luis Espinal Camacho**, por tu amistad sincera y tu apoyo invaluable. Cada conversación y cada gesto de aliento han sido fundamentales para mantenerme en el camino y continuar con determinación.

A todos aquellos que, aunque no mencionados individualmente, han dejado su huella en mi vida. Cada uno de ustedes ha contribuido, de alguna manera, a mi crecimiento y éxito. A cada uno, les agradezco profundamente por su influencia positiva y les deseo las más grandes bendiciones en sus vidas.

Juan Carlos Paulino Sánchez

DEDICATORIA

Agradezco en primer lugar a Dios, por haberme permitido llegar hasta aquí a la recta final y así poder lograr el objetivo de ser ingeniero en agropecuaria.

También, le agradezco a mis padres Eugenio Sánchez Ventura y Florencia Bautista Lora, que con sus esfuerzo y dedicación me ayudaron bastantes para llegar hasta donde yo estoy.

Con amor a mi hijo Ángel Sánchez De León, que es mi inspiración para seguir hacia delante y lograr mi objetivo de llegar a la meta final.

Es un placer dedicar a mi esposa Mariela De León Ysabel, que siempre estuvo ahí conmigo apoyándome y dándome sus bueno consejos para seguir asía delante.

Por otro lado, **a mis hermanos Alexis Sánchez Bautista y Ana Leidy Sánchez Bautista**, que siempre fueron un apoyo para mí. Gracias.

Miguel Ángel Sánchez Bautista

DEDICATORIA

Amado Dios, gracias por haber permitido llegar hasta este punto y darme la salud para lograr mis objetivos, Además de su infinita bondad y amor.

Dedico con orgullo mi madre Lidia Mercedes Ovalles, que ha sabido formarme con buenos valores, sentimientos, hábito cual me ha ayudado a seguir hacia delante.

A mi padre Ramón Antonio Capellán, por su apoyo también para que siempre fuera adelante en mi meta.

Quiero dedicar con todo mi amor mi esposa Andrea Bautista Núñez, por ser un gran apoyo, por estar ahí en los momentos difíciles.

También los dedico a mis dos hijos Katherin María Capellán Bautista y Jean Carlos Capellán Bautista, quienes han sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para ellos.

Hermanos míos, Ana Luisa Capellán y Pedro Antonio Capellán, por siempre estar ahí apoyándome en el proceso.

Y a todas las personas que de una u otras formas me ayudaron en la realización de este trabajo.

Ramón Mercedes Capellán Ovalle

DEDICATORIA

Padre amado celestial, gracias por ser la luz que guía mis pasos y por darme la fortaleza y la sabiduría para alcanzar mis sueños.

Llena de orgullo la dedico a mis padres, José M. Cruz Florentino y Marisol Ruiz Liz, por su amor incondicional y su apoyo constante, que han sido el pilar de mi vida.

Con agrado dedico a mi hermana, Johanny Manuela Cruz Ruiz, por ser mi compañera y mi inspiración en cada paso de la vida.

Me place dedicar con amor a Julio C. Pérez Sánchez, por todo el apoyo, amor y paciencia incondicional que me has brindado durante este camino, por siempre estar a mi lado, animándome a seguir adelante, gracias amor.

A ustedes con alegría, Yanet Suárez castro y Rafy José Leocadio García, por los aprendizajes compartidos que me han ayudado a crecer en este camino hacia la vida profesional.

A mis compañeros de tesis y demás compañeros de estudio, por su apoyo, colaboración y amistad. Cada uno de ustedes ha hecho de este proceso una experiencia memorable y enriquecedora. Gracias por compartir este viaje, por los aprendizajes y momentos que quedarán en mi memoria.

Esther Cruz Ruiz

DEDICATORIA

Amado Dios, gracias por darme el privilegio de vivir, guiar mis pasos, por una familia tan hermosa y la fortaleza para mantenerme firme y concluir con mi meta planificada.

Dedicó con orgullo a mis padres José Rafael Leocadio y Eugenia García, por ser esas personas que amo tanto, por sus consejos que me llenaron de valor para seguir adelante, por apoyarme en mis estudios, por preocuparse para que tuviera una formación académica y por enseñarme que hay cosas difíciles, pero no imposibles.

Con placer a mi hermano José Ángel Leocadio, por siempre estar a mi lado, por mostrarme su cariño, confianza y honestidad.

A ustedes con mucho gozo: Cristina Jiménez, Carmen Miguelina, Dominga Jiménez y Amarilis Jiménez, por ser de gran apoyo para mí, por siempre estar dispuesta a ayudarme y guiarme a lograr mis objetivos.

Me place dedicar a mi abuela Marina Jiménez, por sus consejos y por sus palabras llenas de sabiduría que me guiaron siempre por el camino correcto.

A mis amigos, Rafael Luis, Jorge Luis Contreras, Esther Cruz, Robert julio, José Amparo, Irene Jiménez, Alejandro, Adalberto, Cristian, Marileisy y Luis Cosme, por acompañarme en este camino, por ser de gran ayuda y siempre estar dispuesto a brindar su apoyo.

Rafy José Leocadio García

REPÚBLICA DOMINICANA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales
Escuela de Agropecuaria



Título: “Isótopos Ambientales Para La Evaluación De Las Fuentes De Contaminación Causadas Por La Actividad Agrícola-Enfoque: Calidad De Aguas En Las Fincas De La UTECO: Finca 2

Integrantes: Domingo José Velásquez, Esther Cruz Ruiz, Félix Santiago Amparo García, Juan Carlos Paulino Sánchez, Miguel Ángel Sánchez Bautista, Rafy José Leocadio García y Ramón Mercedes Capellán Ovalle.

Asesora: Ing. Leocadia Sánchez Martínez

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo utilizar los isótopos ambientales para evaluar las fuentes de contaminación causadas por la actividad agrícola-enfoque: calidad de aguas en la finca experimental El Vivero. Esta investigación asumió como universo a los actores involucrados en la finca y las personas que representan las siguientes instituciones, como son: decanos, encargado de finca, coordinadores de carrera de la UTECO, Ministerios de Agricultura, Medio Ambiente y Recursos Naturales y organismos descentralizados. Para evaluar las fuentes de contaminación causadas por actividades agrícolas utilizando isótopos ambientales en las fincas de la UTECO, específicamente en la Finca 2, se pueden extraer las siguientes conclusiones: Los isótopos ambientales, como el nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y el oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$), permiten identificar las fuentes de contaminación en las aguas subterráneas y superficiales. Estos isótopos muestran diferencias en las firmas isotópicas de fertilizantes inorgánicos, residuos animales y otros insumos agrícolas, permitiendo trazar la fuente exacta de los contaminantes. La firma isotópica del nitrato (NO_3^-) en las muestras de agua puede indicar si la mayor parte de la contaminación proviene del uso de fertilizantes. Además de la actividad agrícola, la presencia de aguas residuales no tratadas y excrementos de ganado en la finca también representan una fuente importante de contaminación. El análisis de isótopos de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) en estas áreas mostrara valores característicos de la descomposición de materia orgánica de origen animal. Los isótopos de hidrógeno ($\delta^2\text{H}$) y oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) en el agua permitirán rastrear la dispersión de contaminantes en diferentes capas del suelo y hacia cuerpos de agua cercanos.

Palabras claves: isótopos ambientales, calidad del agua, contaminación del agua.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

1.1 Descripción del contexto del proyecto

Sánchez Ramírez, es una de las 32 provincias de la República Dominicana y se encuentra en el centro del país, en la subregión del Cibao conocida como Cibao Oriental, también llamada como Cibao Nordeste, en el Valle del Yuna. Su capital es la ciudad de Cotuí, limita por el norte con la provincia Duarte, por el este y el sur con la provincia Monte Plata, y por el oeste con las provincias Monseñor Nouel y La Vega. Los municipios en que se divide son cuatro: Cotuí, Fantino, Villa La Mata y Cevicos. Además, cuenta con nueve Distritos Municipales, que son: Quita Sueño, Caballero, Comedero Arriba, Platanal, Zambrana, La Bija, Angelina, Hernando Alonzo y La Cueva (Rincón, 2017).

La provincia fue creada en 1952. Desde 18 de junio de 1945, antes de su fundación, era un municipio de la provincia Duarte, anteriormente había sido municipio de la provincia de La Vega. Se le dio el nombre del Brigadier Juan Sánchez Ramírez (nativo de Cotuí), héroe de la batalla de Palo Hincado (1808) y gobernador de la colonia desde que fue legalmente elegido por los representantes del pueblo en la asamblea de Bondillo el 12 de diciembre de 1808, hasta su fallecimiento el 11 de febrero de 1811 (Rincón, 2017). Con una extensión de 1,185.80 km², la provincia Sánchez Ramírez, es el número 24 en extensión del país. Se caracteriza por su relieve montañoso, recursos hidrográficos de gran relevancia - como la presa de Hatillo- y un clima tropical húmedo de bosque. Los recursos mineros la han colocado como uno de los puntos principales de la economía por sus yacimientos de oro, plata, sílice, caolín, feldespato, cobre, zinc.

Según la Oficina Nacional de Estadística (ONE), Sánchez Ramírez poseía 162,638 habitantes en el año 2022. La provincia se colocaba en el puesto número 24 comparado con el rango poblacional de las demás provincias del país. La población urbana representaba el 58 % de la provincia, mostrando similitud con la situación de la Región Cibao Sur, donde también un poco más de la mitad de la población habita en la zona urbana. Según el Censo de Población y Vivienda 2022, la provincia Sánchez Ramírez está compuesta por (82,434) hombres, mientras que (80,204) población es femenina. (ONE, 2022).

En el plano económico, la provincia tiene su base en la producción de: arroz, piña y cítricos, además, de algunos frutos menores. En la misma existen factorías de arroz, se cuenta con empacadora de frutas. La economía de Cotuí, se sustenta en la minería y en la agricultura, en el municipio de Cevicos, producen el 75 % de la piña producida en el país para exportación, es importante destacar que existen grandes extensiones de terreno dedicado a la ganadería. Existen yacimiento de oro y plata en Pueblo Viejo, explotada en la actualidad por la Barrick Gold (Rincón, 2017).

1.1.1 Descripción de la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO)

El Instituto Tecnológico del Cibao Oriental, (ITECO), hoy conocida como Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, (UTECO), fue fundada por el Patronato Pro-Desarrollo de la Provincia Sánchez Ramírez mediante un acto de fundación que se celebró el miércoles diez del mes de febrero del año 1982. Dicho Patronato fue una entidad estatal creada por el Decreto No. 1206 del 27 de septiembre del año 1979, con el fin de administrar el 5 % de los beneficios netos que obtuviera la empresa minera Rosario Dominicana ubicada en Pueblo Viejo de la ciudad de Cotuí. Este Patronato estaba compuesto por el Ing. Ramón Flores García, quien fue el primer rector de la UTECO, juramentado en abril del 1982 en el club 5 de octubre de la ciudad de Cotuí, y varios ciudadanos dispuestos a colaborar para el desarrollo de la Región (Ley 236-14, 2014).

La bandera de la universidad es tricolor, cuyo significado de cada uno de los colores es la representación artística de su misión y visión. El color amarillo representa el oro de los óxidos que dio origen a la antigua ITECO; el marrón representa la tierra la que se le extraen los frutos que alimentan al ser vivo y el verde simboliza la naturaleza y esperanza (UTECO, 2022).

En el año 2014 mediante la Ley 236-14, el ITECO, pasó a ser universidad estatal, de esta forma se convirtió en la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, UTECO. Dicha ley redacta textualmente que “la UTECO es conocida como una comunidad académica cuyas actividades se fundamentan en un conjunto de principios y valores

indispensables para el trabajo científico, tecnológico y el desarrollo humano”. Por ello esta institución se denominó Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), con idénticos atributos a cualquier institución de educación superior oficial de carácter público, para facilitar su continuo crecimiento y consolidar su contribución al desarrollo sostenido de la nación dominicana, mediante servicios de docencia, investigación y extensión” (Ley 236-14, 2014).

De acuerdo a la Rectora Ing. Marilín Díaz, un alto porcentaje de los profesionales de la provincia Sánchez Ramírez son egresados del instituto anteriormente mencionado. Esto se ha logrado gracias a la calidad educativa brindada por la UTECO, ya que el 80 % de sus profesores cuentan con maestrías, un 12 % tienen especialidad y el 1.5 % doctorado (Díaz, 2022).

1.1.2 Identidad y filosofía de la UTECO

a) Misión

Universidad Estatal formadora de profesionales íntegros y competentes mediante un modelo educativo innovador centrado en el aprendizaje, la investigación y la vinculación social. Que trabaja por el desarrollo científico, socioeconómico, cultural y la calidad de vida de la población dominicana a través de una eficiente gestión de sus recursos (UTECO, 2022).

b) Visión

Modelo de universidad estatal reconocida por su excelencia académica, oferta formativa con énfasis en ciencia y tecnología, de perspectiva global y responsabilidad socioambiental. Promotora de la investigación, innovación y de estrecha vinculación con el sector productivo y la sociedad (UTECO, 2022).

c) Valores

La UTECO se define como una comunidad académica cuyas actividades se fundamentan en un conjunto de principios y valores indispensables para el trabajo científico, tecnológico y el desarrollo humano. Estos principios y valores son:

a) Objetividad en el trabajo, el rigor y la sistematización en el quehacer científico;

b) La excelencia en el trabajo académico y la generosidad en el servicio a la sociedad;

c) La pluralidad en el campo ideológico, político y creencias religiosas, dentro de un marco estrictamente apartidista y pluralista;

d) La solidaridad, la tolerancia y el respeto a los derechos humanos;

e) La justicia, la libertad y la fraternidad;

f) La inscripción crítica del trabajo académico en la realidad social (UTECO, 2022).

d) Objetivos de la institución

La UTECO, como institución de educación superior comprometida con el pueblo dominicano, la comunidad local e internacional, postula los siguientes objetivos:

a) Mantener su fidelidad a los ideales de una sociedad integralmente democrática, para lo cual es consustancial a la más amplia libertad de cátedra y de investigación científica y tecnológica;

b) Procurar la formación integral de sus miembros, inculcando en ellos un sentido de responsabilidad, rigor científico, objetividad en todas las acciones, el valor de ética, la honestidad, la verdad, el amor al trabajo en equipo, el respeto al diálogo creador y un espíritu innovador y constructivo;

c) Transmitir e incrementar el conocimiento por medio de la ciencia y de las artes, poniendo al servicio de la comunidad las acciones realizadas por sus profesores, investigadores, estudiantes y egresados;

d) Conservar, enriquecer y difundir los valores culturales del pueblo dominicano y fortalecer la conciencia de su unidad territorial y espiritual en la común empresa de resolver democráticamente sus problemas;

e) Procurar la formación plena del estudiante, haciendo énfasis en su responsabilidad como servidor de la comunidad local, nacional e internacional y en función de los requerimientos y demandas de los procesos de desarrollo integral de la sociedad dominicana (UTECO, 2022).

1.1.3 Ubicación y topografía de la UTECO

La universidad se encuentra localizada en la Carretera a la Presa de Hatillo con un área total de 531,716.87 metros cuadrados, con una Latitud de 19.05811° o 19° 3' 29" norte

y una Longitud de -70.16135° o $70^{\circ} 9' 41''$ oeste (UTECO, 2022). En la Figura 1 se presenta, una vista aérea del campus principal de la UTECO (Figura 2), donde muestra los terrenos ocupados en la actualidad.



Figura 1. Imagen satelital de la Universidad UTECO. Fuente: Google Maps, 2024.



Figura 2. Entrada a la Finca Experimental UTECO

1.2 Diagnóstico del estado actual

La Finca Experimental No. 2 conocida como El Vivero de la UTECO inicio en el 1986, comenzando sus actividades agrícolas en ese mismo año. En los años 1986 y 1987 fueron instalados dos pozos con molino de viento, de los cuales se extraía el agua que era

utilizada para las actividades agrícolas, hasta el año 1998, los cuales fueron destruidos por el ciclón Georges y por esta razón fueron suspendidos de uso. A finales de los años 90 se instalaron tres pozos, los cuales se abastecen de agua para la actividad agrícola hasta la actualidad (Comunicación personal, 2024).

Según observaciones, las condiciones de la Finca Experimental no son muy buenas, hay áreas abandonadas totalmente y otras áreas cuidadas. Anteriormente utilizaban el agua de pozos tubulares, los cuales no están en función hace más de 8 años. Algunos cultivos y áreas están llenas de malezas. Se percibe gran parte del terreno enmalezado de malezas, bombas de agua dañada, el tanque de agua fuera de servicio. En la actualidad existen espacios que se están acondicionando para la siembra de frutos menores, algunas especies forestales como el cacao, limón y plátano se están limpiando para ser cultivada, pero no son rentable para la UTECO en esta finca experimental, ya que no se está sembrando en grandes cantidades (De La Cruz, Comunicación personal, 2024).

1.2.1 Objetivos del diagnóstico

El objetivo principal de este diagnóstico es determinar las principales fuentes de contaminación de los recursos hídricos utilizando técnicas de isótopos ambientales, con el fin de identificar las contribuciones de las prácticas agrícolas a la contaminación del agua y proporcionar una base científica para desarrollar estrategias de manejo que optimicen el uso del agua y minimicen el impacto ambiental en la Finca Experimental de la UTECO, con el fin de identificar los principales desafíos y oportunidades para mejorar su gestión y productividad agrícola.

Específicamente evaluar la viabilidad y eficacia de las operaciones agrícolas actuales, pretende comprender cómo funcionan actualmente las actividades agrícolas en la finca y determinar si están alcanzando sus objetivos de manera eficiente. Identificar las causas subyacentes de los problemas observados, se buscará investigar las razones detrás de las áreas abandonadas, la falta de mantenimiento de las infraestructuras hídricas y otros problemas observados en la finca.

1.2.2 Metodología

A continuación, se describe la metodología que se utilizó para el diagnóstico previo a la elaboración del proyecto.

Enfoque metodológico

Según Hernández *et al.* (2014), categoriza el enfoque investigativo en tres categorías: cualitativo, cuantitativo y mixto, según la definición de cada categoría. La presente investigación tiene un Enfoque Mixto, “ya que recolecta datos para probar hipótesis con base en cualidades y en mediciones.

Diseño y tipo de estudios

El diseño de investigación que se utilizó es no experimental transeccional, porque los datos se recolectaron en un sólo momento en un tiempo único y se estudió la incidencia y los valores en que se manifiestan una o más variables. Según Hernández, Fernández, y Baptista, (2014), “una investigación no experimental lo que hace es observar el fenómeno tal y como se da en su contexto natural, para luego analizarlo”. En este sentido los datos investigados se manejaron tal y como se muestran en la realidad, de forma objetiva.

Según Hernández (2014), en cuanto al tipo de estudio es descriptivo, ya que se describirán los fenómenos, situaciones, contextos y eventos como ocurren y se manifiestan en cuanto a los isótopos ambientales para evaluar las fuentes de contaminación causadas por la actividad agrícola-enfoque: calidad de aguas en la Finca Experimental El Vivero de la UTECO.

Informantes claves o población

Esta investigación asumió como universo a los actores involucrados en la Finca Experimental y a las personas que representan las siguientes instituciones, como son: decanos, coordinadores de carrera de la UTECO, Ministerios de Agricultura, Medio Ambiente y Recursos Naturales y organismos descentralizados.

Métodos y técnicas de recolección de datos

Se analizaron sobre la base de categorías, subcategorías de acuerdo a las preguntas y objetivos en que se sustentó el proyecto, tomando en consideración la guía previamente

elaborada, así como las respuestas de los informantes claves. El método utilizado en esta investigación fue el deductivo en el sentido de que se trabajó con los informantes claves del proyecto para dar conclusiones de carácter general. Para el procedimiento de la recolección de datos se propone un protocolo de muestreo para calidad de agua de riego utilizada en la Finca Experimental UTECO.

Técnicas procedimientos

Los análisis permitirán evaluar la presencia de contaminantes específicos y su posible origen, proporcionando así una visión más completa de la calidad del agua y los posibles riesgos asociados a la actividad agrícola en la finca. Se planifica la toma de muestras de agua en distintos puntos de la finca y su posterior análisis mediante técnicas apropiadas en laboratorio. En complemento se realizó una encuesta elaborada con trece preguntas cerradas, la encuesta proporcionó información importante sobre las percepciones y prácticas relacionadas con la gestión del agua, es importante destacar que la determinación de la contaminación por efecto de la agricultura requirió un enfoque complementario. Para poner en marcha este proyecto se deben llevar a cabo lo siguiente:

- a) Se debe realizar un recorrido por la Finca Experimental UTECO para familiarizarse con las instalaciones y los recursos disponibles.
- b) Identificar la ubicación de las fuentes de agua, áreas de cultivo y otras zonas relevantes para el proyecto.
- c) Registrar la información sobre características geográficas de la finca, accesibilidad y condiciones específicas y generales.
- d) Hacer una evaluación de las condiciones topográfica del suelo. Se analizarán las condiciones del terreno mediante mediciones topográficas con el uso de instrumentos adecuados (por ejemplo, nivel de altímetro o estación total). Se identificará la variabilidad en el terreno que pueda influir en el flujo de agua y en la distribución del recurso hídrico.

Evaluación de la calidad del agua de riego

Se realizarán análisis físicos, químicos, fisicoquímicos y biológicos en las muestras de agua de riego recolectadas, seleccionando puntos estratégicos para la toma de muestras de agua, considerando las fuentes de agua disponibles en la Finca Experimental.

Obtención de las muestras

Las muestras de agua se tomarán en condiciones controladas, asegurando la correcta preservación de las mismas, utilizando envases estériles para evitar contaminaciones. Se documentará la ubicación, fecha y hora de la toma de muestras, así como las condiciones del entorno en el momento de la recolección. Para todas estas muestras se debe seguir los siguientes pasos:

- Utilizar frascos estériles
- Frascos de vidrio para evitar alteraciones en los isotopos.
- Tomar muestras representativas de cada fuente de agua para asegurar que los resultados sean fiables.
- Tomar muestras en diferentes ubicaciones de las fuentes de agua y en diferentes tiempos
- Registrar la fecha, hora y ubicación exacta de cada muestreo.
- Guardar en una nevera portátil para conservar las muestras a una temperatura de (4°C a 8°C) aproximadamente.

Análisis fisicoquímico del agua

Se realizarán análisis fisicoquímicos detallados para medir propiedades como la alcalinidad, dureza, concentración de sales, cloruros, nitratos, fosfatos, entre otros. Estos análisis permitirán conocer con precisión la calidad del agua en términos de composición química y su posible aptitud para su uso agrícola. Se recogerán datos sobre la calidad del agua disponible en la Finca Experimental (fuentes, pozos, ríos, etc.), evaluando aspectos como la turbidez, color, temperatura, pH, entre otros.

Para los análisis, se realizaron mediciones directas en el campo de parámetros como la conductividad eléctrica (CE), la temperatura del agua (T), el pH y el oxígeno disuelto (OD). Los análisis de nitratos, nitritos y sólidos disueltos totales se realizaron en el laboratorio, al igual que los exámenes de metales pesados, como cobre, cadmio, zinc, cromo, plomo, manganeso, mercurio y arsénico. Asimismo, se llevaron a cabo análisis de boro, calcio, magnesio, carbonatos, cloruros, sulfatos, sodio, potasio, dureza total, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo total. También se determinarán los isotopos ^{18}O , ^2H y tritio. Las muestras de agua fueron enviadas a un laboratorio especializado para realizar el

análisis físico-químico, microbiológico y otros ensayos necesarios. Se determinaron parámetros como el pH, la conductividad eléctrica, la concentración de metales pesados, la presencia de contaminantes orgánicos, entre otros.

Análisis isotópicos

Se realizaron análisis isotópicos del agua utilizando técnicas especializadas como la espectrometría de masas o la espectroscopía de absorción atómica. Este análisis permitió determinar la composición isotópica del agua y podrá ayudar a identificar fuentes de contaminación o variaciones en los recursos hídricos.

Análisis 2h/1h del agua.

Se identificó y seleccionó varios puntos de muestreo en la Finca Experimental de la UTECO, considerando diversas fuentes de agua disponibles. Se tomaron muestras en diferentes momentos para observar cómo varían las relaciones isotópicas con el tiempo.

Medidas isotópicas

Se utilizaron métodos adicionales para tomar mediciones isotópicas detalladas que permitan obtener información sobre el origen y la circulación del agua en la Finca Experimental. Estas mediciones pueden proporcionar información relevante sobre los procesos hidrológicos que afectan el recurso hídrico. Se analizaron los datos de isótopos estables y tritio de la lluvia colectada en un pluviómetro que se instalará en la finca.

Análisis microbiológico

Se llevaron a cabo pruebas microbiológicas para identificar la presencia de bacterias, virus u otros patógenos en el agua. El análisis incluyó el conteo de microorganismos como *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi*, coliformes fecales y otros indicadores de contaminación.

Métodos y técnicas de análisis de datos

En esta investigación, los datos se recogieron mediante el análisis de las muestras colectadas en los puntos especificados en el apartado de procedimientos, con el fin de obtener la información necesaria para alcanzar los objetivos propuestos. Los métodos y técnicas propuestas son las siguientes: muestreo de agua, análisis físico-químico, análisis de nutrientes, métodos isotópicos, análisis microbiológico, Espectrometría de masas con

acelerador (AMS), Cromatografía de gases y líquidos (GC y HPLC), Espectrofotometría, metales pesados, modelos de transporte de contaminantes análisis geoquímico.

1.2.3 Presentación de resultados

Una vez completado el análisis de los datos, los hallazgos se presentaron en gráficos y tablas. Este proyecto dio lugar a varios productos que podrían tener un impacto positivo en la gestión del agua en la agricultura, así como en la comunidad científica y académica. Al final, el proyecto contribuyó con productos que podrían generar un cambio favorable:

A partir de los resultados obtenidos, y mediante actividades de capacitación, divulgación y transferencia de conocimientos, se entrenará a un mínimo de 100 personas, incluyendo estudiantes de agronomía, técnicos agrícolas y productores. Además, se podrán organizar actividades formativas (talleres, seminarios, etc.) en colaboración con expertos tanto nacionales como internacionales, involucrando a diversas instituciones y organizaciones. Finalmente, se generarán datos relevantes sobre el uso de técnicas isotópicas para detectar la contaminación del agua derivada de actividades agrícolas.

En cuanto a las contribuciones científicas del proyecto, se espera la publicación de al menos un artículo en revistas científicas indexadas basado en los resultados obtenidos, además de presentaciones en congresos nacionales e internacionales.

1.2.4 Análisis de los resultados

Los datos obtenidos fueron organizados utilizando el software Excel (versión 2012), empleando estadística descriptiva de promedios, conforme a los resultados de laboratorio para las variables analizadas. Para los análisis químicos, se aplicó estadística descriptiva de promedios, además de un Análisis de Componentes Principales (ACP) para examinar los Autovalores, Variables, Autovectores y Correlaciones con las variables de agua, así como análisis de conglomerados según sus propiedades, utilizando el software InfoStat (2018). En el proceso estadístico de los datos, se verificó que se cumplan los supuestos de independencia, normalidad y homogeneidad de varianzas. En caso de no cumplirse alguno de estos, se realizó una transformación de los datos a raíz cuadrada.

1.3 Descripción del problema específico a solucionar en el proyecto

La agricultura es el arte de producir alimentos que engloba la aplicación de conocimientos y técnicas para cultivar la tierra, manejo del cultivo, haciendo más eficiente el uso de recursos naturales del suelo, agua, agentes biológicos más de las acciones humanas que transforma el medio ambiente natural. La producción agrícola se ha incrementado significativamente en los últimos años, pero el incremento de la población mundial continúa, de manera que se requerirá una mayor producción de cultivos en las próximas décadas. El acelerado crecimiento demográfico mundial demanda de la agricultura mayores rendimientos de los cultivos, gran parte de los cuales dependen de un insumo básico que son los fertilizantes (FAO, 2013).

Uno de los problemas emergentes derivados de la expansión de la actividad agrícola, particularmente en la Finca Experimental de la UTECO, es la creciente preocupación por la contaminación de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos. El uso intensivo de fertilizantes nitrogenados y pesticidas han incrementado la infiltración de contaminantes como nitratos y fosfatos, que afectan la calidad del agua. Esta situación pone en riesgo no solo la salud humana, sino también el equilibrio ecológico de la zona.

A pesar de los esfuerzos implementados para mitigar esta contaminación, aún se carece de un diagnóstico claro que identifique las fuentes específicas de la contaminación y su magnitud. Los métodos convencionales para el análisis de la calidad del agua no siempre permiten identificar de manera precisa las fuentes múltiples de contaminación, sobre todo en entornos agrícolas donde varias prácticas interactúan (Yamanaka, *et al.*, 2022).

Los isótopos ambientales son aquellos que se presentan en el ambiente, se hallan ampliamente distribuidos y participan de los ciclos naturales. Los procesos físicos y los fenómenos meteorológicos responsables del transporte del agua en las diferentes fases del ciclo hidrológico producen una caracterización isotópica que puede ser aprovechada para obtener conclusiones sobre su origen y comportamiento (Zhao, 2015).

El uso de isótopos ambientales como herramientas para rastrear la procedencia de los contaminantes en los recursos hídricos ofrece una metodología innovadora y precisa. Los isótopos de nitrógeno, oxígeno, carbono, y otros elementos, pueden diferenciar entre las fuentes de contaminación, como el uso de fertilizantes químicos, el estiércol animal, y la infiltración de aguas residuales (IAEA, 2023). De esta manera se pueden resolver, en forma relativamente sencilla y a bajo costo, numerosos problemas relacionados con el origen y zona de la recarga de acuíferos, los mecanismos de salinización, los procesos en la zona no saturada (ZNS), así como la formulación de términos del balance hídrico y la interpretación de fenómenos termales. Las técnicas que emplean isótopos constituyen instrumentos precisos y modernos para estudiar los recursos hídricos, y pueden aportar una solución idónea al problema del origen, la distribución y las propiedades del agua en una región dada, especialmente cuando se combinan con otros instrumentos al alcance de hidrólogos, hidrogeólogos y geoquímicos.

Los riesgos que siguen a la contaminación del agua son difíciles de precisar, ya que muchas veces las dosis tóxicas sobre las cuales se trabaja son muy pequeñas, y el problema aún se complica más por la presencia simultánea de diversos contaminantes. La población rural de la zona Quita Sueño, no es ajena a esta problemática, donde la agricultura y la ganadería cada día viene creciendo, debido a la necesidad de producir alimentos, con esto se descuidan las fuentes de agua, deforestando sus alrededores, o muchas veces contaminado con productos agroquímicos (Barberena, Hurtado y Sirias, 2021).

En este contexto, es urgente abordar el manejo adecuado de los recursos hídricos y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles que minimicen el impacto ambiental. La identificación precisa de las fuentes de contaminación mediante el uso de isótopos ambientales es una estrategia clave para mejorar la calidad del agua y proteger tanto la salud humana como el medio ambiente (Torres, Abraham, Jürgen, Daesslé, Cervantes & Ledesma, 2021).

1.4 Análisis del problema

En esta figura se presenta un resumen visual del análisis del problema relacionado con la contaminación del agua en el contexto agrícola. Se detallan las principales causas que contribuyen a la degradación de la calidad del agua. A partir de estas causas, se delinean las consecuencias directas e indirectas, que incluyen la contaminación de las fuentes hídricas, riesgos para la salud humana, desequilibrio ecológico y el impacto negativo en la producción agrícola futura.



Figura 3. Análisis del problema. Fuente: Elaboración propia, 2025.

1.5 Análisis de objetivos

En esta figura se presenta lo que fue el análisis de objetivo del proyecto, destacando las metas específicas que se buscan alcanzar para abordar el problema de la contaminación del agua debido a las prácticas agrícolas. La figura visualiza de manera clara cómo cada

objetivo contribuye al propósito general de mitigar la contaminación del agua y promover la sostenibilidad en la agricultura, estableciendo una conexión directa entre las acciones previstas y los resultados esperados.

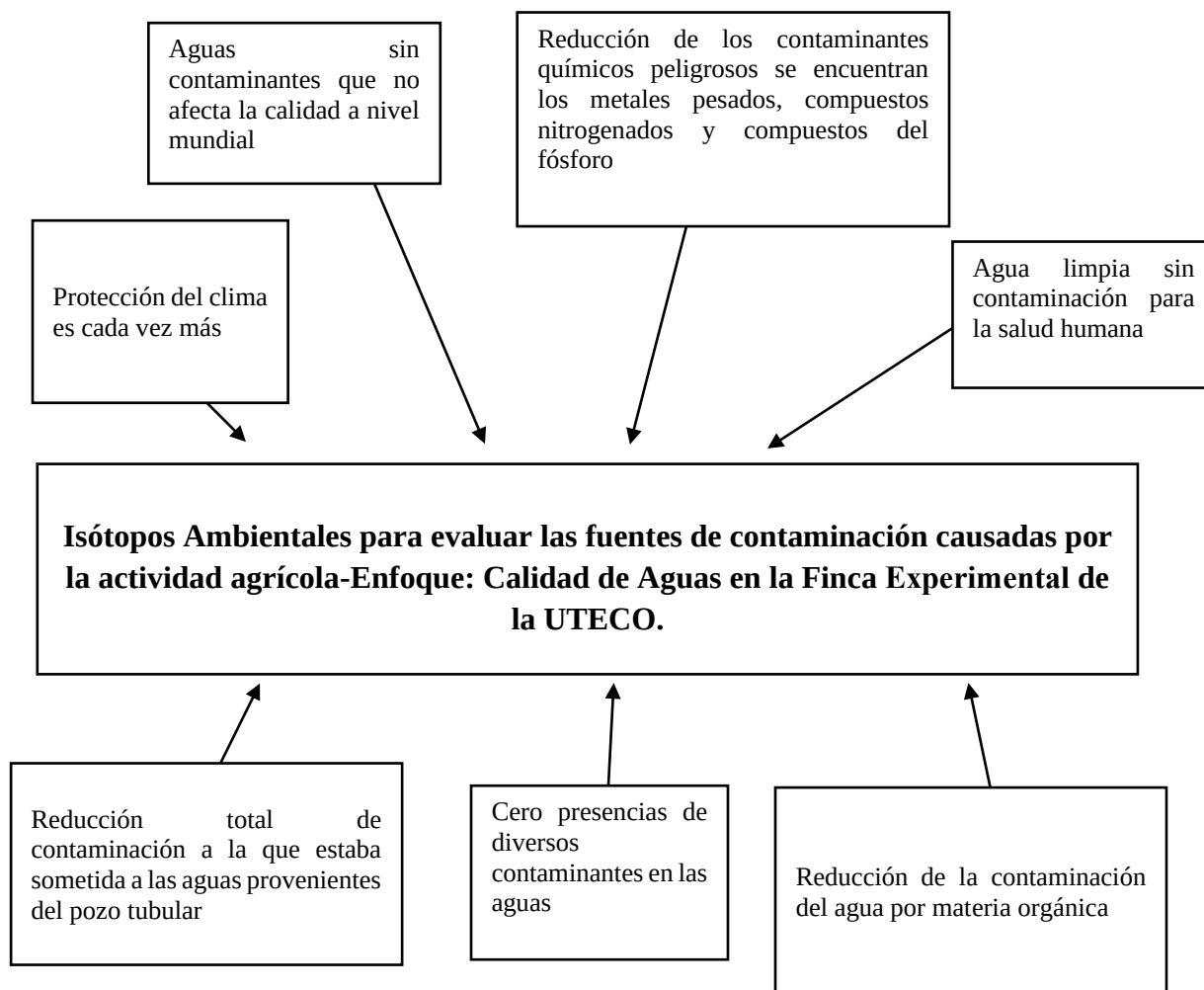


Figura 4. Análisis de los objetivos. Fuente: Elaboración propia, 2025.

1.6 Justificación del proyecto

Según la Ley 64-00, sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales en la República Dominicana (2000), “La contaminación ambiental se refiere la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico), que puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos”.

El agua es un recurso natural indispensable para el mantenimiento de la vida sobre la tierra, la calidad del agua es reflejo de la calidad de todo el medio natural circundante. Sin agua las actividades económicas no pueden mantenerse y mucho menos desarrollarse de manera sostenible. La planificación hidrológica debe ser la base de la ordenación del territorio, puesto que el agua es el elemento de mayor importancia para las actividades humanas (Canganjo, Savilolo y Silva, 2021).

La aplicación de técnicas isotópicas al estudio de sistemas hidrogeológicos es de gran interés, ya que permite complementar o contrastar hipótesis establecidas mediante otro tipo de métodos. Es necesario frenar a la tendencia actual de consumir cada vez más agua para conseguir mayores beneficios económicos, en perjuicio de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos. Más del 70 % de la superficie terrestre está ocupada por la hidrosfera. El agua está sometida a un continuo reciclado (ciclo del agua) movido por la energía del Sol y considerado como un gran sistema de depuración natural (Tambo, 2015).

Este estudio, que emplea isótopos ambientales, busca mejorar la calidad del agua y promover prácticas agrícolas más sostenibles. La identificación precisa de las fuentes de contaminación permitirá implementar políticas de manejo hídrico más eficaces, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente en lo que respecta a la gestión del agua y la vida en los ecosistemas.

La aplicación de técnicas isotópicas en los estudios hidrogeológicos es fundamental para entender la dinámica del agua y la contaminación en sistemas acuáticos. Estos métodos permiten identificar las fuentes de contaminantes de forma precisa, lo cual es esencial ante el crecimiento de la población y la necesidad de aumentar la producción agrícola sin comprometer la calidad ambiental. Los isotopos, como el oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) y el nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$), brindan una herramienta innovadora que no ha sido suficientemente explorada en la región, y ofrecen un enfoque eficaz para rastrear fuentes de contaminación en ríos y acuíferos.

La calidad de los recursos hídricos en áreas agrícolas es fundamental para la sostenibilidad ambiental y la salud humana. En la Finca Experimental de la UTECO, las prácticas agrícolas intensivas, como el uso de fertilizantes, pesticidas y la gestión inadecuada de desechos orgánicos, pueden estar afectando negativamente la calidad del agua, tanto superficial como subterránea. Estos contaminantes pueden infiltrarse en las fuentes de agua, afectando no solo la biodiversidad acuática, sino también a las comunidades locales que dependen de estas aguas para consumo y riego.

Cabe resaltar que la contaminación por desechos químicos no solo ocurre de forma directa, dígase con el vertido de desechos directamente a un determinado receptor. Esta contaminación también se produce por la escorrentía de las aguas cuando cae la lluvia, también por la infiltración de las aguas. En el proceso de infiltración se arrastran gran cantidad de desechos químicos presentes en la parte superficial de los suelos y estos químicos van a parar a distintos destinos, entre ellos los ríos y diversos embalses de agua (Florentino y Núñez, 2022).

Este estudio sirvió como base para la implementación de políticas de manejo hídrico más efectivas, contribuyendo a la preservación de los recursos hídricos en la Finca Experimental de la UTECO y sus alrededores. Además, los resultados podrán influir en la formulación de normativas ambientales y agrícolas en la región.

CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Según González, Mejía et al., (2022), en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México se realizó una investigación relacionada a uso de isótopos ambientales del agua y geoquímica para determinar fuentes de nitrato en el sur del acuífero Cuernavaca”. Concluyeron que las zonas del acuífero con recarga de agua que ha experimentado evaporación intensa, previa a su infiltración en el subsuelo, es la que presenta las mayores concentraciones de nitrato. Los resultados también indican que el nitrato procede de agua residual doméstica o municipal, probablemente generada por las descargas de aguas residuales sin tratamiento. Ningunas de las muestras excedieron el límite permisible, ya que todas tienen concentraciones menores de 44.3 mg/L de nitrato.

Con respecto al arsénico, las muestras de agua subterránea que exceden el límite permisible para el arsénico presentan concentraciones de oxígeno disuelto y tritio bajo, lo cual indica que proceden de los estratos profundos del acuífero. Si a futuro se incrementa la extracción subterránea en la zona, podría inducir la extracción de flujos cada vez más profundos, con el consiguiente aumento del arsénico. Los datos obtenidos permitieron también determinar la Línea de Agua Meteorica del Acuífero Cuernavaca. Esta línea será muy útil para futuros estudios geohidrológicos y ambientales. (Podgorski y Berg, 2020).

En una investigación presentada por Guerrero, Benavides, Toro, Uzcátegui y Jégat, (2023), en la Universidad Técnica Particular de Loja – Ecuador, se realizó un estudio sobre “Aplicación de la geoquímica de isótopos ambientales (^{18}O y 2H) en los análisis de estabilidad hidromorfológica de laderas y taludes: estudio de caso”. De los resultados obtenidos en la evaluación geológica integral, podemos señalar que la técnica de geoquímica de isótopos naturales de agua (^{18}O y 2H), utilizada como trazadora de los flujos de ingreso-egreso del sistema hídrico, permitió con ayuda de la evaluación geofísica (tomografías, radargramas y sondeos eléctricos verticales) y reconocimiento geológico de superficie, determinar los problemas de hidromorfológicos que afectan las laderas y taludes y, que inestabilizan terrenos colocando en riesgos de desastres a la población.

El análisis integrado de técnicas de la geología permite determinar con bastante exactitud, las localidades donde se deben realizar las medidas de mitigación que, permita reducir el problema del riesgo residual a la que están expuesta la población, con el propósito de salvaguardar vidas y bienes materiales (Podgorski y Berg, 2020). En el contexto nacional, no se han encontrado antecedentes que exploren el uso de Isotopos Ambientales en la agricultura y para evaluar los recursos hídricos, lo que subraya la novedad y relevancia del presente estudio.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Calidad del agua

La calidad del agua es un aspecto de gran importancia que se debe tener presente cuando se utiliza para el consumo o para la producción de alimentos. El agua puede contener una gran cantidad de sustancias que pueden afectar su calidad. Entre ellas se pueden mencionar fundamentalmente: Gases disueltos (como el oxígeno y el cloro), sólidos disueltos (como sales de metales ionizados), materia orgánica no ionizada, material particulado (como coloides) y microorganismos (Wells & Evans, 2010). No obstante, el agua de buena calidad no es generalmente suficiente para asegurar la buena salud, es necesario que sean satisfechos tres aspectos adicionales: continuidad, cantidad y costo razonable. Adicionalmente, y al margen de las responsabilidades del abastecedor, los consumidores deben tener conocimientos acerca del uso apropiado del agua, de la adecuada nutrición e higiene de los alimentos, así como la correcta disposición de excretas (Gat, 2010).

El agua de calidad apta para consumo humano cuando entra al sistema de distribución puede deteriorarse antes de llegar al consumidor. El agua en el sistema de distribución puede contaminarse a través de conexiones cruzadas, retrosifonaje, rotura de las tuberías del sistema de distribución, conexiones domiciliarias, cisternas y reservorios de distribución defectuosos, grifos contra incendios dañados, y durante el tendido de nuevas tuberías o reparaciones realizadas sin las mínimas medidas de seguridad (González y Chiroles, 2010).

Por tanto, es necesario comprobar la salubridad del agua en cualquiera de los puntos de las instalaciones en las que sea utilizada sobre todo para la producción de alimentos. El agua apta para el consumo se determina según parámetros microbiológicos, químicos, físicos y organolépticos definidos, por lo que el cumplimiento de las normativas vigentes en el control y seguimiento de la calidad del agua son de vital importancia para una preparación de alimentos inocuos (Hrudey & Hrudey, 2004).

2.2.2 Agentes contaminantes del agua

Agentes patógenos: bacterias, virus, protozoarios, parásitos que entran al agua proveniente de desechos orgánicos.

Desechos que requieren oxígeno: los desechos orgánicos pueden ser descompuestos por bacterias que usan oxígeno para biodegradarlos. Si hay poblaciones grandes de estas bacterias, pueden agotar el oxígeno del agua, matando así las formas de vida acuáticas.

Sustancias químicas inorgánicas: ácidos, compuestos de metales tóxicos (Mercurio, Plomo), envenenan el agua. Los nutrientes vegetales pueden ocasionar el crecimiento excesivo de plantas acuáticas que después mueren y se descomponen, agotando el oxígeno del agua y de este modo causan la muerte de las especies marinas (zona muerta).

Sustancias químicas orgánicas: petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes que amenazan la vida.

Sedimentos o materia suspendida: partículas insolubles de suelo que enturbian el agua, y que son la mayor fuente de contaminación. Sustancias radiactivas que pueden causar defectos congénitos y cáncer.

Calor: ingresos de agua caliente que disminuyen el contenido de oxígeno y hace a los organismos acuáticos muy vulnerables (ONU, 2002).

2.2.3 El uso y control del agua en las áreas de producción

El agua, además de ser utilizada para el consumo humano, constituye un elemento básico en la preparación y elaboración de alimentos, ya que puede ser empleada como materia prima y está presente en otros procesos vinculados con la producción, como son los procesos de limpieza y sanitización de las áreas, el lavado de los materiales y equipos, los sistemas de enfriamiento, la producción de hielo, etc. además de que constituye el

medio más habitual para la preparación y elaboración de alimentos: beneficio de frutas, vegetales, viandas y huevos, utilizada en los distintos tipos de métodos de cocción como pueden ser los productos hervidos, al vapor, escalfados, escaldados, al baño María (Valla, 2011).

Es conocido que para evitar la contaminación y promover la higiene personal en los establecimientos del ramo de la alimentación son indispensables ciertos medios auxiliares, entre los que cabe citar el agua corriente potable, los sistemas de conducción, los retretes y lavabos, y la evacuación eficaz de las aguas residuales. Sin embargo, todavía es más importante garantizar la inocuidad de las operaciones de tratamiento, preparación y conservación de los alimentos, muchas de las cuales pueden dar lugar a una proliferación de microorganismos (puede citarse como ejemplo: cuando se preparan comidas varias horas de antelación o cuando los productos alimenticios se mantienen durante cierto tiempo a la temperatura ambiente) (Banco Mundial, 2011).

Es importante garantizar que el agua que se utilice en la industria alimentaria en los procesos de fabricación, tratamiento, así como la utilizada en la limpieza de superficies, objetos y materiales que puedan entrar en contacto con los alimentos sea apta para el consumo humano. El control de la calidad del agua de consumo humano según la literatura engloba los siguientes elementos: autocontrol del agua de consumo humano, vigilancia sanitaria, control del agua en grifo del consumidor (OCDE, 2012). El autocontrol de la calidad del agua de consumo humano es responsabilidad de la industria de producción de alimentos dentro de sus instalaciones, por lo que los puntos de muestreo serán determinados por la propia empresa.

Como parte del control del agua se debe describir el tratamiento de desinfección efectuado detallando al menos: dónde se realiza, producto utilizado y responsable (Organización Mundial de la Salud, 2015). Si existen depósitos intermedios se debe de valorar la necesidad de un nuevo tratamiento de desinfección y en este supuesto se procederá como lo descrito para el caso anterior. Debe contarse con un plano de distribución del agua de consumo humano y evacuación de aguas residuales, con indicación

de depósitos, grifos y con descripción del mismo que contenga elementos tales como: Punto de entrada del agua que abastece a la Industria (Dirección General de Aguas, 2016).

2.2.4 Conducciones de agua

Dentro de los registros que pueden utilizarse se pueden mencionar los siguientes: Registro de control de desinfectante utilizado. Registro de boletines de análisis. Registro de mantenimiento de depósitos, aguas residuales, en el caso de tener fosa séptica documento de vaciado periódico por empresa autorizada y equipos, según los utilizados. Registro de incidencias y medidas correctoras (Gómez & Rivera, 2018). En muchas ocasiones no se tiene en cuenta la importancia del control del agua como parte de las evaluaciones para determinar posibles riesgos en las áreas de preparación de alimentos o servicios, y en muchas otras ocasiones se da por hecho que está ya viene totalmente potable y segura por lo que no es preocupación de la empresa.

Otro punto de importancia a tocar es la vigilancia del hielo como forma física del agua que también puede contaminarse durante su recorrido hasta el consumidor por lo que la limpieza y buenas prácticas durante su manejo puede ser también de vital importancia en la inocuidad alimentaria. El uso adecuado, eficiente control y constante vigilancia del agua en las empresas dedicadas a la elaboración de alimentos asegura en gran medida la producción de productos más inocuos para los consumidores (López, 2020).

2.2.5 Componentes químicos de productos de procesos naturales en las aguas

Sustancias químicas de origen natural.

Existen varias fuentes de agua de consumo humano de forma natural. Todas las aguas naturales contienen diversas sustancias inorgánicas y orgánicas. Las inorgánicas proceden de las rocas y el suelo por las que se filtra o sobre la que fluye el agua; las orgánicas de la descomposición de restos de plantas o algas y de otros microorganismos que proliferan en el agua o en sedimentos. La mayoría de las sustancias químicas de origen natural para las que se han calculado valores de referencia (o se ha considerado su cálculo) son inorgánicas (Pérez & Martínez, 2019).

Sólo una es orgánica: la microcistina-LR, una toxina producida por cianobacterias o algas verdeazules, presente ampliamente en lagos, embalses, lagunas y ríos de movimiento lento. Se sabe que muchas especies producen toxinas, o “cianotoxinas”, que tienen efectos perjudiciales sobre la salud. Existe una amplia variación en la toxicidad de cianotoxinas reconocidas (incluidas diferentes variantes estructurales dentro de un grupo, tales como microcistinas), y es probable que muchas toxinas sigan sin ser reconocidas, por lo que se opta de preferencia por el control de afloramientos (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2017).

Cuadro 1. Sustancias químicas de origen natural para las que no se han establecido valores de referencia.

Sustancia	Motivo por el que se ha establecido un valor de referencia
Bromuro	Se presenta en el agua potable en concentraciones donde no compromete la salud.
Cloruro	Se autoriza en el agua potable en concentraciones de 250 mg/L, aunque puede tener influencia en el sabor del agua.
Dureza	Se refiere a la concentración de minerales como calcio y magnesio. Los valores van de 400 mg/L hasta un máximo de 500 mg/L. el agua dura puede afectar el sabor y causar depósitos.
Hierro	Niveles de hasta 0.3 mg/L son considerados aceptables, aunque concentraciones más altas pueden afectar el sabor y causar manchas
Manganeso	La OMS establece un límite de 0.4 mg/L; en concentraciones más altas, puede ser un problema estético y de salud.
PH	Se considera seguro un rango de pH entre 6.5 y 8.5. Valores fuera de este rango pueden influir en la corrosividad y el sabor del agua.
Potasio	En concentraciones bajas, es generalmente seguro, pero niveles superiores a 12 mg/L pueden ser problemáticos para personas con problemas renales.
Sodio	En general, niveles de hasta 200 mg/L son aceptables, pero personas con hipertensión deben tener cuidado con la ingesta de sodio.
Sólidos Totales Distintos (TDS)	Se establece un límite de 1000 mg/L. Es generalmente aceptable para el agua potable. Niveles más altos pueden afectar el sabor.
Sulfato	La OMS considera que concentraciones hasta 500 mg/L son generalmente aceptables, aunque niveles más altos pueden causar problemas gastrointestinales.
Sulfato De Hidrogeno	Puede producir un olor desagradable. Aunque no hay un límite estricto, se considera seguro en bajas concentraciones, aunque puede causar problemas estéticos.
Fluoruros	En concentraciones controladas, pueden ser beneficiosos para la salud dental.
Nitratos	Aunque en altas concentraciones pueden ser perjudiciales, niveles bajos (por debajo de 50 mg/L) generalmente son considerados seguros.

Fuente: Organización Mundial de la Salud (2016).

Contaminantes químicos encontrados en las aguas

Según Mejía; Rosales, Rojas, Molina, (2006), señala que un agua con un DBO es la demanda bioquímica de oxígeno que significa mayor a 120 mg/L y un DQO es la demanda química de oxígeno mayor a 200 mg/L son clasificadas como fuertemente contaminadas y se consideran como aguas superficiales con un fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales. Asimismo, Brown, LeMay, Burten & Murphy, (2009), agrega que las cantidades excesivas de materiales orgánicos biodegradables en agua son perjudiciales debido a que eliminan del agua el oxígeno necesario para sustentar la vida animal normal. Entre las fuentes de esos materiales que demandan oxígeno, se incluyen las aguas negras, los desechos industriales.

Por otra parte, Pérez *et al.* (2009), añade que el oxígeno disuelto es una variable que define en gran parte la biodiversidad y la supervivencia de la comunidad biótica. La mayoría de los peces toleran una concentración baja de oxígeno disuelto por cierto período de tiempo. Sin embargo, reducciones por debajo del 50m % generan efectos negativos sobre la biodiversidad, el crecimiento, la reproducción y la actividad de estos. El oxígeno disuelto determina si en los procesos de degradación dominan los organismos.

En presencia del oxígeno, el carbono, nitrógeno, azufre y fósforo contenidos en la materia biodegradable, terminan en el medio ambiente como especies de CO_2 , HCO_3^- , H_2O , NO_3^- , SO_4^- y fosfatos. Dicha formación de productos de oxidación reduce la cantidad de oxígeno disuelto de manera que las bacterias aerobias no pueden sobrevivir, por ende, las bacterias anaerobias llevan a cabo el proceso de descomposición, y forman nuevas especies como: CH_4 , NH_3 , H_2S , PH_3 , entre otros productos, muchos de los cuales contribuyen a los desagradables olores de algunas aguas contaminadas (Bolaños *et al.*, 2015).

El tema de la eutrofización de aguas superficiales Leyton (2007), lo define como el abastecimiento excesivo de los nutrientes nitrógeno y fósforo a los cuerpos de agua, con el consecuente crecimiento acelerado de microalgas, que puede producir la muerte de peces al despojarlos del oxígeno que necesitan para vivir. Necesariamente ello implica la

presencia excesiva de materia orgánica en el fondo del agua, que favorece la descomposición de la biomasa y por consiguiente un consumo el oxígeno desmedido, empobreciendo el medio de dicho elemento vital. Asimismo, el crecimiento rápido de algas y otras plantas causan que se recubra la superficie del agua, lo que impide el paso de luz solar a las capas inferiores (Bolaños, 2015).

Cuadro 2. categorización de las fuentes de componentes químicos

Fuente de compuesto químico	Ejemplos de fuentes
Fuentes naturales	Rocas, suelos y los efectos del marco geológico y el clima; masas de agua eutróficas.
Fuentes industriales y núcleos habitados	Minería (industrias extractivas) e industrias de fabricación y procesamiento, aguas residuales (incluidos una serie de contaminantes que son motivo de preocupación), residuos sólidos, escurrimiento urbano, fugas de combustibles
Actividades agropecuarias	Estiércol, fertilizantes, prácticas de ganadería intensiva y plaguicidas Coagulantes, SPD, materiales de tuberías
Plaguicidas añadidos al agua por motivos de salud	Larvicidas utilizados en el control de insectos vectores de enfermedades

Fuente: Meza & Laura, (2015).

Una de las fuentes contaminantes más frecuentes, es la asociada a la actividad minera. En este orden, la extracción, procesamiento de metales y yacimientos como el carbón, genera pérdida de los cuerpos de agua, tanto de la superficie como subterráneo, posibilitando la variación del PH, el incremento en solución en elevadas concentraciones de metales como Se, Mo, Al, Fe, Mn, Zn, Cu, As, Cr y V, así como también de especies solubles como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y SO_4^{2-} (Montero y Martínez, 2014). La actividad minera, al exponer grandes volúmenes de rocas, puede conllevar a la oxidación de los minerales presentes en la misma. En ese sentido, la pirita es un mineral común en los mantos de carbón, el producto de su oxidación puede generar ácido sulfúrico (disociado en sus iones) y la precipitación de oxihidróxidos de hierro (Montero y Martínez, 2014).

La toxicidad de los compuestos orgánicos depende de la naturaleza del mismo, la ruta de exposición y la edad de la persona expuesta. El mercurio (Hg) es un conocido teratógeno en el cerebro del feto, interfiere con la migración neuronal, la organización de núcleos del cerebro y la estratificación de neuronas corticales. En las intoxicaciones con Hg procedente de pescados, en Minamata, Japón e Irak, las madres estaban asintomáticas o mostraban efectos tóxicos leves cuando dieron a luz, mientras sus lactantes resultaron severamente afectados, dado que el feto es más susceptible al efecto neurotóxico del Mercurio (Rodríguez, Chávez y Torrejón, 2014).

Cuadro 3. contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua

Contaminantes y procesos	Descripción	Fuentes
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización.	Fuentes industriales, domésticas, asentamientos humanos.
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce a una eutrofización. Se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía de fertilizantes agrícolas.	Fuentes domésticas, industriales, escorrentía agrícola
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados.	Fuentes industriales, mineras, asentamientos humanos, actividades militares.
Compuestos tóxicos orgánicos	Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos policíclicos generados de la combustión del petróleo. Compuestos orgánicos persistentes (POP) como químicos disruptores endocrinos, cianotoxinas, compuestos órgano estánnicos de pinturas antinscrustantes.	Fuentes industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola
Partículas suspendidas	Pueden ser orgánicas o inorgánicas y se originan principalmente de prácticas agrícolas y del cambio en el uso de la tierra, como deforestación, conversión de pendientes en pastizales originando erosión.	Industria, asentamientos humanos, escorrentía agrícola y cambios en el uso de la tierra.
Salinización	Se produce por la presencia de sales en los suelos y drenajes inadecuados. También ocurre por afloramiento de agua proveniente de zonas altas, donde se riega (lavado de sales).	Presencia de sales en los suelos, la que aflora por carecerse de un buen drenaje, irrigación con agua salobre, agua de yacimientos

		secundarios de petróleo.
Acidificación	Está relacionada con un pH bajo del agua dado por la deposición sulfúrica producida por la actividad industrial y por las emisiones urbanas.	Fuentes industriales y fuentes municipales.

Fuente: Kraemer, Choudhury y Kampa (2001).

Análisis de las aguas según estándares de calidad establecido por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

En el artículo 5 de la Ley de Medio Ambiente y Recursos Naturales en República Dominicana, Ley 6400, clasifica los cuerpos receptores de agua (o segmento de los mismos), de acuerdo al uso actual o potencial de sus aguas, a los fines de restaurar y mantener las características físico-químicas y demás, para mantener o mejorar la integridad biológica de los mismos. El artículo 7 clasifica los cuerpos hídricos receptores de aguas superficiales por clase, siguiendo el siguiente orden:

Aguas superficiales clase A: son las aguas destinadas al abastecimiento público de agua potable, sin necesidad de tratamiento previo, excepto simple desinfección. Aguas destinadas al riego de vegetales de consumo crudo, para usos de recreo con contacto directo, como la natación. Aguas destinadas a la preservación de la fauna y la flora.

Aguas superficiales clase B: son destinadas al abastecimiento público de agua potabilizable con tratamiento. Aguas aprovechables para el regadío de cultivos, deportes acuáticos sin contacto directo, y usos industriales y pecuarios.

Aguas superficiales clase C: son aguas utilizadas para navegación, enfriamiento y otros usos que no impliquen contacto directo.

Cuadro 4. valores máximos aceptables de parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en los cuerpos hídricos superficiales.

Parámetro	Unidad	Aguas superficiales		
		Clase A	Clase B	Clase C
Microbiológico				
Coliformes totales	NMP/100ml	1,000	1,000	10,000
Coliformes fecales	NMP/100ml	400	1,000	4,000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml			
Agentes tensioactivos	mg/L	0.15	0.5	2.0
Cloruros	mg/L	250	250	1,000
Color	U.Pt-co	15.0	50.0	200
DBO ₅	mg/L	2.00	5.00	100
Fluoruros	mg/L	0.7	1.0	3.0
Fósforo PO ₄ -P	mg/L	-	-	-
Fósforo total	mg/L	0.025	0.025	0.1

Grasa y aceite	mg/L	Ausente	1.0	20
NH ₃ -N	mg/L	0.5	0.5	-
NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻ -N	mg/L	10	10	-
Oxígeno disuelto (OD)	% Sat	>80	>70	>50
pH	-	6.5-8.5	1,000	5.0-10.0
Sólido disuelto	mg/L	1,000	1,000	5,000
Sólido flotante	mg/L	Ausente	Ausente	Ausente
Sulfato	mg/L	400	400	5,000
Sulfuro	mg/L	0.002	0.002	-
ΔT	°C	+/-3	+/-3	+/-3
Metales				
Arsénico	mg/L	0.05	0.05	1.0
Aluminio	mg/L	5.0	5.0	
Bario	mg/L	1.0	2.0	10
Berilio	mg/L	0.1	0.1	
Boro	mg/L	0.5	0.5	5.0
Cadmio	mg/L	0.005	0.005	0.5
Cianuro	mg/L	0.1	0.1	0.5
Cobalto	mg/L	0.2	0.2	0.5
Cobre	mg/L	0.2	0.2	2
Cromo hexavalente Cr ₆	mg/L	0.01	0.01	0.1
Cromo total	mg/L	0.05	0.05	1,0
Hierro	mg/L	0.3	0.3	3.0
Litio	mg/L	2.5	2.5	
Manganeso	mg/L	0.5	1	5
Mercurio	mg/L	0.001	0.001	0.005
Molibdeno	mg/L	0.01	0.01	3.0
Níquel	mg/L	0.1	0.1	-
Plata	mg/L	0.01	0.01	0.1
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0.5
Selenio	mg/L	0.01	0.01	0.5
Vanadio	mg/L	0.1	0.1	
Zinc	mg/dl	0.05	0.05	0.1

Fuente: Ministerio de medio ambiente y recursos naturales, 2012.

Nota (-) señala ausencia de un valor estándar para ese parámetro en esa clase.

Nota (-) señala ausencia de un valor estándar para ese parámetro en esa clase.

2.2.6 Contaminación de agua

De acuerdo a la definición que da la OMS (Organización Mundial de la Salud), el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado y modifiquen tantas las propiedades físicas, como así también químicas y biológicas de la misma, de modo que no reúna las condiciones necesarias para ser utilizada beneficiosamente en el consumo del hombre y de los animales. Como así mismo los cambios de temperatura provocados por emisiones de agua calientes (polución térmica) (OMS, 2008).

A decir verdad, siempre existe una contaminación natural originada por restos animales y vegetales y por minerales y sustancias gaseosas que se disuelven cuando los

cuerpos de agua atraviesan los diferentes terrenos de nivelación. Los materiales orgánicos, mediante procesos biológicos naturales de biodegradación en los que intervienen descomponedores acuáticos (bacterias y hongos), son degradados a sustancias más sencillos. En estos procesos será fundamental la cantidad de oxígeno disuelto en el agua por que los descomponedores lo necesitan para vivir y para reproducir la biodegradación (OMS, 2008).

Un agua está contaminada cuando se ve alterada en su composición o estado, en ocasiones como consecuencia de la actividad humana, quedando menos apta para el uso al que va destinada. La creciente cantidad de contaminantes en zonas costeras se produce como consecuencia del vertido de desechos industriales, urbanos, actividad agrícola, minera y portuaria, representando un peligro inminente para el ser humano y el medio ambiente. La actividad antropogénica es una constante amenaza para la estabilidad de los ecosistemas, siendo los sistemas acuáticos receptores de toda clase de desechos urbanos (Fargašová, 1997).

Considerando que los contaminantes del agua, tanto por su diversidad, naturaleza, comportamiento, importancia, así como por sus efectos o riesgos para la salud derivados de su presencia en el agua cuando se trata de aguas para consumo, se establecen las tres categorías en relación con su naturaleza: contaminantes de naturaleza química (inorgánicos y orgánicos), contaminantes de naturaleza biológica (por organismos patógenos) y contaminantes de naturaleza física (mecánica, térmica, radiactiva). Nos centraremos en los contaminantes de naturaleza química. Dentro de los contaminantes químicos se encuentran los compuestos inorgánicos y orgánicos de las aguas. Entre los contaminantes inorgánicos se destacan los iones nitrogenados que se encuentran en forma de NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ y N orgánico. Los nitratos y los fosfatos son contaminantes muy comunes en las aguas continentales por su continuo uso en la agricultura. Tradicionalmente los fosfatos no se consideraban contaminantes, ya que estos se usaban para fertilizar las tierras, pero actualmente se considera tan importante como los nitratos (González *et al.*, 2002).

Los contaminantes inorgánicos son productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los

contaminantes orgánicos también son compuestos disueltos o dispersos en el agua que provienen de desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas y productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Estos contaminantes consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática (González *et al.*, 2002).

Herbicidas

Los herbicidas son compuestos orgánicos utilizados para combatir malezas en cultivos agrícolas y su presencia en la naturaleza se debe principalmente a la actividad antropogénica sobre el medio. Estos productos fitosanitarios son herramientas destinadas a la obtención de altos rendimientos de cultivos, pero su utilización incontrolada junto con sales inorgánicas utilizadas como fertilizantes, son un potencial foco de impactos negativos sobre el ecosistema (Moreno *et al.*, 2018).

Estos compuestos tienen toxicidades muy variables que dependen de su estructura química e interacción con el organismo, pudiendo causar una variedad de efectos sobre la salud, desde erupciones cutáneas hasta la muerte (Huang *et al.*, 2017).

Además de consistir en un potencial foco de contaminación y ofrecer riesgos para la salud humana, los residuos de herbicidas utilizados en cultivos también pueden causar fitotoxicidad para cultivos de rotación, lo que representa una amenaza en la cadena de producción alimentaria (Janaki, Sharma, Chinnusamy, Sakthivel, and Nithya, 2015).

El principal inconveniente con los herbicidas radica sobre todo en su alta persistencia en el medio ambiente debido a la estabilidad de su estructura química. Debido a esta estabilidad de las moléculas, los herbicidas pueden transportarse por el aire, suelo y aguas. La volatilización de estos compuestos se produce inmediatamente después de la aplicación de los mismos a los cultivos, donde su principal efecto es la incorporación de estos productos a la atmósfera y su dispersión a sitios más alejados al punto de aplicación (Gutiérrez y Arregui, 2005).

A su vez, los herbicidas y sus productos de degradación son altamente solubles en agua y su absorción en el suelo es muy limitada, por lo que su transporte a través del suelo por lixiviación y escorrentía superficial es un aspecto de gran preocupación (Mendes, Hall, Spokas, Koskinen and Tornisiello, 2017). Siendo así, los residuos de herbicidas ingresan al ecosistema acuático a través de diversos medios, como escorrentías superficiales directas, efluentes de unidades fabriles procesadoras de materias primas agrícolas, así como de formuladoras de pesticidas, lixiviación, gestión inadecuada del producto y su aplicación, derrames accidentales, entre otros (Torres, Mosteo, Pétrier y Pulgarin, 2009).

La degradación química y biológica son los principales procesos que afectan el destino final de los herbicidas en el suelo (Pot, Benoit, Le Menn, Eklo, Sveistrup, y Kværner, 2011). El catabolismo microbiano es una vía importante para la disipación de herbicidas en el medio ambiente. Se aislaron varios microorganismos capaces de degradar diversos herbicidas, por lo que actualmente se cuentan con varias rutas metabólicas, genes y enzimas involucrados en el catabolismo de herbicidas y destinados a la biorremediación de sitios contaminados.

Entre los procesos de degradación química se pueden citar la degradación fotocalizada y la hidrólisis. Para que estos compuestos sufran fotodegradación es necesario que los mismos absorban energía lumínica, y puesto que la mayor parte de la radiación ultravioleta es absorbida por la capa de ozono, es de esperar que solamente sufran fotodescomposición natural en el suelo, aquellas estructuras capaces de absorber luz en el espectro visible. Entre los tratamientos usualmente aplicados para el tratamiento de herbicidas en fuentes de aguas se pueden citar: la fotodegradación, la ozonización y la nanofiltración (Pot, Benoit, Le Menn, Eklo, Sveistrup y Kværner, 2011).

La fotodegradación, como mencionado anteriormente, es eficaz siempre y cuando se empleen fotocatalizadores y luz con la energía necesaria para que las estructuras químicas puedan absorberla. A su vez, la ozonización si bien representa el proceso más eficaz para la eliminación de estos compuestos, abarca costes elevados y su utilización a gran escala depende de las condiciones operativas que debe estudiarse para cada caso

concreto. Por su parte, procesos de nanofiltración también puede presentar resultados satisfactorios para el tratamiento de aguas que contienen residuos de herbicidas, sin embargo, al consistir en un proceso de naturaleza física, los contaminantes no son tratados, sino que son derivados a otra matriz, en este caso a los lodos de las depuradoras, donde deben ser tratados posteriormente (Bethi, Sonawane, Bhanvase and Gumfekar, 2016).

Como solución a los inconvenientes que puedan generar contaminación en el ecosistema, una de las herramientas de la química verde plantea la prevención de la contaminación. Para este caso es posible citar las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), definidas por la Food and Agriculture Organization (FAO, 2010) como prácticas orientadas a la sostenibilidad ambiental, económica y social para los procesos productivos de la explotación agrícola. Entre los puntos de las BPA que pueden influir en la prevención de contaminación por herbicidas se pueden citar: aplicación de dosis recomendadas; preparación de la cantidad justa a ser aplicada para evitar sobra de herbicidas en tanques de preparación; respeto de las bandas de seguridad establecidas entre el cultivo y zonas de cursos hídricos, caminos, entre otros; aplicación del producto en condiciones ambientales recomendadas, evitando la aplicación durante vientos fuertes, temperaturas elevadas, entre otros; realización del triple lavado de recipientes, como así también la gestión adecuada de los envases de agroquímicos.

Según la FAO, la formulación de un herbicida puede afectar su toxicidad, así el bromoxynil es más tóxico que bromoxynil octanoato. Otro ejemplo de la toxicidad relacionada con la estructura química es el Diquat, que como determina la Environmental Protection Agency, al ser absorbido sistémicamente no se concentra de manera selectiva en el tejido pulmonar como lo hace el paraquat, por lo cual la lesión pulmonar causada es menos grave (Sprague, 2015).

Fosfatos

Los fosfatos son contaminantes químicos inorgánicos y se presentan tanto disueltos como dispersos en el agua. El fósforo precipita en forma de fosfatos en suelos alcalinos y en suelos ácidos como fosfato de hierro (strengita) o de aluminio (variscita). En la actualidad la mayoría de los países europeos aporta un exceso de nitrógeno y fósforo,

incrementándose las reservas de estos en el suelo y aumentando el riesgo de emisión a los medios acuáticos (Fernández, 2011).

Parte de los contaminantes de fósforo son obtenidos a partir de la roca de fosfato, de donde se extrae y procesa para obtener finalmente derivados de fósforo, como son el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el fósforo blanco (P_4) para diversas utilidades. En general estos contaminantes provienen de descargas domésticas, agrícolas, industriales o de la erosión del suelo. Se ha considerado que la principal fuente de contaminantes fosfatos eran los detergentes, pero se ha confirmado que tras el uso de detergentes sin fosfatos y la depuración de aguas residuales sigue persistiendo el problema de la eutrofización por altas concentraciones de fósforo en aguas superficiales (Shappell, 2006).

Actualmente, la agricultura se encuentra en el origen de numerosos casos de contaminación de aguas superficiales y freáticas (Costa, Massone, Martínez, Suero, Vidal, y Bedmar, 2002). De hecho, según informes de la EPA (Environmental Protection Agency, de Estados Unidos), el principal responsable de la mala calidad de las aguas continentales es la contaminación difusa causada por la agricultura y la ganadería en países donde éstos tienen una participación relevante en la economía.

La contaminación de aguas por fósforo de origen agrícola se produce tanto a partir del fósforo soluble del suelo, como a partir del fósforo soluble de estiércoles, purines u otras enmiendas orgánicas, particularmente, cuando éstas se aplican sobre la superficie del suelo. Con frecuencia los estiércoles y purines tienen una relación P/N elevada en relación con las demandas de los cultivos. La aplicación de estos productos en suelos da lugar a una acumulación progresiva por el exceso de fósforo en el suelo, aumentando así el fósforo asimilable y el riesgo de contaminación de aguas (Gutiérrez and Arregui, 2005).

Tradicionalmente los fosfatos no se denominaban contaminante, ya que se utilizaban para mejorar la fertilidad y producción de las cosechas debido a la alta deficiencia de fósforo en los suelos naturales y a la escasez de este elemento en rocas y además los agrónomos los consideraban inmóviles en suelos. Actualmente se conoce que los iones fosfatos son retenidos por muchos componentes del suelo a pesar de su baja

movilidad, sin embargo, en los últimos años se ha demostrado por diversas investigaciones, cómo se ha incrementado dicha movilidad en suelos agrícolas (Tunney, Csathó, y Ehlert, 2003).

El ion fosfato es adsorbido por diversos componentes del suelo, como óxidos y oxihidróxidos de hierro o aluminio y como aluminosilicatos no cristalinos (alofanos). El fósforo se empieza a exportar en cantidades importantes cuando se alcanza un valor crítico de concentración en el suelo, por eso se está notando ahora un incremento de este contaminante tras décadas de fertilización fosfatada (Tunney, Csathó, y Ehlert, 2003).

Actualmente, se considera que la presencia de fosfatos en aguas continentales superficiales es el principal factor responsable de los procesos de eutrofización. Se denomina eutrofización al enriquecimiento en nutrientes de las aguas superficiales, lo que origina la proliferación de algas y plantas acuáticas, provocando la pérdida de transparencia del agua y la disminución de la luz que llega a las capas que están bajo la superficie, produciendo así la muerte de otras algas y plantas, las cuales se descomponen consumiendo oxígeno. Lo que lleva a una considerable disminución de oxígeno disuelto y por tanto la pérdida de la biodiversidad marina (Withers *et al.*, 2015).

En algunos casos el crecimiento de algas y otras plantas acuáticas resulta indeseable porque dificulta el flujo del agua, tiene un efecto estético negativo o disminuye el valor recreativo del agua. El fósforo es un factor limitante en el proceso de eutrofización en aguas continentales y por tanto es muy importante su control para reducirlo. El fósforo no tiene sustituto, pero se puede reutilizar continuamente para cerrar el ciclo global del fósforo, aplicando la química verde y la ingeniería verde. Para ello se puede abordar tres desafíos de sostenibilidad: 1) consumir menos roca fosfatada y con mayor eficiencia, 2) minimizar las pérdidas de fósforo y la generación de residuos de fósforo que ya no se pueden recuperar y 3) establecer objetivos de sostenibilidad económica, social y ambientalmente aceptables para reducir la demanda de fósforo (Withers *et al.*, 2015).

Por otro lado, se podría también aplicar estrategias para reducir las pérdidas de fósforo en los suelos agrícolas, como: calcular la dosis de abono orgánico basándose en el fósforo en lugar del nitrógeno; incorporar el abono al suelo en lugar de aplicarlo sobre la superficie; añadir al estiércol o purín sales de Fe, Al o Ca para disminuir la solubilidad del fósforo; modificar la alimentación del ganado para disminuir la cantidad de fósforo en las heces; mantener el suelo con cubierta vegetal en invierno y no aplicar estiércol cuando la probabilidad de lluvia es alta (Withers *et al.*, 2015).

Metales pesados

Los metales pesados son contaminantes inorgánicos cuya densidad está por encima de los 5 g/cm³ (Li, Ma, Van der Kuijp, Yuan, y Huang, 2014). Dentro de este grupo de sustancias encontramos el arsénico, cadmio, cobre, mercurio, níquel, zinc, cromo y plomo. (Van der Pol, Vaessen, Weusthuis, and Eggink, 2016). Algunos de estos metales a pequeñas concentraciones son necesarios para procesos biológicos vitales, sin embargo, cuando sobrepasan estas limitaciones son altamente tóxicos (Jaishankar, Tseten, Anbalagan, Mathew y Beeregowda, 2014).

En los últimos años, y con el desarrollo del sector industrial y agrícola, la contaminación por metales ha aumentado lo que lleva consigo un peligro ambiental importante para invertebrados, peces y seres humanos. Las fuentes de emisión de estos contaminantes pueden ser naturales o antropogénicas. Dentro de las fuentes naturales se encuentra el material rocoso de la corteza terrestre, el cual es rico en este tipo de metales, los afloramientos volcánicos o los incendios forestales (Singh y Prasad, 2015).

En cuanto a fuentes antropogénicas, los efluentes industriales son más importantes, también contribuyen la minería, las actividades militares o la agricultura con la utilización de pesticidas, fungicidas y fertilizantes. El peligro de estos compuestos se produce cuando llegan a los recursos hídricos y se introducen en la cadena alimenticia, ya sea de manera directa, cuando animales y seres humanos entran en contacto con aguas contaminadas, o de manera indirecta a través del consumo de cultivos que han sido regados con aguas contaminadas (Kim, Kim, y Seo, 2015).

El mercurio, el arsénico y el plomo son los metales pesados más tóxicos puesto que son altamente tóxicos a concentraciones muy pequeñas, se utilizan en el sector industrial para la elaboración de baterías para coches, pigmentos, materiales semiconductores, equipos de medición como lámparas LED, en fertilizantes y pesticidas o en minería. Otros metales como el cromo, el níquel o el cadmio son considerados carcinógenos de grado 1 según la Agencia Internacional para la investigación del Cáncer, además, participan en la extracción de minerales, en la elaboración de conservantes para madera, agentes anticorrosivos, monedas, placas de acero o acero inoxidable (Kim, Kim y Seo, 2015).

Bifenilos policlorados (PCB)

Los bifenilos policlorados o PCB son una familia de compuestos orgánicos (hidrocarburos policlorados) que se sintetizan por cloración catalítica del bifenilo y está constituida por una mezcla de productos clorados en distinto grado, en las que se han identificado hasta 209 miembros denominados congéneres (Loaysa, Silva, Arce, y Casafranca, 2015). Son productos químicos industriales producidos sintéticamente que se utilizan para diversos fines, transformadores y condensadores eléctricos, como líquidos de intercambio de calor, como aditivos de pintura, en papel de copia sin carbón y en plásticos.

Las propiedades de los PCB dependen del grado de cloración de los anillos del bifenilo. La estructura química de los PCB, les confieren características que permiten usarlos en innumerables aplicaciones industriales. Entre sus principales propiedades se pueden mencionar: estabilidad (ya que poseen inercia química); resistencia a la acción de ácidos y bases; difícilmente oxidables; hidrofóbicos; lipofílicos; se bioacumulan; se biomagnifican; no corrosivos; no volátiles; resistencia a la acción del calor y a las elevadas temperaturas; buenos conductores de calor, por ello es posible usarlos como fluidos térmicos; buenos aislantes eléctricos, ya que tienen altas constantes dieléctricas; estables hasta los 200 °C, pero se empiezan a descomponer entre 200 °C y ; a temperaturas entre 450 °C y 1000 °C, es posible la combustión con la producción de dioxinas y furanos (Loaysa, Silva, Arce y Casafranca, 2015).

Uno de los primeros fabricantes fue una pequeña empresa situada en la pequeña población de Anniston (Alabama, USA) que comenzó su producción en la década de 1920.

El uso masivo de estos productos se generalizó en la década siguiente, cuando la empresa fue comprada por Monsanto y lideró la producción de PCBs en la segunda mitad del siglo XX. El PCB se utilizaba como refrigerante de transformadores, pero en 1976, después de un accidente, fue prohibido en Estados Unidos y Europa. Hoy existen alternativas al PCB mucho más seguras como los aceites de silicona o ciertos tipos de aceites minerales dieléctricos. Hoy se utilizan transformadores secos para reemplazar a los que necesitaban refrigerantes líquidos (Agote, 2011).

La producción de PCB se detuvo en 1977 debido a preocupaciones ambientales y de salud humana, pero estos compuestos altamente persistentes, tóxicos y bioacumulativos aún permanecen en el medio ambiente como contaminantes globales. Hoy en día, la fabricación y utilización de PCB está prohibida o sometida a restricciones importantes en muchos países, debido a su posible impacto sobre la salud y el medio ambiente (Agote, 2011).

2.2.7 Isótopos ambientales

El término isótopo proviene del griego y significa igual (iso) lugar (topo). En química, se consideran isótopos a las formas del mismo elemento que difieren en el número de neutrones presentes en el núcleo. Esto implica que poseen el mismo número atómico (por lo que se encuentran en el mismo lugar de la tabla periódica), pero distinto número másico (difieren en su peso) (Sulzman, 2007; Fry, 2008). Los isótopos pueden diferenciarse en dos categorías, estables e inestables (isótopos radiactivos o radioisótopos). Se conocen sólo 21 elementos que tienen isótopos, habiendo cerca de 300 isótopos estables y más de 1200 isótopos radiactivos (Hoefs, 2009).

Se denominan isótopos a todos aquellos átomos de un mismo elemento químico que tienen igual número atómico pero diferente número de masa, es decir el mismo número de protones (o electrones) pero diferente número de neutrones en su núcleo (Aggarwal, Pradeep, *et al.* 2005). Un isótopo es una forma de un elemento químico cuyo núcleo atómico contiene un número específico de neutrones, además del número de protones que son los que definen el elemento. Los núcleos de la mayoría de los átomos

contienen a los neutrones, así como los protones. (Una excepción es la forma común de hidrógeno cuyo núcleo consiste en un solo protón.) Cada elemento químico tiene más de un isótopo. Para cualquier elemento, uno de los isótopos es más abundante en la naturaleza que cualquiera de los otros (Aracena, Lange, Iriarte, Rebolledo & Pantoja, 2011).

Isótopos ambientales: se refieren a los isótopos naturales que están presentes en el medio ambiente y se utilizan para estudiar procesos ambientales, tales como el ciclo del agua, la contaminación, y el cambio climático. Estos isótopos incluyen tanto isótopos estables (como el oxígeno-18 y el deuterio) como isótopos radiactivos (como el tritio y el carbono-14). Su análisis permite rastrear fuentes de agua, evaluar la edad de las aguas subterráneas, y determinar el origen de la contaminación en cuerpos de agua, suelos y la atmósfera (Clark & Fritz, 2013).

Aplicaciones de las técnicas isotópicas

Se ha desarrollado un método ingenioso y simple para calcular las liberaciones de CO₂ en la atmósfera local de una zona industrial: las plantas captan C-14 procedente de las radiaciones cósmicas, en forma de CO₂ y también incorporan el CO₂ emitido por las industrias de la zona, por lo que determinando la proporción de C radiactivo y no radiactivo se puede determinar la emisión total de CO₂ en la zona (Auge, Hernández y Hernández, 2002).

Los isótopos no sólo son útiles para estudiar el desplazamiento en aire de las sustancias contaminantes. Los métodos nucleares, como la irradiación con haces electrónicos en presencia de amoníaco, son muy útiles para eliminar gases contaminantes, incluidos los gases de efecto invernadero. Estos métodos tienen entre otras muchas ventajas el que los subproductos generados pueden ser utilizados como fertilizantes agrícolas (Auge, Hernández y Hernández, 2002).

La comprensión de los cambios climáticos que tuvieron lugar en el pasado encierra la clave para predecir los cambios futuros. Los isótopos son un importante instrumento utilizado para ampliar el análisis espacial y temporal de los procesos climáticos. Tanto los

isótopos radiactivos como los estables han servido de importante recurso para el estudio de parámetros relacionados con el clima, entre ellos la temperatura del aire de la superficie, la humedad relativa de la atmósfera y la cantidad de precipitación (Auge, Hernández y Hernández, 2002).

En determinados nodos del ciclo del agua, las firmas isotópicas y sus cambios a lo largo del tiempo quedan preservados en diversos archivos de depósito. Las variaciones de las composiciones isotópicas que ocurren en estos archivos proporcionan una ventana a través de la cual pueden observarse los sistemas hidrológicos y climáticos del pasado. Los isótopos son semejantes a registros naturales de datos o huellas dactilares presentes en el interior de la molécula de agua y de las sustancias químicas y las trazas metálicas que se disuelven en el agua (Auge, Hernández y Hernández, 2002).

Las técnicas isotópicas se han aplicado en hidrología e hidrogeología a nivel mundial durante más de 50 años, constituyéndose en una herramienta muy valiosa para la investigación y la solución de problemas relacionados con el medio ambiente y la ingeniería. Los isótopos ambientales, presentes en la naturaleza como resultado de procesos naturales o por las actividades antrópicas y que se presentan en gran abundancia, (entre ellos se encuentran: H, C, N, O y S) son básicamente de dos tipos: isótopos estables e isótopos radiactivos o inestables y son actualmente utilizados como herramientas de rutina para resolver problemas en hidrología e hidrogeología (Cook & Herezeg, 2000), ya que son de muchísima utilidad en las investigaciones donde el origen del agua subterránea, zonas de recarga, direcciones de flujo, patrones de mezcla y la vulnerabilidad a la contaminación son tópicos a descubrir. La utilización de isótopos inestables o radiactivos está orientada hacia temas como la edad del agua y las tasas de renovación, entre otros.

Los isótopos ambientales son aquellos que se presentan en el ambiente, se hallan ampliamente distribuidos y participan de los ciclos naturales. Particularmente, los del hidrógeno y oxígeno, como constituyentes de la molécula de agua, ofrecen un amplio rango de posibilidades para estudiar los procesos dentro del ciclo hidrológico (Seiler y Gat, 2007).

Los procesos físicos y los fenómenos meteorológicos responsables del transporte del agua en las diferentes fases del ciclo hidrológico producen una caracterización isotópica que puede ser aprovechada para obtener conclusiones sobre su origen y comportamiento. El ^3H es indicador de recarga reciente y junto con el ^{14}C introducen la variable temporal y permiten evaluar tiempo de residencia y velocidades de flujo del agua subterránea. En forma complementaria, los isótopos del carbono, nitrógeno y azufre se utilizan para identificar fuentes y mecanismos de contaminación y salinización (Mook, 2000).

El ^{13}C en DIC (Carbono inorgánico disuelto) y DOC (Carbono orgánico disuelto) permite distinguir los orígenes del carbono, trayectorias de solutos e identificación de la recarga a través de campos cultivados. El ^{15}N y ^{18}O de nitratos y otros compuestos de nitrógeno permiten diferenciar entre la contaminación por fertilizantes y efluentes sépticos, así como documentar el proceso de desnitrificación conjuntamente con el ^{13}C en DIC y DOC (Baskaran, 2011).

El ^{34}S y ^{18}O en sulfatos son buenos indicadores de procesos de oxidación y además señalan su procedencia biológica, marina o de combustibles fósiles. Estas técnicas isotópicas también tienen gran desarrollo en el estudio de la energía geotérmica y el petróleo. Se utilizan activamente para el desarrollo del conocimiento de los procesos hidrogeológicos y la interacción roca-agua en sistemas geotermales profundos, para la identificación de aguas formacionales, seguimiento de la recuperación secundaria, etc. (Kesaano & Sims, 2014).

Se aplican en las reconstrucciones paleoclimáticas que utilizan los registros isotópicos como proxy data. Su composición, preservada en muchos ambientes continentales, está controlada por el contenido isotópico de la precipitación. De esta forma estudiando los registros de la señal isotópica es posible conocer, con razonable aproximación, los parámetros meteorológicos de las condiciones climáticas pasadas (Kesaano & Sims, 2014).

En el futuro cercano el estudio de los mecanismos que transfieren la señal isotópica de la precipitación a los archivos geológicos y biológicos (glaciares, anillos de árboles, espeleotemas, sedimentos de lagos, etc.) darán información cuantitativa de los climas del pasado. Además, existe un modelo de circulación atmosférica que incorpora los datos isotópicos de precipitación de todo el mundo para relacionarlos con los procesos de cambio global (Baskaran, 2011).

2.2.8 Tipos de isótopos ambientales

Los isótopos ambientales son variantes de elementos químicos que difieren en su número de neutrones y, por lo tanto, en su masa atómica, pero comparten las mismas propiedades químicas. Estos isótopos son utilizados para estudiar procesos naturales en el medio ambiente, particularmente en la hidrología, la geología y la biogeoquímica. Los isótopos ambientales se clasifican en dos categorías principales: naturales y artificiales.

Todos los isótopos de un elemento tienen el mismo número atómico, pero difieren en lo que actualmente se conoce como número másico. Si la relación entre el número de protones y de neutrones no es la apropiada para obtener la estabilidad nuclear, el isótopo es radiactivo. Por ejemplo, en la naturaleza el carbono se presenta como una mezcla de tres isótopos con números másicos 12, 13 y 14: ^{12}C , ^{13}C y ^{14}C . Sus abundancias respecto a la cantidad global de carbono son respectivamente 98,89 %, 1,11 % y trazas (Regalado, 2014).

Isótopos naturales.

Los isótopos naturales son aquellos que se encuentran en la naturaleza. Por ejemplo, el hidrógeno tiene tres isótopos naturales, el protio, el deuterio y el tritio. El tritio es muy usado en trabajos de tipo nuclear; es el elemento esencial de la bomba de hidrógeno. Otro elemento que está formado por isótopos muy importantes es el carbono, que son el carbono-12, que es la base referencial del peso atómico de cualquier elemento, el carbono-13 que es el único carbono con propiedades magnéticas y el carbono-14 radiactivo, muy importante ya que su semivida es de 5730 años y se usa mucho en

arqueología para determinar la edad de los fósiles orgánicos. El uranio-235 se usa en las centrales nucleares y en las bombas atómicas (Regalado, 2014).

Isótopos artificiales.

Los isótopos artificiales se producen en laboratorios nucleares por bombardeo de partículas subatómicas o en las centrales nucleares. Estos isótopos suelen tener una vida corta, principalmente por la inestabilidad y radioactividad que presentan. Uno de estos es el cesio, cuyos isótopos artificiales se usan en plantas nucleares de generación eléctrica. Otro muy usado es el iridio-192 que se usa para comprobar la hermeticidad de las soldaduras de tubos, sobre todo en tubos de transporte de crudo pesado y combustibles. Algunos isótopos del uranio como el uranio-233 también se usan en tecnología nuclear.

Los isótopos se subdividen en isótopos estables (existen menos de 300) y no estables o isótopos radiactivos (existen alrededor de 1200). El concepto de estabilidad no es exacto, ya que existen isótopos casi estables. Su estabilidad se debe al hecho de que, aunque son radiactivos, tienen un período de semidesintegración extremadamente largo comparado con la edad de la Tierra (Regalado, 2014).

Isótopos estables

Una herramienta ampliamente utilizada en estudios ambientales para caracterizar la materia orgánica e identificar su origen son los isótopos estables (Remeikaite- Nikien et al., 2016), que son aquellos energéticamente estables por lo que no decaen (no son radiactivos) (Walker, 2005).

La ventaja de la utilización de los isótopos estables de nutrientes (en particular C y N) en los estudios ambientales, es que las firmas isotópicas son muy específicas según el origen del material orgánico (Vaalgama *et al.*, 2013). En los organismos fotosintetizadores, esta diferencia radica principalmente en fuente de carbono que utilizan. Un ejemplo son las algas, que en los sistemas límnicos utilizan CO₂ disuelto, que por lo general se encuentra en equilibrio isotópico con el CO₂ atmosférico ($\delta^{13}\text{C} \approx -7\text{‰}$). Sin embargo, las algas marinas utilizan el carbono inorgánico que proviene del bicarbonato ($\delta^{13}\text{C} \approx 0\text{‰}$), consecuentemente la materia orgánica de origen marino posee mayores valores de $\delta^{13}\text{C}$ con respecto a la de origen fluvial.

A su vez, las algas en la base de la trama trófica presentan un amplio rango de $\delta^{13}\text{C}$, mientras que el detrito terrestre presenta un rango más restringido, por lo que ambas fuentes de C son isotópicamente diferentes (Marshall et al., 2007). Con respecto a la utilización del ^{15}N , los efluentes sin tratamiento poseen bajo $\delta^{15}\text{N}$ ($\approx 3\text{‰}$) comparados con los efluentes provenientes de plantas de tratamiento (Risk *et al.*, 2009).

Este concepto anteriormente mencionado se utiliza para identificar el origen de la materia orgánica en los sedimentos acuáticos, diferenciando entre marino y terrestre/fluvial. En los estuarios, el carbono orgánico particulado representa una mezcla de fitoplancton marino y fluvial, plantas terrestres y suelo erosionado proveniente de la cuenca (Sánchez, 2011). En este sentido, la materia orgánica producida por plantas terrestres y algas de sistemas límnicos tienen una firma menor de $\delta^{13}\text{C}$ con respecto a la del fitoplancton de origen marino (Remeikaite-Nikien, *et al.*, 2016). Adicionalmente, como material marino se considera al fitoplancton, ya que la entrada principal de material orgánico al océano se debe a los organismos marinos, principalmente a través de la fotosíntesis. Las firmas isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ del material marino y terrestre no son necesariamente universales y pueden variar entre una región y otra, dependiendo por ejemplo de la vegetación predominante, ya que las plantas C3 y C4 tienen una composición de $\delta^{13}\text{C}$ muy diferente.

Son aquellos que no se desintegran de manera radiactiva, por lo que permanecen constantes en el tiempo (Hoefs, 2018). Se usan ampliamente en estudios ambientales para rastrear procesos naturales. En este sentido, se considera que el material de origen terrestre tiene una firma de $\delta^{13}\text{C}$ que oscila entre -23 y -30‰ y $\delta^{15}\text{N}$ entre $1,7$ y 7‰ . A su vez, el material de origen marino presenta una firma isotópica que oscila entre -18 y -23‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ y 4 y 12 para el $\delta^{15}\text{N}$ (Misic *et al.*, 2016; Rumolo *et al.*, 2011; Spano *et al.*, 2014).

Ejemplos comunes de isótopos incluyen:

a) Hidrógeno (^2H y ^3H): el deuterio (^2H) y el tritio (^3H) se utilizan para estudiar el ciclo del agua y la edad del agua subterránea.

b) Oxígeno (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O): ayudan a entender procesos climáticos y meteorológicos al analizar la variación isotópica en la evaporación y precipitación.

c) Carbono (^{12}C , ^{13}C): utilizados para estudiar el ciclo del carbono, incluida la fotosíntesis y la respiración en ecosistemas terrestres y marinos.

d) Nitrógeno (^{14}N , ^{15}N): se usan para investigar el ciclo del nitrógeno y las interacciones tróficas en ecosistemas.

e) Azufre (^{32}S , ^{33}S , ^{34}S): se emplean en estudios del ciclo del azufre en la atmósfera y procesos de reducción bacteriana. (Hoefs, 2018).

Isótopos Radiactivos

Se desintegran espontáneamente y emiten radiación. Se utilizan para medir procesos geológicos, la edad de materiales o el transporte de contaminantes (Sharp, 2017).

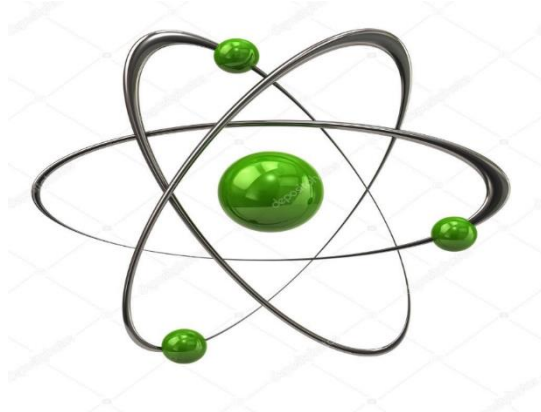


Figura 5. Isotopos radioactivos. Fuente: Sharp, 2017.

Diferentes variables pueden ser utilizadas como marcadores cronológicos para inferir la edad de un testigo de sedimento (ej. evidencia de cenizas volcánicas), pero lo más utilizado son los radioisótopos (Sánchez-Cabeza et al., 2012).

Los radioisótopos debido a su inestabilidad se van desintegrando (cadena de desintegración) mediante un proceso en el cual un isótopo radiactivo (padre) decae en otro isótopo llamado hijo y este a su vez decae o se desintegra sucesivamente hasta alcanzar un isótopo energéticamente estable (Walker, 2005). El proceso de decaimiento es a través de reacciones nucleares espontáneas que puede ser a través de emisiones α (partículas con carga positiva 2 y de masa 4), β (partículas de carga positiva o negativa 1 y masa

considerada despreciable), y/o γ (son de carácter ondulatorio y de elevado nivel energético (tienen masa despreciable y no presentan carga) (Hoefs, 2009; Le Roux & Marshall, 2011).

El radioisótopo de C (^{14}C) es utilizado para datar los componentes orgánicos del sedimento (así como otros elementos) con varios siglos de antigüedad ya que tiene una vida media de 5,730 años. A su vez, para sedimentos recientes el trazador utilizado es el ^{210}Pb debido a que su vida media es más corta (22.23 ± 0.12 años) (Sánchez-Cabeza & Druffel, 2009; Sánchez-Cabeza et al., 2012), siendo fiable para datar los últimos 130-150 años (Appleby, 2008; Le Roux & Marshall, 2011).

El ^{210}Pb tiene dos posibles orígenes, por un lado, el ^{210}Pb de origen atmosférico a partir del decaimiento del ^{222}Rn en la atmósfera (denominado Pb no soportado), y el generado *in situ* en los sedimentos (denominado Pb soportado, $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$) a partir del decaimiento del ^{226}Ra natural de los mismos (Appleby, 2008).

Diferentes modelos se han desarrollado para la datación de los sedimentos utilizando ^{210}Pb , siendo los más utilizados el CRS (Constant Rate of Supply), y el CIC (Constant Initial Concentration). La premisa del modelo CRS es que la tasa de aporte de ^{210}Pb al sitio de extracción del corer es constante, reflejando un flujo constante de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ desde la atmósfera, pero con posibles variaciones en la tasa de acumulación. En este sentido, este modelo es aplicable a zonas donde la tasa de sedimentación es variable. Por otro lado, el modelo CIC asume que los sedimentos del testigo en el momento que fueron depositados tenían la misma cantidad de ^{210}Pb no soportado, quedando su aplicación restringida a zonas con tasas de sedimentación constantes (Appleby, 2008). Ambos modelos utilizan la premisa de que el $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ presente en los sedimentos decae siguiendo la ley de desintegración radiactiva, y de no haber perturbaciones que influyan sobre la tasa de acumulación, el perfil de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ en un testigo de sedimento debería decaer de forma exponencial negativa, y el logaritmo de sus concentraciones responder a una función lineal (Sánchez-Cabeza et al., 2012). Si el coeficiente de ajuste no es razonable, o en distintos tramos del testigo se observan pendientes diferentes, se infiere una tasa de sedimentación variable a lo largo del tiempo (Sánchez-Cabeza & Druffel, 2009).

Para validar los resultados obtenidos con los modelos mencionados anteriormente, se utiliza la corroboración por ^{137}Cs . Este elemento de origen antrópico (artificial) es producido durante la fisión del ^{235}U , y su vida media es de aproximadamente 30 años (Appleby, 2008). Su principal aporte fue realizado por las pruebas nucleares llevadas a cabo entre 1954 y 1962 por Estados Unidos, Ex-URSS y Reino Unido, las cuales produjeron fragmentos radiactivos que se dispersaron por la atmósfera y luego fueron depositados sobre la tierra, proceso que se conoce como *fallout*. En este sentido, las concentraciones de ^{137}Cs presentan su máximo en los estratos correspondientes al año 1963 (Le Roux & Marshall, 2011). Algunos ejemplos son:

- a) Carbono-14 (^{14}C): usado en la datación de materiales orgánicos en arqueología y paleontología.
- b) Tritio (^3H): empleado en estudios de agua subterránea para datar el agua más reciente.
- c) Uranio (^{238}U , ^{235}U): usado para la datación de rocas y el análisis de procesos de deposición de minerales.
- d) Plomo-210 (^{210}Pb): se emplea para datar sedimentos en lagos y suelos (Sharp, 2017).

2.3 Marco conceptual

Calidad del agua: se define en función de un conjunto de características variables fisicoquímicas o microbiológicas, así como de sus valores de aceptación o de rechazo (Meza & Laura, 2015).

Isótopos ambientales: son variantes de elementos químicos que se encuentran en el medio ambiente y participan en los ciclos naturales. Estos isótopos pueden ser utilizados para rastrear procesos ambientales, como la contaminación del agua, la recarga de acuíferos y la identificación de fuentes de contaminación (Zhao, 2015).

Agua cruda: es aquella agua, en estado natural, captada para abastecimiento que no ha sido sometido a procesos de tratamiento (DIGESA, 2015).

Biomarcadores: molécula biológica que se encuentra en la sangre, otros líquidos o tejidos del cuerpo, y cuya presencia es un signo de un proceso normal o anormal, de una afección o de una enfermedad. Un biomarcador se utiliza a veces para determinar la respuesta del cuerpo a un tratamiento para una enfermedad o afección (Lukas, Arno, Heinzl, Andreas, Mayer y Bernd, 2019).

Factor de riesgo químico. se considera a toda sustancia orgánica o inorgánica, de procedencia natural o sintética, en estado sólido, líquido, gaseoso o vapor; que puedan dañar directa o indirectamente a personas, bienes y/o medio ambiente (Vilca, 2011).

Metales pesados: se conocen como metales pesados aquellos cuya densidad es superior a 5 g/cm^3 ; estos elementos pertenecen al grupo de metales de transición y forman compuestos de coordinación. Algunos metales pesados representativos son cromo (Cr), hierro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni) (Guzmán, 2014).

Neurotóxico: son una clase extensa de sustancias químicas exógenas neurológicamente dañinas que pueden causar efectos adversos en la función tanto del tejido nervioso en desarrollo como en el maduro (Olney, 2002).

CAPÍTULO III: PROPUESTA DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA SELECCIONADO

3.1.Descripción de la propuesta

El objetivo de esta propuesta es Analizar los isótopos ambientales para evaluar las fuentes de contaminación causadas por la actividad agrícola-enfoque: calidad de aguas en las Finca Experimental de la UTECO.

Cuadro 5. análisis FODA sobre los isótopos ambientales

Fortalezas-oportunidades	Fortalezas-Amenazas
-Personal capacitado en materia ambiental -Vinculación con organismos gubernamentales, no gubernamentales, empresas y productores -Programas de ahorro de agua, energía y residuos -Capacitaciones ambientales -Diversidad de condiciones ambientales -Personal de agronomía, forestal y biología	-Recorte presupuestario -Cambio climático y calentamiento global -Falta de política pública para el manejo de residuos sólidos -Prácticas inadecuadas en el cuidado de la fauna silvestre -Ingovernabilidad ambiental: generación de un progresivo, deterioro ambiental por el cumplimiento de factores ambientales -Alta dependencia de plaguicidas
Debilidades-Oportunidades	Debilidades-amenazas
-Obtención de premios y reconocimientos ambientales -Formación integral del personal en temas ambientales -Dar seguimiento a proyecto o patrocinio -Visitas y reconocimientos externos -Ofrecer educación continua ambiental -Ubicación de los egresados de agronomía de la UTECO en lugares estratégicos -Financiamiento nacional e internacional para proyectos relacionados	-Falta de un programa de capacitación continua al personal operativo y administrativo sobre temas ambientales -Falta de tiempo del personal para realizar todas las actividades ambientales, más proyectos y más actividades ambientales -Falta de comunicación y disfunción -Falta de compromiso ambiental -Uso inadecuado del agua -Falta de trabajo en equipo en aspectos ambientales

Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.2.Alcances y límite

Delimitación de contenido:

Campo: Agronomía

Área: Producción Agrícola.

Aspecto: Isótopos ambientales para evaluar las fuentes de contaminación causadas por la actividad agrícola-enfoque: calidad de aguas en las fincas de la UTECO. Finca 2.

Delimitación espacial: El proyecto se llevó a cabo exclusivamente en las instalaciones de la Finca Experimental UTECO, Finca 2.

Delimitación temporal: El proyecto tiene una duración de 2 años (4 semestres). Las actividades de recolección de muestras, análisis y elaboración del informe se distribuirán dentro de este período.

3.3. Objetivos

3.3.1 Objetivo general

Utilizar los isótopos ambientales para evaluar las fuentes de contaminación causadas por la actividad agrícola-enfoque: calidad de aguas en la Finca Experimental UTECO, (El Vivero).

3.3.2 Objetivos específicos

a) Analizar la calidad del agua de las fuentes superficiales mediante parámetros indicadores de salud acuática y adaptarlos a un índice de calidad de agua.

b) Identificar los contaminantes químicos encontrados en las aguas en la Finca Experimental UTECO.

c) Comparar los resultados del análisis de las aguas de la Finca Experimental UTECO (El Vivero), con los estándares de calidad establecido para las aguas de los ríos superficiales según los límites locales

3.3.Operacionalización de las variables

Cuadro 6.Operacionalización de las variables

Objetivo	Variable	Indicador	Forma de medición	Fuente de información
Utilizar los isótopos ambientales para evaluar las fuentes de contaminación causadas por la actividad agrícola-enfoque: calidad de aguas en la Finca Experimental UTECO.	Calidad del agua	Concentración de isótopos en el agua	Análisis de isótopos estables en muestras de agua	Laboratorio especializado en isotopos ambientales
	Contaminación por actividad agrícola	Niveles de contaminantes agrícolas (pesticidas, fertilizantes)	Análisis químico de muestras de agua	Laboratorio de análisis ambiental
Analizar la calidad del agua de las fuentes superficiales mediante parámetros indicadores de salud acuática y adaptarlos a un índice de calidad de agua.	Indicadores de salud acuática	Concentración de oxígeno disuelto, pH, turbidez, sólidos suspendidos	Medición en campo con equipos de análisis de calidad de agua	Mediciones directas en la Finca Experimental UTECO.
	Índice de calidad del agua	Valor del índice de calidad del agua (ICA)	Adaptación de parámetros en un índice estandarizado	Cálculo de ICA según metodología estándar
Identificar los contaminantes químicos encontrados en las aguas en la Finca Experimental UTECO.	Contaminantes químicos	Concentración de metales pesados, pesticidas, nitratos, fosfatos	Análisis de laboratorio de muestras de agua	Laboratorio de química ambiental
	Contaminantes agrícolas	Presencia y concentración de pesticidas y fertilizantes	Análisis de residuos químicos en el agua	Laboratorio de análisis de contaminantes
Comparar los resultados del análisis de las aguas de la Finca Experimental UTECO, con los estándares de calidad establecidos para las aguas de los ríos superficiales según los límites locales.	Comparación con estándares de calidad	Cumplimiento de los límites establecidos de calidad del agua	Comparación de los resultados con los valores máximos permisibles según normativa local	Normas nacionales e internacionales de calidad del agua

Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.4. Plan de Acción

Cuadro 7. plan de acción.

Objetivo	Actividades	Plazo	Responsables	Recursos Necesarios	Monitoreo y Evaluación
Analizar la calidad del agua de las fuentes superficiales mediante parámetros indicadores de salud acuática y adaptarlos a un índice de calidad de agua.	1. Identificación de fuentes de agua. 2. Recolección de muestras de agua en puntos representativos 3. Análisis de parámetros de calidad 4. Adaptación a un índice de calidad del agua.	Primeros 6 meses para recolección y análisis inicial. Seguimiento cada 3 meses.	Equipo de investigación y técnicos de campo.	Material de laboratorio (botellas, medidores de pH, conductividad, oxígeno disuelto).	Revisión trimestral de resultados. Ajuste de metodología según sea necesario.
Identificar los contaminantes químicos encontrados en las aguas en la Finca Experimental UTECO.	1. Revisión de prácticas agrícolas y uso de insumos. 2. Análisis isotópico. 3. Identificación y cuantificación de contaminantes.	3 a 6 meses para análisis isotópicos y químicos. Informe preliminar al final del sexto mes.	Investigadores y técnicos especializados en isotopía y química ambiental.	Equipos de laboratorio para análisis isotópico y contaminantes químicos.	Evaluación de los resultados cada 3 meses. Informe preliminar de hallazgos.
Comparar los resultados del análisis de las aguas con los estándares de calidad establecidos para las aguas de los ríos superficiales según los límites locales.	1. Recolección de normativas locales e internacionales sobre calidad de agua. 2. Comparación de resultados con estándares de calidad. 3. Redacción de informe	2 meses para obtener estándares y realizar la comparación. Informe final al octavo mes.	Equipo de análisis de datos y comparación de estándares. Asesores técnicos en normativas ambientales.	Normativas locales e internacionales de calidad de agua. Software para análisis de datos y generación de informes.	Revisión final de los resultados en el mes 8. Ajustes según sea necesario.
Impacto Esperado	Identificación precisa de fuentes de contaminación. Aportación de datos para políticas de manejo sostenible del agua.	A lo largo del proyecto y con evaluación final.	Investigadores, técnicos, y asesores de políticas ambientales.	Recursos de monitoreo, análisis de datos y comunicación de resultados.	Evaluación final de impacto y recomendaciones de políticas.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.Cronograma de Implementación

Cuadro 8. Cronograma de implementación

Semestres	Objetivo Específico	Actividades	Tareas	Presupuesto RD\$
1er Semestre	Analizar la calidad del agua mediante parámetros indicadores de salud acuática y adaptarlos a un índice de calidad de agua.	- Realizar las tomas de muestras en puntos clave de la finca. - Realizar los primeros análisis físicos y químicos básicos del agua.	-Recolectar muestras de agua - Análisis físico-químicos iniciales -Preparar equipo y material para los análisis microbiológicos.	550,000
2do Semestre	Continuar con el análisis de la calidad del agua y establecer el índice de calidad.	- Realizar los análisis microbiológicos en laboratorio. - Calcular el índice de calidad del agua y compararlo con valores estándar.	-Realizar análisis microbiológicos - Establecer un índice de calidad de agua a partir de los resultados obtenidos.	700,000
3er Semestre	Identificar los contaminantes químicos encontrados en las aguas en la Finca Experimental UTECO.	Realizar análisis isotópicos en laboratorio para determinar contaminantes presentes.	- Recolectar muestras para análisis isotópicos. - Realizar primeros análisis isotópicos del agua para detectar contaminantes.	750,000
4to Semestre	Continuar con los análisis isotópicos y la identificación de contaminantes químicos.	- Analizar las muestras recolectadas para obtener datos de contaminación agrícola. - Identificar la fuente exacta de contaminación - Finalizar la comparación con los estándares y comenzar la redacción del informe.	- Identificar concentraciones de contaminantes. - Llevar a cabo análisis complementarios para confirmar resultados.	743,700

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.6.Presupuesto

Cuadro 9. Presupuesto

Descripción	Unidad	Precio unitario DO\$	Total DO\$
Botellas de muestreo	12	6,700.00	80,400.00
Guantes desechables	1 caja	2,000.00	2,000.00
Cajas de transporte	1	8,000.00	8,000.00
Etiquetas	1 paquete	3,000.00	3,000.00
Marcadores	1 paquete	300.00	300.00
Análisis isotópico	2	60,000.00	120,000.00
Medidas isotópicas	2	50,000.00	100,000.00
Análisis 18O/16O del agua	2	60,000.00	120,000.00
Análisis 2H/1H del agua	2	500,000.00	100,000.00
Análisis físico-químico del agua	2	40,000.00	80,000.00
Análisis microbiológico del agua	2	20,000.00	40,000.00
Equipos de refrigeración (neveras)	1	40,000.00	40,000.00
Material de conservación (hielos, bolsas)	1	10,000.00	10,000.00
Investigadores	2	200,000.00	400,000.00
Asistentes de campo	2	100,000.00	200,000.00
Transporte de muestras	1	100,000.00	100,000.00
Combustible y gastos de desplazamiento		250,000.00	250,000.00
Dieta de investigadores y asistentes	4	100,000.00	400,000.00
Uso de quipos de laboratorio	1	150,000.00	150,000.00
Materiales y suministros	1	50,000.00	50,000.00
Contingencias y Margen			195,000.00
Total general			2,548,700.00 RD\$

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.7.Análisis de factibilidad

3.8.1 Análisis de la factibilidad ambiental

En este proyecto se tomó en cuenta la importancia del medio ambiente, ya que el mismo no afecta al entorno. Es de vital importancia tener presente los elementos del sistema ambiental, que le permitan un análisis holístico de la situación a evaluar, tomando en cuenta las potencialidades y oportunidades con que cuenta. Además, que se cumple lo requerimiento de la Ley 64-00 sobre protección al medio ambiente y recursos naturales, por lo que el mismo tiene como objetivo primordial los siguientes factores, como son: el ser humano, fauna, flora, suelo, agua, aire, clima, paisaje, bienes materiales, patrimonio cultural, entre otros.

Cuadro 10. Acciones del proyecto impacto ambiental

Acciones del proyecto Impacto ambiental	Diseño	Construcción	Operación
Clima	A	A	A
Calidad del aire	A	A	A
Ruidos y vibraciones	A	A	A
Suelo	A	A	A
Vegetación	A	A	A

Legenda de la calificación del impacto: A: Aceptable; C: Crítico; I: Inaceptable

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020).

3.8.2 Análisis de la factibilidad técnica.

Con la puesta en marcha de este proyecto sobre los isótopos ambientales para evaluar las fuentes de contaminación causadas por la actividad agrícola-enfoque: calidad de aguas en la Finca Experimental, toma en cuenta los recursos humanos, recursos tecnológicos, recursos naturales, patrimonios culturales, entre otros, poner en marcha el mismo. Con la incorporación de recursos humanos calificados en el desempeño de las funciones que exige el proyecto. Además, se utilizaron recursos tecnológicos acorde a los nuevos tiempos para un mejor desempeño.

3.8.3 Análisis de la factibilidad financiera

El análisis de la factibilidad financiera para el estudio sobre el uso de isótopos ambientales para evaluar las fuentes de contaminación causadas por la actividad agrícola, con un enfoque en la calidad del agua en la Finca Experimental de la UTECO, es crucial para determinar si los recursos disponibles son suficientes para llevar a cabo este proyecto.

El proyecto es financieramente factible, siempre y cuando se optimicen los recursos disponibles y se busquen colaboraciones estratégicas. Subcontratar análisis isotópicos a laboratorios especializados y colaborar con universidades o centros de investigación pueden reducir significativamente los costos sin comprometer la calidad del estudio. Además, asegurar financiamiento externo a través de subvenciones y colaboración con la industria local garantizará la sostenibilidad financiera del proyecto.

3.8.Sostenibilidad

Para garantizar que la implementación del proyecto sobre los isótopos ambientales para evaluar las fuentes de contaminación causadas por la actividad agrícola-enfoque: calidad de aguas en la Finca Experimental se mantenga efectiva y relevante con el tiempo, se requiere una serie de acciones continuas y coordinadas. En primer lugar, es crucial establecer políticas y normativas que respalden las prácticas sostenibles en la agricultura, como el uso adecuado de fertilizantes y pesticidas.

Además, se deben llevar a cabo programas de capacitación continua para agricultores, técnicos y autoridades locales, asegurando que estén al tanto de las últimas técnicas y tecnologías disponibles. Un sistema de monitoreo regular de la calidad del agua, utilizando isótopos ambientales y otros métodos, es esencial para detectar cambios y tomar medidas correctivas a tiempo.

La participación activa de los encargados, respaldada por el apoyo institucional, garantizó un compromiso continuo con las prácticas sostenibles. Finalmente, integrar los resultados del proyecto en políticas y programas de desarrollo regional asegurará que los beneficios perduren más allá de la implementación inicial, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector agrícola y la protección del medio ambiente.

3.9.Monitoreo y seguimiento

La evaluación se realizó a largo plazo a medida en que se desarrollen los contenidos a través de la colaboración de los decanos y coordinadores de carrera de la UTECO realizando evaluaciones con los estudiantes de agronomía. Se realizaron entrevistas, guías y, diálogos individuales con acuerdos y compromisos con los responsables directos del proyecto. Las personas de la Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales de la UTECO deben convertirse en centinelas de los recursos suministrados y velar que se cumplan las normas y reglas que establece el proyecto.

CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE SOLUCIÓN

4.1.Propuesta

La actividad agrícola, aunque esencial para la producción de alimentos, es una de las principales causas de contaminación del agua. La aplicación intensiva de fertilizantes y pesticidas, junto con el manejo inadecuado de residuos orgánicos, genera una acumulación de contaminantes que afectan la calidad del agua subterránea y superficial.

El uso de isótopos ambientales representa una herramienta avanzada para rastrear la procedencia y las rutas de transporte de estos contaminantes, permitiendo desarrollar estrategias precisas para mitigar su impacto. Este proyecto se enfocó en la Finca Experimental de UTECO, una zona agrícola clave que puede servir como modelo para evaluar y mejorar la sostenibilidad hídrica en el sector agrícola.

4.1.1 Introducción

La gestión adecuada del agua es esencial para la sostenibilidad de las actividades agrícolas, especialmente en regiones donde la agricultura intensiva puede generar impactos negativos sobre la calidad del agua. El uso de técnicas de análisis isotópico, una metodología innovadora y precisa, ofrece una solución eficaz para rastrear las fuentes de contaminación, identificar contaminantes específicos y apoyar la toma de decisiones para la gestión hídrica en la Finca Experimental UTECO

4.1.2. Objetivo de la Propuesta

Esta propuesta tiene como objetivo la implementación de un plan de acción basado en el uso de isótopos ambientales para identificar las fuentes de contaminación agrícola en el agua, realizar un diagnóstico preciso de la calidad del agua y establecer estrategias para su mejora. Este enfoque contribuirá a la sostenibilidad de los recursos hídricos y permitirá la toma de decisiones más informadas en cuanto al uso agrícola y el manejo del agua.

4.1.3 Método de Solución

A. Uso de Isótopos Ambientales: La solución principal radica en el uso de isótopos ambientales, como el nitrógeno-15 ($\delta^{15}\text{N}$), oxígeno-18 ($\delta^{18}\text{O}$) y carbono-13 ($\delta^{13}\text{C}$), para rastrear la procedencia de los contaminantes en el agua. Estos isótopos permiten identificar fuentes de contaminación específicas como fertilizantes, estiércol animal, y otros contaminantes provenientes de actividades agrícolas.

B. Análisis y Monitoreo: Se llevará a cabo un análisis exhaustivo de la calidad del agua utilizando parámetros indicadores de salud acuática como el pH, la conductividad eléctrica, la temperatura, y el oxígeno disuelto (OD). Los resultados se compararán con normas nacionales e internacionales de calidad del agua para determinar su cumplimiento con los estándares.

C. Recolección de Datos y Evaluación: El proyecto involucrará la recolección de muestras de agua de las fuentes superficiales en la Finca Experimental UTECO, así como en puntos clave que puedan estar expuestos a contaminación agrícola. Se realizarán análisis tanto in situ como en laboratorio para la identificación de contaminantes, y la comparación de los resultados con los límites de calidad establecidos.

4.1.4 Implementación del Plan de Acción

Actividades Específicas

- Recolección de muestras de agua: Se realizarán visitas periódicas a los puntos de muestreo para tomar muestras de agua de diferentes fuentes (ríos, pozos).
- Análisis de Isótopos: En el laboratorio, se realizarán análisis isotópicos para identificar las fuentes de contaminación (por ejemplo, nitrógeno de fertilizantes, contaminantes de aguas residuales, etc.)
- Evaluación de calidad del agua: Se evaluará la calidad del agua mediante parámetros de salud acuática y se adaptará un índice de calidad del agua para las condiciones locales.
- Capacitación: Se organizarán talleres y capacitaciones para los agricultores y personal técnico, enfocados en el uso responsable de insumos agrícolas y la conservación de los recursos hídricos.

- Elaboración de un informe de resultados: Al finalizar el análisis, se elaborará un informe detallado con los hallazgos sobre las fuentes de contaminación, la calidad del agua y las recomendaciones para mejorar la gestión hídrica.

4.1.5. Plazos de Implementación

El proyecto se desarrollará en un plazo de 12 a 24 meses, dividido en las siguientes fases:

- Fase 1 (Meses 1-3): Recolección de muestras y análisis inicial de la calidad del agua.
- Fase 2 (Meses 4-6): Análisis isotópico y comparación de los resultados con los estándares locales de calidad.
- Fase 3 (Meses 7-9): Elaboración de informe de resultados y propuesta de soluciones basadas en los hallazgos.
- Fase 4 (Meses 10-12): Implementación de estrategias de mitigación, capacitación y seguimiento.

4.1.6 Resultados Esperados

- Identificación de las fuentes de contaminación: Gracias al uso de isótopos, se podrá conocer con precisión de dónde provienen los contaminantes y qué prácticas agrícolas están contribuyendo a la degradación de la calidad del agua.
- Mejora en la calidad del agua: Se implementarán estrategias basadas en los resultados obtenidos para mitigar la contaminación y mejorar la calidad del agua en la Finca Experimental UTECO.
- Conciencia y educación sobre el manejo hídrico: Se fortalecerá la capacidad de los agricultores y técnicos en prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan el impacto ambiental y mejoren la gestión del agua.
- Sostenibilidad en el uso de recursos hídricos: Se promoverá el uso eficiente y sostenible del agua, contribuyendo a la preservación de los ecosistemas acuáticos.

CAPÍTULO V: CONSIDERACIONES FINALES

5.1 Conclusiones

Al evaluar las fuentes de contaminación causadas por actividades agrícolas utilizando isótopos ambientales en la Finca Experimental de la UTECO, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Los isótopos ambientales, como el nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y el oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$), permiten identificar las fuentes de contaminación en las aguas subterráneas y superficiales. Estos isótopos muestran diferencias en las firmas isotópicas de fertilizantes inorgánicos, residuos animales y otros insumos agrícolas, permitiendo trazar la fuente exacta de los contaminantes.

Los análisis isotópicos permitirán determinar si el uso intensivo de fertilizantes nitrogenados y pesticidas en las áreas agrícolas contribuye significativamente a la contaminación de los recursos hídricos.

Además de las prácticas agrícolas, existe la posibilidad de que otras fuentes de contaminación, como aguas residuales no tratadas o excrementos de ganado, puedan contribuir significativamente a la degradación de la calidad del agua en la Finca Experimental. Si se identifican estos factores, el análisis de isótopos de nitrógeno (^{15}N) en las áreas afectadas podría mostrar valores característicos de la descomposición de materia orgánica de origen animal, lo que ayudaría a confirmar estas posibles fuentes de contaminación.

Se anticipa que los isótopos de hidrógeno (^2H) y oxígeno (^{18}O) en el agua permitirán rastrear la dispersión de contaminantes en diferentes capas del suelo y hacia cuerpos de agua cercanos. Esto indicará una alta movilidad de los contaminantes agrícolas, exacerbada por prácticas de riego no controladas.

A partir de los resultados obtenidos, se sugerirá que las prácticas agrícolas actuales en El Vivero no serán sostenibles a largo plazo sin la adopción de medidas para mitigar la

contaminación. Se espera que el uso de isótopos demuestre ser una herramienta efectiva para monitorear la contaminación y proponer estrategias para mejorar la gestión de recursos hídricos.

Finalmente, estas conclusiones proporcionarían un panorama claro de la situación futura de la calidad del agua en la finca, estableciendo una base sólida para la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos y la implementación de prácticas agrícolas más sostenibles.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda implementar prácticas agrícolas más sostenibles, como la rotación de cultivos, el uso de fertilizantes orgánicos y el manejo adecuado de residuos animales.

1-Integrar el uso de isótopos ambientales como parte del plan de manejo de recursos hídricos en la Finca Experimental, lo que permitirá una mejor toma de decisiones basada en evidencia científica para mitigar la contaminación.

2-Reducir el uso de fertilizantes nitrogenados y fomentar la adopción de fertilizantes orgánicos o de liberación controlada.

3-Implementar un sistema de monitoreo periódico utilizando isótopos de nitrógeno (^{15}N), oxígeno (^{18}O), y otros como carbono (^{13}C) para identificar y rastrear las fuentes de contaminación a lo largo del tiempo.

4-Promover técnicas de riego más eficientes, como el riego por goteo, para minimizar la infiltración excesiva de agua cargada de contaminantes hacia el suelo y las aguas subterráneas.

5-Delimitar áreas sensibles alrededor de cuerpos de agua donde las actividades agrícolas no estén permitidas, reduciendo así la probabilidad de contaminación directa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abowei, J. F. N. (2010). Salinity, Dissolved Oxygen, pH and Surface Water Temperature Conditions in Nkoro River, Niger Delta, Nigeria. *Advance Journal of Food Sciences Technology*, 2(1), 36-40.
- Adams, Simon; David Lambert (2016). *Earth Science: An illustrated guide to science*. New York NY 10001: Chelsea House. p. 20. ISBN 0-8160-6164-5.
- Aggarwal, P. K., Gat, J. R., & Froehlich, K. F. O. (2005). *Isotopes in the Water Cycle: Past, Present and Future of a Developing Science*. Dordrecht: Springer. 381 p.
- Agote, “Bifenilos policlorados (PCBs) (2011). Un panorama acerca de sus usos, existencias, riesgos, almacenamiento y tratamientos.”
- Albo, J. B., & Panarello, O. (02 de 2015). Evaluación de la geoquímica e isótopos del nitrato en el acuífero libre de una llanura con actividad agropecuaria, Córdoba, Argentina. *ingeniería*, 24-38. Obtenido de Evaluación de la geoquímica e isótopos del nitrato en el acuífero libre de una llanura con actividad agropecuaria, Córdoba, Argentina: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/18364>
- APHA, AWWA, & WPCF. (1995). *Métodos Normalizados para el Madrid*.
- APHA, AWWA, WPCF. (2002). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- Appleby, P.G. (2008). Three decades of dating recent sediments by fallout radionuclides: a review. *The Holocene* 18: 83–93.
- Aracena C, CB Lange, JL Iriarte, L Rebolledo & S Pantoja. (2011). Latitudinal patterns of export production recorded in surface sediments of the Chilean Patagonian fjord (41-55°S) as a response to water column productivity. *Continental Shelf Research* 31: 340-355.
- Arumí, J.L; Martín, D.L; Watts, D.G. (2001). Modelación del impacto de prácticas de manejo agrícola en aguas subterráneas (en línea). III Encuentro de las Aguas: Agua, Vida y Desarrollo. Chile 2001. IICA. Consultado el 28 de octubre de 2002. Disponible en: [www.aguabolivia.org/situacionaguaX/III EncAguas/contenido/trabajos_verde/TC-012.htm](http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/III_EncAguas/contenido/trabajos_verde/TC-012.htm)
- Auge, M.P. Hernández, M.A y Hernández, L., 2002. Actualización del conocimiento del Acuífero semiconfinado Puelche en la Provincia de Buenos Aires - Argentina. XXXIII International Hydrogeology Congress. Proceedings. 624-633. Mar del Plata.

- Banco Mundial (2011). Diagnóstico de la Gestión de Recursos Hídricos en Chile. Disponible en: <http://bcn.cl/cj1z> (Noviembre 2016)
- Barberena-Moncada, J., Hurtado-García, I., Sirias-Silva, M. (2021). Aplicación de Isótopos estables e hidroquímica para la comprensión del sistema hidrológico en Laguna de Tiscapa. Managua, Nicaragua. Revista Científica FAREM – Estelí. 10 (37). DOI: <https://doi.org/10.5377/farem.v0i37.11211>.
- Baskaran, M. (Ed) (2011). Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. 952 pp. Springer
- Bellido Guerrero Diego, De Luis Román Daniel. (2006). Manual de nutrición y metabolismo. Ediciones Díaz de Santos.
- Bethi, S. H. Sonawane, B. A. Bhanvase, and S. P. Gumfekar, (2016). “Nanomaterials-based advanced oxidation processes for wastewater treatment: A review,” Chem. Eng. Process. Process Intensif., vol. 109, pp. 178–189.
- Bolaños, A. Montero, N. Rodríguez, J., Sánchez, A. (2015). Calidad de aguas superficiales: estudio de la quebrada Estero, ubicada en el cantón de San Ramón, Costa Rica. file:///C:/Users/HP/Downloads/Dialnet-CalidadDeAguasSuperciales-5821477.pdf
- Brown, T. LeMay. E. Burten, B. & Murphy, P. (2009). Química la ciencia central. 11ª ed. México: Pearson Educación. pp 786.
- Canganjo, J. Savilolo, S. (2021). Tratamiento y preservación del agua potable en la gestión racional de los recursos hídricos en el contexto universitario de Angola. Opuntia Brava, 13, pp. 284-293.
- Clark, I. D., & Fritz, P. (2013). Environmental Isotopes in Hydrogeology. CRC Press.
- Cook, P.G., Herczeg, A.L., (2000). Environmental tracers in subsurface hydrology. Kluwer Academic Publishers, Boston, 529 P.
- Coplen, T. B., & Holden, N. E. (2018). *Isotopic Abundance Ratios of Selected Elements (IUPAC Technical Report)*. Pure and Applied Chemistry, 90(5), 683-694.
- Costa, H. Massone, D. Martínez, E. E. Suero, C. M. Vidal, and Bedmar, F. (2002). “Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone,” Agric. Water Manag., vol. 57, no. 1, pp. 33–47.
- Curtis, Helena; Schnek, Adriana (30 de junio de 2008). *Curtis. Biología*. Ed. Médica Panamericana. ISBN 9789500603348. Consultado el 9 de febrero de 2018.
- De La Cruz, (2024). Encargado de la Finca Experimental No. 2 de la UTECO.

- Díaz, M., (2022). Rectora de la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, (UTECO).
- DIGESA. (2015). Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de muestra de agua.(DS N° 160- 2015-DIGESA). Lima: DIGESA.
- Dirección General de Aguas (2016). Atlas del Agua (Capítulo 2. Nuestra Agua). Disponible en <http://bcn.cl/1vkhe> (Noviembre 2016)
- Distrito Educativo 16-01 de Cotuí. Archivo estadístico del año escolar 2023-2024.
- FAO, (2018). Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta
- FAO. (2013). Food Wastage Footprint: Impacts on natural resources – summary report. FAO, Rome, pp. 6-7.
- Fargašová, A. (1997). “Comparative study of ecotoxicological effect of triorgatonin compounds on various biological subjects,” *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 36, pp. 38–42.
- Fernández-Marcos. (2011).“Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas,” *Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola*, no. May, pp. 25–31.
- Florentino y Núñez, (2022). Agentes químicos contaminantes en las aguas del rio Chacuey en su cauce por la comunidad del Cruce De Vásquez Y La Ceibita. Tesis de maestría.
- Fry, B. (2008). *Stable Isotope Ecology*. Springer, New York, New York, USA. 316 pp.
- García, V. (2018). *Control de Calidad en el Uso de Desinfectantes en Espacios Públicos y Privados*. Ed. Higiene y Seguridad.
- Gat, J. R. (2010). *Isotope Hydrology: A Study of the Water Cycle*. Imperial College Press.
- Gómez, M. & Rivera, L. (2018). *Guía Técnica para el Mantenimiento de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento*. Ed. Ingeniería Sanitaria.
- Gonzáles, G. (2012). *Microbiología del Agua conceptos y aplicaciones* (primera ed.). Colombia.: Escuela Colombiana de Ingeniería Jario Garavito
- González Delgado, C. Orozco Barrenetxea, A. Pérez Serrano, J. M. Alfayate Blanco, and F. Rodríguez Vidal, (2002). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*, no. 31. Madrid: Ediciones Paraninfo S. A.

- González GM y Chiroles RS. Seguridad del agua en situaciones de emergencia y desastres. Peligros microbiológicos y su evaluación. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. Ciudad de la Habana. 2010;1:48-12.
- González, Mejía. (2022), en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México se realizó una investigación relacionada a uso de isótopos ambientales del agua y geoquímica para determinar fuentes de nitrato en el sur del acuífero Cuernavaca”.
- Grismer, M., K. Bali. (2015). Agua salina drenada para la producción de cultivos. Oakland: University of California Division of Agriculture and Natural Resources Publication 8410. See the ANR online catalog, <http://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/8410.pdf>.
- Guerrero, Benavides, Toro, Uzcátegui y Jégat, (2023), en la Universidad Técnica Particular de Loja – Ecuador, se realizó un estudio sobre “Aplicación de la geoquímica de isótopos ambientales (^{18}O y ^2H) en los análisis de estabilidad hidrogéica morfológica de laderas y taludes: estudio de caso”.
- Gutiérrez J. (2014). Evaluación del uso de dos polímeros como soportes en el tratamiento de agua residual doméstica en filtros anaerobios. Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Botánica, México.
- Gutiérrez, H. F. and Arregui, M. C. (2005). “Comportamiento de herbicidas en suelos, aguas y plantas,” FAVE, vol. 14, p. 17.
- Guzmán, A. (2014). Determinación de hierro en aguas del sector sur del lago titicaca (parte del sistema ttps) mediante la formación de complejo, utilizando la técnica espectrofotométrica. Universidad mayor de San Andrés, facultad de tecnología carrera química industrial. Bolivia <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/10782/EG-1416-Guzman%20Machaca%2C%20Ana%20Karem.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hoefs, J. (2009). Stable Isotope Geochemistry. 6th edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 286 pp.
- Hoefs, J. (2018). *Stable Isotope Geochemistry* (8th ed.). Springer.
- Hrudey, S. E., & Hrudey, E. J. (2004). *Safe Drinking Water: Lessons from Recent Outbreaks in Affluent Nations*.
- Huang X., He J., Yan X., Hong Q., Chen K., He Q. (2017). Microbial catabolism of chemical herbicides: microbial resources, metabolic pathways and catabolic genes. *Pestic. Biochem. Physiol.* 143, 272–297. doi: 10.1016/j.pestbp.2016.11.010, PMID.

- IAEA (2023): "Applications of Environmental Isotopes in the Assessment of Aquatic Pollution". Este informe del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA) detalla casos prácticos en los que se han utilizado isótopos para identificar fuentes de contaminación agrícola y urbana.
- ILRI, (2002). Soil salinity. Lecture notes International Course on Land Drainage, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands.
- Jacobson, M. Z. (2005). «Studying ocean acidification with conservative, stable numerical schemes for nonequilibrium air-ocean exchange and ocean equilibrium chemistry». *Journal of Geophysical Research - Atmospheres* 110: D07302.
- Jaishankar, T. Tseten, N. Anbalagan, B. B. Mathew, and K. N. Beeregowda, (2014). "Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals," *Interdiscip. Toxicol.*, vol. 7, no. 2, pp. 60–72.
- Janaki, N. Sharma, C. Chinnusamy, N. Sakthivel, and C. Nithya, (2015). "Herbicide residues and their management strategies," *Indian J. Weed Sci.*, vol. 47, no. 3, pp. 329–344.
- Jiménez, F. (2002). Apuntes de clase del curso Manejo de Desastres Naturales. Turrialba, CR. CATIE. 288 p
- Kendall, C., & McDonnell, J. J. (Eds.) (2012): *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*
- Kesaano, M.; Sims, R. C.;(2014) *Algal Bio Fi Lm Based Technology for Wastewater Treatment*. ALGAL.
- Kim, Y. J. Kim, and Y. R. Seo, (2015). "An overview of carcinogenic heavy metal: molecular toxicity mechanism and prevention," *J. Cancer Prev.*, vol. 20, no. 4, pp. 232–240.
- Kraemer, A, K. Choudhury y E. Kampa. (2001). "Protecting Water Resources: Pollution Prevention. Thematic Background Paper – International Conference on Freshwater".
- Le Roux, G. & Marshall, W.A. (2011). Constructing recent peat accumulation chronologies using atmospheric fall-out radionuclides. *Mires and Peat* 7: 1-14.
- Lew, K. (2008). *Understanding the Elements of the Periodic Table: Zinc*. First Edition, The Rosen Publishing Group, Inc. USA. 48 pp. 2008.
- Ley 236-14. (2014). Ley que convierte al Instituto Tecnológico Del Cibao Oriental (ITECO) en universidad estatal, (UTECO).

- Leyton, H. & Parra, A. (2007). Proposición de un plan de gestión ambiental para minimizar el proceso de eutrofización en la cuenca de la laguna de Aculeo, región metropolitana Chile. Chile: B - Universidad de Santiago de Chile. Recuperado de: [http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/lib/sibdilibrosp/docDetail.action?docID=10552785&p00=eu trofizaci%C3%B3n](http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/lib/sibdilibrosp/docDetail.action?docID=10552785&p00=eu+trofizaci%C3%B3n)
- Li, Z. M, T. J. van der Kuijp, Z. Yuan, and L. Huang, (2014). “A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment,” *Sci. Total Environ.*, vol. 468–469, pp. 843–853.
- Lide, D. R. (2009). CRC Press Inc, ed. CRC Handbook of Chemistry and Physics (en inglés) (90 edición). p. 2804.
- Loaysa, M. Silva, G. Arce, and A. Casafranca, (2015). “Gestión integral de residuos de bifenilos policlorados - PCB (Aspectos generales y ciclo de vida),” *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. 18, no. 2, pp. 31–39.
- López, A. (2020). *Buenas Prácticas en el Manejo de Productos Químicos en Ambientes Sanitarios*. Ed. Salud Ambiental.
- Lukas, Heinzl, Mayer. (2019). «Biomarkers for capturing disease pathology as molecular process hyperstructure». *bioRxiv* (en inglés): 573402. doi:10.1101/573402. Consultado el 11 de mayo de 2020.
- Malagón, E. (2011). Medio Ambiente y Contaminación. Principios básicos. Retrieved octubre 10, 2020, from <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6>
- Marshall, J., Brooks, R., Lajtha, K. (2007). Sources of variation in the stable isotopic composition of plants. En: *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Ed: Michener, R. & Lajtha, K. Second Edition. BlackwellPublishing, 594 pp.
- Martín, J., Muñoz-García, M. (2015). Estratigrafía de isótopos de oxígeno y la reconstrucción de los cambios climáticos del pasado. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23 (2). (edición electrónica): 2385-3484.
- Mejía, E.; Rosales, F.; Rojas, J., Molina, M. (2006). Atlas de la cuenca Lerma-Chapala construyendo una visión conjunta. México: Instituto Nacional de Ecología. http://www2.inecc.gob.mx/emapas/download/lch_calidad_del_agua.pdf
- Mendes, K, K. Hall, K. Spokas, W. Koskinen, and V. Tornisielo, (2017). “Evaluating agricultural management effects on Alachlor availability: tillage, green manure and biochar,” *Agronomy*, vol. 7, no. 4, p. 64.

- Meza R., R., & Laura Ch., E. (2015). Calidad Bacteriológica de los manantiales del centro de investigación y producción de chucuito (CIPCH) UNA. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Meza R., R., Laura., E. (2015). Calidad Bacteriológica de los manantiales del centro de investigación y producción de chucuito (CIPCH) UNA. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Misic, C., Gaozza, L., Petrillo, M., Covazzi Harriague, A. (2016). The allochthonous material input in the trophodynamic system of the shelf sediments of the Gulf of Tigullio (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Marine Environmental Research* 120: 9-19.
- Mitchell, M; Stapp, W; Bixby, K. (1991). Manual de campo de Proyecto del Río: una guía para monitorear la calidad del agua en el Río Bravo. Segunda edición. Proyecto del Río. New México, USA. 200p.
- Montero y Martínez (2014). Composición físico-química de aguas ácidas procedentes de dos minas de carbón: lobatera, Estado Táchira, Venezuela. *Revista de la facultad de ingeniería universidad central de Venezuela*.
- Mook, (2000). Environmental isotopes in the hydrological cycle; Principles and applications. 6 Volumes. IAEA UNESCO, Paris.
- Moreno, M. T., Rodríguez-Amaro, J. M. Rodríguez Mellado, M. Mayén, and F. Jiménez Guardado, (2018). "Imidazolinone and triazine herbicides in soils in relation to the complexes formed with Cu (II) ions," *Comptes Rendus Chim.*, vol. 21, no. 9, pp. 884–889.
- Nabulo, G., H. Oryem Origa, G. W. Nasinyama, D. Cole, (2008). "Assessment of Zn, Cu, Pb and Ni Contamination in Wetland Soils and Plants in the Lake Victoria Basin", *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, vol. 5, núm. 1, 2008, págs. 65-74.
- OCDE (2012). Agriculture and Water Quality: Monetary Costs and Benefits across OECD Countries. Disponible en <http://bcn.cl/1y4iw> (Noviembre 2016)
- Oficina Nacional de Estadística. (2022). Censo Nacional de Estadística XI.
- Olney, John W. (2002) "New Insights and New Issues in Developmental Neurotoxicology". *NeuroToxicology*, 23 (6): 659-68.
- Organización de las Naciones Unidas, ONU, (2002). El agua fuente de Vida 2005-2025: Decenio Internacional para la Acción. Observación General N° 15: El Derecho Humano al Agua.

- Organización Mundial de la Salud (2016). Agua. Nota descriptiva N° 391. Disponible en <http://bcn.cl/1yg7j>
- Organización Mundial de la Salud (Junio de 2015). Agua. Nota descriptiva N° 391. Disponible en <http://bcn.cl/1yg7j> (Noviembre 2016)
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2008). Aspectos microbiológicos. Guías para la calidad del agua potable, 3ra ed.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2015). Nota descriptiva N° 379, Intoxicación por plomo, Agosto, 2015 (online) <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). *Regulación Sanitaria para el Manejo de Aguas Residuales y Residuos Sólidos*.
- Pérez, A. & Rodríguez, A. (2009). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. Costa Rica: B - Universidad de Costa Rica. Recuperado de: <http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/lib/sibdilibrosp/docDetail.action?docID=10327546&p00=de manda%20 quimica%20 ox%C3%ADgeno>
- Pérez, F. & Martínez, J. (2019). *Manual de Procedimientos para el Manejo de Residuos Sólidos y Líquidos*. Ed. Ecología y Gestión.
- Petracchi, F (2015). Actualización sobre agentes teratógenos
- Podgorski, J., Berg, M. (2020). Global threat of arsenic in groundwater. *Science*, 368(6493), 845-850.
- Pot, P. Benoit, M. Le Menn, O. M. Eklo, T. Sveistrup, and J. Kværner, (2011). “Metribuzin transport in undisturbed soil cores under controlled water potential conditions: experiments and modelling to evaluate the risk of leaching in a sandy loam soil profile,” *Pest Manag. Sci.*, vol. 67, no. 4, pp. 397– 407.
- Regalado, V. M. (2014). *Química General*. Grupo Editorial Patria. ISBN 9786077440086. Consultado el 9 de febrero de 2018.
- Remeikaite-Nikien, N., Lujanien, G., Malejevas, V., Barisevici, R., Zilius, M., Garnaga-Budr, G., Stankevicius, A. (2016). Distribution and sources of organic matter in sediments of the south-eastern Baltic Sea, *Journal of Marine Systems*, doi: 10.1016/j.jmarsys.2015.12.011
- Ren, C., Zhang, Q., Wang, H., & Wang, Y. (2021). Identification of Sources and Transformations of Nitrate in the Intense Human Activity Region of North China

Using a Multi-Isotope and Bayesian Model. *International Journal of Environ. Res. Public Health*, 18, 8642. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168642>.

Rincón, (2017). La mejorada villa de Cotoy.

Risk, M.J., Lapointe, B.E., Sherwood, O.A., Bedford, B.J. (2009). The use of $\delta^{15}\text{N}$ in assessing sewage stress on coral reefs. *Marine Pollution Bulletin* 58: 793–802

Ritter L; Solomon KR; Forget J; Stemeroff M; O'Leary C. (2007). « Persistent organic pollutants ». United Nations Environment Programme.

Rodríguez, Chávez y Torrejón (2014). Mercurio en pescados y su importancia en la salud. Recursos hídricos y contaminación del agua (Chile).

Rovira Fernández, M., Casas Sabata, J., & Soler Gil, A. (23 de 04 de 2008). raco.cat. Obtenido de Empleo de isótopos ambientales para discernir la contaminación salina de la cuenca del río Llobregat: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/282288/370160>

Rumolo, P., Barra, M., Gherardi, S., Marsella, E., Sprovieri, M. (2011). Stable isotopes and C/N ratios in marine sediments as a tool for discriminating anthropogenic impact. *Journal of Environmental Monitoring* 13: 3399-3408

Sánchez, L. (2011). Isótopos Estables de Oxígeno y Carbono en Foraminíferos del Margen Continental de Magdalena, B.C.S. México.

Sánchez-Cabeza, J.A. & Druffel, E.R.M. (2009). Environmental records of anthropogenic impacts on coastal ecosystems: An introduction. *Marine Pollution Bulletin* 59: 87–90

Sánchez-Cabeza, J.A., Díaz-Asencio, M., Ruíz-Fernández, A.C. (2012). Radiocronología de sedimentos costeros utilizando ^{210}Pb : modelos, validación y aplicaciones. OIEA, Viena STI/PUB/1538 ISBN 978–92–0–325210–2. 105 pp.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Guía de Evaluación de Impacto Ambiental en México*. SEMARNAT.

Seiler, K. y Gat, J., (2007). Groundwater Recharge from Run-off, Infiltration and Percolation. Springer.

Senderos, D. (2018). El ciclo integral del agua, una asignatura pendiente. ETHIC. España. <https://ethic.es/2018/11/ciclo-integral-agua/>

Shappell, (2006). “Estrogenic activity in the environment: municipal wastewater effluent, river, ponds, and wetlands,” *J. Environ. Qual.*, vol. 35, no. 1, p. 122,

- Sharp, Z. (2017). *Principles of Stable Isotope Geochemistry* (2nd ed.). Routledge.
- Singh, S. M. Prasad, J. A. (2015). "Remediation of heavy metal contaminated ecosystem: an overview on technology advancement," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 1, pp. 353–366.
- Soto R., Y. (2013). Calidad bacteriológica de agua de pozo y agua potable utilizada en los mercados de la ciudad de Puno. Puno.: Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Spano, S., Belem, A.L., Doria, R.N., do Rosário Zucchi, M., de Souza, J.R.B., Costa, A.B. & de Azevedo, A.E.G. (2014). Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter of Nova Viçosa–Caravelas estuarine complex, southern Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 44: 13-21.
- Sprague, C. (2015), Michigan State University. Preharvest herbicide applications are an important part of direct-harvest dry bean production.
- Sulzman, E.W. (2007). Stable isotope chemistry and measurement: a primer. En: *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Ed: Michener, R. & Lajtha, K. Second Edition. Blackwell Publishing, 594 pp.
- Tamayo, M. (2009). El proceso de la investigación científica. México: Limusa.
- Tambo, R. (2015). Propuesta de un Índice de Calidad de Agua como Herramienta de Gestión. Bogotá. Colombia. 2015.
- Thomas, A. (2012). Global Change Research Program (USGCRP): thirteen agencies, one vision. Washington, DC: USGCRP White House Office of Science and Technology Policy.
- Torres, P., Cruz, C., Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano una revisión crítica. *Revista Ingenierías.*, 79-94.
- Torres, R. Mosteo, C. Pétrier, C. Pulgarin, (2009). "Experimental design approach to the optimization of ultrasonic degradation of alachlor and enhancement of treated water biodegradability," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 16, no. 3, pp. 425–430.
- Torres-Martínez, J. A., Abraham, M., Jürgen, M., Daesslé, L.W., Cervantes-Avilés, P.A., & Ledesma-Ruiz R. (2021). 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*. Volume 269.

- Tunney, P. Csathó, Ehlert, P. (2003). "Approaches to calculating P balance at the field-scale in Europe," *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, vol. 166, no. 4, pp. 438–446.
- Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO). (2022). Estatuto Orgánico. Serie institucional.
- Vaalgamaa, S., Sonninen, E., Korhola, A. & Weckström, K. (2013). Identifying recent sources of organic matter enrichment and eutrophication trends at coastal sites using stable nitrogen and carbon isotope ratios in sediment cores. *Journal of paleolimnology* 50: 191-206.
- Valla, J. (2011). *Morfología de las plantas superiores*. Buenos Aires: Hemisferio Sur.
- van der Pol, E. Vaessen, R. Weusthuis, and G. Eggink, (2016). "Identifying inhibitory effects of lignocellulosic by-products on growth of lactic acid producing micro-organisms using a rapid small-scale screening method," *Bioresour. Technol.*, vol. 209, pp. 297–304, 2016.
- Vilca, K. (2011). *Calidad bacteriológica y físico química del agua de consumo humano en la localidad de Vilque*. Puno.: Universidad Nacional del Altiplano.
- Walker, M. (2005). *Quaternary dating methods*. Ed: John Wiley and Sons. 304 pp.
- Wells, N. M., & Evans, G. W. (2010). Nearby nature: A buffer of life stress among rural children. *Environment and Behavior*.
- Withers, J. J. Elser, J. Hilton, H. Ohtake, W. J. Schipper, and K. C. Van Dijk, (2015). "Greening the global phosphorus cycle: How green chemistry can help achieve planetary P sustainability," *Green Chem.*, vol. 17, no. 4, pp. 2087–2099.
- Yamanaka, T., et al. (2022): "Environmental isotopes in hydrology and hydrochemistry: A review of applications in water quality assessment".
- Yogendra, K., & Puttaiah, E. (2008). *Determination of water quality index and sustainability of an urban waterbody in Shimoga Town, Karnataka, India.*: Ministry of Environment and Forests, Government of India.
- Zhao, Z. (2015). *A Global Assessment of Nitrate Contamination in Groundwater*. International Groundwater Resources Assessment Centre. Internship report.
- Zumbado H. (2005). *Análisis químicos de los alimentos, métodos clásicos*. Instituto de farmacias y alimentos. Universidad de la habana. 434 P.

ANEXOS

Anexo 1.

REPÚBLICA DOMINICANA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales
Escuela de Agropecuaria



Título: “Isótopos Ambientales Para La Evaluación De Las Fuentes De Contaminación Causadas Por La Actividad Agrícola-Enfoque: Calidad De Aguas En La Finca Experimental El Vivero.”

Integrantes: Domingo José Velásquez, Esther Cruz Ruiz, Félix Santiago Amparo García, Juan Carlos Paulino Sánchez, Miguel Ángel Sánchez Bautista, Rafy José Leocadio García y Ramón Mercedes Capellán Ovalle.

Asesora: Ing. Leocadia Sánchez Martínez

Dirigido: Encargado de la Finca Experimental, Decanos, Coordinadores de carrera de la Universidad, Ministerios de Agricultura, Medio Ambiente y Recursos Naturales y organismos descentralizados.

1. Información General:

a) ¿Cuál es su género?

- ☐ Masculino
- ☐ Femenino

b) ¿En qué rango de edad se encuentra?

- ☐ Menos de 18 años
- ☐ 18-30 años
- ☐ 31-50 años
- ☐ Más de 50 años

c) ¿Cuál es su ocupación principal?

- ☐ Agricultor
- ☐ Estudiante
- ☐ Empleado
- ☐ Otro (especificar)

2. Experiencia en la Finca Experimental de la UTECO:

a) ¿Cuánto tiempo ha estado usted involucrado en actividades agrícolas en la Finca 2 de la UTECO?

- ☐ Menos de 1 año
- ☐ 1-5 años
- ☐ Más de 5 años

b) ¿Ha notado algún cambio en la calidad del agua en la Finca 2 en los últimos años?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ No estoy seguro

3. Evaluación de la Calidad del Agua:

a) En una escala del 1 al 5, donde 1 es muy mala y 5 es excelente, ¿cómo calificaría usted la calidad del agua de las fuentes superficiales en la Finca Experimental?

- ☐ 1 (Muy mala)
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5 (Excelente)

b) ¿Ha experimentado usted algún problema de salud relacionado con el consumo o contacto con el agua de la Finca Experimental?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ No estoy seguro

4. Identificación de Contaminantes:

a) ¿Cree usted que existen contaminantes químicos en el agua de la Finca Experimental?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ No estoy seguro

b) ¿Cuál de las siguientes actividades agrícolas cree usted que podría estar relacionada con la contaminación del agua en la finca? (Seleccionar todas las que correspondan)

- ☐ Uso de pesticidas
- ☐ Uso de fertilizantes
- ☐ Uso de herbicidas
- ☐ Riego con aguas residuales
- ☐ Otras actividades agrícolas (especificar)

5. Comparación con Estándares de Calidad:

a) ¿Está usted familiarizado con los estándares de calidad de agua establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ No estoy seguro

b) En su opinión, ¿cómo se comparan los resultados del análisis del agua de la Finca Experimental con estos estándares?

- ☐ Cumplen con los estándares
- ☐ No cumplen con los estándares
- ☐ No estoy seguro

6. Opiniones y Sugerencias:

a) ¿Tiene alguna sugerencia para mejorar la calidad del agua en la Finca Experimental?

- ☐ Sí
- ☐ No

b) ¿Cuál de las siguientes medidas considera usted que deberían tomarse para reducir la contaminación del agua en la finca Experimental? (Seleccionar todas las que correspondan)

- ☐ Implementar prácticas agrícolas sostenibles
- ☐ Mejorar el manejo de residuos agrícolas
- ☐ Establecer zonas de protección de cuerpos de agua
- ☐ Fomentar la educación ambiental entre los encargados y trabajadores
- ☐ Otras medidas (especificar)