



INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS


SUBGERENCIA AMBIENTE, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

UEN GESTIÓN AMBIENTAL

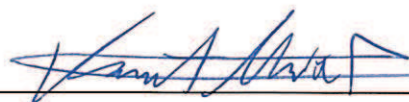
ÁREA FUNCIONAL CUENCAS HIDROGRÁFICAS

**“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL CON ENFOQUE DE CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIESGO QUE REPRESENTA EL POLIDUCTO DE RECOPE PARA LOS SITIOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO”**

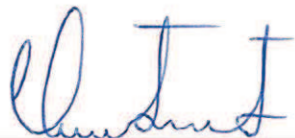
Elaborado por:

  
Director: Ing. Moisés Bermúdez García

  
Geóg. Sandra Alfaro Trejos

  
Geóg. Kenneth Masís Núñez



  
Geóg. Oscar Jiménez Jaén

Setiembre 2019



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
Centro de Documentación e Información  
UEN Investigación y Desarrollo



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,  
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN EL  
REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, **Eric Alonso Bogantes Cabezas**

---

---

N° Cédula: 5-251-0327

---

Dependencia: **Gerencia General**

---

Autorizo como Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital y Catálogo en línea (OPAC).

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

E-mail: [gerenciageneral@aya.go.cr](mailto:gerenciageneral@aya.go.cr) N° Teléfono: 2242-5090



Firmado digitalmente  
por ERIC ALONSO  
BOGANTES CABEZAS  
(FIRMA)  
Fecha: 2021.06.16  
17:21:24 -06'00'

Firma: \_\_\_\_\_

## Tabla de contenido

<b>1. Título .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>3. Antecedentes y datos generales .....</b>	<b>1</b>
<b>4. Objetivo general.....</b>	<b>2</b>
<b>4.1 Objetivos específicos .....</b>	<b>2</b>
<b>5. Metodología.....</b>	<b>2</b>
<b>6. Resultados .....</b>	<b>6</b>
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>8</b>
<b>8. Recomendaciones .....</b>	<b>9</b>
<b>9. Anexos .....</b>	<b>9</b>

## 1. Título

“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL CON ENFOQUE DE CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIESGO QUE REPRESENTA EL POLIDUCTO DE RECOPE PARA LOS SITIOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO”

## 2. Introducción

Ante la ausencia de un procedimiento institucional sobre amenazas antrópicas (en este caso el poliducto de RECOPE), que puedan afectar la calidad y cantidad del recurso hídrico de los sistemas de abastecimiento, tanto en su infraestructura como en las áreas de recarga en donde se produce el agua captada para consumo poblacional, se presenta el siguiente trabajo.

Ante los recientes eventos de derrame de hidrocarburos del poliducto que han afectado a distinto nivel los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, el Área Funcional de Cuencas Hidrográficas se dio a la tarea de desarrollar una propuesta metodológica con el fin de lograr diagnosticar y analizar el nivel de riesgo que representa actualmente la infraestructura del poliducto de RECOPE, en relación con las fuentes y sistemas de abastecimiento de agua potable para el consumo humano en todo el país.

## 3. Antecedentes y datos generales

Ante una emergencia por derrame de hidrocarburo que se dio en la cuenca del Río Siquirres a principios del mes de Julio del 2019, producto de la cual se tuvo que sacar de operación el sistema de abastecimiento del AyA y la ASADA de Moravia y El Coco, debido a que el hidrocarburo llegó a la captación del Río Siquirres y a la naciente de la ASADA; se generó de forma inmediata la intervención de la UEN de Gestión Ambiental del AyA realizando un análisis de los sitios de aprovechamiento de aguas y sus áreas de recarga, en las cuencas hidrológicas donde se encuentran.

El Área Funcional de Cuencas Hidrográficas procede a: realizar un levantamiento de campo de la zona afectada en el marco de la cuenca hidrográfica, integrar por medio de un SIG la información existente en bases de datos sobre sitios de aprovechamiento de agua para consumo humano y solicitar oficialmente e incorporar el trazado del poliducto de RECOPE, todo con el objetivo de espacializar e integrar en el análisis general, el enfoque de Cuenca Hidrográfica.

Debido a que se activó la alerta por la existencia de esta amenaza antrópica (Poliducto) y la posibilidad de la ocurrencia de eventos de naturaleza similar recurrentes en la zona, se recibe la solicitud de RECOPE para obtener información referente al recurso hídrico para consumo humano, asociada al poliducto, para así poder ellos incorporarla en sus protocolos de acción ante emergencias por derrames. Con el objetivo de cumplir con dicha solicitud y que la información aportada sirva para el objetivo planteado por RECOPE, es que el Área Funcional de Cuencas decidió elaborar la presente metodología y análisis de resultados (aplicación), mediante la cual se podrá determinar y analizar de forma técnico-científica, los distintos niveles de riesgo que representa la ubicación espacial del Poliducto, con relación a los sitios de captación para el abastecimiento de agua para consumo de las poblaciones.

## 4. Objetivo general

Elaborar y aplicar una propuesta metodológica para el análisis espacial con enfoque de cuenca hidrográfica, que permita determinar los distintos niveles de riesgo que representa el poliducto de RECOPE en relación con la ubicación de los aprovechamientos de agua para consumo humano.

### 4.1 Objetivos específicos

- Identificar y espacializar los sitios de aprovechamiento de agua para consumo humano que puedan verse afectados ante la amenaza por derrame de hidrocarburos del poliducto, en un área de influencia de hasta 5km.
- Determinar el nivel de vulnerabilidad de los aprovechamientos identificados, a partir de un análisis multivariable.
- Determinar y categorizar espacialmente los niveles de riesgo del poliducto a lo largo de todo su trazado, con el objetivo de facilitar su gestión, según corresponda.

## 5. Metodología

En este acápite, se describirán las variables a partir de las cuales se realiza el análisis espacial para la determinación de los niveles de riesgo potenciales del poliducto. Se utilizará la sumatoria de los caudales<sup>1</sup> de los aprovechamientos considerados, como un elemento transversal a cada una de las variables a analizar, ya que este se considera un indicador que relaciona directamente la población que podría ser afectada, en los distintos niveles de riesgo que se determinen. Las variables propuestas son:

1. Análisis de proximidad de los aprovechamientos para consumo humano con relación al poliducto.
2. Determinación de los potenciales niveles de afectación de los aprovechamientos a partir de su ubicación, con relación al poliducto y a las líneas de flujo superficiales de la cuenca hidrográfica asociada, según corresponda aguas arriba o agua abajo.
3. Análisis del riesgo de acuerdo con el tipo de aprovechamiento (superficial, subterráneo y subsuperficial).

Se considerará en el marco de esta metodología, que la ubicación de los aprovechamientos de tipo superficial que se encuentren aguas abajo del poliducto (independientemente de su caudal), debe ser considerados un elemento que incrementa en un nivel, el riesgo determinado a partir de la escala propuesta en esta metodología.

---

<sup>1</sup> Caudal (Q) es la cantidad de agua que circula a través de una sección, por unidad de tiempo. En este caso es medida en litros por segundo.

Previo a realizar el análisis de la primera variable descrita, debe conformarse un sistema de información geográfica con datos existentes, asociados al recurso hídrico:

- Aprovechamientos de agua para consumo humano: Gracias al trabajo realizado de forma previa por parte del Área Funcional de Cuencas Hidrográficas, el cual desarrolló mediante 3 proyectos de importancia estratégica la identificación y ubicación de los sitios de aprovechamiento de agua para consumo poblacional de todo el país. Esto se realizó mediante la georreferenciación y sistematización de cada uno de esos sitios de aprovechamiento de agua, por ente operador. Los 3 proyectos corresponden a:
  - 1) Georreferenciación de los aprovechamientos y sistemas del AyA (2016 -2019).
  - 2) Georreferenciación de los aprovechamientos de las ASADAS y Comités de agua (2009 – 2013).
  - 3) Georreferenciación de los aprovechamientos de los Acueductos Municipales (2014 -2015).
- Red hídrica, curvas de nivel y cuencas hidrográficas, que son insumos obtenidos a partir de las hojas cartográficas a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional.
- Trazado del poliducto, el cual fue solicitado de forma oficial a RECOPE.

Una vez conformado el SIG, se genera un escenario donde se mezclan las cuencas hidrográficas con el poliducto que las atraviesa, dando como resultado el poliducto dividido en trectos, en donde cada uno de ellos se corresponde con el área de la cuenca hidrográfica que es atravesada por este.

Con respecto a la amenaza (poliducto), esta se consideró como una variable constante, debido a que el AyA no cuenta con datos adicionales a éste, tales como: infraestructura asociada, si el poliducto va superficial o subterráneo, tipo de operación del sistema, volumen de transporte, tipos de combustible, sitios donde se tiene registros de mayor vandalismo, entre otros.

### **5.1 Análisis de proximidad de los aprovechamientos para consumo humano con relación al poliducto**

A partir del trazado del poliducto de RECOPE, se generan tres rangos de distancia:

- a) De 0 a 1 km
- b) Entre 1 km y 3 km
- c) Entre 3 km y 5 km

Una vez que se tienen definidos los rangos de distancias, se procede a identificar los sitios de aprovechamiento de agua para consumo humano incluidos en cada uno y a sumar sus caudales (Tabla 1).

**Tabla 1: Sumatoria de caudales de agua para consumo humano por rangos de distancia para todo el poliducto**

<b>Distancia</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
0 - 1 km	4.801,68
1 - 3 km	2.931,76
3 - 5 km	2.244,82
<b>Total</b>	<b>9.978,26</b>

Fuente: AF Cuencas Hidrográficas

Al rango de distancia que tenga mayor caudal por tracto, se le asigna el valor de vulnerabilidad correspondiente a ese rango, según se muestra en la tabla 2:

**Tabla 2: Nivel de vulnerabilidad estandarizado de acuerdo con la sumatoria ( $\Sigma$ ) del caudal (Q) por rango de distancia**

$\Sigma$ Q: Entre 0 y 1 km			<b>3</b>
$\Sigma$ Q: Entre 1 km y 3 km		<b>2</b>	
$\Sigma$ Q: Entre 3 km y 5 km	<b>1</b>		
<b>Nivel de vulnerabilidad</b>	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>

Fuente: Elaborado por AF Cuencas Hidrográficas

## 5.2 Determinación de los potenciales niveles de afectación de los aprovechamientos a partir de su ubicación, con relación al poliducto y a las líneas de flujo superficiales de la cuenca hidrográfica asociada según corresponda, aguas arriba o agua abajo.

Los sitios de aprovechamiento de agua para consumo humano y el caudal que representan, se analizan en función de la dirección de las líneas de flujo superficiales de las cuencas hidrográficas que los contienen y su ubicación con relación al trazado del poliducto, teniendo como resultado dos posibilidades:

- a) Aguas arriba
- b) Aguas abajo

La valoración de esta variable se realiza con base en la escala que se muestra en la tabla 3:

**Tabla 3: Nivel de vulnerabilidad estandarizado a partir de la ubicación de los aprovechamientos y la sumatoria ( $\Sigma$ ) de su caudal (Q), con relación al poliducto y a las líneas de flujo superficial de las cuencas hidrográficas**

$\Sigma$ Q: Aguas abajo		3
$\Sigma$ Q: Aguas arriba	1	
<b>Nivel de vulnerabilidad</b>	<b>Baja</b>	<b>Alta</b>

Fuente: Elaborado por AF Cuencas Hidrográficas

### 5.3 Análisis del riesgo de acuerdo con el tipo de aprovechamiento (superficial, subterráneo y subsuperficial).

Se considera el tipo de aprovechamiento (superficial, subsuperficial y subterráneo) para definir el grado de vulnerabilidad. El de tipo superficial se considera más vulnerable, el subsuperficial un nivel medio y el subterráneo de baja vulnerabilidad, considerando su grado de inmediatez y exposición al agente contaminante.

Se realiza la sumatoria del caudal para cada tipo de aprovechamiento y se le asigna el nivel de vulnerabilidad que posea mayor caudal, según se muestra en la tabla 4:

**Tabla 4: Nivel de vulnerabilidad estandarizado de acuerdo con la sumatoria ( $\Sigma$ ) del caudal (Q) por tipo de aprovechamiento**

$\Sigma$ Q: Superficial			3
$\Sigma$ Q: Subsuperficial		2	
$\Sigma$ Q: Subterráneo	1		
<b>Nivel de vulnerabilidad</b>	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>

Fuente: Elaborado por AF Cuencas Hidrográficas

### 5.4 Asignación del nivel de riesgo del poliducto por tracto

Una vez obtenidos los valores estandarizados para cada una de las 3 variables anteriormente descritas por tracto, se procede a realizar una sumatoria de estas. Con el resultado obtenido, se define una escala de niveles de riesgo en donde, si la sumatoria da entre 3 y 4 se considera un riesgo bajo, si el resultado de la sumatoria da 5 o 6 el riesgo es medio, si el resultado se encuentra entre 7 y 8 el riesgo será alto, y si el resultado es 9 el riesgo será extremo. A cada uno de estos niveles de riesgo que se corresponde con los tractos del poliducto, se le asigna una escala de color como se muestra en la tabla 5:

**Tabla 5: Niveles de riesgo del poliducto de RECOPE para los sitios de aprovechamiento de agua para consumo humano**

Niveles de riesgo	Bajo	Medio	Alto	Extremo
Sumatoria de las variables	Menor a 5	Entre 5 y 6	Entre 7 y 8	9

Fuente: Elaborado por AF Cuencas Hidrográficas

El resultado final obtenido por cada variable, así como el nivel de riesgo obtenido por tracto para todo el poliducto, se consigna en una base de datos y en un sistema de información geográfica.

## 6. Resultados

1. Utilizando el insumo de RECOPE (Shapefile especializado del poliducto) se definió un área de estudio dentro de la cual se identificaron 39 Cuencas Hidrográficas que lo atraviesan. Estas cuencas están divididas en 45 tractos, los cuales contienen un total de 665 sitios de aprovechamiento de agua para consumo humano; teniendo como promedio 17 aprovechamientos por cuenca.
2. Los sitios de aprovechamiento se clasificaron según la metodología, por rangos de distancia y por ente operador. El total de aprovechamientos se resumen en la tabla 6:

**Tabla 6: Aprovechamientos de agua para consumo humano asociados, según distancia al poliducto de RECOPE por tipo de operador**

Distancia	AyA	ASADA	Municipalidad	Total
0 - 1 km	28	49	96	173
1 - 3 km	57	147	96	300
3 - 5 km	37	122	33	192
<b>Total</b>	<b>122</b>	<b>318</b>	<b>225</b>	<b>665</b>

Fuente: Elaborado por AF Cuencas Hidrográficas

3. Cada uno de los aprovechamientos identificados (665) cuenta con una base de datos que incluye información sobre: Ente operador, caudal, población abastecida, tipo de aprovechamiento, ubicación por coordenadas, entre otra.
4. En el área de estudio definida, se determinó un caudal aprovechado para consumo humano total de 9,96 metros cúbicos por segundo, distribuido a lo largo de los 260 kilómetros de poliducto analizados, que atraviesan el país de este a oeste. Se estima que, según el caudal calculado para el total de aprovechamientos identificados, se benefician un aproximado superior a los 2,5 millones

de personas, las cuales, de acuerdo con la ubicación del poliducto, se encuentran amenazadas según los distintos niveles de riesgo determinados.

- Se determinó a nivel cantonal un total de 606 aprovechamientos existentes según ente operador, para los 23 cantones que son atravesados por el poliducto. Los resultados se presentan en la tabla 7:

**Tabla 7: Total de aprovechamientos ubicados en el rango de distancia de 5km, en los cantones atravesados por el poliducto**

Cantón	N° de aprovechamientos por ente operador			Total
	AyA	ASADAS	Municipalidades	
Paraíso	0	3	13	16
Montes de Oca	0	1	0	1
Moravia	1	0	0	1
Goicoechea	2	0	0	2
Belén	9	0	11	20
Jimenez	0	34	6	40
La Unión	5	0	10	15
Orotina	6	9	0	15
Heredia	8	0	0	8
Cartago	0	10	16	26
Turrubares	5	6	0	11
Alvarado	0	6	31	37
Oreamuno	0	6	29	35
Santo Domingo	7	0	10	17
Puntarenas	6	9	0	15
Atenas	9	25	0	34
San Mateo	5	5	0	10
Esparza	22	18	0	40
Limón	1	4	0	5
Alajuela	7	11	37	55
Matina	3	11	0	14
Siquirres	2	23	0	25
Turrialba	0	131	33	164
<b>Total</b>	<b>98</b>	<b>312</b>	<b>185</b>	<b>606 *</b>

Fuente: Elaborado por AF Cuencas Hidrográficas

\* Aprovechamientos que se ubican en los cantones que son atravesados por el poliducto, y no en el total del área de estudio (esta última determinada por el rango de distancia de 5 km).

6. El producto final de la aplicación de la metodología es una valoración de los distintos niveles del riesgo que representa el poliducto, por tracto, a lo largo de sus 260 kilómetros de extensión. En total se obtuvieron 45 tractos, cada uno de ellos asociado a la cuenca hidrográfica donde se ubica (ver en Anexo 1 Mapa N°1). En la tabla 8, se presenta un resumen del número de tractos de acuerdo con el nivel de riesgo y la cantidad de aprovechamientos.

**Tabla 8: Nivel de riesgo del poliducto por tracto y su extensión (km)**

Nivel de riesgo	Bajo	Medio	Alto	Extremo
Número de tractos	6	26	12	1
Extensión (kilómetros)	36,87	167,55	53,15	8,16

Fuente: Elaborado por AF Cuencas Hidrográficas

7. El análisis que permite identificar los niveles de riesgo que representa el poliducto con relación a los aprovechamientos de agua para consumo humano se puede visualizar a escala cantonal. Esta opción se muestra de forma gráfica en el Mapa N°2 presentado en el Anexo N°2. Este producto es un insumo fundamental para tener en cuenta por parte de los Comités Cantonales de Emergencias, para la incorporación en los planes de gestión del riesgo a este nivel.

## 7. Conclusiones

- La presente metodología se elaboró en el marco del análisis de una emergencia por derrame de hidrocarburo y su afectación a sitios de aprovechamiento de agua para consumo humano.
- Esta propuesta se considera un ejercicio metodológico pionero a nivel institucional en este tema, que cuenta con una base científico-técnica útil como insumo para la toma de decisiones a nivel técnico y político, tanto internas como hacia afuera de la institución.
- La utilización del enfoque de cuenca hidrográfica como unidad de análisis espacial, por un lado, sustenta la selección de las variables para la determinación y valoración de la vulnerabilidad. Por otro, se convierte en un escenario de planificación territorial para la mitigación del riesgo determinado para su gestión a nivel cantonal.
- El riesgo que representa el poliducto en la presente metodología se determinó a partir de la interacción entre este (amenaza) y la ubicación y caudal de los aprovechamientos de agua para consumo humano (vulnerabilidad). Los resultados obtenidos metodológicamente son congruentes con las experiencias que se conocen sobre accidentes (derrames) ocurridos, a pesar de las limitaciones que representó considerar la amenaza como un valor constante.

## 8. Recomendaciones

- Se considera oportuno que la presente metodología, luego de su aval a nivel de la Administración Superior, se socialice y discutida con los operadores de los sistemas que pueden ser afectados, tanto a nivel interno (AyA) como externos (ASADAS y Acueductos Municipales), con el objetivo de enriquecer sus contenidos y que estos sean incluidos en sus protocolos de atención y gestión del riesgo (PSA, entre otros).
- Se traslade esta información oficialmente a RECOPE, la CNE y las Municipalidades con posibles afectaciones, así como socializarla a estos actores clave, con el fin de que sea incorporada dentro de sus planes y protocolos de gestión del riesgo.
- A la Administración Superior, que operativice la presente metodología y sus resultados a nivel institucional e interinstitucional, a través de las instancias correspondientes (UEN Investigación y Desarrollo).
- Como parte de la operativización de la metodología y sus resultados, se considera necesario profundizar y detallar sobre los trectos donde se determinaron riesgo altos y extremos, con énfasis en los aprovechamientos de tipo subterráneo, ya que el posible impacto de hidrocarburos sobre los mismos podría depender de algunas características hidrológicas e hidrogeológicas que no fueron consideradas en este trabajo.

## 9. Anexos

1. Mapa N° 1. Determinación del riesgo del poliducto de RECOPE y los aprovechamientos de agua para consumo humano.



2. Mapa N° 2. Cantón de Siquirres. Determinación del riesgo del poliducto de RECOPE y los aprovechamientos de agua para consumo humano.

