	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (Senara)		
	Dirección de Investigación y Gestión Hídrica	Fecha	Julio 2018
	Procedimiento para el análisis de la amenaza de los hidrocarburos en la matriz genérica de protección de acuíferos.	Página	1
		Versión	01

Elaboró	Participaron	Autorizó
Geol. Roberto Ramírez Dirección de Investigación y Gestión Hídrica	Clara Agudelo, Alonso Alfaro, Magdalena Monge, Jonathan Chinchilla, Rafael Matamoros, Marita Alvarado, Michelle Arias.	Roberto Ramírez Director de la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica

PROCEDIMIENTO PARA EL ANALISIS DE LA AMENAZA DE LOS HIDROCARBUROS EN LA MATRIZ GENÉRICA DE PROTECCIÓN DE ACUÍFEROS

En función de la Matriz Genérica de Protección de Acuíferos, aprobada mediante Acuerdo N° 549 7 de la Junta Directiva del SENARA en Sesión Ordinaria N° 721-17, del 11 de setiembre 2017 y publicada en el Alcance No 245 del Diario Oficial La Gaceta No 193 del 12 de octubre de 2017, se elaboró el siguiente procedimiento para resolver los trámites de amenaza de hidrocarburos y utilizando la Guía de la Matriz Genérica de Protección de Acuíferos, tenemos lo siguiente:

1. COMPONENTES DE LOS HIDROCARBUROS:


GASOLINA: La Gasolina Plus 91 o Regular, tiene un octanaje de 91 y se utiliza en motores de vehículos de baja a mediana relación de compresión. La Gasolina Súper es una nueva generación de combustibles, anteriormente se agregaba (MTBE, metil ter butil éter), para mejorar su combustión, sin embargo actualmente se debe agregar etanol. Las Gasolinas (Plus 91 y Súper), de acuerdo a las hojas de seguridad (RECOPE, 2018), tiene la composición indicada en el cuadro 1 (no siendo estos los únicos componentes de las mismas).

Cuadro 1. Componentes de las gasolinas Plus 91 y Súper

Nombre Químico	Número CAS
Gasolina	86290-81-5
Tolueno	108-88-3
Hexano (otros isómeros)	96-14-0
Xileno (o, m, p isómeros)	1330-20-7
Octano (todos los isómeros)	111-65-9
Etanol	64-17-5
1,2,4 Trimetilbenceno	95-63-6
n-Heptano	142-82-5
Pentano	109-66-0
Cumeno	98-82-8
Etilbenceno	100-41-4
Benceno	71-43-2
n-Hexano	110-54-3
Ciclohexano	110-82-7

Numero CAS: Número de identificador para compuestos químicos según la Sociedad Americana de Química.

(Modificado de RECOPE, 2018)

	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (Senara)		
	Dirección de Investigación y Gestión Hídrica	Fecha	Junio 2016
	Procedimiento para el análisis de la amenaza de los hidrocarburos en la matriz genérica de protección de acuíferos.	Página	2
		Versión	01

DIESEL: es un combustible que se utiliza en motores de vehículos principalmente camiones, autobuses, motos estacionarios de plantas eléctricas, motores marinos, quemadores y calderas. La composición se indica en el cuadro 2:

Cuadro 2. Componentes del Diesel

Nombre Químico	Número CAS
Diesel, combustible N°2	68476-34-6
Biodiesel-Ésteres metílicos de ácidos grasos	67762-38-3
Combustible diesel, ramificado y lineal de C9-18	1159170-26-9
n-Nonano	111-84-2
Octano (todos los isómeros)	111-65-9
Hexano (otros isómeros)	96-14-0
Naftaleno	91-20-3
n-Heptano	142-82-5
n-Hexano	110-54-3
Ciclohexano	110-82-7
Benzo[a]pireno (Benzo-alfa-pireno)	50-32-8

Numero CAS: Número de identificador para compuestos químicos según la Sociedad Americana de Química.

(Modificado de RECOPE, 2018)

JET A-1: es un combustible con características de combustión buenas y contenido energético elevado, es utilizado en aviones que tienen motor de turbina, la composición se indica en el cuadro 3:

Cuadro 3. Componentes del combustible JET A-1


Nombre Químico	Número CAS
Keroseno, petróleo, hidrodesulfarizado	64742-81-0
Naftaleno	91-20-3
Etilbenceno	100-41-4

Numero CAS: Número de identificador para compuestos químicos según la Sociedad Americana de Química.

(Modificado de RECOPE, 2018)

BUNKER C (FUEL OIL): Es un combustible que normalmente proviene de la primera etapa del proceso de refinación (destilación atmosférica), viscoso y con alto contenido energético, lo cual lo hace apto para ser usado en calderas, hornos y para las plantas de generación eléctrica. En los procesos de refinación del FUEL OIL se obtienen sub productos como aceites, lubricantes y asfaltos. También es utilizado como combustible en motores marinos.

Es un combustible que está formado por grandes cadenas de hidrocarburos, particularmente alcanos, ciclo alcanos y algunos compuestos aromáticos, tiene un color oscuro y olor característico a azufre. El FUEL OIL se clasifica con números del 1 al 6, para tal clasificación se considera su punto de ebullición, su composición y su viscosidad (RECOPE, 2018).

	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (Senara)		
	Dirección de Investigación y Gestión Hídrica	Fecha	Julio 2018
	Procedimiento para el análisis de la amenaza de los hidrocarburos en la matriz genérica de protección de acuíferos.	Página	3
		Versión	01

2. CALCULO DE LOS PARÁMETROS DE AMENAZA

El Paso 1 es la búsqueda de la toxicidad en organismos acuáticos, acreditados a nivel mundial, y se utiliza el cuadro 4:

Cuadro 4. Toxicidad aguda en organismos acuáticos

criterio	Toxicidad Baja	Toxicidad media	Toxicidad Alta
96 h CL50 (peces)	>10 mg/L	1-10 mg/L	<= 1 mg/L
48 h CE50 (Daphnia)	>10 mg/L	1-10 mg/L	<= 1 mg/L
72 h CI50 (algas)	>10 mg/L	1-10 mg/L	<= 1 mg/L

(Tomado de: SENARA, 2017)

El Paso 2 es la búsqueda de los parámetros de persistencia, también definida por organismos internacionales, según el cuadro 5:

Cuadro 5. Clasificación de persistencia

Medio	Vida media, T1/2 (días)		
	No persistente	Medianamente persistente	Muy persistente
Agua, suelo y sedimento	< 50	50-180	> 180

(Tomado de: SENARA, 2017)

El Paso 3, es la movilidad, que se asignará dependiendo del Koc definido como la repartición entre materia orgánica y agua o afinidad que el compuesto tiene para la materia orgánica, según el cuadro 6:

Cuadro 6. Clasificación de movilidad

Movilidad	Alta	Media	Baja
Koc	1-151	152-1986	1987-2020971 o >
Log Koc	0-2,17	2,18-3,29	> 3,298


(Modificado de Fetter, 2001)

Una vez realizada la búsqueda de las características de Toxicidad, Persistencia y Movilidad, se clasifican los compuestos en función de las tablas anteriormente citadas.

3. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA

3.1 Amenaza de las Gasolinas (Plus 91 y Súper) y el Diesel

Para el caso específico de las Gasolinas (Plus 91 y Súper) y el Diesel, se indica en el cuadro 7 los valores de toxicidad, persistencia y movilidad por compuesto, con los cuales posteriormente se evaluó la amenaza:

	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (Senara)		
	Dirección de Investigación y Gestión Hídrica	Fecha	Junio 2016
	Procedimiento para el análisis de la amenaza de los hidrocarburos en la matriz genérica de protección de acuíferos.	Página	4
		Versión	01

Cuadro 7. Toxicidad, persistencia y movilidad de los compuestos de las Gasolinas y el Diesel

Hidrocarburo	Compuestos	Toxicidad mg/L	Persistencia en días	Movilidad Koc
Gasolina Plus 91 y Súper	Benceno	22,0	10,3	97
	Tolueno	34,0	2,0	242
	Etilbenceno	4,2	8,0	622
	Xileno (o,p,m)	8,5	23,0	363
Diesel	Diesel	6,4	126	44,72

Toxicidad para (96h CL50 peces), (48h CE50 Daphnia) y (72h CL50 algas mg/l) RECOPE (2018), Fetter (2001), Santiago Alonso Cardona Gallo (2007).

Evaluando los valores del cuadro anterior con base a la clasificación de la amenaza por toxicidad según la persistencia y movilidad indicada en la guía de Aplicación de la Matriz Genérica de Protección de Acuíferos, se obtiene la definición de la amenaza por compuesto para el caso específico de la Gasolina – Diesel (cuadro 8):

Cuadro 8. Clasificación de la amenaza por toxicidad según la persistencia y movilidad de los compuestos de las Gasolinas y el Diesel

Compuesto	toxicidad		Persistencia		Movilidad		Amenaza	
	Grado	Peso Asignado	Grado	Peso Asignado	Grado	Peso Asignado	Peso Total	Grado
Benceno	Baja	0,6	Baja	0,3	Alta	1	1,9	Baja
Tolueno	Baja	0,6	Baja	0,3	Media	0,7	1,6	Baja
Etilbenceno	Media	1,2	Baja	0,3	Media	0,7	2,2	Baja
Xileno (o,p,m)	Media	1,2	Baja	0,3	Media	0,7	2,2	Baja
DIESEL	Media	1,2	Media	0,7	Alta	1,0	2,9	Media


Del cuadro 8 se aprecia que el valor de amenaza más crítico, con una amenaza MEDIA, es el DIESEL.

3.2 Amenaza de los combustibles Jet A1, Etanol y Bunker

Según la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE, 2018) los combustibles Jet A1, etanol y bunker tienen las siguientes características de toxicidad, persistencia y movilidad derivadas de las hojas de seguridad (Cuadro 9):

Cuadro 9. Toxicidad, persistencia y movilidad de los combustibles Jet A1, etanol y bunker

Hidrocarburo	Toxicidad	Persistencia en días	Movilidad
Jet A1	1,0 - 3,0	84	Baja
Etanol	100,0	20,0	Alta
Bunker	1,0 - 35,0	Alta	Media (Log koc 2,32-6.68)

	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (Senara)			
	Dirección de Investigación y Gestión Hídrica		Fecha	Julio 2018
	Procedimiento para el análisis de la amenaza de los hidrocarburos en la matriz genérica de protección de acuíferos.		Página	5
			Versión	01

Toxicidad para (96h CL50 peces), (48h CE50 Daphnia) y (72h CL50 algas mg/l)

Fuente: RECOPE (2018)

Evaluando los valores del cuadro anterior con base a la clasificación de la amenaza por toxicidad según la persistencia y movilidad indicada en la guía de Aplicación de la Matriz Genérica de Protección de Acuíferos y bajo su condición más crítica, se obtiene la definición de la amenaza de los combustibles Jet A1, etanol y bunker (cuadro 10):

Cuadro 10. Clasificación de la amenaza por toxicidad según la persistencia y movilidad de los combustibles Jet A1, etanol y bunker

Compuesto	toxicidad		Persistencia		Movilidad		Amenaza	
	Grado	Peso Asignado	Grado	Peso Asignado	Grado	Peso Asignado	Peso Total	Grado
Jet A1	Alta	2,0	Media	0,7	Baja	0,3	3,0	Media
Etanol	Baja	0,6	Baja	0,3	Alta	1,0	1,9	Baja
Bunker	Alta	2,0	Alta	1,0	media	0,7	3,7	Alta

Para los anteriores productos tenemos el Jet A1 y el Bunker de una amenaza media y alta y el Etanol como baja.

4. RIESGO POR VULNERABILIDAD


Para la valoración del riesgo de afectación de acuíferos en función de la vulnerabilidad, se utiliza la matriz del cuadro 11 que combina la amenaza por toxicidad con la vulnerabilidad acuífera.

Cuadro 11. Riesgo de afectación a los acuíferos en función de la vulnerabilidad a la contaminación

Vulnerabilidad a la contaminación	Extrema	RMA		
	Alta	RA		RMA
	Media	RM		RA
	Baja	RB		
	Desprec	RB		
I-1		Baja	Media	Alta
		Amenaza por toxicidad		

(Tomado de: SENARA, 2017)

En la sección 2/3 “Actividades industriales y comerciales (sustancias toxicas)” de la matriz genérica de protección de acuíferos se indican las siguientes disposiciones para las condiciones de riesgo por vulnerabilidad medio y alto:

	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (Senara)		
	Dirección de Investigación y Gestión Hídrica	Fecha	Junio 2016
	Procedimiento para el análisis de la amenaza de los hidrocarburos en la matriz genérica de protección de acuíferos.	Página	6
		Versión	01

4.1 Riesgo Medio por Vulnerabilidad (RM)

“Las actividades industriales y comerciales se ajustarán a las siguientes regulaciones respecto de la vulnerabilidad acuífera:

a- Regulación por amenaza de sustancias:

1. Se permiten actividades de baja y media toxicidad.
2. Se permiten actividades de alta toxicidad pero de baja movilidad o baja persistencia, según los valores establecidos en la guía de esta matriz.

- Si la actividad es de alta toxicidad, el interesado debe realizar estudio hidrogeológico detallado en el que se determine la condición específica de riesgo del acuífero en virtud de la actividad a desarrollar y debe incluir el programa de monitoreo de calidad de aguas y suelos, el cual debe ser evaluado y aprobado por el SENARA.

- Las actividades de alta toxicidad que van a requerir de tanques de almacenamiento deben instalar al menos 2 piezómetros (aguas arriba y abajo del sitio de almacenamiento) para el monitoreo semestral de aguas según las características de la fuente potencial contaminación, realizado por un laboratorio con análisis certificados. En lo referente a la calidad de las aguas y suelos, el interesado debe ajustarse a lo establecido en el decreto ejecutivo número 37757-S (Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados por emergencias ambientales y derrames) y decreto ejecutivo número 33601-MINAE-S (Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales).

3. Las actividades deben contar con la infraestructura y las medidas de control necesarias para evitar el riesgo de contaminación de suelos y aguas (manejo de excretas, aguas servidas y efluentes, manejo y almacenamiento de productos, trampas de grasas y aceites).


...”

4.2 Riesgo Alto por vulnerabilidad (RA):

“Las actividades industriales y comerciales se ajustarán a las siguientes regulaciones respecto de la vulnerabilidad acuífera:

En zonas de vulnerabilidad alta:

- a- Toxicidad: Solo se permite el desarrollo de actividades que utilicen sustancias de baja y media amenaza pero no de alta toxicidad, deben de contar con la infraestructura y las medidas de control necesarias para evitar el riesgo de

	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (Senara)			
	Dirección de Investigación y Gestión Hídrica		Fecha	Julio 2018
	Procedimiento para el análisis de la amenaza de los hidrocarburos en la matriz genérica de protección de acuíferos.	Página	7	
		Versión	01	

contaminación de suelos y aguas (manejo de excretas, aguas servidas y efluentes, manejo y almacenamiento de productos, trampas de grasas y aceites).

...

En zonas de vulnerabilidad media:

a- Toxicidad: Se permite el desarrollo de actividades que utilicen sustancias de alta amenaza, deben de contar con la infraestructura y las medidas de control necesarias para evitar el riesgo de contaminación de suelos y aguas (manejo de excretas, aguas servidas y efluentes, manejo y almacenamiento de productos, trampas de grasas y aceites).

...”

5. RIESGO POR RECARGA

Para la valoración del riesgo de afectación de acuíferos en función de la recarga, se utiliza la matriz del cuadro 12 que combina la amenaza por toxicidad con la recarga acuífera.

Cuadro 12. Riesgo de afectación a los acuíferos en función de la recarga a la contaminación

Recarga acuífera	Alta	RA	RMA	
	Media	RM	RA	RMA
	Baja	RB		
1-3		Baja	Media	Alta
		Amenaza por toxicidad		

(Tomado de: SENARA, 2017)

En la sección 2/3 “Actividades industriales y comerciales (sustancias tóxicas)” de la matriz genérica de protección de acuíferos se indican las siguientes disposiciones para las condiciones de riesgo medio y alto:


4.1 Riesgo Medio por Recarga (RM)

“1. En zonas de alta recarga, solo se permiten actividades de baja amenaza por toxicidad con densidades de hasta 80 hab/ha y coberturas hasta un 20%.

2. En zonas de media recarga, solo se permiten actividades de baja amenaza por toxicidad, densidades de hasta 150 hab/ha y coberturas hasta un 40%.”

4.2 Riesgo Alto por recarga (RA):

“Las actividades industriales y comerciales se ajustarán a las siguientes regulaciones respecto de la recarga acuífera:

	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (Senara)		
	Dirección de Investigación y Gestión Hídrica	Fecha	Junio 2016
	Procedimiento para el análisis de la amenaza de los hidrocarburos en la matriz genérica de protección de acuíferos.	Página	8
		Versión	01

En zonas de recarga alta:

...

b- Toxicidad: Solo se permiten actividades industriales y comerciales de baja amenaza que no sean de alta toxicidad. Debe contar con la infraestructura y las medidas de control necesarias para evitar el riesgo de contaminación de suelos y aguas (manejo de excretas, aguas servidas y efluentes, manejo y almacenamiento de productos, trampas de grasas y aceites).

En zonas de recarga media:

...


b- Toxicidad: Solo se permiten actividades industriales y comerciales de media amenaza excepto que sean de alta toxicidad, debe contar con la infraestructura y las medidas de control necesarias para evitar el riesgo de contaminación de suelos y aguas (manejo de excretas, aguas servidas y efluentes, manejo y almacenamiento de productos, trampas de grasas y aceites).”

6. CONCLUSIONES:

A continuación se presentan los análisis de las tablas de riesgo, vulnerabilidad y recarga:

Riesgo de afectación a los acuíferos en función de la vulnerabilidad a la contaminación			
Vulnerabilidad a la contaminación	Extrema	RMA (no se permite hidrocarburos)	
	Alta	RA (Se permiten estaciones de servicio de Gasolina y Diesel), no se permite el almacenaje de Bunker y JetA1.	RMA (No se permite)
	Media	RM (Se permite estaciones de servicio de Gasolina y Diesel), también se permite JetA1 y no se permite Bunker	RA (se permite estaciones de servicio (Gasolina y Diesel, JetA1 y Bunker).
	Baja	RB (Se permiten)	
	Despreciable	RB (Se permiten)	
I-1		Baja	Alta
		Amenaza por toxicidad	

En Riesgo Alto y Vulnerabilidad Alta, se permiten estaciones de servicio (Gasolina y Diesel) y no se permite JetA1 y Bunker. El Riesgo Medio Vulnerabilidad Media, se permiten Estaciones de

	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (Senara)		
	Dirección de Investigación y Gestión Hídrica	Fecha	Julio 2018
	Procedimiento para el análisis de la amenaza de los hidrocarburos en la matriz genérica de protección de acuíferos.	Página	9
		Versión	01

Servicio (gasolina y Diesel), JetA1 y el Riesgo Alto en Vulnerabilidad Media, se permite estaciones de servicio (Gasolina y Diesel), JetA1 y Bunker.

Riesgo de afectación a los acuíferos en función de la recarga				
Recarga acuífera	Alta	RA (No se permite el almacenaje de gasolina, diesel, JetA1 y Bunker)	RMA (No se permite)	
	Media	RM (la amenaza por toxicidad del diesel, bunker y JetA1 son de media a alta, por lo que se pasa a una amenaza media y alta).	RA (Se permite Estaciones de Servicio de Gasolina y Diesel), no se permite JetA1 y Bunker.	RMA (No se permite)
	Baja	RB (Se permite)		
I-3		Baja	Media	Alta
Amenaza por toxicidad				

Podemos concluir de la tabla anterior, que en riesgo alto por recarga alta no se permiten estaciones de servicio (Gasolina y Diesel), JetA1 y Bunker. Riesgo alto por recarga media, se permiten estaciones de servicio (Gasolina y Diesel). No se permite JetA1 y Bunker.

Como conclusión en el proceso de análisis de riesgos, vulnerabilidad y recarga, debe escogerse el más crítico y sus recomendaciones. Por ejemplo si en un sitio la vulnerabilidad es media y la recarga alta, tiene prioridad la recomendación del riesgo por recarga.

Referencias:

RECOPE (2018): Estudios Hidrogeológico para determinar el riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas. Proyecto Plantel Recope, Chorotega, Liberia. Informe Interno de SENARA. Expediente de la DIGH-42-2018.

Cardona, G.S.A., (2007): Obtención del Coeficiente de Carbón Orgánico para el Diesel a través de Isotermas de Absorción. Dyna Año 74, Nro. 153.pp 159-165. Medellín. ISSN 0012-7353.

Fetter C.W., (2001): Applied Hydrogeology Fourth Edition. University of Wisconsin-Oshkosh. Prentice Hall. 598pp.

Geol. Roberto Ramírez Chavarría
 Director Investigación y Gestión Hídrica
 SENARA