

## DETERMINACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN SUELOS DESMINADOS CON FINES AGRÍCOLAS

**Autores: Rosalina González Forero<sup>1</sup>; Jimmy Murillo<sup>2</sup>**

**Institución:** Universidad de la Salle

---

### Resumen

La evaluación de impacto ambiental es una herramienta de prevención de las afectaciones generadas por una actividad y de control ante un impacto generado por una situación que implica acciones de remediación. En este contexto, los suelos desminados en Colombia adolecen de la falta de determinación del impacto ecotoxicológico que los explosivos y metales pesados como materiales constitutivos de las minas y artefactos ocasionan al ambiente. Adicionalmente, es de amplio conocimiento mundial el impacto que dichos materiales ocasionan; por ello, la presente investigación se centró en determinar las alternativas de evaluación aplicables en Colombia. Para lo anterior se realizaron encuestas con desminadores certificados por el Ejército de Colombia, en las que se identificaron las condiciones en las cuales se encuentran dichos artefactos, así como los explosivos y materiales más comunes utilizados en las minas. Posteriormente se cruzó esta información en una matriz de evaluación de alternativas, donde se analizaron los siguientes métodos: matrices causa-efecto, listas de chequeo, redes, sistemas cartográficos, análisis de sistemas, sistemas de indicadores, índices e integración y sistemas cuantitativos, y se llegó a la formulación de un sistema multi-método con las bondades de cada uno de aquellos mencionados anteriormente, el cual se probó a nivel piloto, generó resultados satisfactorios, ya que a través de una herramienta sencilla pero científica se pudo determinar el impacto ambiental bajo condiciones controladas, siendo la primera vez que en Colombia en suelos desminados se aplica un sistema similar, el cual brindará elementos de control en salud pública y seguridad.

**Palabras clave:** *Impacto ambiental, suelos desminados.*

---

### Introducción

Solo en Estados Unidos han sido identificados más de dos mil sitios potencialmente contaminados con químicos energéticos, y millones de hectáreas de tierra se creen

---

<sup>1</sup> rogonzalez@unisalle.edu.co

<sup>2</sup> jmurillo@unisalle.edu.co

contaminados por componentes de munición, para los cuales se estima en el orden de billones de dólares su remediación (Usgao, 2003). El grado de contaminación es extremadamente variado, siendo su distribución altamente heterogénea (Pennington, 2002; Thiboutot, 2003). En Colombia esta problemática ni siquiera se ha estimado, sabiendo que muchas de las tierras del país han sido minadas con explosivos por los grupos al margen de la ley y, más aún, cultivos se han desarrollado en zonas de despeje sin determinarse su impacto (González, 2014). El desminado humanitario, como parte de las actividades de cesación del conflicto armado, genera confianza en las comunidades afectadas. Este es un proceso largo y dispendioso puesto que las autoridades no cuentan con mapas de las ubicaciones de los artefactos explosivos puestos por los grupos al margen de la ley. No obstante, se está avanzando en la determinación de lugares potencialmente contaminados y tomando las medidas necesarias para su “limpieza”.

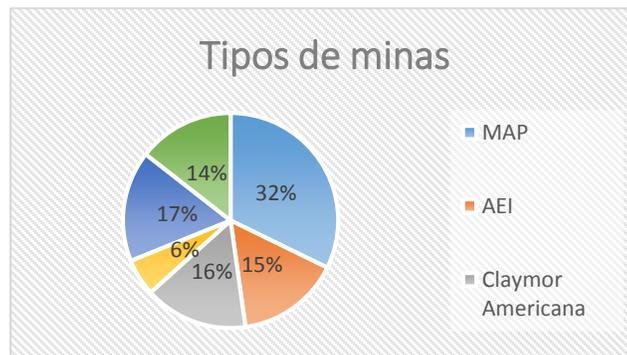
Una vez ejecutado dicho proceso, los suelos despejados (libres de artefactos explosivos) son entregados para que sean empleados con total autonomía por parte de la comunidad, la que, en la mayoría de los casos, considerando las cualidades de las tierras, decide emplearlas con fines productivos, es decir, para la agricultura. Aunque desde una perspectiva social es algo positivo, pues se retoma el agro y se generan cambios de manera paulatina, no se ha determinado la afectación real, es decir, el impacto ambiental que los artefactos explosivos objeto del desminado humanitario han generado en los suelos debido a la toxicidad de sus compuestos, así como tampoco la incidencia de los agroquímicos al entrar en contacto con dichos explosivos, bajo una perspectiva de destino ambiental (González, Ortiz, Parra & Castro, 2015). Por lo anterior, se hace necesario el planteamiento de metodologías que permitan identificar y cuantificar el impacto que dichos compuestos generan y a partir de ello pensar en formas de mitigación y recuperación de los suelos. Debido a ello se busca generar un instrumento que, mediante la evaluación cualitativa o cuantitativa de los impactos ambientales generados por los explosivos y los agroquímicos en el suelo, se constituya en una herramienta de prevención y control frente al uso de la tierra, además de brindar bases para la toma de decisiones frente a su recuperación.

## **Metodología**

Con el propósito de reconocer características propias del desminado humanitario, contextualizar las condiciones bajo las que permanece un terreno minado e identificar las diferentes sustancias tóxicas y posibles impactos ambientales generados bajo la actividad de desminado, se encuestó a 68 personas pertenecientes a la Escuela de Logística del Ejército Nacional para tener un acercamiento a los procesos que se llevan a cabo durante el despeje de minas antipersonal (MAP), artefactos explosivos improvisados (AEI), munición sin explotar (Muse) y restos explosivos de guerra (REG). Es de anotar que la muestra fue aleatoria y obedeció a la disponibilidad del personal en capacitación.

De los resultados obtenidos se observa que los departamentos que más intervención han tenido sobre la población encuestada han sido Meta y Antioquia. En cuanto a la parte operacional, se identificaron dos técnicas de desminado (la manual y la mecánica) y cinco tipos de minas con mayor porcentaje de reconocimiento por la población encuestada. En primer lugar están las MAP –identificadas por 29 de los encuestados, equivalente a un 32 % del total–, seguidas por las Muse, reconocidas por un 17 % de la población. El 51 % restante se encuentra distribuido entre Claymore americana, AEI, antivehículos y otros. Los resultados se pueden ver en la figura 1.

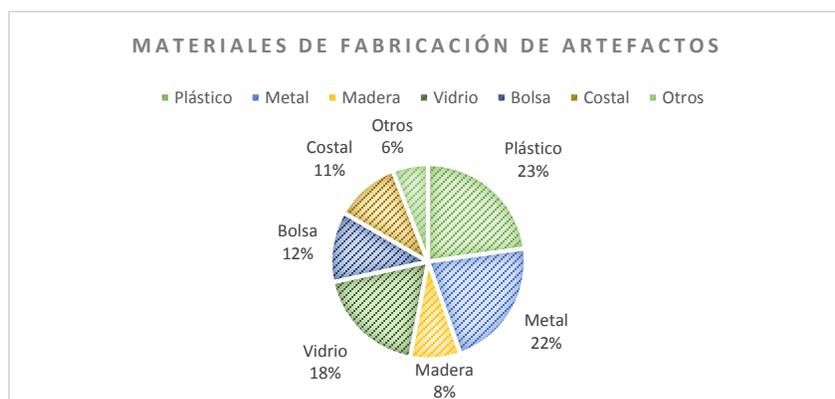
**Figura 1.** Tipos de minas



Fuente: Proyecto.

Es de anotar que el 88 % del personal encuestado considera que el tipo de mina varía respecto a la zona en que se encuentre. La principal razón que se expone radica en la variedad de grupos armados o los objetivos de ataque que tenga cada uno. En relación con los contenedores de MAP y AEI, los encuestados opinan que cada grupo al margen de la ley realiza la fabricación de explosivos artesanales en Colombia. En la figura 2 pueden observarse los principales materiales identificados.

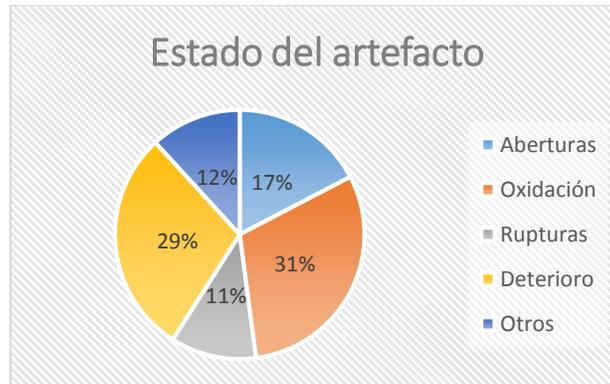
**Figura 2.** Materiales de fabricación de artefactos



Fuente: Proyecto

El estado del artefacto indica las afectaciones de las sustancias tóxicas sobre el suelo. La figura 3 muestra que el 31 % de la población encuestada ha observado oxidación en los artefactos y el 29 % deterioro. La oxidación es causada por la exposición de los artefactos a diversas condiciones ambientales, en especial si estos se encuentran fabricados con metal; el deterioro es producto del tiempo de permanencia en un terreno.

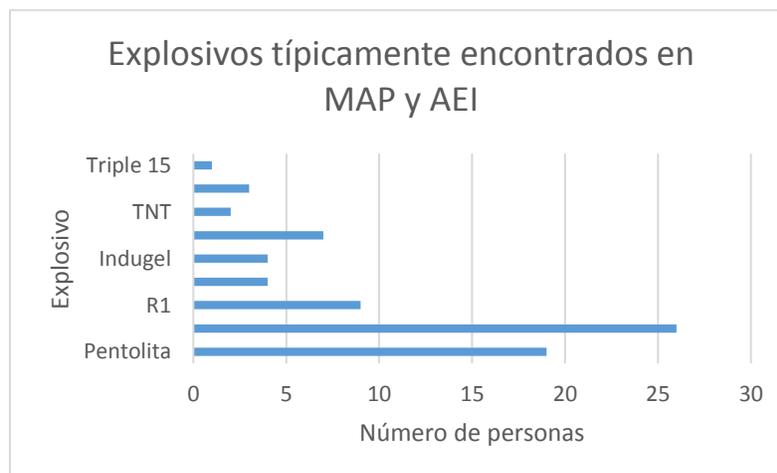
**Figura 3.** Estado del artefacto



Fuente: Proyecto.

Además de lo anterior, se encontró que los constituyentes de una MAP o AEI son de origen casero, razón que sustenta el hecho de que el anfo (nitrato de amonio + aluminio) y el R1 sean dos de los principales explosivos empleados. La figura 4 presenta los explosivos más utilizados.

**Figura 4.** Cargas explosivas principalmente empleadas en MAP y AEI



Fuente: Proyecto.

Los anteriores resultados fueron evaluados en la herramienta de impacto ambiental seleccionada.

### **Evaluación de impacto ambiental**

Las evaluaciones de impacto ambiental en el país se empezaron a desarrollar como una exigencia normativa, es decir, existe un marco legal que sustenta su realización, el Código de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente empieza a sentar las bases de este proceso, pero su implementación real inicia con la Ley 99 de 1993 (Rodríguez, 2011). En la actualidad está vigente el Decreto 2041 de 2014, que reglamenta el título VIII de la Ley 99 de 1993, sobre licencias ambientales, y dentro de esto la realización de estudios ambientales como la evaluación de impacto ambiental. Finalmente, la normatividad de esta índole, en aras de propiciar el desarrollo sostenible, genera restricciones y condicionamientos que aseguran el derecho a la libertad económica, pero también el derecho colectivo a un ambiente sano (Rodríguez, 2011). La evaluación de impacto ambiental (EIA) es un proceso técnico-administrativo utilizado para evaluar los impactos ambientales de proyectos, obras o actividades, que una vez socializada puede ser considerada como una herramienta de prevención y control (Toro, Martínez & Arrieta, 2013).

A continuación, se presentan las metodologías evaluadas según Conesa, 2010:

#### *- Matrices causa-efecto*

La asignación de magnitudes se hace a juicio del evaluador, razón por la que el sesgo le es inherente a la metodología. Aunque puede representar una buena alternativa para el desarrollo de la EIA, la inclusión de valores sin un criterio definido podría inducir a errores y calificaciones desacertadas que conducirían a la estimación equívoca de impactos potenciales de las actividades vinculadas al desminado. Es por ello que no se considera la mejor alternativa para el contexto del proyecto.

#### *- Listas de chequeo*

Debido a su sencillez, son insuficientes como método analítico, razón por la que no brindarían criterios de peso para la toma de decisiones frente a los impactos derivados del contexto de desminado. Ello la descarta como metodología aplicable al enfoque del proyecto. Para el contexto del desminado humanitario, lo ideal es realizar una lista de chequeo como un paso preliminar antes de efectuar el EIA formalmente dicho, pues de esta manera es posible considerar todas las variables que inciden en el proceso en términos de actividades, impactos y su interrelación. En otras palabras, como su nombre lo indica, permite hacer una revisión rápida para no dejar nada o en muy poca proporción por fuera del análisis.

#### *- Sistemas de interacciones o redes*

Muestran de manera clara los efectos de las distintas actividades del proyecto, incluidos aquellos que son sinérgicos y acumulativos. No obstante, la complejidad del proyecto en curso no requiere su representación a través de esta metodología. Ello no quiere decir que no sea aplicable; simplemente, no es la más empleada para realizar estudios de impacto ambiental en Colombia y como tal puede no ser tan aceptada.

*- Sistemas cartográficos*

Esta metodología usualmente es aplicada en proyectos que abarcan grandes extensiones. Aunque el minado ha tenido lugar en gran parte del país, su ubicación sobre el territorio colombiano es muy puntual; además, no se cuenta con información precisa sobre los lugares en los que se han enterrado estos artefactos. Por lo tanto, no se tienen los insumos base para emplear esta metodología en el contexto de estudio; por ello, queda descartada. Su aplicabilidad en el presente proyecto está supeditada a la obtención de información concerniente en términos de espacialidad, lo cual es un problema si se considera la escala a la que debe ser manejada para que los impactos sean visibles.

*- Análisis de sistemas hombre-ambiente*

Aunque pueden ser muy útiles, presentan dos grandes problemas. En primer lugar, la generalidad de las estimaciones que se realizan a través de este impide tomar decisiones concretas para la resolución de los impactos ocasionados por las actividades del proyecto. En segundo lugar, su utilización en el país es escasa o nula, lo que haría que su aceptación también lo fuera.

*- Métodos basados en indicadores, índices e integración de la evaluación*

La formulación de indicadores para un contexto que aún no ha sido estudiado desde la óptica del impacto ambiental supone un reto en sí. Sin la comprensión completa de los posibles efectos derivados de las actividades relacionadas con el proceso de desminado, solo se plantearían índices que evalúan de manera parcial las dinámicas inmersas en el proceso, razón por la que no se considera aplicable en un contexto de investigación incipiente.

*- Método cuantitativo de Batelle-Columbus*

Al tratarse de un método cuantitativo, requiere información base que sea capaz de representar las condiciones del proyecto. Así mismo, requiere la elaboración de índices para la estimación de los diferentes efectos; en el contexto de la determinación de impacto ambiental actual sobre el tema de desminado, es muy probable que dichos indicadores solo denoten sesgo y una comprensión parcial de la temática.

*- Métodos de simulación*

El uso de modelos matemáticos es una buena alternativa para mejorar la comprensión de los efectos de una acción particular en el medio ambiente, incluida la predicción de ellos. Sin embargo, para el contexto manejado en el presente estudio, son escasos los modelos

relacionados. El modelo multilínea es uno de ellos; no obstante, su aplicación es limitada puesto que este no considera los explosivos empleados por los grupos subversivos a nivel nacional. Aunque los modelos sirven como fuente de información adicional, no alcanzan a cubrir todos los aspectos que una EIA requiere, a no ser que se desarrolle un modelo para la situación particular de estudio, la que no se presenta y por ende no se considera que esta metodología permita desarrollar el EsIA esperado.

- *Métodos ad hoc*

La adaptación de las metodologías a situaciones particulares permite corregir las falencias encontradas en cada una de ellas. El método de Vicente Conesa Fernández-Vitora es uno de los más empleados y aceptados a nivel nacional; además, debido a la disminución del sesgo respecto al método matricial típico, en el proceso de evaluación al incluir criterios para la definición de la importancia, permite efectuar una valoración un tanto más objetiva. Las razones anteriores –incluido el hecho de que esta metodología mezcla dos de las más empleadas, un sistema matricial, como el de Leopold, con resultados cualitativos, y otro cuantitativo, como el de Batelle-Columbus, con resultados cuantitativos– lo hacen un método más objetivo. No obstante, para el contexto trabajado, la definición de los factores para la sección cuantitativa es imposible de lograr a través de variables medibles, pues sin experimentación se carece de ellas. Sin importar lo anterior, este es el método escogido para la aplicación en el presente proyecto, al ofrecer mejores resultados, permitir abordar el impacto de una manera más imparcial y ser reconocido y aceptado a nivel nacional. En la tabla 1 se comparan los métodos explicados.

**Tabla 1.** Clasificación de distintas metodologías de evaluación de impactos

Sistema	Método	Puntos fuertes (ventajas)	Puntos débiles (inconvenientes)
Matrices causa-efecto	Matriz de Leopold	Visualización de las relaciones causa-efecto.	Subjetividad. Carácter no selectivo. No distingue entre efectos a corto y largo plazo. No incluye la variable <i>tiempo</i> (estático). No valora cuantitativamente (la cuantificación es cualitativa). Los efectos no son exclusivos ni finales. Posibilidad de duplicación.
		Evalúa cualitativamente (tipo matricial) los efectos.	
		Evaluación subjetiva numérica.	
		Establece la importancia relativa del impacto (ponderación).	
	Posibilita comparar proyectos similares y sus alternativas.		
Clark	Evalúa cualitativamente (tipo matricial) los efectos.	No valora cuantitativamente (la cuantificación es cualitativa).	
CNYRPAB	Contempla impactos indirectos.	No incluye la variable <i>tiempo</i> (estático).	

		Analiza las causas que dan lugar a impactos.	Presenta complejidad, precisando grandes conocimientos técnicos.	
	Bereano	Posibilita comparar proyectos similares y sus alternativas.		
	Guías Mopu	Describen situación preoperacional.	Son específicas para proyectos concretos.	
	Carreteras	Incluyen criterios de evaluación alternativos		
	Ferrocarriles	Evalúan cualitativamente (tipo matricial) los efectos.		
	Grandes presas	Evalúan cuantitativamente (tipo Batelle) los efectos.		
	Replantaciones forestales	Incluyen la variable <i>tiempo</i> (dinámico).		
	Aeropuertos	Incorporan medidas correctivas.		
Banco mundial	Evalúa cualitativamente (tipo matricial) los efectos. Posibilita comparar proyectos similares y sus alternativas.	No valora cuantitativamente (la cuantificación es cualitativa).		
Listas de chequeo	Todas las listas	Simplicidad. Se modifican y adaptan fácilmente a todo tipo de proyectos. Óptimas para estudios preliminares. Facilitan discusiones en equipos multidisciplinares. Ayudan a definir componentes y factores ambientales. Advierten impactos importantes. Posibilitan comparar proyectos similares y sus alternativas.	Eluden efectos no inducidos de modo intuitivo. Insuficientes como método analítico. No permiten diferenciar impactos directos e indirectos. No relacionan la acción con el impacto.	
	Simple	Identifican amplia y flexiblemente impactos directos.	No contemplan impactos indirectos. No evalúan ni cualitativa ni cuantitativamente los efectos. No registran relaciones causa-efecto.	
	Descriptivas	Identifican impactos directos e indirectos.	No valoran cuantitativamente los efectos. No se establece la importancia relativa del impacto.	
	Escala simple	Evaluación subjetiva numérica cualitativa.	No se establece la importancia relativa del impacto.	

	Escala ponderada	Se establece la importancia relativa del impacto.	
Redes	Sorensen	Incluye la variable <i>tiempo</i> (dinámico).	No valora cuantitativamente los efectos.
	Redes ampliadas	Visualiza las relaciones causa-efecto. Interconecta impactos primarios, secundarios...	No valora cuantitativamente los efectos.
		Llamativo frente a impactos significativos.	Suele volverse complejo frente a grandes proyectos. Posibles duplicidades.
Sistemas cartográficos	TODOS	Caracterización inicial del relieve.	Necesitan metodologías muy especializadas y costosas.
	Análisis de información cartográfica	Obtención de la evolución geomorfológica y otros procesos.	
	Fase de campo.	Detectan fenómenos geodinámicos.	
	Elaboración de planos definitivos	Evalúan cualitativa y cuantitativamente los efectos.	
	Superposición de transparencias	Presentan la evolución espacial de los factores. Muestran la distribución espacial de los impactos.	Dificultades prácticas para la aplicación manual. Precisan SIG, etc.
		Resultados en forma de diagramas fáciles de entender.	
		Relacionan la población humana y biótica.	
		Se puede evaluar un conjunto de alternativas.	
		Se pueden asignar pesos a cada parámetro.	
	McHarg	Se ocupa de la planificación ecológica. Se obtienen mapas de capacidad de acogida.	
		Se obtiene inventario mapificado de los factores. Inventario económico. Inventario de visualización del paisaje.	
		Tricart	Percibe la dinámica del medio físico y biótico. Muy útil para la ordenación de recursos hídricos.
	M. Falque	Percibe la dinámica de los medios físico y biótico.	
Amplia disgregación del análisis ecológico.			
Análisis de sistemas	Hombre-Ambiente	Detecta el funcionamiento global del sistema.	

Sistemas de indicadores, índices e integración	Holmes	Útil para impactos no cuantificables.	Resultados subjetivos.
		Evaluación cualitativa de los efectos.	No incluye la variable <i>tiempo</i> (estático). No valora cuantitativamente los efectos.
	Universidad de Georgia	Establece la importancia relativa del impacto.	
		Incluye la variable <i>tiempo</i> (dinámico).	
		Posibilita comparar proyectos similares y sus alternativas.	
	Hill-Schechter	Evalúa beneficios y costes sociales.	No tiene en cuenta el medio físico.
		Posibilita comparar proyectos similares y sus alternativas.	
	Fisher-Davies	Evalúa cualitativamente (matriz de compatibilidad).	
		Incluye la variable <i>tiempo</i> (dinámico).	
		Compara alternativas (matriz de decisión).	
Índice Global	Evaluación cualitativa de los efectos.	No tienen en cuenta el medio socioeconómico. Solamente es válido para impactos producidos por elementos constructivos. No valora cuantitativamente (la cuantificación es cualitativa).	
	Posibilita comparar proyectos similares y sus alternativas.		
Sistemas cuantitativos	Batelle-Columbus	Ha servido de base a metodologías posteriores.	Necesita metodologías muy especializadas y costosas. No contempla impactos indirectos. Para cada tipo de proyecto se deben establecer los índices ponderales. Los índices ponderales se asignan de forma subjetiva. Las funciones de transformación son para proyectos hidráulicos.
		Utiliza unidades homogéneas o conmensurables.	
		Incorpora la introducción de medidas correctoras.	
		Incluye la variable <i>tiempo</i> (dinámico).	
		Establece la importancia relativa del impacto (ponderación).	
		Posibilita comparar proyectos similares y sus alternativas.	
Sistemas ad-hoc	Matriz de Conesa	La inclusión de criterios extras permite obtener menor sesgo a la hora de realizar la evaluación cualitativa.	A pesar de tratarse de un sistema matricial, puede ser un poco más complicada de emplear debido a la obtención de la importancia a través de los distintos criterios. Requiere información complementaria, que sea de fácil acceso y verificable para que los resultados de la matriz cuantitativa sean válidos.

Según lo anterior, la matriz de Conesa ofrece los mejores resultados debido a las características previamente observadas. A continuación, se observan los componentes de dicha matriz y la evaluación realizada:

### **Matriz Conesa-Fernández**

En primera instancia se efectúa un proceso de toma de datos, estudios preliminares e identificación de efectos; en esta se plantean las principales actividades del proyecto y se relacionan con los efectos posibles. En segundo lugar, con las actividades y los efectos (que se relacionan con factores ambientales) se procede a realizar la valoración cualitativa del impacto ambiental a través de doce factores. Finalmente, se desarrolla la valoración cuantitativa del impacto ambiental. Por lo anterior, se seleccionaron como fases del proyecto:

- Fase de emplazamiento de artefactos explosivos: Adquisición de insumos, fabricación de MAP o AEI e instalación o enterramiento.
- Fase de limpieza y descontaminación (despeje): Identificación de zonas, detonación, desactivación y traslado y verificación.
- Fase de liberación de tierras: División de tierras y preparación para usos potenciales.
- Fase de siembra: Uso de agroquímicos y producción agrícola.

Posteriormente, cada fase se evaluó para los siguientes factores de la matriz:

- Efecto: Atributo que se refiere a la relación causa-efecto, o sea, la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.
- Extensión: Atributo que refleja la fracción del medio afectado por la acción del proyecto.
- Intensidad: Grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que se actúa.
- Periodicidad: Regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera continua o discontinua, o discontinua o irregular o esporádica.
- Persistencia: Tiempo que supuestamente permanecería el efecto desde su apreciación y a partir del cual el factor afectado retomarí las condiciones iniciales previas a la acción.
- Acumulación: Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.
- Naturaleza: Hace alusión al carácter beneficioso o perjudicial de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.
- Reversibilidad: Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez esta deja de actuar sobre el medio.

- Recuperabilidad: Posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación.
- Momento: Tiempo que transcurre entre el inicio de la acción y el inicio del efecto que esta produce. Puede expresarse en unidades de tiempo, generalmente años, y suele considerarse que el corto plazo corresponde a menos de un año, el medio entre uno y cinco, y el largo a más de cinco.
- Sinergia: Acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales.

Estos factores individualmente se evaluaron sobre los siguientes componentes y elementos ambientales observados en la tabla 2.

**Tabla 2.** Componentes y elementos ambientales de la matriz Conesa-Fernández

Geosférico	Geotecnia
	Paisaje
	Geomorfología
	Suelos
Hídrico	Corrientes superficiales
	Agua subterránea
	Calidad de agua
Atmosférico	Calidad de aire
	Ruido
Ecosistemas terrestres	Vegetación
	Fauna silvestre
Ecosistemas acuáticos	Comunidades hidrobiológicas y fauna íctica
Demografía / población	Dinámica de la población
	Muerte por accidente o mutilación de personas
Dimensión económica	Mercado laboral
	Tenencia de la tierra
	Actividades económicas
Dimensión político-administrativa	Presencia institucional y organización comunitaria

Fuente: Murillo, 2016

Al realizar la evaluación de cada componente usando información secundaria se obtuvieron los resultados de la figura 5.

**Figura 5. Resultados matriz Conesa-Fernández evaluada**

COMPONENTE AMBIENTAL	ELEMENTO AMBIENTAL	Fase de emplazamiento de artefactos explosivos			Fase de limpieza y descontaminación (despeje)				Fase de liberación de tierra		Fase de siembra		Total por factor	
		Adquisición de insumos Calificación	Fabricación de MAP o AEI Calificación	Instalación o enterramiento Calificación	Identificación de zonas Calificación	Detonación Calificación	Desactivación y traslado Calificación	Verificación Calificación	División de tierras Calificación	Preparación para usos potenciales Calificación	Uso de agroquímicos Calificación	Producción agrícola Calificación		
Abiótico	Geosférico	Geotecnia	0	0	0	0	-40	-12	0	0	0	0	0	-52
		Paisaje	0	0	0	0	-40	-12	0	0	-25	0	0	-77
		Geomorfología	0	0	0	0	-40	-12	0	0	-24	0	0	-76
		Suelos	0	-24	-46	0	-49	-12	0	0	0	-43	0	-174
	HIDRICO	Corrientes superficiales	0	-25	-46	0	-48	-12	0	0	0	-45	0	-176
		Agua subterránea	0	-23	-46	0	-39	-12	0	0	0	-44	0	-164
		Calidad de agua	0	-22	-40	0	-33	-12	0	0	0	-38	0	-145
	Atmosférico	Calidad de aire	0	-15	0	0	-33	-12	0	0	0	0	0	-60
Fluido		0	0	0	0	-32	-12	0	0	0	0	0	-44	
Biótico	Ecosistemas terrestres	Vegetación	0	-13	-24	0	-33	-12	0	0	-20	-39	0	-141
		Fauna silvestre	0	-13	-24	0	-33	-12	0	0	-20	-38	0	-140
	Ecosistemas acuáticos	Comunidades hidrobiológicas y fauna íctica	0	-13	-33	0	-33	-12	0	0	-14	-40	0	-145
Socioeconómico	Demografía/ población	Dinámica de la población	26	0	-24	26	0	-9	-20	-27	16	-25	-38	-75
		Muerte por accidente o mutilación de personas	0	-27	-25	0	-49	-44	-14	0	0	0	0	-159
	Dimensión económica	Mercado laboral	0	0	-20	0	0	0	0	0	16	0	41	37
		Tenencia de la tierra	0	0	-22	0	0	0	0	0	16	0	36	30
		Actividades económicas	26	-13	-22	0	0	0	0	0	16	0	42	49
Dimensión política-administrativa	Presencia institucional y organización comunitaria	0	0	-22	26	0	0	0	27	0	0	0	31	
<b>Total por actividad</b>		52	-188	-394	52	-502	-197	-34	0	-39	-312	61		

Fuente: Murillo, 2016.

Las tres actividades con mayores impactos negativos dentro del proceso son el enterramiento y disposición de MAP o AEI, detonación de artefactos explosivos y uso de agroquímicos. El primero se debe a los procesos de lixiviación inherentes al fenómeno de intemperización de los artefactos explosivos y con ello sus constituyentes, generando impactos en suelos, agua y organismos vivos. Como dichos artefactos pueden permanecer largos periodos sin ser detonados, el efecto de lixiviación presenta grandes momentos (MO), acumulación (AC) significativa y consecuentemente un efecto (EF) importante. La detonación de artefactos explosivos, por el contrario, presenta momentos fugaces, pero intensidades (IN) elevadas, así como sinergias entre sus efectos o con los agroquímicos, que son la tercera actividad problemática. El uso de estos con las prácticas agrícolas actuales es difícil de dejar a un lado; no obstante, es necesario puesto que no se trata solo de los efectos que genera en el contexto del desminado humanitario, sino de todos los impactos relacionados con su uso. Representar una amenaza para los organismos vivos, incluidos los seres humanos, es razón suficiente para que sea de las actividades más negativas.

## **Aspecto agrícola**

El aspecto agrícola se aprecia en la evaluación, en la fase de siembra, principalmente en el uso de agroquímicos y en la producción agrícola en sí misma. De hecho, este factor es de los que tiene mayores impactos negativos debido a las sustancias químicas empleadas y a la sinergia entre los explosivos utilizados y los agroquímicos empleados. Hay una amenaza al recurso suelo, que debe ser protegido y restaurado después de un desminado para ser aptamente utilizado en actividades de producción agrícola.

## **Conclusión**

A través del proyecto realizado se logró estimar el impacto ambiental ocasionado en suelos desminados para destino agrícola. Se obtuvieron resultados negativos al ambiente en cada una de las fases del proyecto, siendo el efecto de lixiviación representativo debido a la naturaleza de las sustancias. Por otro lado, la detonación muestra intensidades elevadas, y las sinergias entre los efectos de los explosivos con los agroquímicos son una actividad problemática, por lo que deberán generarse mecanismos de descontaminación previa.

Este proyecto es de gran trascendencia frente a la gestión pública, ya que deberán generarse políticas en torno a la determinación de impactos ambientales en el recurso suelo y agua subterránea principalmente, después de un proceso de desminado. Además, deberá fortalecerse la política ambiental del recurso suelo, ya que este es el más abandonado y del que provienen los alimentos. También la gestión pública deberá fortalecerse en torno a la salud, para monitorear a los pobladores de dichas zonas en el evento en que estos regresen a cultivar en esas tierras, por las implicaciones que puede tener el contacto de ellos con residuos de explosivos.

Por último, herramientas ambientales como las matrices de evaluación de impactos han de vincularse a los procesos que tienen que ver con el desminado, ya que muchas de ellas son solamente utilizadas en proyectos de gran envergadura y no en aspectos de tipo social, comunitario y público.

## **Agradecimientos**

Los autores del proyecto agradecen a la Universidad de la Salle, en especial a la Vicerrectoría de Investigación y al Programa de Ingeniería Ambiental, por la financiación y soporte del proyecto, así como a Dirección de la Escuela de Ingenieros Militares del Ejército Nacional de Colombia por permitir que las encuestas fueran realizadas con los cursos de desminado de la Escuela de Logística.

## **Referencias bibliográficas**

- Conesa, V. (2010). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa.
- González, R. (2014). Partitioning model of the adsorption of explosives from soils to determine its environmental fate. *Revista Criminalidad*, 139-152.
- González, R., Ortiz, B., Parra, Y. & Castro, G. (2015). *Aplicación del modelo multilínea para la determinación del destino ambiental de explosivos en zonas minadas utilizando agroquímicos orgánicos presentes en suelos de la finca Matapantano en Yopal, sede Utopía*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Murillo, J. (2016). *Metodología para la determinación de impactos ambientales en suelos desminados con fines agrícolas*. Universidad de la Salle.
- Pennington, J. (2002). *Distribution and Fate of Energetics on DoD Test and Training Ranges*. Washington, D.C: Engineer Research and Development Center.
- Rodríguez, G. (mayo de 2011). *Las licencias ambientales y su proceso de reglamentación en Colombia*. Obtenido de Foro Nacional Ambiental: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/08360.pdf>
- Thiboutot, S. (2003). *Environmental Conditions of Surface Soils and Biomass Prevailing in the Training Area at CFB Gagetown, New Brunswick*. Valcartier, QC.
- Toro, J., Martínez, R. & Arrieta, G. (2013). Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 43-53. Obtenido de UniCauca.
- USGAO. (Diciembre de 2003). *DOD Needs to Develop a Comprehensive Approach for Cleaning Up Contaminated Sites*. Obtenido de U.S. General Accounting Office: <http://www.gao.gov/new.items/d04147.pdf>