

Evaluación del estado del proceso de desminado en Colombia, utilizando métodos interactivos, analíticos y estadísticos (Dashboard)

Yuliana Ortiz Vásquez^a

Jaime Andrés Gutiérrez Monsalve^b

^a Estudiante de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT, Medellín Colombia

^b Msc, Profesor, Asesor del Proyecto de Grado, Departamento de Estadística y Analítica. Universidad Católica de Oriente. Rionegro - Colombia

Resumen

Colombia es uno de los países más afectados por las minas antipersona (MAP), los artefactos explosivos improvisados (AEI) y las municiones sin explotar (MUSE), sin embargo en la literatura no se encuentran disponibles indicadores que permitan establecer el estado del proceso de desminado; por tal motivo en este trabajo se desarrolló un Cuadro de Mando Unificado DashBoard interactivo en entorno Web a partir de programación en R, de tal forma que los indicadores del proceso de desminado en Colombia fueran fácil de presentar, de forma resumida y comprensible para cualquier audiencia. En este trabajo se encontró que en la mayoría de los reportes bibliográficos consultados se favorece el desminado con equipos mecánicos y combinaciones entre mecánico y manual, sin embargo Colombia fue el país que mostró una mayor tendencia en el uso de métodos manuales, esto debido principalmente a las condiciones topográficas de los terrenos minados. En el metanálisis se encontró que de acuerdo a Buc & Tillery [5] y el CENAM [10], en los países de Mozambique y Colombia, la técnica más prevalente corresponde al desminado Manual (Valor-P = 0.0036); mientras que para Daniels & Curtis [4] reporta tendencias crecientes de desminado mecánico en Bosnia, Cambodia y Angola (Valor-p >0.05). Comparando Colombia con Mozambique, se encontró que las técnicas propuestas por Buc & Tillery [5] presentan eficiencias altas y una duración de despeje proporcional al tiempo de duración en Colombia, adicional se evidencia que la técnica ASTAMIDS® es menos costosa que la manual con detector de metales utilizada en Colombia, por lo que la deja como alternativa emplear dicha técnica en Colombia y la posibilidad de que las autoridades militares exploren el uso de este tipo de técnicas para complementar el desminado manual. La evaluación de indicadores nacionales, refleja que Colombia no cuenta con la tecnología apropiada para enfrentar el problema de minas antipersona y artefactos explosivos improvisados; por lo que el meta análisis, permite recomendar el uso de la tecnología de radares terrestres y sistemas aéreos.

1. Introducción

Las minas antipersonales, los artefactos explosivos improvisados, las municiones sin explotar, junto con otros efectos del conflicto armado como desplazamiento, reclutamiento y aislamiento de comunidades, han generado una sensación de miedo (terrorismo psicológico) en la población afectada; razones por las cuales la gente teme viajar dentro de su región, impidiendo el acceso a servicios públicos como salud y educación, así como a la satisfacción de sus necesidades básicas como comida y agua. [2]

Colombia es uno de los países más afectados por las minas en el mundo, con más de 11.205 muertes y lesiones registradas de minas terrestres desde 1990. Las minas antipersonal y los Artefactos Explosivos Improvisados (AEI) asesinan o hieren aproximadamente 429 colombianos cada año (cifras obtenidas desde 1990 hasta 2015); donde el 62% de los afectados corresponden a miembros de la fuerza pública y el 38% son civiles, incluyendo niños, mujeres y ancianos. Actualmente, Colombia cuenta con diferentes técnicas de desminado, centradas en solucionar de manera eficaz la problemática que se tiene con la presencia de minas antipersona en el territorio colombiano. Sin embargo, a pesar de los avances en las técnicas de detección y destrucción de minas antipersona, las tecnologías artesanales y la topografía Colombiana impide que muchas de estas técnicas sean eficaces, efectivas y eficientes [1]. El problema principalmente radica en que a medida de que avanzan los métodos de detección, estos se ven principalmente afectados por la manera en cómo son construidos estos artefactos, ya que se utilizan materias primas de uso público y de fácil adquisición, además son fabricadas en contenedores plásticos los cuales limitan su detección por los métodos tradicionales.

En el campo militar se tienen protocolos o procedimientos enfocados a la realización de ciertas labores, operaciones tácticas y operaciones administrativas, tanto para el conflicto como para el postconflicto. El proceso de desminado en Colombia se realiza de la siguiente manera: después de recibir la alerta (a una unidad militar, policial o humanitaria) de la existencia de un campo minado o de un artefacto explosivo (MAP, AEI o MUSE), este organismo determina cual es la unidad competente para la realización de la operación, que pueden ser Batallones o Unidades de Ingenieros Militares u ONG'S o fundaciones autorizadas para realizar labores de desminado (Halo Trust, CICR, Cruz Roja, Defensa civil); estos entes realizan inspección y verificación en la zona con todos los protocolos y equipos de seguridad, determinando si la zona se encuentra o no con minas antipersonal o artefactos explosivos. Posterior a esto, los organismos militares encargados de hacer la labor de desminado militar proceden a su desactivación, utilizando para ellos diferentes técnicas de acuerdo a la topografía del terreno y a los costos asociados [3].

Actualmente Colombia cuenta con diferentes procesos de desminado, centrados principalmente en solucionar de manera eficaz la problemática que se tiene con la presencia de minas en todas las regiones del país. Estos procesos se discriminan así:

- Desminado con equipo detector de metales, este sistema busca detectar los compuestos metálicos de los artefactos explosivos. Este procedimiento ha mostrado ser ineficiente, especialmente porque las minas son de fabricación artesanal con elementos y explosivos plásticos, lo que impide su detección. [1]
- Desminado con perro, en este proceso se usa un perro entrenado en la detección por traza de explosivo; este método tiene varios factores de riesgo, uno de ellos comprende lo que se denomina “mina tipo sebo”, donde el canino cuando detecta la mina, activa un sebo matando al animal, otra factor por el cual es poco usado es el alto costo asociado al entrenamiento del canino. [1]
- Desminado Mecánico: en este tipo de técnica se utilizan tanques o carros no tripulados y blindados, los cuales tienen la propiedad de desactivar las minas con mandos por control remoto o explotándolas *in-sito*. Para que esta técnica sea eficaz, es necesario que la topografía del terreno sea relativamente llana. [5]

Uno de los principales problemas del desminado en Colombia consiste en que la Dirección para la acción integral contra minas antipersonal (DAICMA) como ente regulador del proceso de desminado no cuenta con referentes internacionales ni nacionales que le permitan comparar el proceso de desminado en Colombia con otros países, además en la búsqueda bibliográfica no se encuentran indicadores a nivel de gestión e información de forma concisa y que correlacione diferentes variables con el fin de conocer y diagnosticar la situación actual del proceso de desminado [3]. En respuesta a esta problemática se plantea el diseño de un cuadro de mando interactivo que permita la evaluación del impacto del proceso a partir de indicadores, técnicas estadísticas y de meta-análisis, adicionalmente el desarrollo de una página web estadística que permita consultar rápidamente la información contenida en las bases de datos suministradas por el DAICMA y que permite a los entes gubernamentales y militares la toma asertiva de decisiones sobre el desminado.

En trabajos anteriores se evaluó el proceso de desminado en países como Bosnia, Angola, Cambodia y Mozambique a partir de indicadores, lo que permitió establecer el estado de estos países en relación al desminado [4] [5], sin embargo, en la búsqueda bibliográfica no se encuentran trabajos que comparen el proceso de desminado de diferentes países ni tampoco cuadros de mando que permitan evaluar el proceso de desminado en Colombia. Si bien es cierto estas publicaciones y trabajos previos permiten tener un panorama del proceso de desminado en los países mencionados, a la fecha no se contaba con una comparación de los indicadores de estos países con Colombia. De igual manera, en la búsqueda bibliográfica no se encuentran trabajos que implementen y desarrollen un cuadro de mando (Dashboard) con una visión holística del proceso de desminado para Colombia.

El propósito de este trabajo se centró diseñar un cuadro de mando (Dashboard) en entorno web, el cual es el producto de la evaluación histórica y bibliográfica del proceso de desminado en Colombia y otros países y del planteamiento de nuevos indicadores. Para el diseño del cuadro de mando se hizo uso de herramientas estadísticas para la evaluación y caracterización de fuentes bibliográficas sobre los temas de desminado, las cuales a mi conocimiento no han sido utilizadas para este tipo de trabajo. Igualmente se entregan los códigos de programación en R (scripts) que permiten a los usuarios que consulten el informe y reproducir la plantilla utilizando otros datos.

Contemplando lo anterior, este proyecto tiene una aplicación procedimental enfocada a un nuevo sistema de análisis del proceso de desminado, que les brindara a los militares la información apta y pertinente no solo para ser eficaces y contundentes sino para ser lo suficientemente efectivos en la realización de su labor, igualmente podrá ser integrado en una página Web y alimentado en tiempo real con los datos generados por el DAICMA.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

2.1.1 Servidor Big Data UCO

En el desarrollo de este proyecto se utilizó el servidor de Big Data perteneciente al departamento de Estadística de la Universidad Católica de Oriente, el cual es una interfaz gráficas estadística en ambiente web programada en R desarrollada bajo el concepto de Big Data y Analítica que permite la colecta, organización, sistematización, preservación y construcción de gráficos y estadísticos necesarios para la gestión, el diagnóstico y la toma de decisiones de directivos en instituciones que manejen grandes volúmenes de datos en tiempo real. En este servidor se alojó la página Web que soporta el Dashboard desarrollado. Se puede consultar más información sobre el servidor en la página bigdata.uco.edu.co/UCO/. [19]

2.1.2 Software R

En este trabajo se utilizó el software R, el cual es un conjunto integrado de programas para manipulación de datos, cálculo y gráficos. Dispone de almacenamiento y manipulación efectiva de datos, una amplia, coherente e integrada colección de herramientas para análisis de datos bajo conceptos estadísticos, analíticos y de big data.

La integración, visualización y generación de las gráficos y estadísticos básicos para el análisis de la información fueron programados utilizando funciones y paquetes en lenguaje R y utilizarán paquetes como Shiny, Plotly, ggplot2, flexdashboard, googleVis, RgoogleMaps para la creación de los Dashboard y el uso público de la información [13],[14],[15],[16], [17], [18].

2.1.3 Base de datos

Para la ejecución de este proyecto se partió de información proporcionada por los entes reguladores del proceso de Desminado en Colombia como el DAICMA y el CENAM (Centro Nacional Contra Artefactos Explosivos y Minas), dichas bases de datos se encuentran abiertas a la consulta en el siguiente link: <http://www.accioncontraminas.gov.co/Paginas/AICMA.aspx> y otras fueron proporcionadas bajo acuerdo de confidencialidad, respectivamente.

2.2 Metodología para el cumplimiento de cada objetivo específico

Propuesta y evaluación de indicadores que permitan conocer el estado del proceso de desminado en Colombia

Para la evaluación del proceso de desminado en Colombia en relación a otros países se evaluaron diferentes variables expuestas en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables utilizadas para el cálculo de indicadores

VARIABLE	DEFINICIÓN VARIABLE
Artefactos destruidos	Son todos los artefactos destruidos o desactivados en la operación del despeje, incluye cualquier artefacto explosivo improvisado y municiones sin explotar.
Operaciones realizadas para despejar	Son las operaciones realizadas para remover o destruir cualquier artefacto en un área peligrosa confirmada.
Duración del despeje	Es el tiempo (años) que lleva la fase de despeje.
Artefactos totales	Son los artefactos que se confirmaron por municipio y se espera se desactiven en su totalidad
Área despejada km ²	Es el área (km ²) que se ha despejado en cada Municipio
Área minada* km ²	Es el área (km ²) que se estima está minada por Municipio

*Para obtener el área minada por municipio se partió de la estimación que se tiene de área minada en Colombia [6]. En primer lugar se distribuyó esa área en los diferentes Departamentos relacionando el número de víctimas con el área total minada del País [7].

La variable de **área minada** es utilizada para calcular el sexto indicador, expuesto en las siguientes formulas, el cual hace referencia a la eficacia para despejar área minada.

$$\text{Coeficiente según número de víctimas (Depto)} = \frac{\text{Número de víctimas Dpto}}{\text{Número total de víctimas}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Para calcular el área minada por Departamento se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Área minada por depto} = \text{Coeficiente según número de víctimas (Depto)} * \text{área total minada del País} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Luego de tener una estimación de área minada por departamento se realizó el mismo cálculo para obtener el área minada por municipio, así:

$$\text{Coeficiente según número de víctimas (Mpio)} = \frac{\text{Número de víctimas Mpio}}{\text{Número total de víctimas}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Para calcular el área minada por Municipio se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Área minada por Mpio} = \text{Coeficiente según número de víctimas (Mpio)} * \text{Área minada por depto} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Estos cálculos pueden presentar irracionalidades, ya que se asume que en los departamentos en los que no ha ocurrido ningún accidente o incidente el área minada es 0 [8].

A partir de las variables mencionadas se calcularon 6 indicadores de gestión y oportunidad, propuestos por este trabajo, los cuales se describen a continuación:

1. Eficiencia operacional del despeje: permite establecer la eficiencia de las operaciones realizadas en la fase del despeje.

$$EOD = \frac{\text{Artefactos Destruídos}}{\text{Operaciones realizadas para despejar}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

2. Eficiencia del despeje en el tiempo: permite establecer la eficiencia de la etapa de despeje en el tiempo.

$$EDT = \frac{\text{Artefactos Destruídos}}{\text{Duración del despeje (años)}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

3. Efectividad de la operación de despeje en el tiempo: permite determinar la efectividad global en función de los artefactos destruidos por operación realizada y la duración del desminado.

$$EODT = \frac{\text{Artefactos Destruídos}}{\text{Operaciones realizadas para despejar} * \text{Duración del despeje (años)}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

4. Eficacia para destruir artefactos: permite medir el desempeño del equipo de desminado en función de los artefactos destruidos.

$$EDA EI = \frac{\text{Artefactos Destruídos}}{\text{Artefactos totales}} * 100 \quad (\text{Ecuación 8})$$

5. Efectividad de despeje en el tiempo: permite determinar la efectividad global en función de los artefactos destruidos y la duración del desminado.

$$EDAT = \frac{\text{Artefactos Destruídos}}{\text{Artefactos totales} * \text{Duración del despeje (años)}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

6. Eficacia para despejar área minada: permite medir el desempeño del equipo de desminado en función del área despejada.

$$EDA = \frac{\text{Área despejada}}{\text{Área minada}} * 100 \quad (\text{Ecuación 10})$$

Las características de los indicadores de describen la siguiente tabla:

Tabla 2: Descripción de los tipos de indicadores desarrollados en este trabajo para describir el estado de desminado en Colombia (Fuente propia).

No.	NOMBRE DEL INDICADOR	CLASE DE INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	TENDENCIA ESPERADA
1	EOD	Eficiencia	Número de artefactos/número de operaciones	Aumentar
2	EDT	Eficiencia	Número de artefactos/duración del despeje	Disminuir
3	EODT	Efectividad	Número de artefactos/número de operaciones en el tiempo	Aumentar
4	EDAEI	Eficacia	Porcentaje	Aumentar
5	EDAT	Efectividad	Número de artefactos destruidos/número de artefactos totales en el tiempo	Aumentar
6	EDA	Eficacia	Porcentaje	Aumentar

La evaluación de indicadores se realizó por medio de Figuras y comparaciones las cuales se exponen en los resultados. Adicional a ello, en el Dashboard se incluyeron las Figuras que ayudaron a determinar el estado del proceso de desminado en Colombia en relación con otros países.

Comparación del estado del desminado en Colombia con base en las referencias consultadas.

Para el cumplimiento de este objetivo se realizó una búsqueda bibliográfica que permitiera la recuperación de datos publicados en artículos de investigación y bases de datos del DAICMA, con la información colectada se diseñaron matrices que permitieron correlacionar por columna indicadores comunes entre las referencias bibliográficas. Con esta información se realizaron análisis estadísticos a partir de análisis de asociación por pruebas de Chi-cuadrado, tablas ANOVA y tablas de contingencia para determinar tendencias entre publicaciones y países respecto a los indicadores evaluados.

Diseñar un cuadro de mando (Dashboard) funcionalizado en entorno web (HTML) y en lenguaje R (script de programación) que permita la visualización de los indicadores para la evaluación del impacto y la toma de decisiones.

La metodología que se utilizó para construir el Dashboard es la propuesta por Smith [9]. En la Figura 1 se describe por medio de un diagrama de bloques el proceso general:

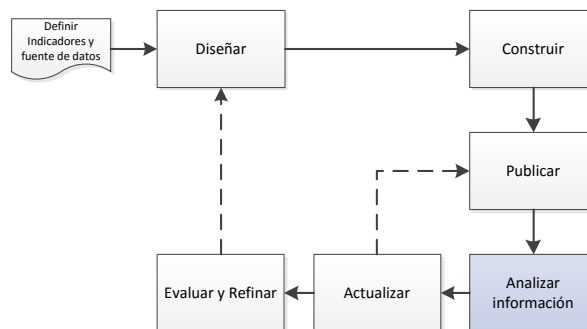


Figura 1. Diagrama de Flujo que explica la metodología para la construcción de un DashBoard (fuente propia)

- a) Diseño del dashboard: Una vez se diseñados los indicadores se seleccionaron las Figuras y los análisis adecuados para su visualización. Antes de dar inicio a la construcción del Dashboard fue importante determinar si el diseño propuesto se comunicaba de manera efectiva con los interesados.
- b) Construcción del dashboard: La codificación y el análisis estadístico se realizaron utilizando el software R. Se realizaron varias iteraciones con el fin de revisar el diseño inicial, la entrada y manipulación de los datos
- c) Publicación del dashboard: El dashboard operacional y analítico se publicó a través del Servidor Big Data UCO en la página web: <https://bigdatauco.shinyapps.io/desminadocol/>

3. Resultados y análisis

3.1 Estado de las técnicas de desminado en Colombia comparado con lo consultado para otros países

Para determinar si existe una técnica de desminado preferente en algún país de acuerdo a los casos reportados por cada una de las referencias consultadas, se utilizó una prueba de independencia de *Chi-cuadrado*, como hipótesis nula se estableció que el porcentaje de eventos de técnicas de desminado y países en las diferentes referencias consultadas es igual en todos los casos (valor-P Chi-cuadrado >0.05) y como hipótesis alterna que existe al menos una técnica en un país determinado por una bibliografía que tiene una probabilidad mayor o menor que las demás, en la Figura 2, se muestra gráficamente los resultados obtenidos.

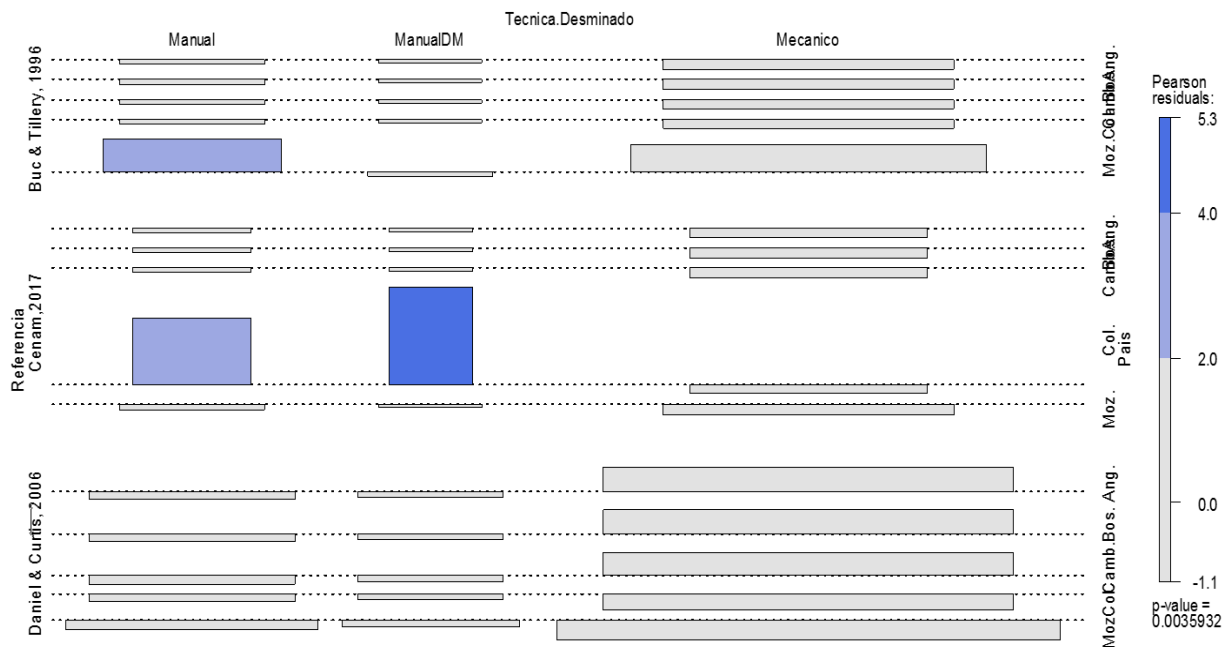


Figura 2. Prueba de independencia de Chi-Cuadrado: las cajas grises demuestran que no existen diferencias significativas entre las probabilidades de las intersecciones de los factores “Referencias”, “País” y “Tipo de Desminado”; las cajas azules muestran que existen proporciones altamente significativas en la intersección entre los factores mencionados

Como se aprecia en la Figura 2, Buc & Tillery [5] y el CENAM (datos obtenidos con acuerdo de confidencialidad) [10]; han publicado que la técnica de desminado más prevalente corresponde al desminado Manual en los países de Mozambique y Colombia (Valor-P = 0.0036), esto es adecuado ya que estos países poseen geografías difíciles de explorar, montañosas y de difícil acceso.

Por su parte, de acuerdo al DAICMA [3], Colombia ha sido el país con mayor prevalencia en el uso de técnicas combinadas manuales y con detector de metales (ManualDM), esto es algo sorprendente ya que pone a Colombia como un país que refuerza el uso de detector de metales con la excavación por parte de los operarios del desminado, sin embargo hace falta indagar por qué los otros autores no reportan usos significativos de ésta técnica en los otros países.

Por último, al observar lo mostrado por Daniels & Curtis [4]; aunque no se muestra una tendencia significativa por preferir una técnica en un determinado país, reporta tendencias crecientes de desminado mecánico en los países analizados; esto puede deberse a que el estudio específico intenta favorecer este tipo de tecnología y por tanto su centro de estudio es el desminado mecánico.

En la Figura 3, en el *test de chi cuadrado* se pueden observar los resultados obtenidos para las dos técnicas de desminado utilizadas en los diferentes Departamentos de Colombia.

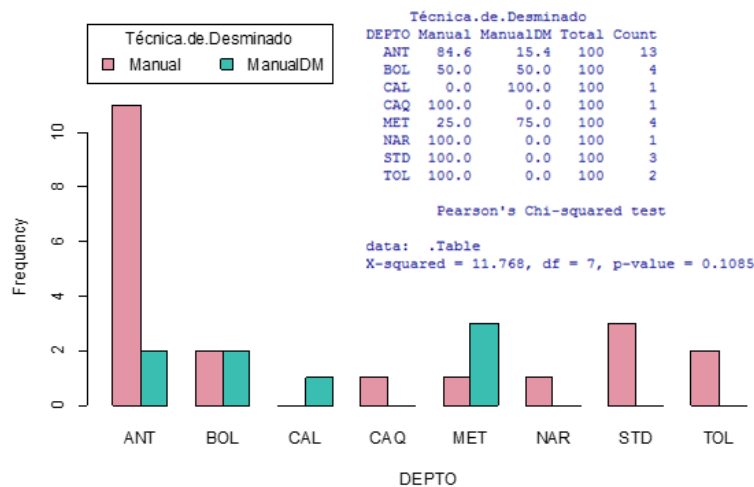


Figura 3. Técnicas de desminado por Depto. Donde ANT: Antioquia; BOL: Bolivar; CAL: Caldas; MET: Meta; NAR: Nariño; STD: Santander; TOL: Tolima. Frequency: indica el número de operaciones de desminado en los departamentos de Colombia.

Como se puede evidenciar no hay un departamento que tenga una mayor prevalencia (porcentaje de eventos de una técnica específica) de una determinada técnica (valor P de Chi-cuadrado > 0.1085) lo que quiere decir que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las técnicas de desminado empleadas en Colombia, sin embargo es importante aclarar que Antioquia ha sido el departamento en el que se ha presentado más casos de desminado tanto en manual como manual ayudada con detector de metales (ManualDM); esto indica que no existe ninguna técnica prevalente en ninguno de los municipios evaluados, a pesar de que en los departamentos de Caqueta, Nariño, Santander y Tolima se presentaron únicamente desminado Manual, la proporción de éste desminado con los demás departamentos no fue significativa.

Uno de los indicadores calculados para este trabajo se denomina Eficiencia para despejar área minada; en la Figura 4, se pueden visualizar los resultados obtenidos en Colombia. Como se observa en dicha Figura, se aprecia que no existe diferencias significativas entre la técnica de desminado Manual y ManualDM (Valor

P=0.5529); sin embargo se puede observar una tendencia de la técnica de desminado ManualMD a tener una mayor Eficiencia; este indicador implica que en una unidad de área, la técnica ManualMD, permite la detección de más MAP y MUSE que la técnica manual sola.

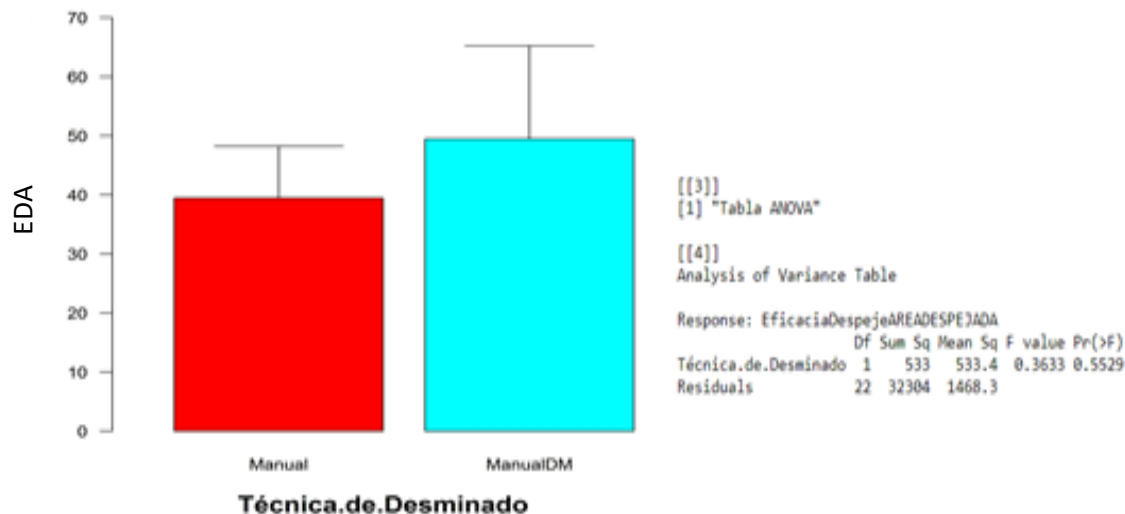


Figura 4. Eficacia Despeje por técnica de desminado

Para establecer cuáles son los indicadores que explican las diferencias entre las técnicas de desminado Manual y ManualDM, en la Figura 5 y 6 se presenta un Análisis Discriminante Canónico, este análisis permite explicar las variaciones en los niveles de un factor en función de múltiples variables de respuesta cuantitativas [10].

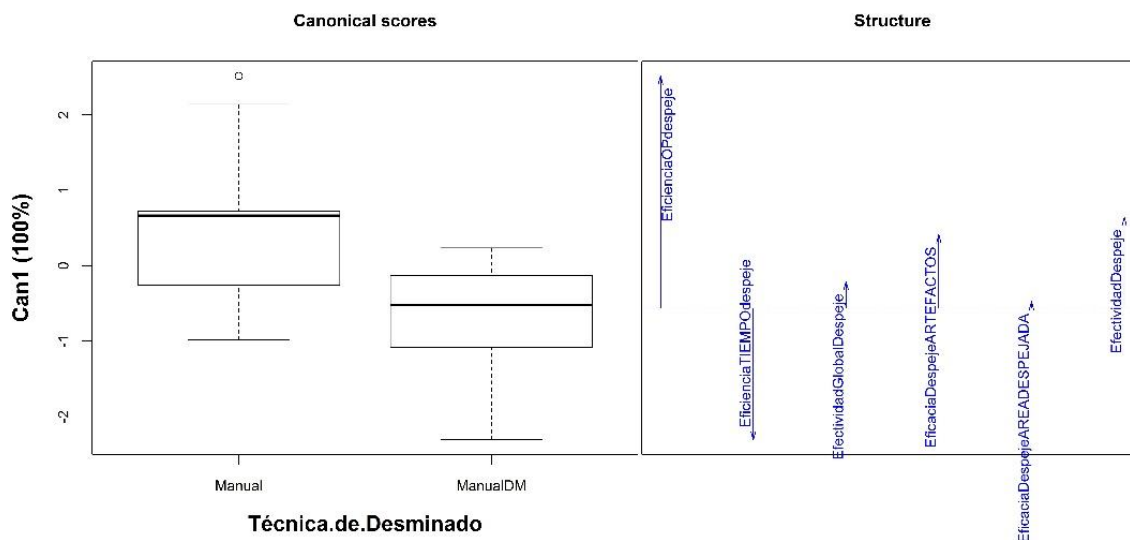


Figura 5. Discriminante canónico por técnica de desminado

Como se observa en la Figura 5, y con una varianza explicada del 100% es posible establecer que el desminado Manual presentó una mejor Eficiencia en la Operación de despeje; el porcentaje de minas halladas bajo la técnica

manual en una unidad de área fue mayor que las halladas utilizando un método ManualDM; esto puede explicarse debido a que la técnica manual no da nada por sentado. Sin embargo la técnica combinada ManualDM fue mejor para los indicadores de eficiencia en el tiempo de despeje (observar la dirección de la flecha), es decir se detectan más rápidamente los artefactos. Para los demás indicadores no se encontraron diferencias muy significativas.

En la Figura 6, se generó un modelo canónico que explica en un 53.4% la varianza observada, en dicha Figura se comparan los indicadores de eficiencia y eficacia en los diferentes departamentos, evidenciando que la Eficiencia en el tiempo del despeje, la Eficiencia en la Operación de despeje, la Eficacia de despeje por Artefactos y la Eficacia de despeje por área despejada fue mejor en el departamento de Santander, seguido del departamento de Antioquia. Del departamento de Caldas, no se puede analizar nada ya que solo cuenta con una réplica.

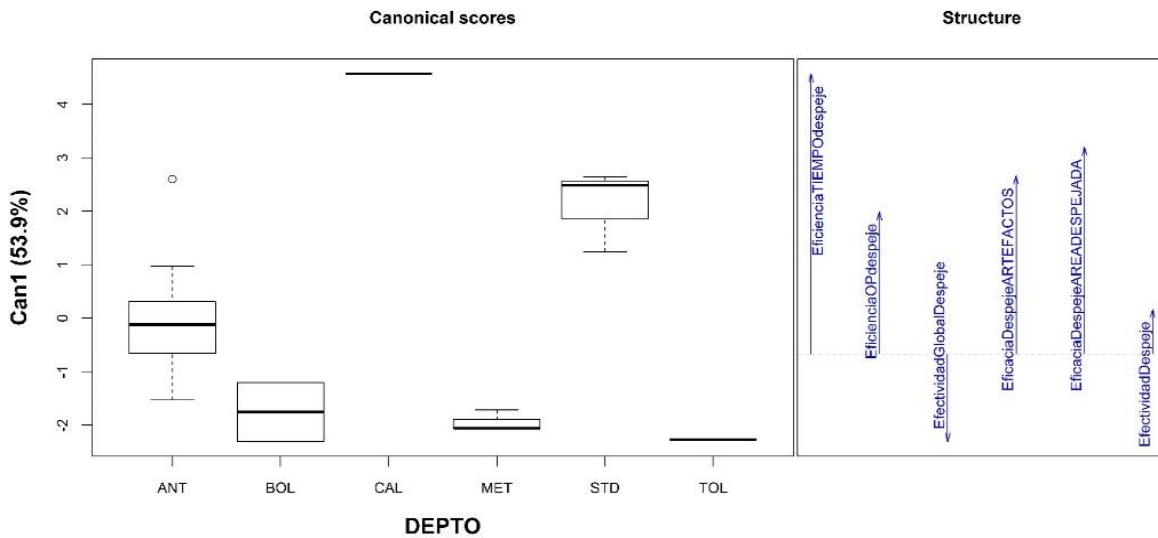


Figura 6. Discriminante canónico por Departamento. Donde ANT: Antioquia; BOL: Bolivar; CAL: Caldas; MET: Meta; NAR: Nariño; STD: Santander; TOL: Tolima.

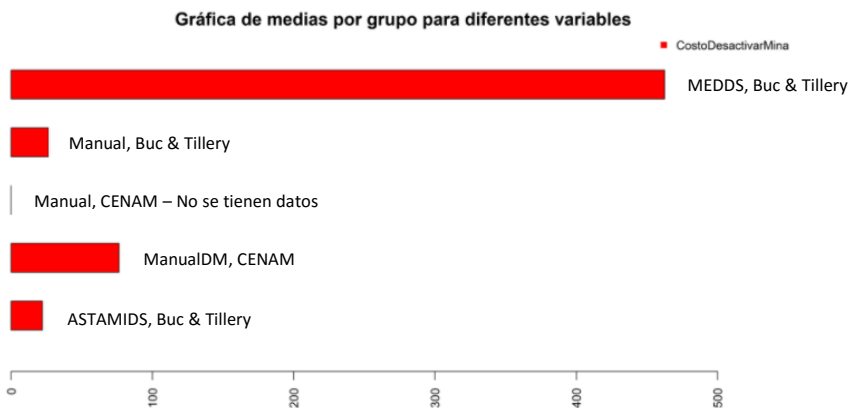


Figura 7. Costos por técnica de desminado en dólares por artefacto desactivado

En cuánto el costo de desminado por MAP y MUSE, en la Figura 7 se puede observar que el costo de la técnica MEDDS, es alto en relación a otras técnicas. Aunque las técnicas evaluadas por Buc & Tillery [5] presentan eficiencias altas y una duración de despeje proporcional al tiempo de duración en Colombia, se evidencia que la técnica ASTAMIDS® es menos costosa que la manual con detector de metales utilizada en Colombia, por lo que la deja como posible técnica a emplear en Colombia y la posibilidad de que las autoridades militares exploren el uso de este tipo de técnicas para complementar el desminado manual.

De acuerdo a [13], la técnica ASTAMIDS consta de una carga útil de imágenes por infrarrojos, multispectrales, multisensores, electroóptica integrada de 75 libras y está programado para operar en un helicóptero no tripulado que está siendo desarrollado por Northrop Grumman®; esta técnica es eficiente ya que permite la detección bajo condiciones de luz y oscuridad. ASTAMIDS® utiliza la última tecnología de un iluminador integrado y un telémetro láser, capaz de detectar obstáculos, vehículos de combate, minas recientemente enterradas y minas dispersadas al azar [14]. Debido que su costo por artefacto encontrado se asemeja al costo de la técnica manual empleada en Colombia, se recomienda ésta técnica ya que por ser un medio aéreo, la topografía Colombia no impide su utilización. Sin embargo, es importante mencionar que está técnica actualmente no es tan precisa como los detectores terrestres, sin embargo con las próximas mejoras tecnológicas, se espera que el sistema sea capaz de operar a mayor altura y detectar una mayor variedad de elementos.

En la Figura 8, al igual que se reportó en la Figura 2; se evidencia que en países como Bosnia, Cambodia y Angola se presenta una fuerte tendencia hacia el desminado Mecánico. Dentro de los equipos de desminado mecánico se encuentra la combinación de la tecnología GRP y el detector de metales, técnica que en Colombia aún no es utilizada. En la Figura de interacción, aunque se observe que Colombia es el único país que reporta resultados por la técnica manual y con ayuda de detectores de metales (ManualDM), la eficiencia del desminado mecánico en los otros países demuestra que utilizar esta técnica genera mejores resultados en cuanto a la Eficiencia de despeje en el tiempo (Cantidad de artefactos desactivados/unidad de tiempo). En Colombia este tipo de técnicas mecánicas tiene restricciones en el uso masivo, debido a la topografía del terreno en los campos minados.

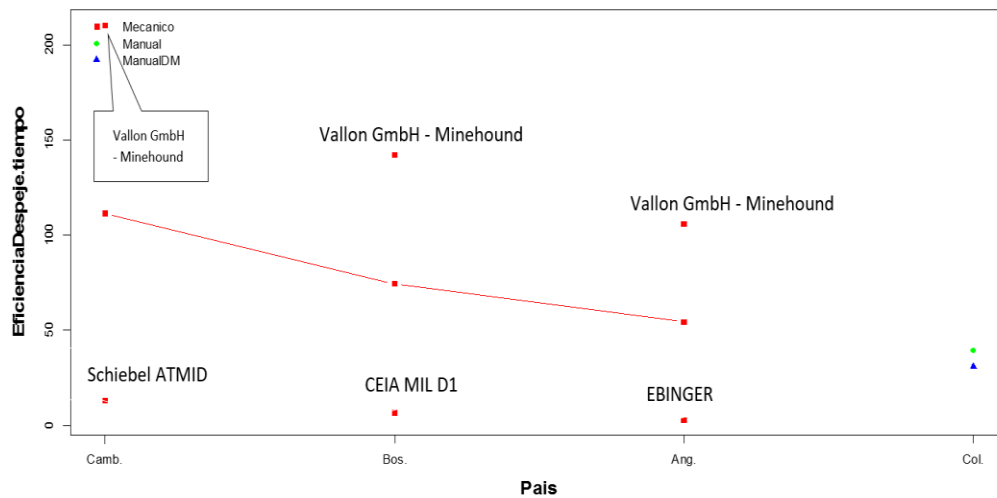


Figura 8. Análisis de Interacción Eficiencia. Donde: Camb.: Cambodia; Bos.: Bosnia; Ang.: Angola y Col.: Colombia.

De acuerdo a Daniel & Curtis [4], se considera como desminado mecánico el uso de detector de metales y radares de penetración terrestre (GPR), esta última no ha sido utilizada en Colombia, donde el desminado mecánico utilizado es el barreminas, que pueden ser tripulados o manejados a control remoto, sin embargo, la

desventaja principal de estas máquinas es que solo pueden funcionar en campos llanos y abiertos, debido a lo robusto del equipo, además de las largas horas de operación para lo cual el equipo no cumple con su función (por mantenimiento o reparación) y del costo que tiene, que de acuerdo a Semana [11] con este equipo barreminas se estima que el desminado de un metro cuadrado cuesta cerca de 1.000 dólares; adicional a ello luego del barrido con la máquina es necesario un nuevo barrido con una de las otras técnicas utilizadas en Colombia, ya sea manual o con ayuda de perros rastreadores, según los protocolos establecidos [12].

Aunque los detectores de metales como Schiebel ATMID®, CEIA MIL D1® y EBINGER® hacen parte de la técnica mecánica, presentan eficiencias menores respecto al equipo Vallon GmbH – Minehound, el cual también es considerado una técnica mecánica, pero utiliza una combinación entre el detector de metales y el radar de penetración terrestre (GPR) y presenta mejores resultados al reducir los falsos positivos [4]. Esta técnica se sugiere en el país de Colombia ya que la topografía se adapta a las condiciones para el uso de esta tecnología.

La técnica propuesta por Daniels & Curtis [4], presenta los mejores resultados para el uso del desminado mecánico apoyado en GPR, de acuerdo a Pino [1] es una técnica que aunque es muy utilizada como complemento del detector de metales, es poco viable en suelos húmedos, ya que el agua atenúa las ondas reflejadas. Sin embargo presenta como ventaja en comparación con el detector de metales, que puede identificar objetivos metálicos bajo tierra, aumentando así la probabilidad de detección de minas. El detector de metales localiza objetos hasta 1 metro, a diferencia del GPR, el cual detecta objetos a profundidades hasta de 1.5 m.

El desminado mecánico que propone Daniels & Curtis [4] sigue siendo mejor en comparación con el desminado con detector de metales empleado en Colombia, ya que el detector de metales puede sufrir interferencias por señales electromagnéticas del entorno como los causados por cables de alta tensión de líneas eléctricas, transmisores de radio y/o motores eléctricos; adicional presenta como desventaja los numerosos falsos positivos debido a la presencia de objetos metálicos abandonados en superficie de la tierra, suelos ricos en minerales que se componen de diversos metales y suelos salinos como las zonas costeras [1].

3.2 Evaluación de indicadores de víctimas, accidentes y eficiencias en Colombia

La evaluación de indicadores se realizó por medio de Figuras y comparaciones, método innovador para la representación de las bases de datos presentadas por el DAICMA. Estos resultados indican otro avance significativo en este proyecto de grado; lograr mostrar de manera interactiva los principales indicadores y estadísticas del proceso de desminado. A la fecha no se encuentra un desarrollo que permita la visualización de este tipo de información.

Se entiende como Evento, accidentes e incidentes por causa de minas antipersonal y municiones sin explotar [5]. Los tipos de eventos fueron categorizados de la siguiente manera: accidentes por MAP, accidentes por MUSE, arsenal almacenada, desminado militar en operaciones, incautaciones, municiones sin explotar, producción de minas, sospecha de campo minado.

De acuerdo a la Figura 9 el evento más recurrente en el tiempo es el desminado militar en operaciones, con un total de eventos de 2910 en el año 2012. Esto genera suposiciones en que el proceso de desminado en Colombia en ese año posiblemente no cumplieron con los requerimientos tácticos y operativos ó la cantidad de MAP o MUSE fue tan grande que la tasa de víctimas aumento en dicha proporción. Igualmente preocupa que la mayor cantidad de eventos se presentó en operaciones de desminado y quiénes salieron afectados fueron miembros de la fuerza pública o de ONG's dedicadas a labores de desminado.

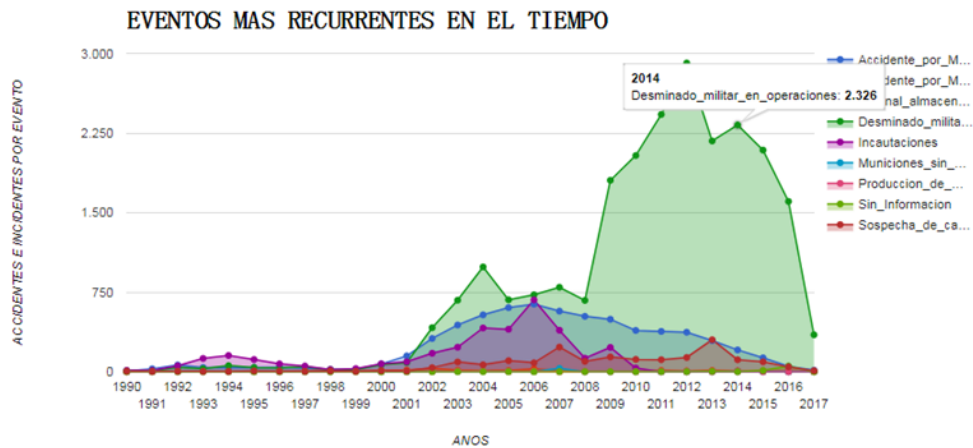


Figura 9. Eventos más recurrentes en el tiempo

En la Figura 10 se observa como la mayor cantidad de víctimas en el conflicto fue producto de la explosión de minas y se presentó en personas naturales que se encontraban pasando o estando cerca de los campos minados, en esta Figura se observa que fue el año 2005 el más recurrente. Esto genera mayor preocupación ya que cualquier persona, sea en una zona rural o urbana, está expuesta a ser víctima de una mina. Igualmente es curioso notar que la mayor cantidad de accidentes se presentó en el 2005; mientras que la mayor cantidad de víctimas por despeje se dio en el 2012, esto genera una controversia: ¿Qué pasó con las labores de desminado entre el 2005 y el 2012?.

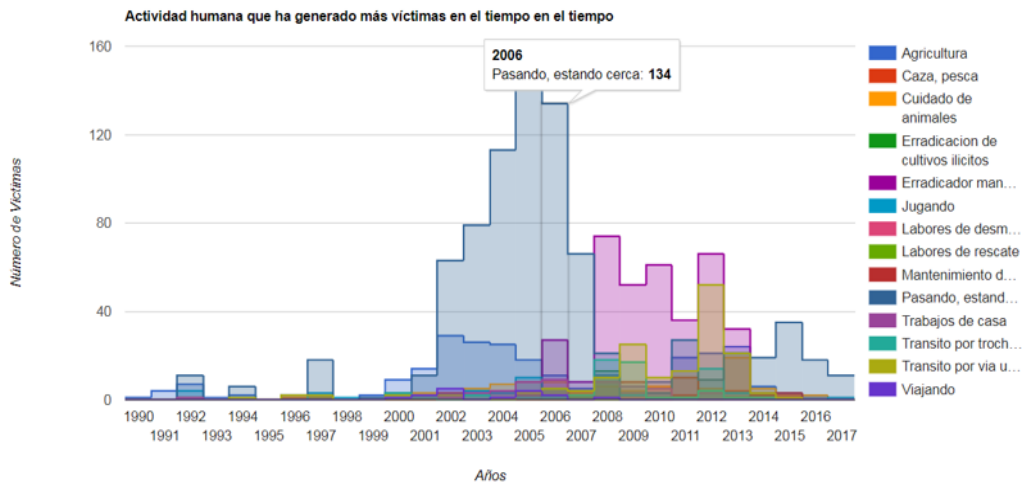


Figura 10. Actividades que han generado mayores víctimas en el tiempo

Adicional a ello se evaluaron indicadores de eficiencia, los cuales fueron calculados a partir de las variables proporcionadas por el CEMAN y el DAICMA (descritas en la Tabla 1).

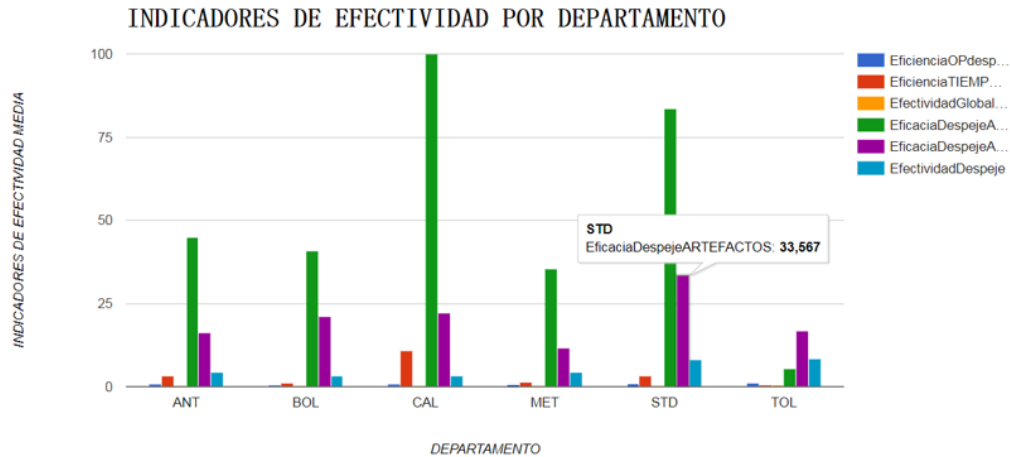


Figura 11. Indicadores de Eficiencia por Depto

En la Figura 11, se puede visualizar un Gráfico interactivo en entorno Web que valida los indicadores desarrollados en este trabajo: aunque la eficacia para despejar en relación a los artefactos desactivados es mayor en el departamento de Caldas, las bases de datos utilizadas solamente evidencian un caso en dicho territorio. Así, el departamento de Santander fue el que presentó mayores indicadores, debido a la significancia de los casos. Este gráfico interactivo disponible en la página Web, puede ser integrado a los sistemas de información del DAICMA en tiempo real para poder de esta manera tener indicadores de eficacia calculados en este trabajo.

En cuanto a variables sociodemográficas, la Figura 12, muestra de manera interactiva la correlación entre género, edad y tipo de artefacto más recurrente en el accidente de minas.

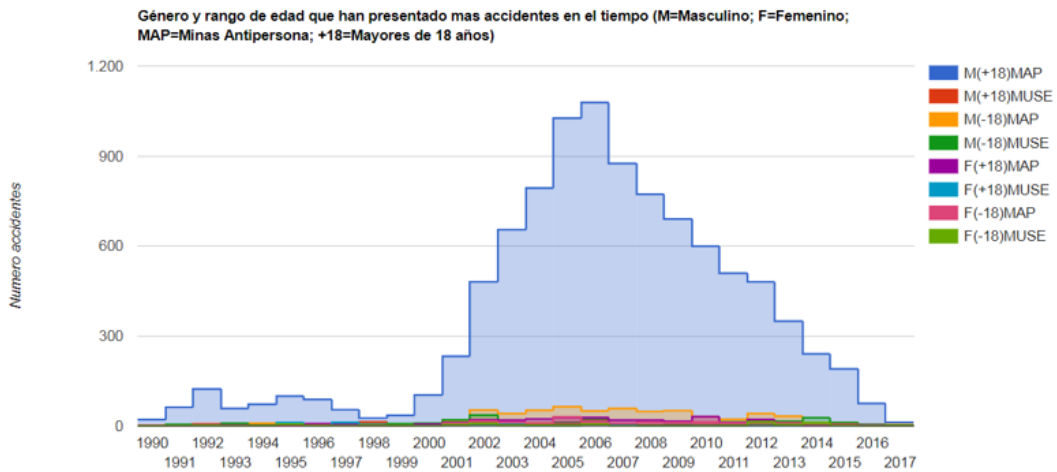


Figura 12. Género y rango de edad que han presentado mayor accidentes en el tiempo

En la Figura 12, se evidencia como el género masculino mayor a 18 años fue la mayor población víctima de las minas, teniendo un pico alto en el año 2006. El género Femenino no presentó víctimas representativas. La explicación de porqué los hombres son los más afectados, consiste en que ellos son que conforman en mayorías los grupos de Brigadas, Ejército y demás entidades que realizan el proceso de desminado en Colombia; adicional

son también los hombres los que hacen labores de campo como la agricultura, la caza, mantenimiento del campo, ocasionando que haya un mayor número de víctimas en este género

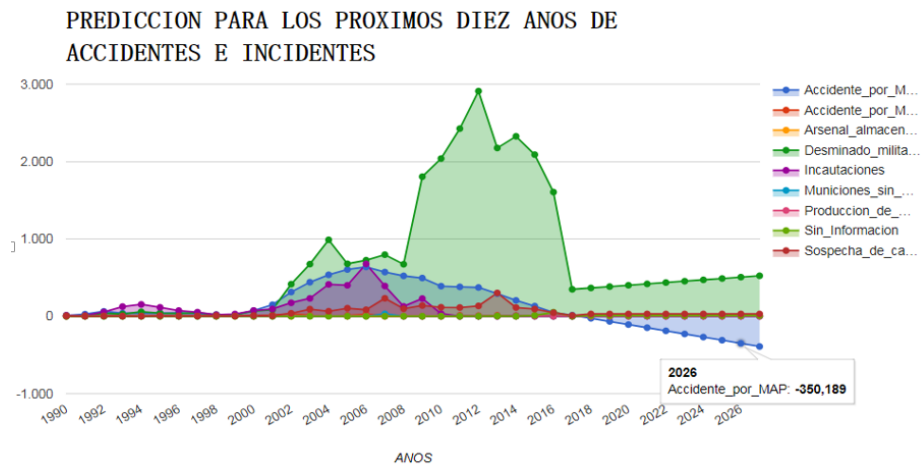


Figura 13. Proyección de eventos para los próximos 10 años

La plataforma diseñada para analizar el número de accidentes por MAP y MUSE, también puede hacer predicciones por medio de un modelo de regresión, como se observa en la Figura 13, los accidentes por minas antipersonal tienden a disminuir, a diferencia de los eventos producidos en labores de desminado, que si bien es cierto no tiende a crecer drásticamente, los resultados de la regresión dan muestra que seguirá ocurriendo cualquier tipo de evento durante el desminado militar en operaciones hasta que puedan ser completamente eliminados los campos minados. Estos modelos se integran automáticamente a las bases de datos del DAICMA y permiten que las proyecciones se actualicen a medida que se actualicen los datos.

La plataforma también permite el análisis en mapas a partir de paquetes como RgoogleMaps y Google Maps.

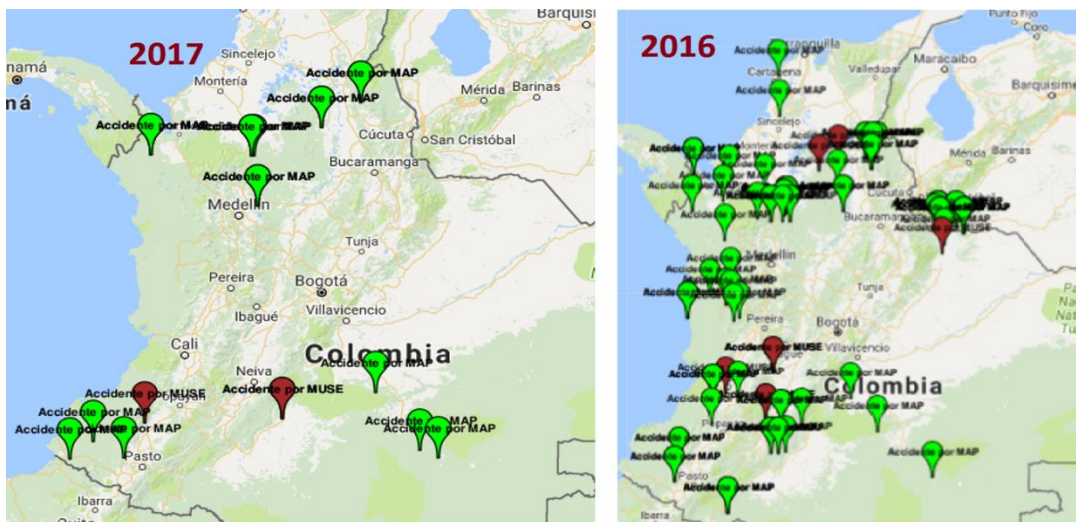


Figura 14. Eventos 2016 vs 2017 a nivel nacional

En la Figura 14, se puede evidenciar como en el 2017 los eventos redujeron a nivel nacional en comparación al año 2016. Sin embargo se observa como los eventos por minas antipersonal siguen dominando el mayor número de víctimas en Colombia. Esto evidencia que el proceso de desminado ha ido evolucionando, no obstante, es necesario emplear técnicas que aceleren la desactivación de las minas y artefactos de forma que se despejen la mayor cantidad de terrenos para que sean restituidos a las familias; igualmente este mapa evidencia la eficacia del proceso de paz

3.3 Diseño del Dashboard

Ejecutando en R Studio, el anexo “*Script Dashboard*”, se puede visualizar el dashboard que se desarrolló a partir de los indicadores.

Las aplicaciones que se desarrollaron en R para la visualización de indicadores de eficiencia, número de víctimas en el tiempo, número de víctimas por departamento, tipo de evento por departamento y tipo de eventos en el tiempo se desarrollaron a partir de interfaces Figuras interactivas funcionalizadas bajo el concepto de Cuadro de Mando o Dash Board, dichas aplicaciones fueron integradas en páginas Web y disponibles para todas las personas que lo requieran; esto facilitó la consulta y la generación de Figuras geoestadísticas, modelos probabilísticos e inferenciales para determinar la incertidumbre y las variaciones propias y la confiabilidad de los indicadores seleccionados. Un Dashboard se define como un sistema de visualización (página Web, monitor, etc) cuya función es mostrar de manera interactiva la información más relevante para la comprensión y el modelamiento de un fenómeno organizacional, dicha representación puede ser diseñada en una o varias páginas web de acuerdo a los estimadores y a la complejidad de los fenómenos que se requieren estudiar [15]. Los Dashboard surgen a mediados de la década de los 90 con el crecimiento de tecnologías y algoritmos de minería de datos y estadística; una disminución significativa de los costos en hardware para almacenamiento y procesamiento de la información; incremento en la velocidad de los procesadores de datos; demanda de directivos y gobiernos por tener acceso en tiempo real a resúmenes estadísticos confiables generados a partir de grandes volúmenes de datos y necesarios para la toma segura de decisiones [9].

Con la gestión de información que maneja el DAICMA se evidencia la falta de cuadros de mando que den muestra del estado del proceso de desminado en Colombia y aunque cuenta con suficientes datos para la aplicación de cuadros de mando, no han generado los aplicativos interactivos para la generación de los cuadros de mando para la interpretación de los datos.

En este trabajo se realizó una recuperación y lectura de los datos disponibles a nivel Colombia sobre el proceso de desminado, abarcando indicadores de eficiencia, víctimas y eventos; estos datos se organizaron y almacenaron de manera adecuada. Con la exploración estadística de la información se evaluaron diferentes modelos y Figuras que permitieron el conocimiento del comportamiento de los datos y el establecimiento de regresiones significativas de predicción. A partir de los paquetes y funciones disponibles en R, se generaron Figuras que permiten a las personas utilizar los modelos desarrollados; por último se creó la página Web tipo proceso de desminado, en donde se mostraron los indicadores mencionados. La integración, visualización y generación de los modelos de las principales bases de datos, así como la construcción de los modelos y algoritmos para la generación de los estadísticos se realizó en lenguaje R [16] y se utilizó paquetes como Shiny [17], Plotly [18], ggplot2, flexdashboard, googleVis, RgoogleMaps, y un servidor de la Universidad Católica de Oriente para la creación de los Dashboard y el uso público de la información.

Este trabajo fue novedoso en la medida que ha sido el primer desarrollo mundial que pondrá a disposición del público en general interfaces web bajo programación en R para la visualización integral de la información contenida en bases de datos secundarias sobre el estado del proceso de desminado en Colombia; los aplicativos, páginas web y paquetes de R que se desarrollaron pueden ser consultados tanto por personas sin conocimientos profundos en estadística, como expertos quienes podrán usar las aplicaciones desarrolladas para modelar sus propios datos.

4. Conclusiones

- Colombia no cuenta con la tecnología apropiada para enfrentar el problema de minas antipersona y artefactos explosivos improvisados. El meta análisis, permite recomendar el uso de la tecnología de radares terrestres y sistemas aéreos. Técnicas combinadas, como GPR - detector de metales estándar tendrían también una alta aplicabilidad en el territorio Colombia pues permitirían no solo la detección de los explosivos, sino la ubicación de las AEIs, especialmente si estos se encuentran bajo el suelo.
- En cuanto a las víctimas de desminado, se constató que el personal encargado del desminado ha sido el más afectado por las MAP y las MUSE; la mayor afectación se presentó en el año 2012.
- En cuanto al género, los hombres mayores de 18 años fueron las personas que más accidentes sufrieron; los picos de accidentalidad se presentaron entre el 2002 y el 2012; fecha coincidencial con el gobierno de Álvaro Uribe Vélez.
- En cuanto a los oficios de las personas que presentaron mayores víctimas en el proceso, se encuentra el tránsito por la zona afectada con minas; seguido por los oficios de agricultura, especialmente en los últimos años del conflicto.
- La técnica de desminado aérea (ASTAMIDS) empleada en países como Mozambique es más eficiente que las empleadas en Colombia y por ser un sistema aéreo no tiene impedimentos su utilización en la topografía de Colombia.
- El uso de Minehound es una técnica de desminado eficiente en comparación a las utilizadas en Colombia, ya que combina dos tecnologías, el radar de penetración terrestre y el detector de metales estándar.

5. Tabla de Anexos

En la tabla 1 se encuentran los respectivos anexos del proyecto.

Tabla 1. Documentos adicionales incluidos con el proyecto de grado.

Nombre	Desarrollo (propio/terceros)	Tipo de Archivo	Enlace google drive (https://goo.gl/)
Script Dashboard	Propio	Texto/plano	https://drive.google.com/file/d/1CM0KzR9gpbrv22UhC2104WcbjcoDxk1g/view?usp=sharing

Referencias

- [1] Y. A. Pino Jaramillo, «Determinación de técnicas de detección de explosivos óptimas para el Departamento de Antioquia,» Medellín, 2009.
- [2] Arango Dominguez, Ana María, «Intercambio Humanitario,» Humanitarian Practice Network en ODI, 2009.
- [3] Presidencia de la República de Colombia, «Dirección para la acción integral contra minas antipersonal,» Presidencia de la República, 18 01 2017. [En línea]. Available: <http://www.accioncontraminas.gov.co/Paginas/AICMA.aspx>. [Último acceso: 20 08 2017].
- [4] D. Daniels y P. Curtis, «Minehound™ trials in Cambodia, Bosnia, and Angola,» 2006.
- [5] S. Buc y G. Tillery, «Cost and Effectiveness Analysis Modeling for Demining Operations,» 1996.
- [6] Dinero, «El plan para evitar más víctimas de minas antipersona,» Dinero, 11 Octubre 2016.
- [7] Caracol radio, «Más de 4.2 millones de metros cuadrados en Colombia están libres de minas,» 17 Agosto 2017. [En línea]. Available: http://caracol.com.co/radio/2017/08/17/nacional/1503000322_038850.html. [Último acceso: Septiembre 2017].
- [8] Y. Lahuerta Percipiano, «Impactos económicos generados por el uso de Minas Antipersona en Colombia,» 2003.
- [9] V. Smith, «Data Dashboard as Evaluation and Research Communication Tool,» 2013.
- [10] Ejército Nacional de Colombia, «Centro Nacional Contra Artefactos Explosivos y Minas,» Agosto 2017. [En línea].
- [11] Semana, «Así es la máquina 'barreminas',» 25 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://www.semana.com/nacion/articulo/minas-antipersonal-en-colombia-asi-es-la-maquina-barreminas/422176-3>. [Último acceso: Agosto 2017].
- [12] DAICMA, «Operaciones con técnica mecánica,» 2017.
- [13] Northrop Grumman, «Northrop Grumman's ASTAMIDS Proves it Can Detect IEDs From the Air in Near-Real Time,» 6 Diciembre 2010. [En línea]. Available: <https://news.northropgrumman.com/news/releases/northrop-grumman-s-astamids-proves-it-can-detect-ieds-from-the-air-in-near-real-time>. [Último acceso: Agosto 2017].
- [14] Northrop Grumman, «Northrop Grumman's ASTAMIDS Program Increases Mission Capability,» Abril 2005. [En línea]. Available: <https://news.northropgrumman.com/news/releases/northrop-grumman-s-astamids-program-increases-mission-capability>. [Último acceso: Agosto 2017].
- [15] S. Few, «Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data,» 2006.
- [16] R. C. Team, «R: A language and environment for statistical computing,» 2016. [En línea].
- [17] J. C. Winston Chang, Y. X. JJ Allaire y M. Jonathan, «Shiny: Web Application Framework for R. R package,» 2017. [En línea]. Available: <https://CRAN.Rproject.org/package=shiny>.

- [18] C. Sievert, C. Parmer, T. Hocking, S. Chamberlain, K. Ram, M. Corvellec y P. Despouy, «Plotly: Create Interactive Web Graphics via 'plotly.js',» 2017. [En línea]. Available: <https://CRAN.R-project.org/package=plotly>.
- [19] Universidad Católica de Oriente, Big Data y Analítica, 2017. [En línea]. Disponible: <http://bigdata.uco.edu.co/UCO/Login> [Último acceso: Octubre 2017]