

**ANALIZAR LAS ÁREAS AFECTADAS A CAUSA DEL AFLORAMIENTO  
DEL POZO (PATADA DE POZO) CIRA5083 EN LA VEREDA CAMPO 5 EN EL  
DEPARTAMENTO DE SANTANDER.**

**David Alberto Beleño Pinzón – Código: 83202411184**

**Harold Andrés Chacón Herrera – Código: 83202414399**

**Juan Sebastián Rodríguez Alvis – Código: 83202412932**

**Kelly Johana Quintero Hernández – Código: 83202412797**

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Especialistas en Sistemas de Información Geográfica

Director:

M.Sc., Jose Fernando Mejía Correa

Asesora:

M.Sc., Ana María Giraldo Patiño

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2025

---

## Resumen

El departamento de Santander ha realizado históricamente grandes aportes al sector minero-energético, destacándose Barrancabermeja como una de las primeras zonas del país en explotar petróleo. Durante más de un siglo, esta región ha liderado la tecnificación de los procesos de extracción. Sin embargo, esta industria ha enfrentado diversas emergencias, como la analizada en este caso, ocasionada por una patada de pozo (kick) en el campo La Cira-Infantas, específicamente en el pozo CIRA-5083, ubicado en el distrito de Barrancabermeja.

Esta emergencia generó graves afectaciones ambientales y sociales. Este tipo de eventos son poco frecuentes, ya que ocurren cada 100 años aproximadamente. Por ello, se emplearon metodologías avanzadas, como herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), vuelos fotogramétricos y visitas de campo, para evaluar con precisión la magnitud del daño.

El postproceso de los datos permitió generar ortomosaicos y consolidar información técnica (ambiental, forestal y social) en una geodatabase, lo que facilitó la estimación de áreas afectadas, vegetación, fauna y construcciones impactadas por la mancha de petróleo, utilizando el software ArcGIS Pro y posteriormente se integraron los resultados en una base de datos con comparaciones de imágenes previas y posteriores al evento, útiles para seguimiento y planes de respuesta a emergencias similares. También se generaron salidas gráficas que visualizaron los impactos y apoyaron un análisis multidisciplinario, clave para formular una ruta de atención eficiente y oportuna.

**Palabras clave:** Gestión del riesgo, Geodatabase, Ortomosaico, SIG, ArcGIS Pro, Patada de Pozo (Kick).

---

### **Abstract**

The department of Santander has historically made significant contributions to the mining and energy sector, with Barrancabermeja standing out as one of the first regions in the country to exploit oil. For over a century, this region has led the way in the modernization of extraction processes. However, the industry has faced various emergencies, such as the one analyzed in this case, caused by a well kick in the La Cira-Infantas field, specifically at well CIRA-5083, located in the Barrancabermeja district.

This emergency caused severe environmental and social impacts. Such events are rare, occurring approximately once every 100 years. Consequently, advanced methodologies were implemented, including the use of Geographic Information System (GIS) tools, photogrammetric flights, and field visits, to accurately assess the extent of the damage.

The post-processing of the data enabled the generation of orthomosaics and the consolidation of technical information (environmental, forestry, and social) into a geodatabase. This facilitated the estimation of affected areas, vegetation, wildlife, and structures impacted by the oil spill, using ArcGIS Pro software. Subsequently, the results were integrated into a database that included comparisons of pre- and post-event images, useful for monitoring and planning responses to similar emergencies. Additionally, graphical outputs were produced to visualize the impacts and support a multidisciplinary analysis, which was key to formulating an efficient and timely response plan.

**Key words:** Risk management, Geodatabase, Orthomosaic, GIS, ArcGIS Pro, Well Kick.

---

## Contenido

	Pág.
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA .....	11
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	12
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	13
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>3. ANTECEDENTES.....</b>	<b>16</b>
<b>4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL.....</b>	<b>28</b>
<b>5. REFERENTE TEÓRICO .....</b>	<b>31</b>
<b>6. METODOLOGÍA .....</b>	<b>44</b>
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO .....	44
6.2 TIPO DE ESTUDIO.....	45
6.3 PROCEDIMIENTO .....	46
6.3.1 <i>Fase I: Realizar la Georreferenciación y postproceso de las imágenes capturadas con Dron en el pozo CIRA5083.</i> ....	47
6.3.2 <i>Fase II: Identificar las coberturas vegetales afectadas mediante la interpretación de imágenes.</i> .....	56
6.3.3 <i>Fase III: Visita de campo para recolección de información (fauna, vegetación (árboles) y viviendas)</i> .....	62
6.3.4 <i>Fase IV: Generar Base de datos y salidas graficas finales.</i> .....	66
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>68</b>
7.1 RESULTADO FASE I: GEORREFERENCIACIÓN Y POSTPROCESO DE LAS IMÁGENES CAPTURADAS CON DRON EN EL POZO CIRA5083. ....	68
7.2 RESULTADO FASE II: IDENTIFICACIÓN DE LAS COBERTURAS VEGETALES AFECTADAS MEDIANTE LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES. ....	70
7.2.1 <i>clasificación supervisada sobre el ortomosaico antes de la emergencia.</i> .....	71
7.2.2 <i>clasificación supervisada sobre ortomosaico durante la emergencia</i> .....	77
7.2.3 <i>clasificación supervisada sobre ortomosaico después de la emergencia</i> .....	82

---

7.3 RESULTADO FASE III: VISITA DE CAMPO PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN (FAUNA, VEGETACIÓN (ÁRBOLES) Y VIVIENDAS).....	88
7.4 RESULTADO FASE IV: GENERAR BASE DE DATOS Y SALIDAS GRAFICAS CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	101
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>108</b>
<b>9. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>10. REFERENCIAS .....</b>	<b>115</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Paso I: Planeación de vuelo fotogramétrico</i> .....	49
<b>Figura 2</b> <i>Proceso de campo para vuelo Fotogramétrico durante la emergencia</i> .....	50
<b>Figura 3</b> <i>Paso II: Ejecución de vuelo fotogramétrico</i> .....	51
<b>Figura 4</b> <i>Paso III: Postproceso de datos GNSS y vuelo fotogramétrico</i> .....	52
<b>Figura 5</b> <i>Descarga de imagen satelital Planet Scope</i> .....	61
<b>Figura 6</b> <i>Visita de campo durante la emergencia</i> .....	63
<b>Figura 7</b> <i>Metadatos del ortomosaico del campo la Cira-Infantas con vigencia de abril de 2024</i> .....	69
<b>Figura 8</b> <i>Ortomosaico del campo la Cira-Infantas capturada durante la emergencia en abril de 2024</i> .....	70
<b>Figura 9</b> <i>Ortomosaico del campo la Cira-Infantas antes de la emergencia con vigencia de junio de 2022</i> .....	72
<b>Figura 10</b> <i>Área de Estudio – Coberturas Metodología Corine Land Cover – Ortomosaico antes de la emergencia</i> .....	74
<b>Figura 11</b> <i>Gráfico de resultados – Coberturas Metodología Corine Land Cover 2018 – Ortomosaico 2022</i> .....	76
<b>Figura 12</b> <i>Área de Estudio – Coberturas Metodología Corine Land Cover – Ortomosaico durante la emergencia</i> .....	79
<b>Figura 13</b> <i>Gráfico de resultados – Coberturas Metodología Corine Land Cover 2018</i> .	81
<b>Figura 14</b> <i>Imagen Satelital Planet Scope del campo la Cira-Infantas – vigencia de octubre Del 2024</i> .....	83
<b>Figura 15</b> <i>Área de Estudio – Coberturas Metodología Corine Land Cover – Imagen Satelital Planet Scope</i> .....	85
<b>Figura 16</b> <i>Gráfico de resultados – Coberturas Metodología Corine Land Cover 2018 – Imagen Satelital Planet Scope</i> .....	86
<b>Figura 17</b> <i>Viviendas Afectadas por las reclamaciones presentadas en campo</i> .....	89
<b>Figura 18</b> <i>Estadísticas de Viviendas afectas por reclamaciones</i> .....	90
<b>Figura 19</b> <i>Distribución de Fauna Rescatada en el Área de Estudio</i> .....	93
<b>Figura 20</b> <i>Distribución de Flora Afectada y No Afectada en el Área de Estudio</i> .....	96
<b>Figura 21</b> <i>Estadísticas de Viviendas afectas por reclamaciones</i> .....	98
<b>Figura 22</b> <i>Consolidación de información en Geodatabase</i> .....	102
<b>Figura 23</b> <i>Ejemplo de la información contenida en el Feature Class de Cuerpos de agua</i> .....	103
<b>Figura 24</b> <i>Análisis comparativo de coberturas de coberturas del antes, durante y después de la emergencia</i> .....	104
<b>Figura 25</b> <i>Gráficos comparativos de coberturas del antes, durante y después de la emergencia</i> .....	106

---

<b>Figura 26</b> <i>Mapa Final de Resultado – Coberturas Metodología Corine Land Cover - GDB</i> .....	107
--	-----

---

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Postproceso de vuelo fotogramétrico en el software Agisoft Metashape. ....</i>	53
<b>Tabla 2</b> <i>Paso a paso de la clasificación supervisada .....</i>	57
<b>Tabla 3</b> <i>Datos recolectados y caracterización de viviendas durante visita de campo ....</i>	64
<b>Tabla 4</b> <i>Coberturas de la Tierra Ortomosaico antes de la emergencia y su distribución por Área .....</i>	77
<b>Tabla 5</b> <i>Coberturas de la Tierra Ortomosaico durante la emergencia y su distribución por Área .....</i>	82
<b>Tabla 6</b> <i>Coberturas de la Tierra Imagen Satelital Planet Scope y su distribución por Área. ....</i>	87
<b>Tabla 7</b> <i>Distribución de Coberturas de la Tierra en el Área de Estudio .....</i>	91
<b>Tabla 8</b> <i>Listado de Fauna Identificada y Rescatada en el Área de Estudio .....</i>	94
<b>Tabla 9</b> <i>Inventario de Flora Afectada y No Afectada en el Área de Estudio .....</i>	99

---

### Lista de símbolos y abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<i>DSM</i>	Modelo Digital de Superficie
<i>DTM</i>	Modelo Digital de Terreno
<i>GCP</i>	Ground Control Points
<i>GIS</i>	Geographical Information System
<i>GNSS</i>	Global Navigation Satellite System
<i>GPS</i>	Global Positioning System
<i>GSD</i>	Ground Sample Dinstance
<i>IGAC</i>	Instituto geográfico Agustín Codazzi
<i>RGB</i>	Red, Green, Blue
<i>RTK</i>	Real-Time Kinematic
<i>NDVI</i>	Índice Diferencial de Vegetación Normalizado
<i>SIG</i>	Sistema de Información Geográfico
<i>UAV</i>	Unmanned Aerial Vehicle

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN**

El campo La Cira Infantas, ubicado en el distrito de Barrancabermeja, departamento de Santander, es una de las zonas más productivas en términos de extracción de hidrocarburos en Colombia. Sin embargo, debido a las características geológicas y operativas, se han presentado eventos críticos, como patadas de pozo, que ponen en riesgo la seguridad operativa y ambiental. Un ejemplo reciente es el incidente en el pozo CIRA5083, ubicado en la vereda Campo 5, donde se presentó la explosión a causa del flujo no controlado de crudo, altas presiones y combinación de gases generando lo que se denomina patada de pozo (kick), afectando la operación y generando una amenaza para el entorno inmediato.

Este incidente resalta la importancia de analizar en profundidad las causas y factores que contribuyeron a la “patada de pozo” en este sitio, con el fin de prevenir futuros eventos similares. La complejidad de las operaciones de perforación y extracción, combinada con la presencia de formaciones geológicas inestables, hace necesario implementar medidas preventivas basadas en un análisis exhaustivo de las condiciones del subsuelo, las prácticas operativas y los mecanismos de control de presión.

El problema principal radica en la falta de comprensión detallada de los factores específicos que llevaron a la patada de pozo en el CIRA5083, lo que dificulta la implementación de estrategias preventivas adecuadas. Además, los impactos de estos incidentes no solo son operativos y económicos, sino que también pueden provocar daños significativos al medioambiente y

---

comprometer la seguridad de los trabajadores como poder conocer esta área de afectación para que de esta manera se conozca el área afectada de una manera inmediata.

### **1.1 Descripción del área problemática**

Este campo petrolero, es uno de los más antiguos y productivos de Colombia, con una operación que data de principios del siglo XX. Este campo ha sido fundamental en la producción de crudo para el país, pero con el paso del tiempo, sus operaciones se han vuelto más complejas debido a la madurez de los pozos y a las condiciones geológicas presentes en la región.

El pozo CIRA5083, situado en la vereda Campo 5, es uno de los pozos en operación dentro de este campo. Sin embargo, la naturaleza geológica del área, caracterizada por la presencia de formaciones sedimentarias inestables y reservorios de alta presión, ha generado desafíos operacionales significativos. Estos incluyen la gestión de presiones elevadas y la prevención de patadas de pozo, que son eventos críticos en la operación de perforación y extracción de petróleo.

El reciente incidente de una patada de pozo en CIRA5083 puso de manifiesto la vulnerabilidad de la infraestructura operativa en la zona, así como la necesidad de mejorar las medidas preventivas para evitar que se repitan este tipo de eventos. Las consecuencias potenciales de estos incidentes incluyen la interrupción de la producción, altos costos operativos, riesgos ambientales y la seguridad del personal.

Por tanto, la problemática de patadas de pozo en esta área no solo afecta las operaciones de producción, sino que también tiene implicaciones más amplias, como el impacto negativo en la vegetación, la fauna, las fuentes hídricas cercanas y las comunidades locales. Además, estos

incidentes representan una amenaza significativa para la estabilidad económica de las operaciones petroleras y el cumplimiento de normativas ambientales.

## **1.2 Formulación del problema**

El campo petrolero La Cira Infantas presenta complejidades geológicas que han derivado en eventos operativos críticos como la patada de pozo registrada en el pozo CIRA5083, ubicado en la vereda Campo 5. Este tipo de incidentes no solo compromete la seguridad de las operaciones y el ambiente, sino que también plantea la necesidad de un análisis detallado para identificar las áreas de mayor riesgo de ocurrencia de eventos similares.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrece una herramienta poderosa para realizar un análisis espacial integral y multitemporal de acuerdo con los factores, ambientales y operacionales que influyen en estos incidentes. Sin embargo, la falta de un enfoque específico que utilice SIG para monitorear y analizar este tipo de eventos como las patadas de pozo en esta región limita la capacidad de las empresas para implementar medidas preventivas efectivas.

Por lo tanto, el problema a resolver es: **¿Cómo pueden los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los vuelos fotogramétricos ser utilizados para identificar, clasificar y analizar el área de afectación ocasionadas por la patada de pozo CIRA5083 en el campo La Cira Infantas?**

---

### 1.3 Justificación

La creciente actividad petrolera en regiones como Barrancabermeja conlleva un riesgo inherente de incidentes como las patadas de pozo. La realización de un análisis de afectación detallado para el pozo petrolero ubicado en la vereda Campo 5 se justifica por la necesidad de contar con un plan de contingencia sólido y efectivo. Este estudio permitirá identificar las posibles consecuencias de un evento de esta naturaleza, evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas y las comunidades aledañas, y como aportar, diseñar planes de manejo desde la utilización de herramientas SIG para contribuir a minimizar los impactos sociales.

La clasificación supervisada del área afectada por el afloramiento del pozo CIRA5083, utilizando ArcGIS Pro, es fundamental para evaluar la magnitud de los daños ambientales y diseñar un plan de restauración efectivo. Al identificar y delimitar las zonas afectadas, se podrá cuantificar el impacto generado y priorizar las acciones de remediación. Esta información será de gran utilidad para tomar decisiones informadas, cumplir con los requisitos legales y generar una línea base para futuros monitoreos. Además, permitirá evaluar la eficacia de las medidas implementadas y contribuir al conocimiento científico sobre los impactos de este tipo de eventos.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han revolucionado la forma en que analizamos y entendemos nuestro entorno. Su capacidad para integrar y analizar grandes volúmenes de datos espaciales los convierte en herramientas indispensables en diversos campos. Algunos ejemplos de las aplicaciones que se les pueden dar a los SIG son entre otros, los monitoreos de especies en peligro de extinción ya sean de plantas o animales, los análisis de relieves, la localización de las áreas más probables de que ocurra una emergencia ya sea natural

o antrópica. También nos sirven para detectar y cuantificar zonas deforestadas o con derrames de petróleo y zonas urbanas marginadas, para medir el crecimiento de la población a través del tiempo, diagnosticar las pérdidas de áreas de cultivos y de vegetación natural o el crecimiento de los diferentes usos a través del tiempo, ver la distribución de las plantas, animales terrestres, acuáticos y diagnosticar su relación con el entorno ecológico.

Los SIG nos permiten realizar un seguimiento a largo plazo de los impactos de estos eventos. Mediante la comparación de imágenes satelitales y otros datos geográficos, podemos evaluar la evolución de las manchas de petróleo, la recuperación de los ecosistemas y la efectividad de las medidas de remediación. Esta información es fundamental para diseñar políticas ambientales más sólidas y prevenir futuros desastres.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Analizar las áreas afectadas a causa del afloramiento del pozo (patada de pozo) CIRA5083 en la vereda Campo 5 en el departamento de Santander.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Obtener datos georreferenciados y procesados de las imágenes capturadas con dron para evaluar las condiciones del pozo CIRA5083 durante la emergencia.
- Identificar la cobertura vegetal afectadas por el afloramiento del pozo mediante la interpretación de imágenes.
- Estimar mediante visita de campo la fauna, vegetación (árboles) y viviendas impactadas realizando la espacialización de datos recolectados utilizando el software ArcGIS Pro.
- Generar una Geodatabase estructurada con los datos recolectados durante la emergencia por afloramiento de petróleo, para su análisis y toma de decisiones.

### 3. ANTECEDENTES

Los accidentes a causa de los derrames de petróleo generan afectaciones al medio ambiente principalmente a la fauna, flora, fuentes hídricas y la salud humana; esta problemática ha sido abordada por (Mayorga & Reyes Bueno, 2022) tomando la información recolectada en campo y procesada en herramientas SIG que permiten analizar información con precisión y en lapsos de tiempo más cortos.

El análisis detallado de los derrames de petróleo en el bloque Gustavo Galindo Velasco en el Ecuador, se llevó a cabo utilizando herramientas tecnológicas avanzadas, como Excel y ArcGIS. Los datos recopilados se organizaron en una matriz, permitiendo una visión clara de las principales causas y efectos de estos incidentes a través de tablas dinámicas y gráficos, se pudo identificar patrones clave, mientras que el uso de ArcGIS facilitó la delimitación de las áreas más propensas a futuros derrames, así como de las zonas más vulnerables, considerando. Factores tanto ambientales como socioeconómicos.

Para el análisis se incluyeron variables como Buffers de un radio de 100 metros que les permitió identificar patrones del alcance de los derrames de petróleo ubicando los tanques de almacenamiento, adicional a esto, especializaron todas las bases de operación, pozos, oleoductos y todos los derrames de petróleo desde el 2014 al 2018.

La información que fue obtenida, especializada y procesada permitió realizar cálculos donde se identificaron las causas principales de los accidentes, cantidades promedio en los

derrames de petróleo, determinar áreas susceptibles y de mayor riesgo, así como cuantificar el suelo afectado, los impactos al medio ambiente y a la población de la zona.

Como resultado de este estudio lograron determinar que la antigüedad del campo bloque Gustavo Galindo Velasco sumado a algunas malas prácticas, eran la principal causa de los derrames de petróleo, pero también les permitió crear planes de contingencia para las zonas de mayor riesgo, además, que los resultados obtenidos permitirán realizar un seguimiento continuo en la actividad de extracción petrolera.

El estudio realizado por (Revollo y otros, 2019) aborda la problemática del monitoreo y detección de derrames de hidrocarburos en cuerpos de agua mediante el uso de técnicas de sensores remotos, la cual permite detectar y monitorear derrames de petróleo en zonas costeras de difícil acceso, la aplicación de metodologías de monitoreo remoto haciendo uso de imágenes SAR las cuales permiten realizar análisis de elementos aun sin importar las condiciones del clima o la utilización ya sea diurna o nocturna, estas herramientas han permitido que durante el estudio puedan abarcar diferentes zonas afectadas por la mancha de petróleo en una región del mar de argentina.

Este análisis se encuentra sujeto al procesamiento de la imagen y como resultado de la extracción de la información se permite individualizar los diferentes eventos y que posteriormente generar modelos para generar un sistema de alertas de manejo integral para los ecosistemas marinos afectados por el derrame de crudo.

Como resultado se obtuvieron diferentes modelos que son aplicables donde se logran estimar los lugares de mayor impacto, origen del evento y trayectoria del crudo, entre otras

variables que permitirán atender las emergencias de manera rápida y oportuna, que si bien tienen algunas limitantes garantizan hasta un 90% de probabilidad de evitar que el derrame se expanda a otras áreas.

Esto denota que el uso de imágenes satelitales para la atención de desastres y que en este caso para el derrame de petróleo les permitió identificar en menor tiempo el área afectada y con las distintas metodologías se pudieron verificar la evolución en el tiempo, generar mapas ambientales en el área costera y donde (Revollo y otros, 2019) pudo generar una plataforma de acceso al público para realizar alertas que permitieran mitigar los impactos por derrame de petróleo.

El estudio realizado (Luna Marin, 2023) en torno a la aplicación de los SIG en el análisis de los riesgos de desastres naturales principalmente movimientos en masa, ha permitido aplicar y diseñar métodos según el tipo de evento que se va a tratar teniendo en cuenta diferentes factores de riesgo, vulnerabilidad, lugar y espacio de tiempo, esto ha permitido a los expertos tomar decisiones importantes en menos tiempo minimizando el impacto que cada uno de los eventos pueda ocasionar.

Para este estudio se tuvieron en cuenta tres métodos, Heurístico, Estadístico y Multivariado, donde cada uno de ellos estaba enfocado según las variables, escala, datos recolectados en campo, escala de la información, necesidad, entre otras. Parte de este análisis requería contar con las capas de información necesarias las cuales podían incluir cobertura de suelo, modelos de elevación, tipo suelos y aplicadas con los diferentes métodos existentes en Colombia permiten cálculos de capacidad destructiva, presupuesto, alcance y teniendo en cuenta la disponibilidad de insumos y el tipo de evento se pueden estimar otros tipos de variables.

Como resultado de este estudio se determinó que la confiabilidad de los resultados está sujeto a cantidad de información sobre el evento y de su precisión, por este motivo (Luna Marin, 2023) menciona la importancia de tomar datos de campo de manera constante lo que dará mayor fiabilidad en los resultados, adicional a esto, indica que algunos de estos modelos para el análisis de riesgo de desastres aplicados por medio de los SIG deben ser ajustados o diseñados para cada zona de estudio ya que muchos de estos están generalizados y teniendo en cuenta la ubicación geográfica del país presenta grandes diferencias en tipo de suelo, topografía, clima, entre otros factores que obligan a tener ajustes metodológicos .

América latina presenta una ubicación geográfica que constantemente está expuesta a diferentes desastres naturales y antrópicos y como menciona (Calvo Rey, 2022) en su estudio las inundaciones son el desastre más dominante para la región, además menciona que cada que ocurre un desastre es un retroceso en el avance de la sociedad, generando impactos ambientales, económicos, infraestructura y a la misma población civil.

Para este estudio se hace un énfasis importante en que muchos de estos desastres están en crecimiento y que principalmente se deben a los cambios climáticos y específicamente en América del sur están influenciados por los fenómenos de la niña y fenómeno del niño. Por esto, resalta la importancia de tener acceso a tecnologías e información que hoy en día puede ser tomada por teledetección o sensores remotos, siendo que este es un insumo que hoy por hoy cuenta con grandes avances que permite realzar análisis de coberturas, comportamiento en el tiempo de las fuentes hídricas durante cada fenómeno, cambios físicos y químicos en la superficie, radiación, entre otros aspectos que son de suma importancia que permiten avanzar en

investigación y creación de metodologías para la atención de eventos por desastres naturales o antrópicos.

Si bien la intención de (Calvo Rey, 2022) está enfocada en la atención de desastres en la República de Chile, su intención es poder generar elementos de cooperación entre las naciones de América que permita mitigar las consecuencias generadas a la sociedad, por esto, ha indicado que uno de sus principales resultados es lograr la aplicabilidad de información espacial en la gestión de riesgos de desastres, siendo esto una herramienta que se puede aplicar en diferentes etapas antes, durante y después del desastre.

Esto ha permitido que la república de Chile actúe de manera oportuna generando modelos y planes de manejo, así como la gestión de recursos que permiten mitigar las consecuencias a causa de los desastres naturales, incluyendo un portal web donde se pueden visualizar en tiempo real las diferentes alertas con los protocolos establecidos según sea el caso, esto ha permitido la vinculación de diferentes actores que robustecen la información tanto suministrada como los insumos que se generan donde se incluyen modelos de monitoreo y mapas.

Como conclusión principal (Calvo Rey, 2022) resalta la importancia de contar con información espacial con resolución temporal, espacial, espectral y radiométrica que unidas generan datos de alta precisión y que, además, para la época permiten ser compartidas de manera fácil y oportuna de manera gratuita siendo fundamental contar con profesionales expertos en el manejo de estas herramientas tecnológicas.

Así mismo se resalta la importancia de la cooperación internacional, destacando que la mayoría de estos eventos son impredecibles. Se subraya la necesidad de seguir avanzando en

nuevas tecnologías, invirtiendo en la mitigación del cambio climático a nivel global. Además, se fomenta el uso de herramientas de acceso libre con el respaldo de organizaciones internacionales y se enfatiza la preparación continua del capital humano, encargado de desarrollar metodologías, modelos y herramientas para mitigar desastres naturales.

Del mismo modo, en un estudio realizado por Goodchild (2018) titulado: “Reimagining the history of GIS” indicando que el SIG, es considerado como un sistema informático para manejar globos terráqueos digitales en lugar de mapas digitales, es decir que su capacidad técnica para crear y visualizar representaciones tridimensionales de la Tierra no estaba disponible a mediados de los años 60, cuando nació el SIG, pero se logró a principios de los años 90 y condujo directamente a Google Earth y sus numerosos competidores.

De igual modo, en el mismo artículo de Goodchild (2018) manifiesta que no ha habido un cambio generalizado hacia el uso de la distancia geodésica o de métodos basados en globos terráqueos para calcular el área. Es por eso por lo que los estudiantes siguen dedicando un tiempo considerable a aprender sobre las proyecciones cartográficas y a ser más sensibles a las distorsiones resultantes, y con suerte a afrontarlas. Los usuarios de los servicios de mapas web se han acostumbrado a ver Groenlandia y Rusia en las representaciones enormemente exageradas de la clase de proyecciones.

Como se mencionó anteriormente, los aspectos contenidos en el artículo desarrollado por Mendez Gutiérrez & otros (2023), donde realizaron un análisis de un aérea en zonas costeras afectadas por un accidente por derrame de petróleo el cual fue responsabilizado a la empresa

---

REPSOL y teniendo en cuenta que para ese momento no se contaba con un plan de atención a emergencias por derrames de crudo.

Teniendo en cuenta que el área afectada abarcaba una gran extensión y con el fin de dar una atención para minimizar las afectaciones que podría ocasionar a los diferentes ecosistemas y a la población que para esta zona su principal fuente de ingresos es el turismo, se utilizaron metodologías mediante vuelos con aeronaves no tripuladas donde se realizó la estimación del área afectada y con esto determinar cuáles podrían ser los riesgos del derrame de crudo.

De esta manera, Mendez Gutiérrez & otros (2023) obtuvieron modelos digitales de terreno (MDT) donde se establecen diferentes variables para realizar un escenario de las zonas afectadas donde se clasificaron en niveles desde el nivel bajo a nivel alto y con los resultados se generaron mapas preliminares de riesgo mostrando elementos como la concentración de crudo, la ruta en la que las corrientes podían arrastrar el petróleo permitiendo la toma de decisiones.

Ahora bien, es de importancia mencionar el artículo de Vargas & Campos (2022), con el título *Fauna incidents critical point identification and recommendations for its conservation, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica*, donde tomaron una base de datos con información de diferentes especies de fauna en un rango de tiempo de 2010 a 2020 tomando cuatro especies de la provincia de Heredia, Costa Rica y que por medio de georeferenciación y mediante sistemas de información geográfico usando la herramienta de Arcgis versión 10.7.

Algunos de los resultados principales que obtuvieron fue la identificación de la ubicación y concentración en algunas zonas lo que permitió al cuerpo de bomberos de esta zona identificar patrones específicamente de accidentes y rescates, verificar temporalidad, encuentros con

humanos y la identificación geográfica de las especies según la época del año lo que da una idea clara de como los SIG pueden aportar en la construcción de información para estimaciones y seguimiento a la fauna lo que ayuda con la atención y preservación de las especies.

Por su parte, el artículo de de los Angeles & otros (2024) abordan como tema principal el desarrollo de infraestructura verde en América Latina durante la pandemia de COVID-19, resaltando su importancia para aumentar la resiliencia urbana y reducir los niveles de contagio. Se presenta un método simplificado llamado GreenNet-Covid19, aplicado en Perú, para identificar áreas potenciales de integración de infraestructura verde (PIAGI) y calcular un índice global de infraestructura verde (GGII). Donde se emplea herramientas de análisis espacial para evaluar elementos de ecológica, el estado ambiental y el acceso poblacional a áreas verdes. Los resultados revelan una alta capacidad ecológica en zonas no urbanas, pero una pérdida de relación dentro de las áreas urbanas, lo que agrava el riesgo de propagación del virus.

Los resultados destacan que la implementación de infraestructura verde en entornos urbanos es clave para reducir la vulnerabilidad ante futuras pandemias. La superposición de datos de riesgo de COVID-19 y PIAGI sugiere que las áreas con alta relación ecológica pueden contribuir significativamente a la mitigación de enfermedades en contextos urbanos. Sin embargo, el acceso a estas tecnologías y metodologías sigue siendo limitado por la falta de información geoespacial actualizada y la necesidad de una planificación territorial más estructurada. Se concluye que el estudio realizado muestra que ciudades latinoamericanas y puede servir como base para estrategias de planificación urbana que integren salud pública, equidad y sostenibilidad ambiental.

---

En este orden de ideas, cuando se habla de análisis de coberturas el estudio realizado por Ruggeri & otros (2021), donde se evalúa mediante clasificación no supervisada aplicando metodología Corine Land Cover en toda el área del páramo de Santurbán utilizando imágenes multiespectrales de Landsat-8. Se compararon la combinación de Análisis de Mezcla Espectral Lineal y Análisis Basado en Objetos (LSMA + OBIA) con ISODATA + OBIA, encontrando que LSMA + OBIA generó resultados más precisos, con una fiabilidad global del 88% frente al 79% de ISODATA + OBIA. Esto se debe a su mejor capacidad para diferenciar coberturas como pastizales y tierras degradadas, así como su eficacia en la detección de cuerpos de agua. La metodología incluyó preprocesamiento de imágenes, segmentación basada en unidades mínimas de mapeo y validación con imágenes de alta resolución.

Los resultados obtenidos por Ruggeri & otros (2021) destacan la viabilidad del método para áreas montañosas de difícil acceso, donde las técnicas supervisadas suelen ser poco factibles. Además, la investigación sienta bases para futuros estudios sobre la aplicación de este enfoque en otros ecosistemas tropicales y con diferentes sensores satelitales. Y que para el caso de estudio se permite combinación de técnicas para producción de mapas de cobertura del suelo aplicando la metodología Corine Land Cover.

Sería importante relacionar el manejo de datos para estos se debe tener muy en cuenta lo manifestado por Csillag (2023) indicando que las estructuras de datos jerárquicas se están convirtiendo en técnicas de representación cada vez más importantes en los dominios de gráficos por computadora, procesamiento de imágenes, geometría computacional, sistemas de información geográfica y robótica. Se basan en el principio de descomposición recursiva.

Una de estas estructuras de datos es el árbol cuádruple, con el término árbol cuádruple ha adquirido un significado genérico. En este estudio, nuestro objetivo es mostrar cómo se relacionan entre sí y con los árboles cuádruples varias estructuras de datos utilizadas en diferentes dominios presentación se concentra en estas diferentes representaciones e ilustra cómo se realizan varias operaciones básicas que las utilizan.

Las estructuras de datos jerárquicas son útiles debido a su capacidad de centrarse en los subconjuntos interesantes de los datos, este enfoque da como resultado una representación eficiente y tiempos de ejecución mejorados y, por lo tanto, es particularmente útil para realizar operaciones de conjunto, donde muchas de las operaciones que describimos a menudo se pueden realizar de la misma manera.

Según Rosca & otros (2020), La georreferenciación puede considerarse un término general para las técnicas que se ocupan de la identificación única de objetos geográficos. El término "objeto geográfico" en una visión más amplia se refiere a cualquier tipo de objeto o estructura que pueda relacionarse razonablemente con una ubicación geográfica, como puntos de interés (PDI), carreteras, lugares, puentes, edificios o áreas agrícolas. Una ubicación geográfica es una entidad que representa una referencia espacial. Las ubicaciones geográficas se pueden definir en múltiples dimensiones espaciales: 0-dimensionales (puntos), unidimensionales (líneas), bidimensionales (áreas) y, raramente, tridimensionales (cuerpos).

Por ejemplo, los PDI pueden referenciarse a ubicaciones de puntos de dimensión 0, mientras que los segmentos de carretera pueden referenciarse a ubicaciones de líneas. Los

edificios, incluso si se representan como modelos tridimensionales, generalmente se referencian a ubicaciones de áreas bidimensionales, ya que se supone que se encuentran en el nivel del suelo.

Según Kumar & otros (2023), indican que Las propiedades geométricas describen la geometría de un objeto. Se pueden utilizar varios parámetros geométricos para identificar entidades geoespaciales. Por ejemplo, las ubicaciones de los puntos se identifican a través de sus coordenadas, mientras que las ubicaciones de las líneas se dan por su forma geométrica. Cuando se trabaja con polígonos, otras propiedades como el área cubierta proporcionan un medio adicional para la referenciación. Si el proceso de georreferenciación implica la combinación de diferentes mapas que contienen objetos que comparten propiedades geométricas.

La manipulación de mapas, según Yan & Yifan (2024), la manipulación de mapas es el proceso de alterar determinados objetos en los mapas. Esto puede ser necesario para corregir errores presentes en un mapa que se pueden detectar mediante la validación de mapas. Como resultado de un proceso de fusión se pueden combinar atributos adicionales, como los puntos de interés, en un mapa. La actualización incremental se utiliza para reemplazar únicamente aquellas partes de un mapa que han cambiado en una versión más reciente, que se puede derivar mediante la detección de cambios. El problema de la actualización incremental es una preocupación cada vez mayor para la industria de la navegación automotriz.

Según el artículo de Cressie & Moores (2023), indica que la adquisición y el mantenimiento de datos espaciales es muy costoso y consume mucho tiempo, muy a menudo los mismos objetos del mundo real se capturan en muchos modelos de datos diferentes, en diferentes momentos de adquisición, con diferentes características de calidad o en diferentes escalas. Esta situación se intensificará cuando se ofrezcan cada vez más datos espaciales digitales mediante el

uso de tecnologías de Internet. Se necesitan métodos de integración para aprovechar las características de más de un conjunto de datos.

Según el artículo de You & Liu (2020)., manifiesta que, con frecuencia, se necesita la comparación de redes para integrar datos que provienen de diferentes fuentes. Las formas tradicionales de encontrar correspondencias entre redes consumen mucho tiempo y requieren una considerable manipulación manual.

También describe un algoritmo de comparación de tres etapas (comparación de nodos, comparación de segmentos y comparación de bordes) que combina procedimientos ascendentes y descendentes para realizar el cálculo de comparación. Como utiliza medidas de comparación sensibles, el algoritmo propuesto promete una buena mejora con respecto a los algoritmos existentes. En el artículo se informa sobre un experimento de comparación de dos redes de vías navegables.

Los resultados de este experimento demuestran que se puede lograr una tasa de comparación razonable y una buena eficiencia computacional con este algoritmo. El artículo también analiza brevemente las mejoras necesarias en áreas de alineación lineal, comparación a espacial y comparación de nivel superior.

---

#### 4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL

Ley 885 del 2004, Se aprueba el “Convenio Internacional sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos, 1990” y el "Protocolo sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra los Sucesos de Contaminación por Sustancias Nocivas y Potencialmente Peligrosas, 2000”, Las organizaciones se comprometen a tomar medidas adecuadas para prepararse y responder a incidentes de contaminación, incluyendo la creación de planes de emergencia y la cooperación internacional (República de Colombia - Gobierno Nacional, 2004).

Resolución 181495 del 02 de septiembre del 2009 por la cual se establecen medidas en materia de exploración y explotación de hidrocarburos, El Ministro de Minas y Energía, en ejercicio de sus facultades, legales en especial las conferidas por los Decretos 070 de 2001 y 3724 de 2009 y considerando que de conformidad con el artículo 33 de la constitución Política del Estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables y por mandato de los artículos 3 y 5 del Decreto 070 de 2001, le corresponde al Ministerio de Minas y Energía adoptar los reglamentos y hacer cumplir las disposiciones constitucionales, legales y reglamentarias relacionadas con su exploración y explotación (Ministerio de Minas y Energía, 2009).

Decreto 1868 de 2021, Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Es un proceso social continuo que incluye la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones para conocer, reducir y manejar el riesgo de desastres. La

---

gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y habitantes de Colombia, quienes deben actuar con precaución y solidaridad. La ley (1523 del 2012) se basa en principios como igualdad, protección, solidaridad social, autoconservación, participación, diversidad cultural, interés público, precaución, sostenibilidad ambiental, gradualidad, sistémico, coordinación, concurrencia y subsidiariedad (Presidencia de la República de Colombia, 2021).

Decreto 321 del 17 de febrero de 1999, Se adopta un plan para prevenir, mitigar y corregir los daños causados por derrames de hidrocarburos y sustancias nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres, también definir bases jurídicas, dotar de planes operativos e informáticos, asignar responsabilidades y promover la cooperación institucional. Acción participativa, utilización de recursos estratégicos, descentralización táctica y operativa, y apoyo a terceros. El plan será coordinado por la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y evaluado periódicamente para su actualización (Presidencia de la República de Colombia, 1999).

Resolución 388 del 13 de abril de 2020 por la cual se establecen las especificaciones técnicas para los productos de información generados por los procesos de formación y actualización catastral con enfoque multipropósito proferida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, si bien la aplicabilidad de esta resolución está dada principalmente a gestores y operadores catastrales se tuvieron en consideración parámetros técnicos para la generación de productos cartográficos.

Resolución 471 del 14 de mayo de 2020 por medio de la cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartografía básica oficial

de Colombia proferida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, las consideraciones técnicas aplicables a productos fotogramétricos en lo que concierne a escala, GSD, consistencia temporal y radiométrica, etc. Son algunas de parámetros tenidos en cuenta para garantizar la calidad de los productos generados.

Resolución 197 del 27 de enero de 2022 por medio de la cual se modifica la resolución 471 y 529 de 2020 *“por medio de la cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de cartografía básica oficial de Colombia”*, esta resolución hace claridad en los parámetros de calidad establecidos en las resoluciones antes mencionadas, además, se hace énfasis en cuanto a lineamientos para establecer puntos de control y de chequeo que para este proyecto se realizó basado en la proporcionalidad del área de estudio lo que permitió garantizar la exactitud posicional de la información.

RAC 100 por el cual se reglamentan las operaciones con aeronaves no tripuladas UAS adoptado mediante resolución 01983 del 27 de septiembre de 2023 proferido por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, para la ejecución de los vuelos fotogramétricos se tuvieron en cuenta los parámetros de idoneidad del piloto, seguridad, calidad, especificaciones a tener en cuenta para la aeronave no tripulada (Dron) para el vuelo fotogramétrico, etc.

## 5. REFERENTE TEÓRICO

El uso de herramientas tecnológicas avanzadas, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ha transformado la manera en que se gestionan y analizan los datos geoespaciales en proyectos de gran impacto ambiental y social, como el manejo de emergencias en pozos petroleros. Un SIG permite integrar datos tabulares y geográficos, realizar análisis multiescalares y diferenciar cambios cualitativos y cuantitativos, lo que resulta crucial para evaluar los efectos de eventos complejos, como las patadas de pozo (kick) en la industria petrolera. Por su parte, la fotogrametría digital y la georreferenciación complementan este análisis al proporcionar modelos tridimensionales precisos del entorno, como los ortomosaicos, que facilitan la identificación de daños en la cobertura terrestre (flora, fauna y construcciones). Tecnologías como los UAV (vehículos aéreos no tripulados) y la teledetección contribuyen a la recopilación de datos detallados en tiempo real, mejorando la capacidad de respuesta ante emergencias, por lo que es necesario conocer y entender desde su definición cada uno de estos procesos y metodologías en los siguientes conceptos:

### **SIG**

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una técnica que nos ayuda a manejar y procesar datos geográficos para combinarlos y obtener nueva información. Para hacerlo, se utilizan diferentes fuentes de datos y un conjunto de herramientas tecnológicas, como software y hardware, que facilitan este proceso. Todo esto se lleva a cabo dentro de un proyecto diseñado y

---

supervisado por especialistas que se encargan de su implementación y desarrollo. En resumen, un SIG es una herramienta que permite combinar mapas y datos numéricos (como estadísticas) para generar nueva información sobre un territorio o espacio específico.

- Permite realizar análisis vicariantes: facilita comparar información de diferentes especies de fauna y flora que cumplen una misma función y que se ubican en distintos puntos geográficos identificando patrones y características similares entre especies.
- Diferencia entre cambios cualitativos y cuantitativos: Nos ayuda a distinguir entre cambios de tipo cualitativo (relacionados con la calidad o naturaleza de algo) y cuantitativo (medido en números), ofreciéndonos una gran capacidad de procesamiento y cálculo.
- Gestionar un gran volumen de información a diferentes escalas y proyecciones: Permite manejar grandes cantidades de datos, organizados en diferentes escalas y formatos, facilitando su análisis desde distintas perspectivas.
- Integra espacialmente datos tabulares y geográficos junto a cálculos sobre variables: Combina datos en forma de tablas con datos espaciales (mapas), integrando también cálculos relacionados con la estructura de los lugares (como la topología).
- Un SIG admite multiplicidad de aplicaciones y desarrollos: Un SIG ofrece una amplia variedad de usos y herramientas, que van desde simples kits de herramientas hasta sistemas completos y más avanzados, adaptables a diferentes necesidades.

Por todo esto, podemos decir que los SIG se están volviendo cada vez más esenciales para quienes trabajan con información geográfica. Cuando hablamos de metodología de aplicación o aplicaciones, nos referimos a los programas y herramientas informáticas diseñadas

para crear soluciones específicas que ayuden a llevar a cabo un proyecto en particular. Por ejemplo, una aplicación podría ser un software que realice cálculos complejos para analizar relaciones entre diferentes elementos de un mapa de forma repetitiva (Garcia, 2021).

## **POZO PETROLERO**

A lo largo de la historia, la humanidad ha dependido de diversas fuentes de energía para su desarrollo. Sin embargo, fue el descubrimiento del petróleo y con ello la creación del motor de combustión interna lo que marcó un antes y un después en nuestra relación con la energía, desencadenando una revolución industrial sin precedentes. Siendo así como los pozos petroleros se convirtieron en elementos clave de esta transformación, como puntos de extracción de este recurso (Zúñiga, 2023).

La exploración de hidrocarburos se realiza a través de pozos petroleros, perforaciones que penetran en el subsuelo para verificar la existencia de yacimientos y extraer los recursos encontrados. Dicho esto, la seguridad en la perforación de pozos petroleros depende en gran medida del correcto uso de los fluidos de perforación. Estos fluidos permiten controlar las condiciones del subsuelo y prevenir incidentes como explosiones o colapsos. (Ortiz Valbuena, 2016).

Teniendo en cuenta esto se puede determinar que los fluidos de perforación son esenciales para la extracción de petróleo y gas, pero su uso debe ser responsable y sostenible. Es fundamental evaluar los beneficios y los riesgos asociados a su utilización, y adoptar medidas

para minimizar los impactos negativos en el medio ambiente y en la salud humana (ccs.org.co, 2023).

## **FOTOGRAMETRÍA**

La fotogrametría digital es una técnica ampliamente utilizada en diversas disciplinas, como la topografía, cartografía, la ingeniería, la arquitectura y la arqueología, debido a su capacidad para extraer información tridimensional de objetos a partir de imágenes bidimensionales. Esta técnica, basada en la adquisición de imágenes digitales, se destaca por su capacidad para proporcionar datos semánticos, geométricos y radiométricos con alta precisión. Su evolución ha sido impulsada por los avances tecnológicos en la captura y procesamiento de imágenes, permitiendo una mayor versatilidad y precisión en la generación de modelos tridimensionales del entorno.

La característica fundamental de la fotogrametría digital es el uso de imágenes en formato digital, lo que ha traído consigo una serie de ventajas y desventajas. Por un lado, las imágenes digitales permiten una mayor flexibilidad en el procesamiento de datos, el almacenamiento y la manipulación de grandes volúmenes de información. Por otro lado, la digitalización también plantea desafíos, especialmente en términos de la precisión y la resolución que pueden obtenerse en comparación con los métodos tradicionales basados en imágenes analógicas (Cuervo Martínez, 2020).

## **GEORREFERENCIACIÓN**

La georreferenciación es un proceso esencial en los estudios geoespaciales y ambientales, ya que permite asignar coordenadas espaciales precisas a datos de interés, como imágenes, mapas o elementos geográficos, de manera que puedan integrarse dentro de un sistema de información geográfica (SIG). Este procedimiento es clave para garantizar la exactitud y confiabilidad de los análisis espaciales en proyectos que involucran cartografía, análisis de coberturas, y monitoreo ambiental.

La georreferenciación es el proceso de asignar coordenadas a un objeto o imagen que no las posee, generalmente utilizando sistemas de coordenadas globales como el WGS84 o el MAGNA-SIRGAS (Alcala Canto, y otros, 2018). Este proceso asegura que los datos geográficos puedan ser comparables y utilizables en diversas plataformas SIG. Según autores como (Picón Cabrera, Garcia Gago, Sanchez Aparicio, Rodriguez, & Gonzalez Aguilar, 2020), la georreferenciación es fundamental para garantizar que los datos obtenidos a partir de imágenes satelitales, drones, o mapas antiguos se ajusten de manera precisa a la realidad geográfica.

La georreferenciación ha evolucionado con el avance de las tecnologías en teledetección y el uso de imágenes satelitales de alta resolución. Hoy en día, las imágenes capturadas por satélites como Sentinel-2 o Landsat 8 requieren procesos de georreferenciación para su correcta integración en estudios territoriales. Herramientas como ArcGIS Pro, QGIS o el software ERDAS Imagine permiten llevar a cabo la georreferenciación mediante la selección de puntos de control en mapas o imágenes, donde se conocen las coordenadas exactas (Martínez et al., 2019).

Uno de los métodos más utilizados para la georreferenciación es el método de control de puntos terrestres (Ground Control Points, GCP), que consiste en identificar en la imagen los puntos de los cuales se conocen las coordenadas exactas y ajustar la imagen o el mapa para que se alineen con estas coordenadas. Según (Mesas Carrascosa & García Ferrer, 2016), este método es esencial para proyectos que requieren alta precisión espacial, como los análisis ambientales, la planificación territorial o el monitoreo de áreas afectadas por desastres naturales.

### **COBERTURA (flora, fauna, construcciones)**

El análisis y monitoreo de las coberturas terrestres, como flora, fauna, y construcciones, ha cobrado relevancia en estudios ambientales y territoriales. Estos análisis son fundamentales para evaluar los impactos antropogénicos, identificar áreas vulnerables, y gestionar recursos de manera sostenible. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), junto con herramientas de teledetección, han permitido a los investigadores realizar evaluaciones detalladas y multiescalares de las coberturas.

La clasificación y monitoreo de las coberturas vegetales y de fauna mediante SIG se ha convertido en una herramienta poderosa para la conservación y gestión de recursos naturales. Según Díaz et al. (2017), el uso de imágenes satelitales multispectrales y el análisis de índices de vegetación, como el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), facilitan la identificación y monitoreo de áreas con diferentes tipos de cobertura vegetal y la salud de estas áreas. Estos métodos permiten detectar cambios en la vegetación debido a actividades humanas, desastres naturales o fenómenos climáticos.

---

El análisis de la fauna también se ha beneficiado de las tecnologías SIG. Como afirman Rodríguez y Sánchez (2019), los SIG permiten modelar hábitats y evaluar el estado de las poblaciones animales mediante la correlación de la distribución geográfica con variables ambientales, como la cobertura vegetal y la disponibilidad de recursos hídricos. Este tipo de análisis es crucial para la identificación de áreas clave para la conservación de la biodiversidad.

En cuanto a las construcciones, el uso de fotogrametría digital y sensores remotos ha sido esencial para monitorear la expansión urbana y el impacto sobre las áreas naturales adyacentes. Estudios como el de Pérez y Colmenares (2016) señalan que la utilización de modelos digitales de elevación (DEM) y ortomosaicos generados a partir de imágenes de drones han permitido no solo mapear las áreas construidas, sino también evaluar su relación con la fauna y flora local, midiendo el grado de fragmentación de hábitats y los cambios en el uso del suelo (Herández Moreno, y otros, 2021).

- Nivel 1: Categorías principales; Este nivel agrupa las principales categorías de cobertura y uso del suelo, proporcionando una visión global del territorio. Se distinguen cinco grandes clases: territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales, áreas húmedas y superficies de agua. Estas categorías representan la base del sistema, permitiendo entender cómo se distribuyen las actividades humanas y los elementos naturales en el paisaje.
- Nivel 2: Subcategorías; En este nivel se introducen subcategorías que detallan cada clase principal. Por ejemplo, dentro de los territorios artificializados, se diferencian zonas urbanizadas, áreas industriales, espacios recreativos y sitios de extracción minera. Este nivel proporciona mayor especificidad, siendo útil para identificar patrones de uso del suelo y actividades específicas.
- Nivel 3: Detalles específicos; A medida que se avanza al nivel 3, la clasificación incluye detalles más específicos de las subcategorías. Esto permite capturar

---

características distintivas dentro de cada subcategoría, como la distinción entre tipos de cultivos agrícolas o clases de vegetación en áreas seminaturales. Este nivel es esencial para estudios ambientales y planificación territorial.

- Nivel 4: Especificaciones adicionales; Este nivel amplía aún más los detalles, añadiendo especificaciones asociadas a condiciones locales y características regionales. Por ejemplo, dentro de los bosques densos, se pueden clasificar en función de su composición vegetal (coníferas, latifoliadas) o su estado (inundable o de tierra firme).
- Nivel 5: Mayor desagregación; En este nivel, se realiza una desagregación más fina, considerando características locales muy específicas. Este nivel es útil para estudios que requieren un alto grado de detalle, como la identificación de especies clave o zonas críticas para el manejo de recursos hídricos.
- Nivel 6: Detalle máximo; El nivel 6 representa la máxima especificidad posible dentro del sistema. Aquí se incluyen atributos precisos y descripciones a escala muy fina, relevantes para aplicaciones locales o sectoriales. Este nivel es especialmente valioso para investigaciones científicas o proyectos de alta precisión, como la restauración de hábitats o el monitoreo de ecosistemas.

## UAV

Las aeronaves no tripuladas se han venido empleando principalmente en actividades militares que desde los años 50 se ha venido desarrollando y perfeccionando al punto que hoy en día estas aeronaves se han vuelto fundamentales en diferentes industrias, permitiendo realizar un sin número de actividades, permitiendo reducir costos y en el caso otros casos reduciendo la exposición de los humanos en labores de alto riesgo.

Los términos como Dron, RPA, UAV son los más utilizados para identificar las aeronaves no tripuladas y si bien estos términos pueden estar contenidos el uno con el otro, en la actualidad no existe una regulación o estandarización de los términos que debe utilizarse, sin embargo, se apunta a que el término a usar sea UAV (Universidad Internacional de Valencia, 2018).

Algunos de estos términos tienden a confundirse como es el caso del RPA que suele compararse con RPAS ya que el primero hace referencia a Aeronaves Tripuladas por Control Remoto, mientras que el segundo hace referencia a Sistema de Aeronaves Tripuladas por Control Remoto, lo que en términos generales indica que uno refiere al instrumento (aeronave) y el otro al sistema completo como lo es la cámara, modulo GPS, sensores de proximidad y demás complementos (Umiles Group, 2022).

## **TELEDETECCIÓN**

La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción entre el terreno y el sensor a nivel electromagnético produce datos que luego se procesan para obtener información comprensible sobre la Tierra.

El primer satélite de observación de la Tierra fue lanzado al espacio por EEUU en el año 1972, iniciándose entonces técnicas de Teledetección; Hoy en día, gracias a la disponibilidad de imágenes y al avance de nuevas tecnologías, cada vez más empresas y organismos públicos están

integrando de manera regular el uso de imágenes en sus proyectos. Estas imágenes ofrecen muchas ventajas en diversas áreas, como la extracción de información, la detección de cambios, la agricultura (mejorar el rendimiento de los cultivos), el estudio de volcanes y la monitorización de desastres naturales, entre otras aplicaciones (Instituto Geográfico Nacional).

La teledetección se basa en medir la energía electromagnética (EM) que interactúa con la superficie terrestre. Todos los cuerpos con temperatura emiten energía electromagnética en diferentes longitudes de onda. Según la teoría ondulatoria, esta energía se desplaza a través del espacio en un movimiento continuo y armónico a la velocidad de la luz ( $c=299.792.458$  m/s) y se compone de dos campos de fuerza perpendiculares: uno eléctrico y otro magnético. Las propiedades de este flujo se describen por la longitud de onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia (F), de modo que a mayor longitud de onda (o menor frecuencia), menor será la cantidad de energía que transporta, y viceversa (Alzate Giraldo & Sánchez Gómez, 2018).

## **RIESGO**

En Ecopetrol, riesgo se entiende como el efecto de la incertidumbre sobre el cumplimiento de los objetivos de la compañía, considerando el efecto como la desviación positiva, negativa o ambas (amenazas y oportunidades) frente a lo previsto. Ecopetrol cuenta con el Sistema de Gestión Integrado de Riesgos (SRI), para gestionar la incertidumbre y evitar, reducir o mitigar riesgos, maximizar oportunidades, y ayudar al desarrollo de estrategias y tomar decisiones.

El SRI está compuesto por principios, marco de referencia y proceso y está basado en la norma ISO 31000, agrupando la administración de todos los tipos de riesgos de la compañía según normativas específicas. Este sistema es liderado por la Vicepresidencia Corporativa de Cumplimiento a través de la Gerencia Corporativa de Gestión Integrada de Riesgos, y es supervisado por la Junta Directiva a través de su Comité de Auditoría y Riesgos. (Ecopetrol, 2025)

Metodológicamente consideramos relevantes dos conceptos para nuestro estudio: el concepto de riesgo y representación social. Ulrich Beck (2006) ha definido a la sociedad del riesgo como sociedades modernas constituidas sobre el terreno de la inseguridad social y laboral donde los individuos no encuentran, por sí mismos ni en su medio inmediato, la capacidad de asegurar su protección, al estar ausente todo tipo de regulación colectiva. Sobre este estado de vulnerabilidad, se despliegan los llamados cada vez más exigentes al dinamismo personal. Los riesgos y las contradicciones siguen siendo producidos socialmente, sólo que ahora se apela a la responsabilidad del individuo para enfrentarlos (El Cotidiano, 2013).

Los tratamientos químicos tienen como principal función modificar los compuestos contaminantes y peligrosos mediante reacciones químicas, de esta forma lo que se busca es eliminar o neutralizar los elementos peligrosos; en otros casos no es posible eliminar por completo estos residuos, pero se realiza el tratamiento para reducir el riesgo que puedan presentar, hasta un punto en que puede ser posible su manejo y posterior disposición. (Damian & Juan, 2020).

---

## ORTOMOSAICO Y ORTOIMAGEN

La generación de productos fotogramétricos en los últimos años ha tomado relevancia principalmente capturados por aeronaves no tripuladas con cámaras de alta resolución que mediante la planeación de un vuelo se capturan imágenes en una franja de tiempo determinada de manera perpendicular a la superficie. Las ortofotos capturadas por lo regular no cuentan con ninguna corrección por lo que visualmente se pueden identificar con inclinaciones siendo mucho más marcada esta inclinación en los edificios (Gabri, 2021).

Para generar un ortomosaico es necesario contar con un MDS (modelo digital de superficie) el cual es generado a partir de una nube de puntos obtenida en el post proceso de las ortoimágenes que puede ser realizado en softwares como Pix4D, Agisoft metashape, DJI Terra, etc. Es importante mencionar que en algunas ocasiones la vegetación y en general las construcciones juega un papel importante en la calidad de estos modelos siendo necesario generar ajustes al modelo ubicando puntos de control terrestre donde sea considerables los cambios de nivel, ya con el MDS se pueden realizar las correcciones necesarias en cuanto a la inclinación que se puede visualizar, se procesan las ortoimágenes para obtener ortoimágenes reales y la unión de estas últimas es lo que se conoce como ortomosaico (Jesús, Jhon & Hernán, 2016).

---

## **MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (DSM), MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM) Y MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM)**

Los modelos digitales de superficie están dados principalmente a representar las elevaciones teniendo en cuenta todos aquellos elementos que se encuentran sobre la superficie terrestre, en otras palabras, este modelo recrea una superficie con elementos como construcciones, vegetación y objetos móviles estos son usados principalmente en la planificación urbana, instalación de redes eléctricas, en aviación son útiles para determinar obstrucciones en la zona de aproximación (IDS, 2023).

Lo que corresponde a los modelos digitales de elevación (DEM) podría considerarse igual a los modelos digitales de terreno (DTM), básicamente estos modelos se caracterizan por omitir o filtrar todo lo que se encuentra sobre la superficie terrestre tanto elementos artificiales (construcciones y objetos móviles) y naturales (árboles y vegetación variable), regularmente se usan sistemas LiDar el cual consiste en tomar millones de puntos tomando los niveles de elevación de todo tipo de elementos hasta que encuentre obstáculos, sin embargo, es necesaria la depuración de puntos si se quiere obtener un DEM, una de las principales aplicaciones está enfocada en planificación y gestión del territorio, diseño de vías, conservación, etc. (IDS, 2023).

## 6. METODOLOGÍA

La metodología para este estudio combina diferentes técnicas para analizar el fenómeno complejo del afloramiento de un pozo petrolero, conocido como "patada de pozo". Su objetivo principal es caracterizar con precisión las áreas afectadas, evaluar los impactos y proponer estrategias de mitigación efectivas, mediante un proceso estructurado en cuatro fases que integran herramientas avanzadas como drones, software especializado (ArcGIS Pro y Agisoft Metashape) y metodologías de teledetección. Estas fases incluyen desde la planeación y ejecución de vuelos fotogramétricos hasta la generación del ortomosaico, asegurando la calidad, depuración de información y aplicabilidad de los resultados.

### 6.1 Enfoque Metodológico

Este estudio adopta un enfoque metodológico mixto, integrando técnicas cualitativas y cuantitativas, y se clasifica como un estudio exploratorio, dado que busca generar conocimiento sobre un fenómeno poco frecuente y complejo: el afloramiento de un pozo petrolero (conocido como "patada de pozo"). Su objetivo principal es calcular con precisión el área afectada por el evento, analizar sus impactos y proponer medidas de mitigación efectivas. Para ello, se empleará un diseño metodológico que articula herramientas tecnológicas avanzadas y técnicas de análisis interdisciplinario, garantizando así la solidez de los resultados.

El diseño metodológico propuesto asegura la coherencia con los objetivos del estudio, ya que cada etapa se encuentra interrelacionada y responde a la necesidad de obtener información precisa y confiable sobre el fenómeno analizado. Además, el uso de herramientas tecnológicas avanzadas como ArcGIS Pro, UAV y metodologías de teledetección garantiza la calidad y la aplicabilidad de los resultados, sentando las bases para futuras investigaciones y la implementación de estrategias de gestión sostenible en la industria petrolera.

## **6.2 Tipo de estudio**

El estudio exploratorio en esta tesis se caracteriza por su enfoque en el análisis detallado de las áreas perjudicadas, centrándose específicamente en una zona afectada por el afloramiento de un pozo petrolero, fenómeno conocido como “patada de pozo”. Este tipo de investigación resulta crucial para obtener una comprensión inicial del evento, ya que permite identificar, describir y analizar las características del fenómeno desde múltiples perspectivas. Al tratarse de un evento poco frecuente y con repercusiones significativas tanto en el ámbito ambiental como en el social, el estudio exploratorio no solo facilita el reconocimiento de las principales afectaciones en el terreno, sino que también sienta las bases para el desarrollo de investigaciones posteriores de mayor profundidad.

El enfoque adoptado busca no solo recopilar información clave sobre la magnitud y el alcance del impacto, sino también identificar patrones y variables fundamentales para comprender mejor las dinámicas que se relacionan con este tipo de fenómenos. A través de la

integración de técnicas cualitativas y cuantitativas, este estudio examina los efectos del afloramiento sobre las coberturas terrestres (flora, fauna y construcciones), los cambios topográficos, las alteraciones en la biodiversidad y las implicaciones sociales asociadas. Este análisis inicial adquiere un valor estratégico, ya que proporciona los insumos necesarios para diseñar medidas de mitigación, planes de recuperación y estrategias de manejo sostenible, además de orientar la toma de decisiones informadas en situaciones de emergencia ambiental.

En síntesis, la naturaleza exploratoria de este estudio no se limita a describir las áreas afectadas, sino que busca generar una visión integral del fenómeno, permitiendo su comprensión en toda su complejidad. Esto no solo contribuye al desarrollo de soluciones sostenibles, sino también al fortalecimiento de las capacidades preventivas y de respuesta en la industria petrolera, mejorando así la gestión de riesgos y los procesos de recuperación frente a eventos de esta naturaleza.

### **6.3 Procedimiento**

Para llevar a cabo el trabajo de grado en la modalidad de proyecto de investigación, se diseñó un proceso metodológico estructurado en cuatro (4) fases principales, orientadas al cumplimiento de los objetivos específicos establecidos. Este enfoque garantizó la coherencia entre los métodos empleados, las herramientas utilizadas y las metas planteadas, proporcionando un marco lógico para la ejecución del estudio. Cada fase del proceso abarcó actividades específicas, el uso de equipos tecnológicos avanzados, como drones y software especializado, y

---

la implementación de técnicas precisas para analizar y especializar los datos obtenidos en el área afectada por el afloramiento del pozo CIRA5083.

### **6.3.1 Fase I: Realizar la Georreferenciación y postproceso de las imágenes capturadas con Dron en el pozo CIRA5083.**

Para dar cumplimiento a esta fase que a su vez corresponde al primer objetivo denominado como georreferenciación y postproceso de las imágenes capturadas por el dron sobre el pozo CIRA5083 se establecieron tres (3) pasos fundamentales que incluye la planeación, ejecución, postproceso y generación de insumos que serán la base para dar continuidad con el análisis de información para los demás objetivos establecidos. Los pasos antes mencionados están representados de la siguiente manera:

- **Paso I: Planeación**

Este paso consiste en planificar el vuelo fotogramétrico, delimitando el área de estudio y definiendo los parámetros técnicos necesarios para su correcta ejecución. Para ello, se consideraron las disposiciones establecidas en la normativa vigente en Colombia para las operaciones de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS)<sup>1</sup>, incluyendo la evaluación de riesgos, las condiciones climáticas y un reconocimiento previo de la zona para determinar la altura

---

<sup>1</sup> RAC 100 por el cual se reglamentan las operaciones con aeronaves no tripuladas UAS proferido por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil

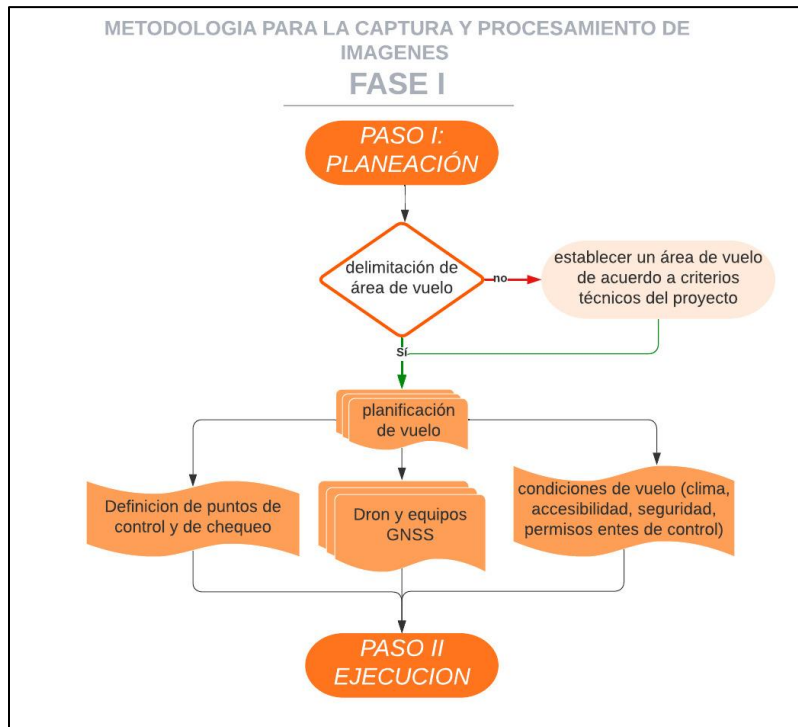
óptima de vuelo. Es fundamental destacar que, para este estudio, se requirió el uso de un dron equipado con una cámara multiespectral, lo que permitió capturar imágenes detalladas y relevantes para el análisis.

Además, se tomaron en cuenta las especificaciones de calidad aplicables a productos cartográficos<sup>2</sup>, asegurando que se cumplieran estándares precisos en la materialización del punto base y en la ubicación de puntos de control y de chequeo<sup>3</sup>. Estos puntos, indispensables para garantizar la exactitud posicional de los datos obtenidos, fueron seleccionados cuidadosamente, siguiendo criterios técnicos que aseguran la fiabilidad de los resultados y la consistencia de los datos geospaciales procesados. La combinación de estas medidas permitió optimizar la calidad y precisión del análisis fotogramétrico, establecidos mediante un procedimiento específico tal y como se muestra en la Figura 1.

---

<sup>2</sup> Resolución 388 del 13 de abril de 2020 proferida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Resolución 471 del 14 de mayo de 2020 proferida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi

<sup>3</sup> Resolución 197 del 27 de enero de 2022 por medio de la cual se modifica la resolución 471 y 529 de 2020 proferida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi

**Figura 1***Paso I: Planeación de vuelo fotogramétrico*

Fuente: elaboración propia, 2025.

- **Paso II: Ejecución de vuelo fotogramétrico**

Una vez finalizada la planeación del vuelo, se procede a su ejecución, comenzando con la materialización del punto base. Este punto debe cumplir con criterios técnicos específicos, como su ubicación en una zona libre de obstáculos que puedan interferir con la señal (por ejemplo, árboles, construcciones, antenas o estructuras de energía de alta y media tensión). Además, la ubicación de la base debe garantizar una conexión estable con el equipo móvil (ROVER), asegurando su correcto funcionamiento durante la captura de los puntos de control y de chequeo (ver Figura 2).

## Figura 2

### *Proceso de campo para vuelo Fotogramétrico durante la emergencia*



Fuente: Fotografía propia en colaboración con HS&E S.A.S, 2024.

Para la captura de estos puntos, se utilizaron equipos GNSS de doble frecuencia, lo que permite garantizar un alto nivel de precisión posicional para los puntos de control que fueron ubicados en lugares señalizados con plantillas claramente visibles en la captura de imágenes durante el vuelo para que en el postproceso y georreferenciación realizado en el software Agisoft Metashape<sup>4</sup> donde se pueda garantizar los estándares de calidad en cuanto a la exactitud posicional. Por su parte, los puntos de chequeo deben ser foto-identificables en elementos que perduren en el tiempo y geoméricamente distinguibles, como pozos, superficies duras, esquinas de construcciones con ángulos rectos, entre otros. En caso de que no existan elementos

---

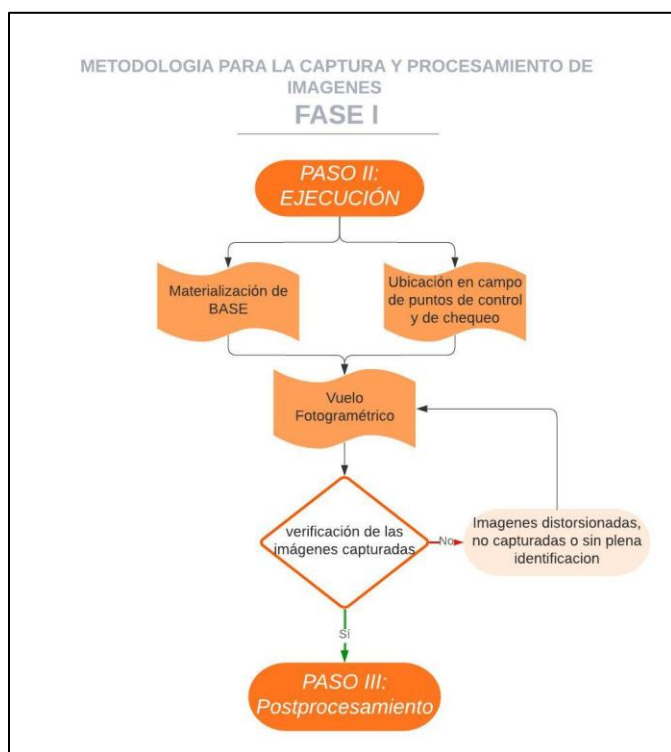
<sup>4</sup> Para realizar el postproceso en el software Agisoft Metashape se hizo uso de la versión de prueba por 30 días aplicable para usuarios nuevos.

adecuados en el área de estudio, se materializaran los puntos de chequeo, asegurando su posterior verificación en campo. Estas medidas contribuyen a mantener la consistencia y precisión de los datos recolectados, fundamentales para los objetivos del estudio.

Una vez realizado el vuelo fotogramétrico se verifican las ortoimágenes obtenidas para descartar capturas erróneas o faltantes, así como la verificación de la cobertura total del área de estudio y en caso de que la mayor parte de las imágenes capturadas no cumplan con los parámetros de calidad se deberá repetir el vuelo fotogramétrico hasta cuando se cumpla con los criterios técnicos establecidos en la fase de planeación generando así una ruta y estandarización de los parámetros como se ilustra en la Figura 3.

### Figura 3

#### *Paso II: Ejecución de vuelo fotogramétrico*



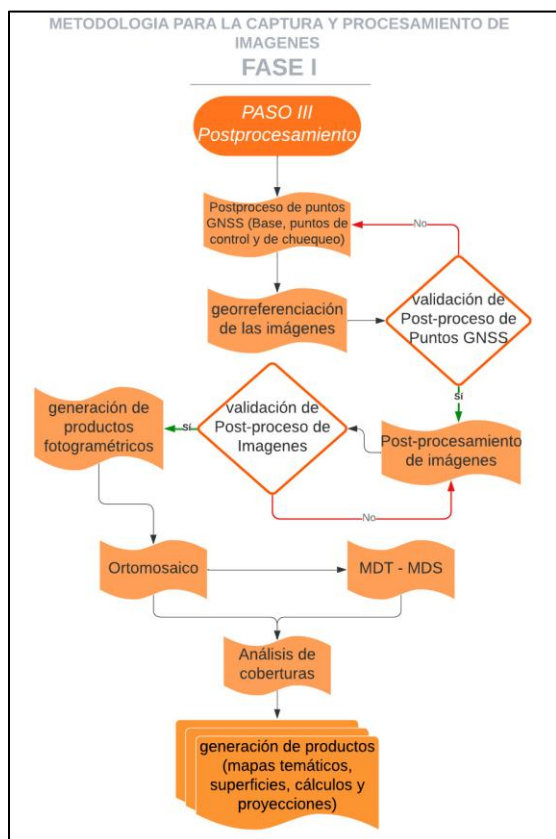
Fuente: Elaboración propia, 2025.

- **Paso III: Postproceso de puntos GNSS y vuelo fotogramétrico**

Para realizar el postproceso de los puntos GNSS, es imprescindible contar con la información de las estaciones permanentes del IGAC en formato RINEX, además de descargar las efemérides correspondientes al día de posicionamiento, aplicadas al punto base. También es necesario disponer de las soluciones semanales de SIRGAS utilizadas durante el postproceso del punto base. Esta información garantiza la calidad y precisión de los puntos de control y chequeo. Una vez completado este proceso, y siguiendo el flujo de trabajo establecido en la Figura 4, se procedió a georreferenciar las imágenes, lo que permitió generar el ortomosaico correspondiente.

#### Figura 4

##### *Paso III: Postproceso de datos GNSS y vuelo fotogramétrico*

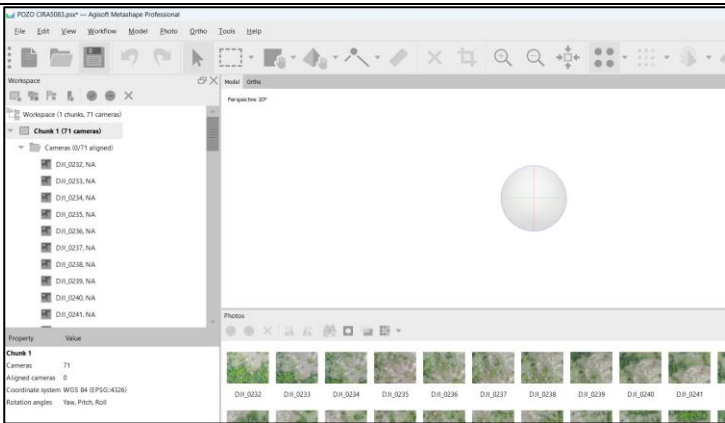


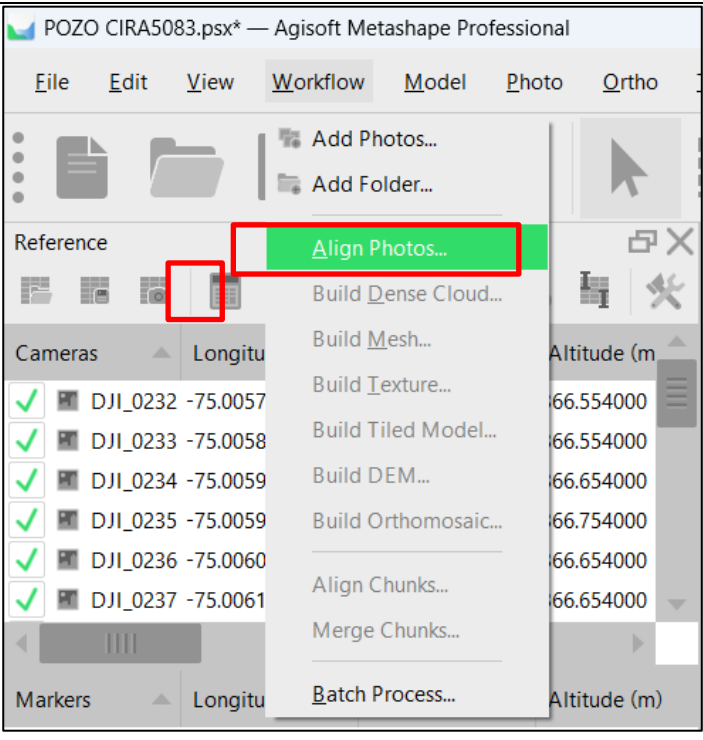
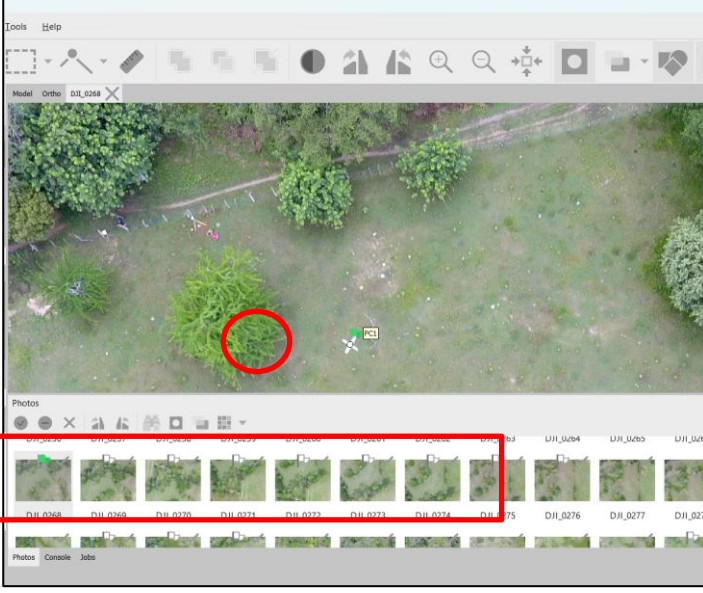
Fuente: Elaboración propia, 2025.

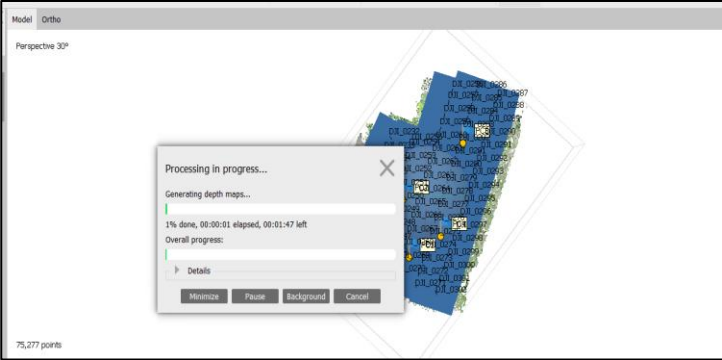
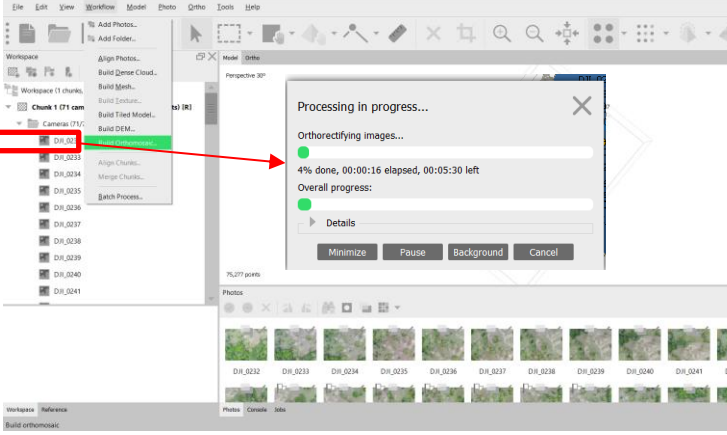
Con base en los insumos obtenidos en el postproceso GNSS, se llevó a cabo el proceso de georreferenciación de las ortoimágenes utilizando el software Agisoft Metashape. Durante este procedimiento, se emplearon técnicas especializadas de postproceso específicamente para vuelos fotogramétricos, siguiendo una metodología que se encuentra estructurada y detallada en la Tabla 1. En esta tabla, además, se muestra apartados importantes en el proceso de validación realizado, el cual garantizó el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos, reduciendo posibles errores en la precisión geoespacial de los resultados.

**Tabla 1**

*Postproceso de vuelo fotogramétrico en el software Agisoft Metashape.*

aso 1	carga de imágenes del vuelo fotogramétrico	 <p>The screenshot shows the Agisoft Metashape Professional interface. The 'Camera' panel on the left lists 71 aligned cameras with names like 'D18_0232.NA'. The 'Photos' panel at the bottom right displays a grid of image thumbnails. The main workspace shows a 3D view of a sphere with a crosshair, indicating the software is in a 3D perspective view.</p>
-------	--	--

aso 2	Alineación de imágenes y establecer sistema de coordenadas	 <p>The screenshot shows the 'Workflow' menu in Agisoft Metashape Professional. The 'Align Photos...' option is highlighted in green. A red box highlights the 'Align Photos...' option. The 'Reference' tab is selected, and the 'Cameras' list shows several DJI photos with their coordinates. The 'Batch Process...' option is also visible at the bottom of the menu.</p>
aso 3	Verificación y ubicación de puntos de control	 <p>The screenshot shows the 'Photo' window in Agisoft Metashape Professional. The 'Model' tab is selected, and the 'Photo' window displays a grid of photos. A red circle highlights a specific photo in the grid. A red box highlights the 'Photo' window title bar and the grid of photos.</p>

aso 4	Generación de nube densa de puntos y postproceso	
aso 5	Generación del DEM y Ortomosaico final	

Fuente: elaboración propia, 2025.

Posteriormente, se generó el ortomosaico el cual es una herramienta esencial para la clasificación de coberturas y el análisis del terreno. El ortomosaico permitió obtener una representación precisa y georreferenciada del área de estudio, adicionalmente proporcionó información visual tanto de la superficie como de las estructuras naturales como las artificiales que fueron alcanzadas por la mancha de petróleo.

Al integrar estos productos con la información recolectada en campo, se llevaron a cabo los análisis correspondientes, que incluyeron cálculos de áreas, generación de mapas temáticos y elaboración de proyecciones espaciales. Estos resultados no solo facilitaron una comprensión más profunda del entorno analizado, sino que también proporcionaron una base sólida para

apoyar la toma de decisiones informadas y formular planes estratégicos de atención, manejo y mitigación frente a los problemas identificados en el área de estudio.

### **6.3.2 Fase II: Identificar las coberturas vegetales afectadas mediante la interpretación de imágenes.**

Una vez obtenidos los insumos en la Fase I el cual fue analizado mediante herramienta de geoprocésamiento en ArcGIS Pro, iniciando con la transformación del ráster a polígono obteniendo un contorno geoespacial preciso que define la extensión de la región a estudiar.

Este proceso de conversión fue esencial para establecer un área de análisis consistente y clara, permitiendo que las mediciones y estudios de impacto en la cobertura del suelo se realicen exclusivamente dentro de esta zona de interés donde se aplicaron métodos de análisis espacial como lo fue en este caso una clasificación supervisada basado en la metodología Corine Land Cover, lo que contribuye a obtener resultados confiables y específicos en la evaluación de los cambios y afectaciones en la cobertura del terreno debido a factores ambientales.

Con base en lo anterior, se elaboró el paso a paso descrito en la Tabla 2, utilizando el software ArcGIS Pro<sup>5</sup> (versión 3.4) y aplicando la metodología de clasificación supervisada. Este procedimiento se llevó a cabo hasta el nivel seis (6) de clasificación, aprovechando el nivel de

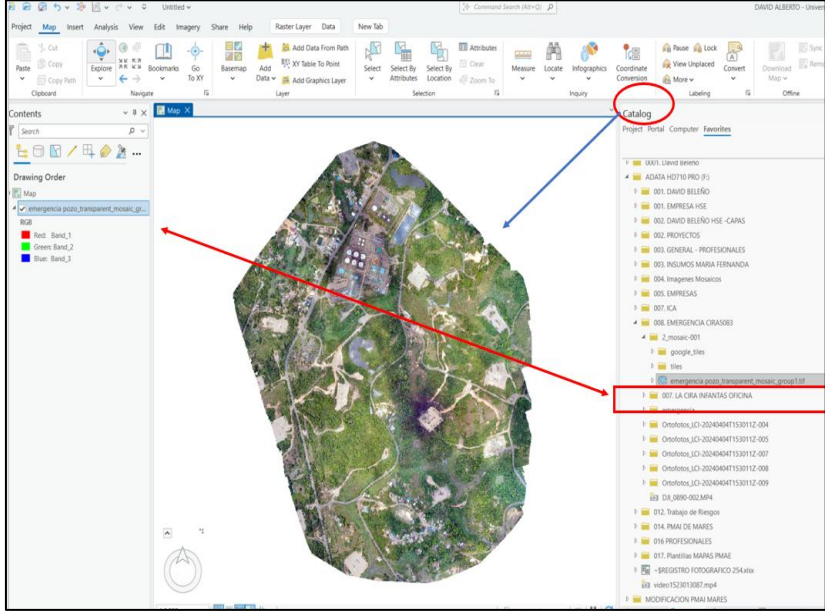
---

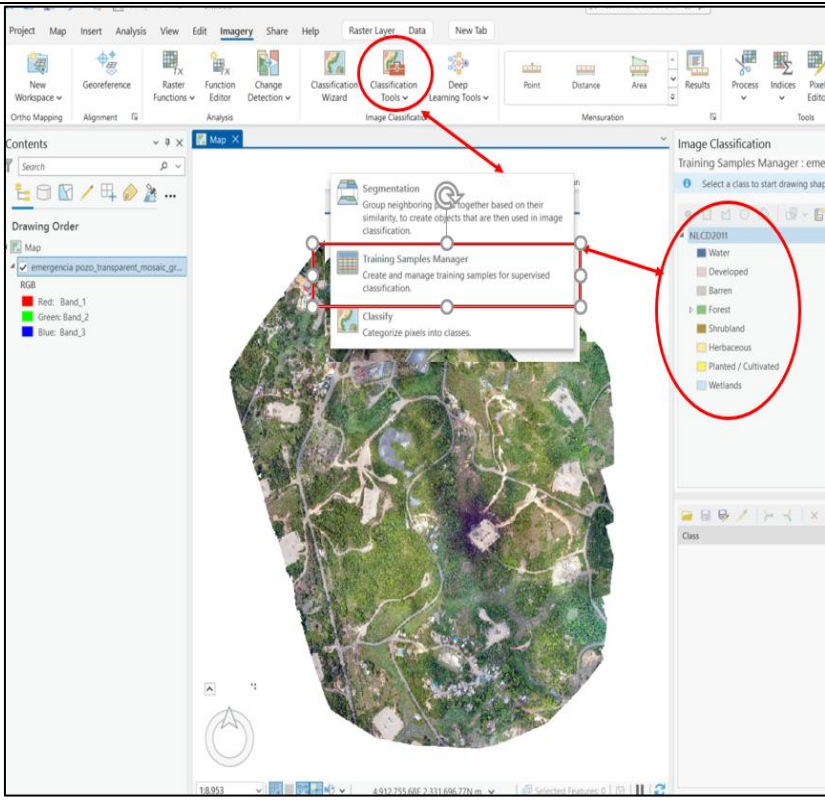
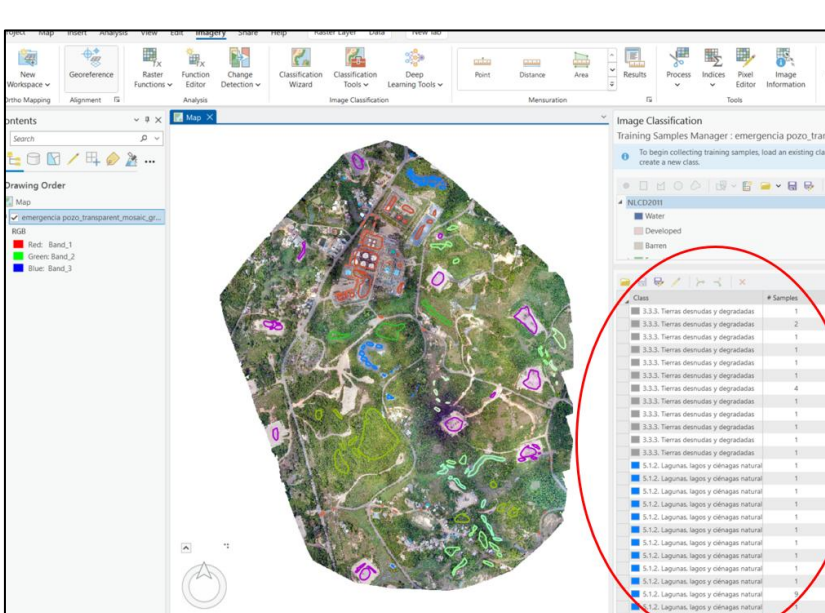
<sup>5</sup> Software con licencia estudiantil proporcionada por la Universidad de Manizales para estudiantes de la Especialización en Sistemas de Información Geográfico para el año 2024.

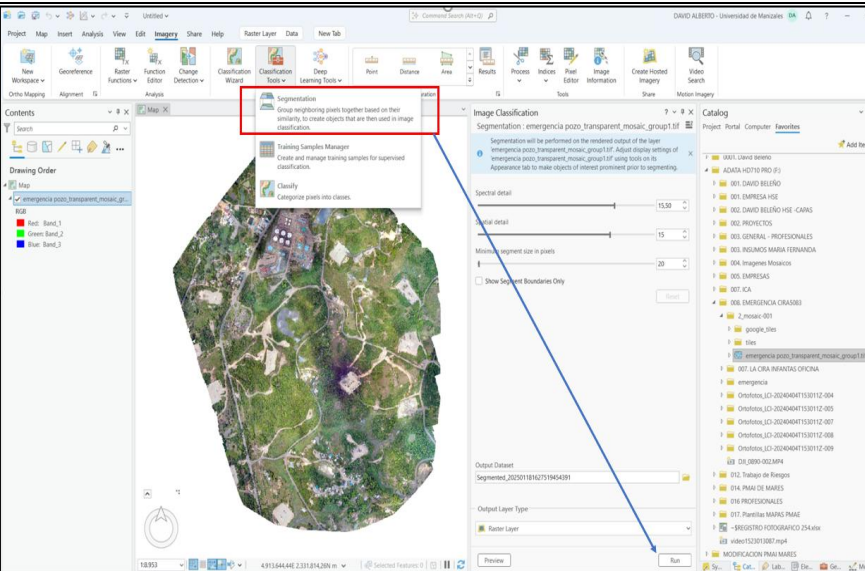
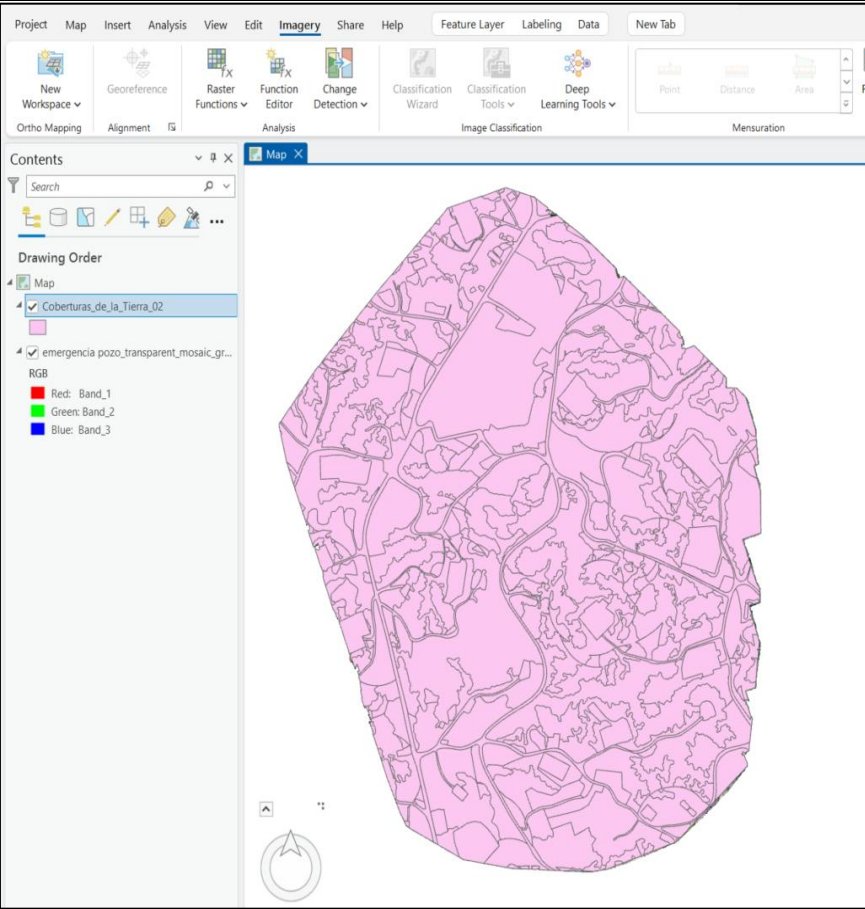
detalle proporcionado por los ortomosaicos y la imagen satelital, lo que permitió realizar un análisis más detallado y completo del área de estudio.

**Tabla 2**

*Paso a paso de la clasificación supervisada*

<p>Paso 1</p>	<p>carga del ortomosaico desde el catalogo</p>	 <p>The screenshot shows the ArcGIS interface. The 'Catalog' pane on the right is open, displaying a tree view of project data. A red box highlights the folder 'emergencia_pozo_transparente_mosai_group1.gp'. A red arrow points from this folder to the map area in the center, which displays a satellite mosaic of a rural area. The 'Contents' pane on the left shows the map layers, including 'emergencia_pozo_transparente_mosai_group1.gp' and 'RGB' with sub-layers 'Red: Band_1', 'Green: Band_2', and 'Blue: Band_3'. The 'Catalog' pane also shows other project folders and files, such as '001. DAVID BELERO', '002. DAVID BELERO HSE - CAPAS', and '007. LA CIRA INFANTAS OFICINA'.</p>
---------------	--	---

<p>Paso 2</p>	<p>Se selecciona Training Samples Manager y en NLC2011 se escogen los colores para empezar a dibujar los polígonos.</p>	
<p>Paso 3</p>	<p>Se empiezan a dibujar los polígonos de las muestras creadas</p>	

<p>Paso 4</p>	<p>En segmentación se realiza todo el proceso con la imagen y se ejecuta</p>	
<p>Paso 5</p>	<p>Por último, se realizó un geoproceso Ráster a Polígono y se generan los polígonos de las áreas de cobertura en formato shapefile.</p>	

Fuente: elaboración propia, 2025.

Es importante resaltar que, para analizar los cambios y afectaciones en las coberturas, se llevó a cabo un proceso de validación utilizando los ortomosaicos correspondientes a las tres etapas que fueron consideradas: antes, durante y después de la emergencia. Este análisis fue realizado aplicando el mismo procedimiento descrito en la Figura 5, ya que disponer de información precisa sobre las condiciones iniciales de la zona resultaba fundamental para identificar con claridad las variaciones en las coberturas. La comparación entre los resultados obtenidos durante la emergencia y los datos previos permitió detectar los cambios en la distribución y extensión de las coberturas afectadas por el evento.

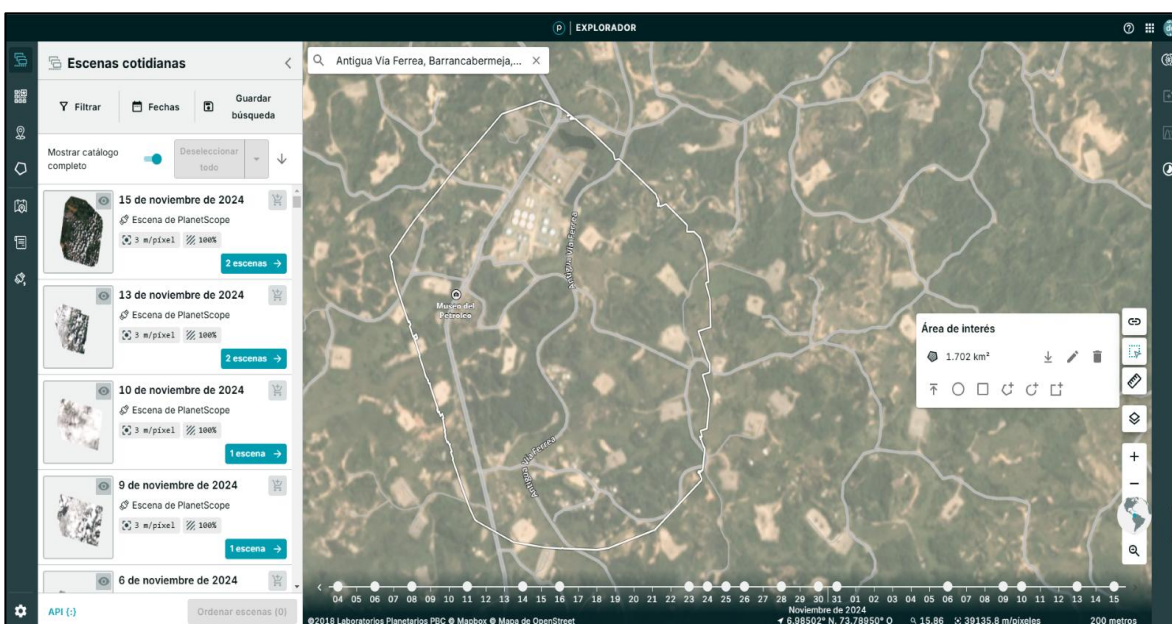
Adicionalmente, con la comparación realizada a las coberturas derivadas de la imagen satelital de Planet Scope, permitió no solo validar los resultados obtenidos a partir de los ortomosaicos, sino también evaluar la evolución temporal de la cobertura vegetal en la zona afectada con mayor detalle. Esto resultó clave para entender los procesos de recuperación natural o las posibles alteraciones permanentes en el paisaje ocasionadas por la emergencia. Al combinar ambas fuentes de información, fue posible obtener un diagnóstico integral que contribuye a la toma de decisiones informadas para la gestión y recuperación del territorio.

Para este estudio, era fundamental disponer de un insumo que permitiera analizar y verificar las condiciones posteriores de la zona afectada. Sin embargo, al momento de realizar la investigación, no se contaba con los permisos necesarios para que personal externo accediera a dicha área. Ante esta limitación, se optó por utilizar una imagen satelital de la plataforma Planet Scope, ya que representaba la mejor alternativa disponible en términos de calidad y resolución para satisfacer los requerimientos de la investigación. Este recurso permitió suplir la necesidad de información actualizada y precisa, garantizando la continuidad del análisis.

Para obtener la imagen satelital actual del área de estudio, se creó un usuario educativo en la plataforma Planet Scope y se realizó la delimitación del área importando un archivo KMZ de la zona de interés como se muestra en la Figura 5. Como resultado se obtuvo una imagen con una resolución espacial de 3 metros recortada al área de estudio del pozo CIRA5083. Aunque esta imagen presenta cierta nubosidad, lo que podría limitar la visibilidad de algunas áreas específicas del terreno, la resolución permite realizar los análisis de los cambios de cobertura en la zona.

## Figura 5

### *Descarga de imagen satelital Planet Scope*



Fuente: consulta de la página Planet Scope, 2024 (<https://www.planet.com/products/satellite-imagery-of-earth/>).

Seguidamente, se procede a realizar la preparación de los datos, dado que se cuenta con toda la información geográfica necesaria para representar las áreas afectadas, como la ubicación del afloramiento, la cobertura vegetal, las especies de fauna y las viviendas afectadas. Como complementados con capas base recolectadas a causa de la emergencia. Una vez que se

---

reunieron estos datos, se procedió a importar las capas en ArcGIS Pro, creando un nuevo proyecto y cargando los archivos vectoriales y ráster correspondientes, asegurándose de que las capas estén correctamente georreferenciadas para trabajar en el sistema de coordenadas establecido que para este proyecto fue el origen oficial para Colombia denominado "Origen Nacional".

Como complemento en el análisis de los ortomosaicos se incluyen los datos recolectados durante los recorridos de campo con el fin de identificar las especies de fauna y flora que fueron afectados, además, se visitaron viviendas que fueron afectadas donde se validó la magnitud de cada afectación siendo georreferenciado cada uno de estos puntos.

### **6.3.3 Fase III: Visita de campo para recolección de información (fauna, vegetación (árboles) y viviendas)**

La visita de recolección de información se llevó a cabo en respuesta a las diversas PQRS presentadas por la población aledaña. Esta actividad se realizó en el punto de atención habilitado específicamente para atender la emergencia. Durante la jornada, se recopilaron datos de contacto, observaciones y evidencias fotográficas proporcionadas por los afectados. En el proceso, se identificaron varias especies de fauna, tanto doméstica como silvestre, así como vegetación, principalmente árboles y cultivos de consumo como se ilustra en la Figura 6

*Visita de campo durante la emergencia* También se registraron viviendas con rastros de manchas de petróleo. Estas labores se organizaron en cuadrillas para efectuar un barrido en un radio de aproximadamente de 1 km del epicentro.

**Figura 6**

*Visita de campo durante la emergencia*



Fuente: Fotografía propia en colaboración con HS&E S.A.S, 2024

Con la información recolectada durante la jornada, se procedió a realizar una clasificación detallada basada en el tipo de identificación de los datos, priorizando la organización para facilitar su análisis y posterior gestión. Este proceso incluyó la categorización de observaciones, datos de contacto, evidencias fotográficas y cualquier otra información relevante proporcionada por los afectados. A partir de esta clasificación, se generó una matriz (ver Tabla 3

*Datos recolectados y caracterización de viviendas durante visita de campo*), la cual sirvió como herramienta para depurar los datos iniciales, eliminar duplicados o inconsistencias y consolidar la información de manera más estructurada. Además, durante el recorrido se recibieron nuevas peticiones por parte de los afectados, que también fueron incorporadas a la matriz. Estas solicitudes adicionales permitieron enriquecer la base de datos, identificando situaciones no registradas. En ciertos casos, se añadieron puntos específicos considerados de alta relevancia, como áreas particularmente afectadas, necesidades urgentes de intervención, o elementos de interés ambiental y social que requerían atención prioritaria. La matriz final resultante no solo reflejó la información recolectada, sino que también se convirtió en un insumo clave para la georreferenciación y espacialización.

**Tabla 3**

*Datos recolectados y caracterización de viviendas durante visita de campo*

PUNTOS	NOMBRE	PUNTO	DESCRIPCIÓN	VEREDA	ASPERSIÓN
1	Persona 1	Vivienda	Presencia de aspersión leve del fluido del evento en el follaje de las especies Papayo (1), Pomarroso (2), Plátano (1) y Mango (1)	Campo 5	SI
2	Persona 2	Vivienda	Presencia de aspersión de fluido del evento en la especie Sábila (4)	Campo 5	SI
3	Persona 3	Vivienda	Presencia de iridiscencia en el estanque piscícola y 7 individuos que presuntamente resultaron afectados por el evento, se evidencia una muy leve aspersión de un fluido en aguacate, cacao, coco, mandarino y ahuyama	Campo 5	SI
4	Persona 4	Vivienda	Presencia de aspersión del fluido del evento en las especies Ornamental (2) con material particulado producto del tráfico vehicular, Limonaria (1), Espinaca (1), Palma de aceite (1)	Campo 5	SI

PUNTOS	NOMBRE	PUNTO	DESCRIPCIÓN	VEREDA	ASPERSIÓN
5	Persona 5	Vivienda	con aspersión leve del fluido y Guamo (1) sin aspersión del fluido Sin presencia de aspersión del fluido del evento en la especie: Ornamental (2). Con presencia de aspersión del fluido del evento en un porcentaje del follaje de las especies Aguacate (1) y Plátano (2)	Campo 5	NO
6	Escuela Primaria Vereda Campo 5	Vivienda	Se observa aspersión del fluido del evento en las hojas de los árboles, parque de ejercicios, punto ecológico de residuos y ornamentales	Campo 5	SI
7	Persona 6	Vivienda	Presencia de iridiscencia leve en porcentaje bajo del follaje para cada una de las especies: Ornamental (1), Níspero (1), Yuca (1) y Anón (1)	Campo 5	SI
8	Persona 7	Vivienda	No se evidencia aspersión del fluido del evento en las especies Noni (2), Ornamental (3), Limón pajarito (4) y Pomarroso (1)	Campo 5	NO
9	Persona 8	Vivienda	Presencia de aspersión leve del fluido del evento en las especies: Pomarroso (2) y Sábila (2)	Tierradentro	SI
10	Persona 9	Vivienda	Presencia de aspersión del fluido del evento en las especies Sábila (3), Limón (5), Plátano (5), Ceiba (1), Estanque (1), Guanábano, Piña (15), Canal de aguas lluvias (1), Ornamental (4), Aguacate (1), y sin presencia de aspersión en Aguacate (1)	Campo 5	SI
11	Persona 10	Vivienda	No se evidencia Aspersión del fluido en el follaje del cacao	Campo 5	NO
12	Persona 11	Vivienda	Presencia de aspersión leve del fluido del evento en parte del follaje de hojas de Pomarroso y ornamentales	Tierradentro	SI
13	Persona 12	Vivienda	No se evidencia aspersión del fluido del evento en las especies Plátano y Mango	Campo 5	NO
14	Persona 13	Vivienda	Presencia de aspersión leve del fluido del evento en hojas de plátano y parte del follaje de un guanábano	Tierradentro	SI
15	Persona 14	Vivienda	3 estanques Piscícolas ( 1 con iridiscencia, 1 limpio, 1 sin mantenimiento y sin iridiscencia ) Leve aspersión del fluido del evento en Cacao, Plátano, Naranjos, y Ornamentales	Campo 38	SI
16	Persona 15	Vivienda	Presencia de aspersión del fluido del evento en las especies Naranja (1), Plátano (1) y Limón (1)	Campo 5	SI
17	Persona 16	Vivienda	Presencia de aspersión leve del fluido del evento en las especies: Palma de coco (1) y Aguacate (1). Presencia de aspersión en Icao (1), Guanábano (7), Plátano (3) de porte bajo, Aguacate (1), Limón (1) y Palma de coco (1)	Campo 5	SI
18	Persona 17	Vivienda	No se evidencia aspersión del fluido del evento en los Panales de abejas	Campo 5	NO
19	Persona 18	Vivienda	Presencia de aspersión leve del fluido del evento en hojas de plátano y yuca	Tierradentro	SI
20	Persona 19	Vivienda	Dos piscícolas ( 1 iridiscencia leve, 1 iridiscencia muy leve sin mortandad de peces ), leve aspersión del fluido sobre el follaje de moncoros, plantas de menor porte leve aspersión	Campo 5	SI
21	Persona 20	Vivienda	Se evidencia leve aspersión del fluido en hojas de plátano, aproximadamente 15 individuos	Campo 38	SI
22	Persona 21	Vivienda	Presencia de aspersión leve del fluido del evento en las especies: Plátano (8), Papayo (2), Ornamental (2) y Sábila (1)	Tierradentro	SI
23	Persona 22	Vivienda	Se evidencia aspersión leve del fluido del evento en Mango, 1 frijol, 1 guayabo, no se encontró especie papayo	Campo 5	SI
24	Persona 23	Vivienda	Presencia de aspersión leve del fluido del evento en hojas de plátano, Pomarroso y frijol	Tierradentro	SI
25	Persona 24	Vivienda	No se evidencia aspersión del fluido del evento en plantas ornamentales	Campo 5	NO

Fuente: Elaboración propia en colaboración con HS&E S.A.S, 2024.

---

#### 6.3.4 Fase IV: Generar Base de datos y salidas graficas finales

Los resultados obtenidos en las fases anteriores fueron consolidados en una Geodatabase (GDB) utilizando la herramienta ArcGIS Pro, con el objetivo de sintetizar toda la información recopilada, procesada y analizada. Esta base de datos fue organizada en diferentes Dataset temáticas según el tipo de dato, lo que permitió estructurar de manera eficiente la información. La consolidación de los datos bajo este esquema facilita la realización de consultas, proyecciones y cálculos con mayor precisión, reduciendo la complejidad de los procesos y optimizando los tiempos de respuesta para la toma de decisiones. Además, se generaron productos gráficos que representan los resultados obtenidos, como mapas detallados que identifican coberturas, fauna y viviendas afectadas, proporcionando un panorama espacial y visual más versátil para apoyar la planificación y la implementación de rutas de atención y estrategias de mitigación frente a futuras emergencias.

Adicionalmente, el conjunto de insumos permitió no solo la creación de mapas que mostraran un diagnóstico completo de la zona afectada, sino también el desarrollo de alternativas innovadoras para presentar la información. Entre estas alternativas se incluyeron herramientas audiovisuales que resultaron útiles para socializar los resultados con otros actores involucrados en la atención de la emergencia. Esto demuestra la capacidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para integrar diversas fuentes de información y generar un enfoque multidimensional, que combina perspectivas profesionales, sociales, institucionales y académicas, enriqueciendo tanto el análisis como la toma de decisiones colaborativa.

Los resultados obtenidos en las fases anteriores requieren ser consolidados en una Geodatabase (GDB) haciendo uso de la herramienta ArcGIS Pro con el propósito de consolidar toda la información recopilada, procesada y analizada; que fue organizada por tipo de dato en diferentes capas según corresponda, dicho esto, la presentación y consolidación de la información bajo esta estructura permitirá realizar consultas, proyecciones y cálculos de manera precisa disminuyendo procesos y optimizando los tiempos de respuesta en la toma de decisiones, adicional a esto, se generan salidas graficas con los resultados identificando coberturas, fauna y vivienda que fueron afectadas con el fin de tener un panorama espacial y grafico mucho más versátil a la hora de tomar decisiones y de la planificación y construcción de rutas de atención y/o procedimientos para la mitigación de futuras emergencias.

Adicional a esto, el conjunto de insumos permitió no solo generar mapas que mostraran un panorama de la zona sino que también se pudieron dar otras alternativas de la presentación de la información como fue el caso de pensar en otras herramientas audiovisuales que fueron útiles para socializar con otros intervinientes en la atención de la emergencia y que además muestra que los SIG pueden integrar varias fuentes de resultados de manera que se pueda dar un enfoque profesional, social, institucional y académico.

---

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis del ortomosaico generado con vigencia de abril del año 2024 durante el evento permitió identificar de manera detallada las áreas afectadas por el afloramiento del pozo CIRA5083 en el campo La Cira-Infantas. Este insumo, procesado mediante el software ArcGIS Pro, evidenció cambios significativos en la cobertura vegetal y áreas impactadas por la mancha de petróleo. Los resultados muestran una clara delimitación de las zonas afectadas, lo que resalta la utilidad de los ortomosaicos en la evaluación ambiental. En la discusión, se destaca la capacidad de estas herramientas para integrar datos multitemporales del antes y el después a la emergencia, permitiendo realizar comparaciones precisas y cuantificar la extensión de los impactos y clasificarlos según la especie, lo cual resulta fundamental para la planificación de estrategias de atención y monitoreo a largo plazo. Este análisis subraya la importancia de la tecnología geoespacial en la gestión de emergencias ambientales.

### **7.1 Resultado Fase I: Georreferenciación y postproceso de las imágenes capturadas con Dron en el pozo CIRA5083.**

El postproceso realizado por la empresa HS&E S.A.S al vuelo fotogramétrico sobre el pozo denominado como CIRA5083 realizado en abril de 2024 dio como resultado un ortomosaico con un GSD de 5 cm lo que se considera de alta resolución y que fue georreferenciada con los puntos de control obtenidos con equipos GNSS, cuenta con 4 bandas

RGB e infrarrojo cercano que fueron fundamentales para realizar la clasificación supervisada aplicando la metodología Corine Land Cover.

## Figura 7

*Metadatos del ortomosaico del campo la Cira-Infantas con vigencia de abril de 2024.*

Raster Information	
Columns	26942
Rows	34263
Number of Bands	4
Cell Size X	0.05033000000000938
Cell Size Y	0.05033000000000584
Uncompressed Size	3.44 GB
Format	TIFF
Source Type	Generic
Pixel Type	unsigned char
Pixel Depth	8 Bit
NoData Value	
Colormap	absent
Pyramids	levels: 7, resampling: Nearest Neighbor
Compression	LZW
Mensuration Capabilities	Basic

Geographic Coordinate System	
WKID	MAGNA
Authority	4686
Angular Unit	EPSS
Prime Meridian	Degree (0.0174532925199433)
Datum	Greenwich (0,0)
Spheroid	D MAGNA
Semimajor Axis	GRS 1980
Seminor Axis	6378137,0
Inverse Flattening	6356752.314140356
	298,257222101

Statistics				
Build Parameters: skipped column: 1, rows: 1, ignored value(s):				
Band Name	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Band_1	0	255	76.284377783484	61.089004867118
Band_2	0	255	85.71933441014	60.364401308457
Band_3	0	255	60.15295359541	51.062241084241
Band_4	0	255	186.02177412494	113.27599907821

Extent	
Top	2.33161911710 m
Bottom	2.329895454920 m
Left	4.913.175.763410 m
Right	4.914.531.754270 m

Spatial Reference	
Projected Coordinate System	CTM_12
Projection	Transverse Mercator
Authority	Custom
Linear Unit	Meters (1.0)
False Easting	5000000.0
False Northing	2000000.0
Central Meridian	-73.0
Scale Factor	0.9992
Latitude Of Origin	4.0

Band Metadata	
Band_1	
Source Band Index	1
Band_2	
Source Band Index	2
Band_3	
Source Band Index	3
Band_4	
Source Band Index	4

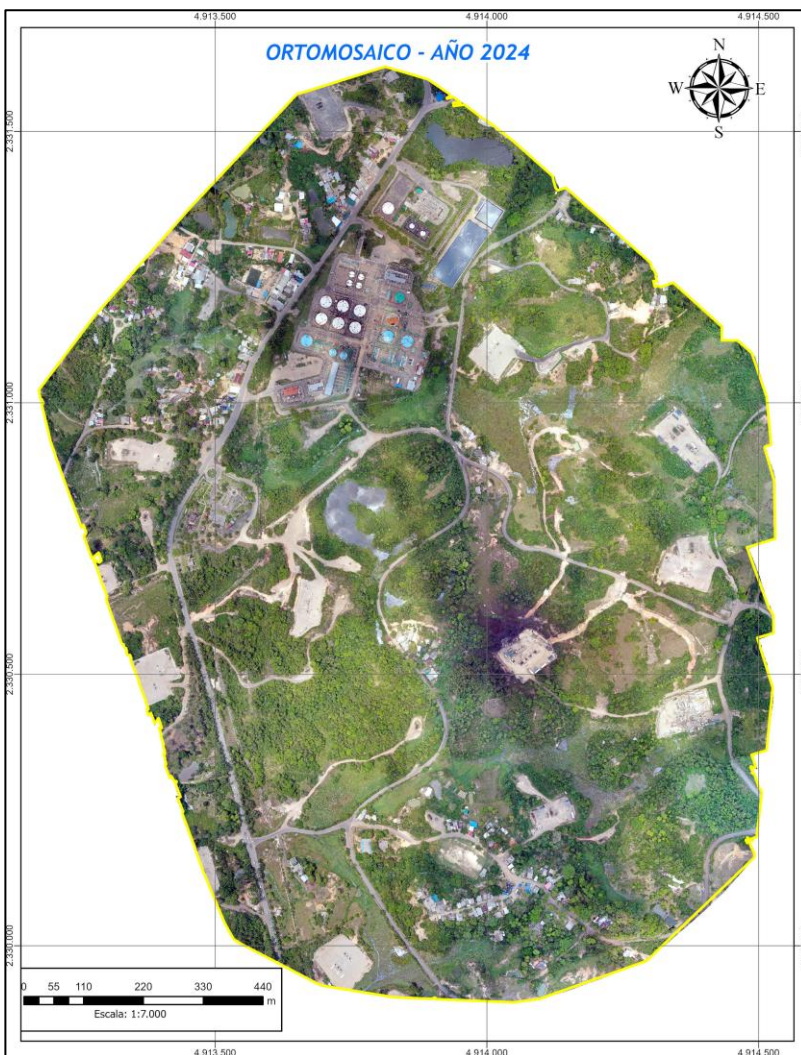
Fuente: Elaboración propia, 2024.

## El ortomosaico de la Figura 8

*Ortomosaico del campo la Cira-Infantas capturada durante la emergencia en abril de 2024* generado fue el insumo principal el cual contaba con información reciente del momento de la emergencia por el afloramiento de petróleo en el pozo CIRA5083, toda vez que de este se generaron las coberturas mediante la clasificación supervisada y sirvió de base para realizar la comparación del antes y el después de la emergencia.

**Figura 8**

*Ortomosaico del campo la Cira-Infantas capturada durante la emergencia en abril de 2024*



Fuente: Elaboración propia en colaboración con la empresa HS&E S.A.S, 2024.

## **7.2 Resultado Fase II: Identificación de las coberturas vegetales afectadas mediante la interpretación de imágenes.**

En esta fase se concentró la mayor parte del trabajo de este estudio, donde se aplicaron técnicas de clasificación supervisada en las imágenes y ortomosaico para identificar y delimitar

---

las áreas afectadas. Esto incluyó la diferenciación de tipos de cobertura y la detección de daños en fauna y flora que permitieron evaluar las áreas afectadas en términos de vegetación, fauna y vivienda efectuando la comparación de coberturas del antes, durante y después de la emergencia mediante herramientas de análisis espacial en ArcGIS Pro.

### **7.2.1 clasificación supervisada sobre el ortomosaico antes de la emergencia.**

El análisis antes de la emergencia (ver Figura 9

*Ortomosaico del campo la Cira-Infantas antes de la emergencia con vigencia de junio de 2022*) a causa del afloramiento (patada de pozo) de petróleo en el pozo CIRA5083 es fundamental toda vez que permitió verificar como las condiciones de las coberturas para este momento y realizando el análisis sobre el ortomosaico<sup>6</sup> el cual cuenta con un GSD de 7 cm y con las bandas RGB e infrarrojo cercano lo que permitió realizar la clasificación supervisada.

---

<sup>6</sup> Ortomosaico generado por la empresa HS&E S.A.S con vigencia a junio de 2022

**Figura 9**

*Ortomosaico del campo la Cira-Infantas antes de la emergencia con vigencia de junio de 2022*

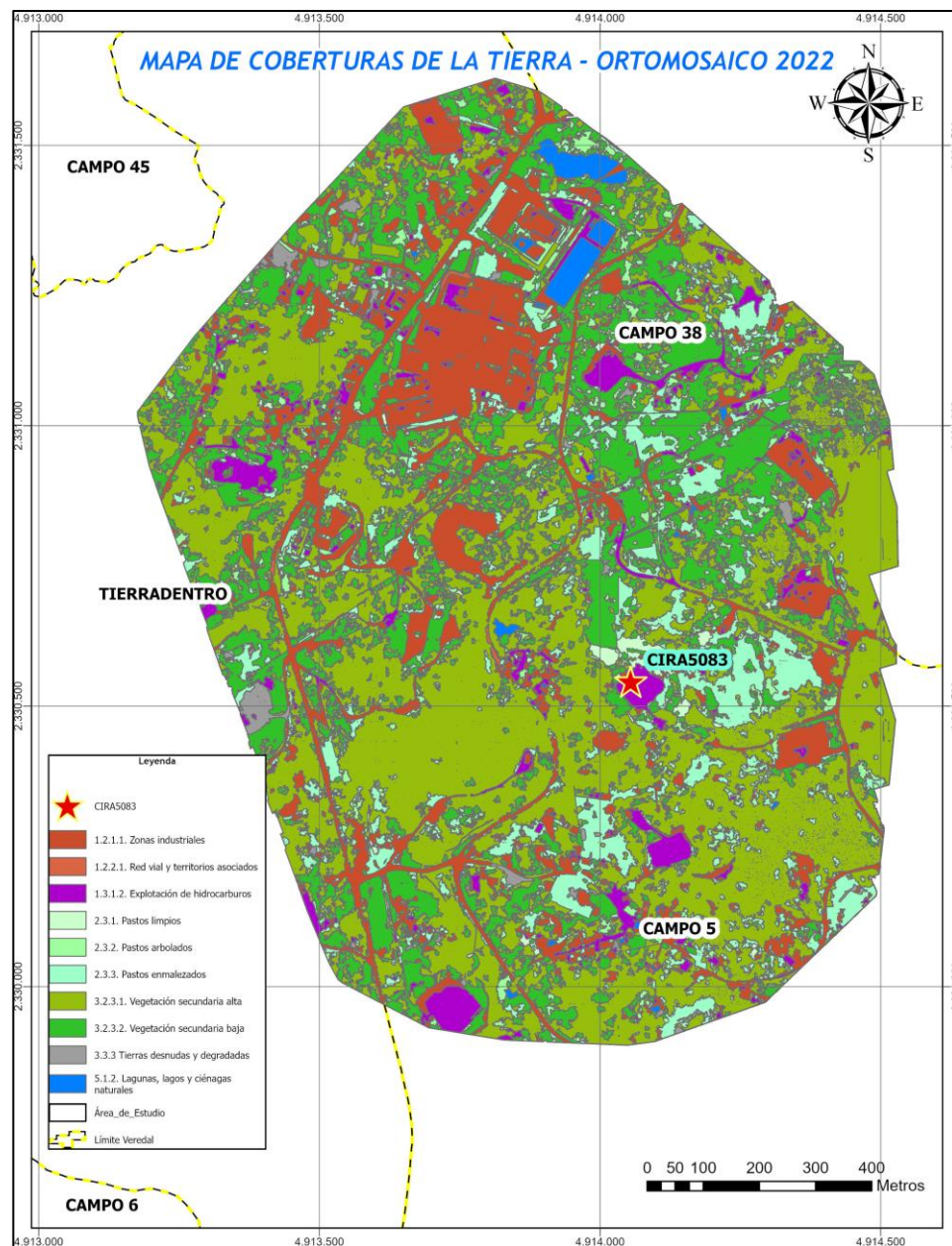


Fuente: recuperado de HS&E S.A.S, 2022

En la Figura 10 El mapa de coberturas de la tierra basado en el ortomosaico de 2022 presenta una distribución detallada de las diferentes clases de uso del suelo y vegetación en el área de estudio. Entre las coberturas predominantes se destacan los pastos enmalezados, que ocupan una proporción significativa del territorio, seguidos por la vegetación secundaria alta y baja, reflejando un paisaje modificado por actividades agropecuarias y procesos de regeneración. La identificación de zonas industriales y territorios asociados a la red vial resalta la influencia de actividades humanas en la fragmentación del entorno natural. Este análisis permite observar áreas vulnerables como las lagunas y ciénagas naturales, cuya extensión es limitada y potencialmente susceptible a impactos ambientales. La integración de herramientas geoespaciales no solo facilita la comprensión del uso del suelo, sino que también subraya la importancia de estrategias de manejo sostenible para equilibrar las demandas de desarrollo con la conservación del medio ambiente.

**Figura 10**

*Área de Estudio – Coberturas Metodología Corine Land Cover – Ortomosaico antes de la emergencia.*



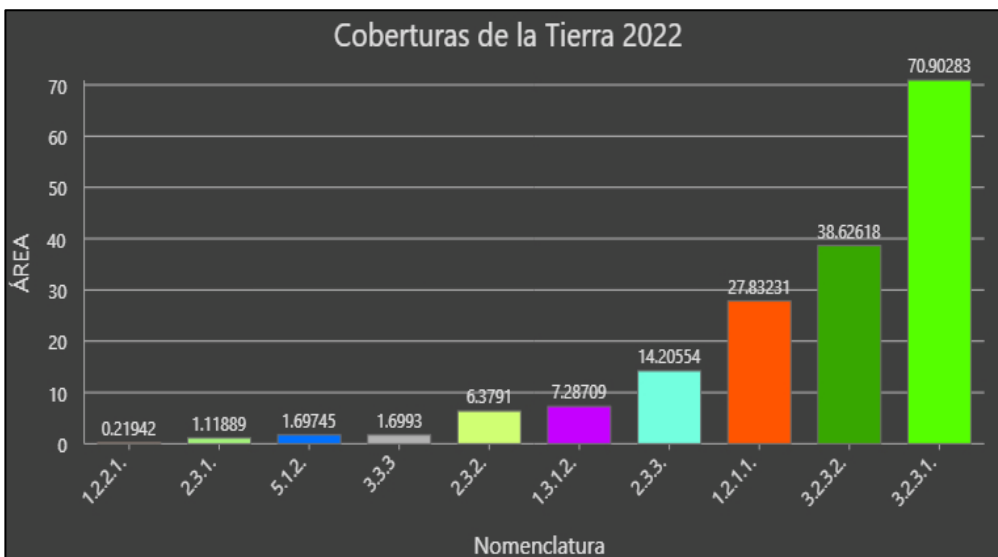
Fuente. Elaboración propia, 2025

En la Figura 11 El gráfico ilustra la distribución de las áreas ocupadas por distintas coberturas de la tierra según la metodología Corine Land Cover. Las categorías dominantes

incluyen la vegetación secundaria alta y baja, con áreas de 70.90 ha y 38.62 ha, respectivamente, lo que refleja procesos de regeneración natural en el área de estudio. Los pastos enmalezados ocupan una superficie considerable (27.83 ha), evidenciando un uso intensivo del suelo para actividades agropecuarias. Las áreas asociadas a zonas industriales y la red vial (14.20 ha y 0.21 ha, respectivamente) destacan la influencia humana en la fragmentación del paisaje. Por otro lado, las coberturas de lagunas y ciénagas naturales tienen extensiones reducidas, lo que subraya la necesidad de monitorear estas áreas por su vulnerabilidad a las actividades antrópicas. Este análisis es esencial para comprender las dinámicas del uso del suelo y planificar estrategias que promuevan el desarrollo sostenible, preservando los recursos naturales y minimizando impactos ambientales.

**Figura 11**

*Gráfico de resultados – Coberturas Metodología Corine Land Cover 2018 – Ortomosaico 2022*



Fuente. Elaboración propia, 2025

La Tabla 4 presenta las áreas correspondientes a diferentes coberturas de la tierra clasificadas bajo la metodología Corine Land Cover. La vegetación secundaria alta y baja son las coberturas predominantes, con áreas de 70,90 ha y 38,63 ha, respectivamente, lo que resalta la importancia de los procesos de regeneración natural en la zona de estudio. Los pastos enmalezados y las zonas industriales ocupan 14,21 ha y 27,83 ha, evidenciando la interacción entre actividades agrícolas y de infraestructura industrial. Por otro lado, las coberturas asociadas a cuerpos de agua como lagunas y ciénagas naturales, junto con tierras desnudas y degradadas, representan áreas mínimas (1,70 ha cada una), lo que indica su baja representatividad en el paisaje. Este análisis subraya la necesidad de gestionar adecuadamente las áreas de menor extensión y alta sensibilidad ambiental, promoviendo estrategias de conservación que mitiguen los impactos derivados de las actividades humanas.

**Tabla 4**

*Coberturas de la Tierra Ortomosaico antes de la emergencia y su distribución por Área*

<b>Número</b>	<b>Coberturas</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Área (ha)</b>
1	1.2.1.1. Zonas industriales	1211	27,83
2	1.2.2.1. Red vial y territorios asociados	1221	0,22
3	1.3.1.2. Explotación de hidrocarburos	1312	7,29
4	2.3.1. Pastos limpios	231	1,12
5	2.3.2. Pastos arbolados	232	6,38
6	2.3.3. Pastos enmalezados	233	14,21
7	3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	3231	70,90
8	3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	3232	38,63
9	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	333	1,70
10	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	512	1,70

Fuente. Elaboración propia, 2025

Como complemento al proceso de recolección de información, se llevó a cabo la recolección de datos in situ por parte de los profesionales en referencia a fauna y vegetación que mediante la georreferenciación utilizando dispositivos GPS para capturar la localización exacta de las diferentes especies y demás elementos de relevancia. Los resultados que se obtuvieron fueron validados mediante inspección visual y comparaciones con datos de campo, asegurando que las zonas afectadas estén correctamente identificadas y cuantificadas.

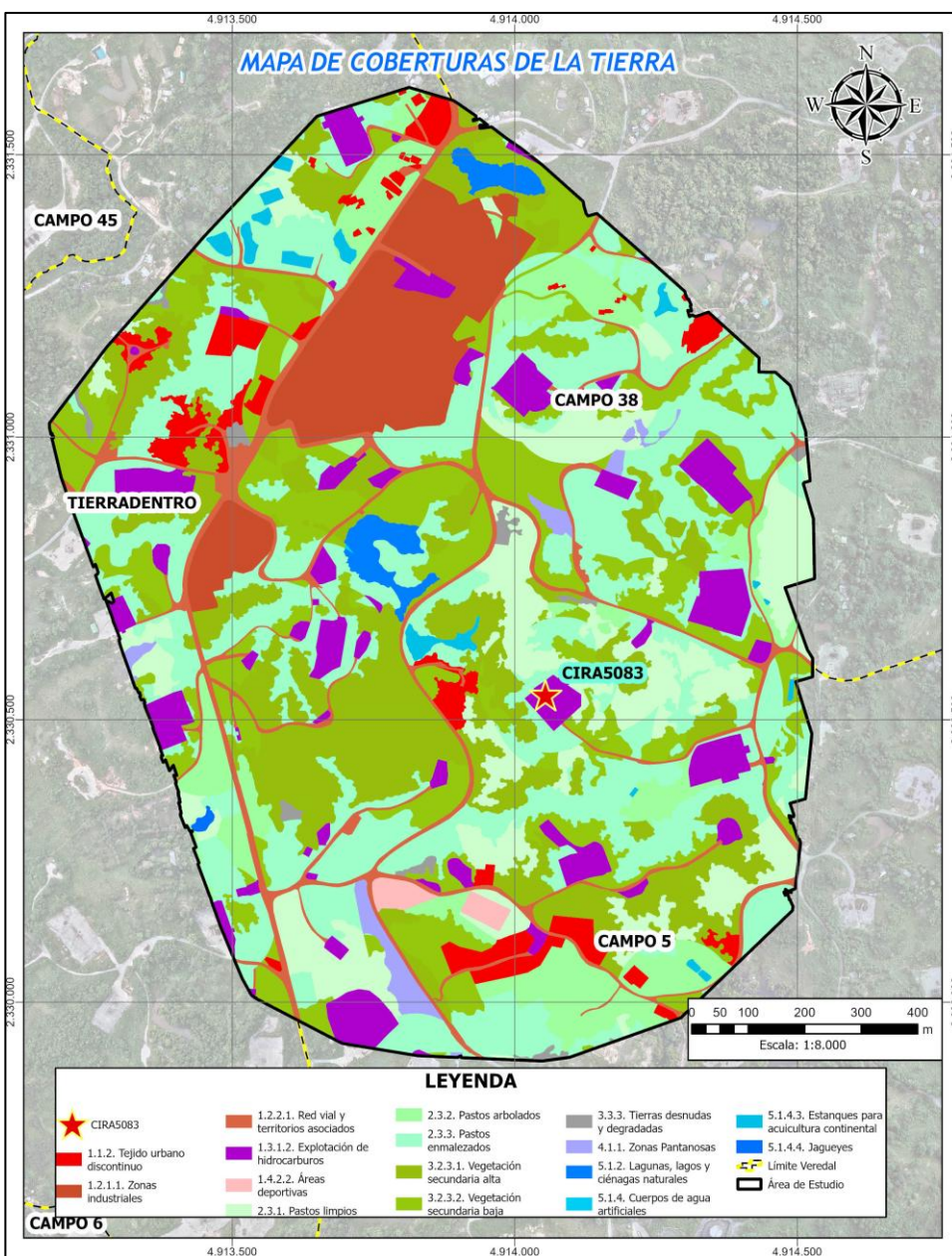
### **7.2.2 clasificación supervisada sobre ortomosaico durante la emergencia**

La Figura 12 representa el área de estudio aplicando la metodología Corine Land Cover 2018, donde se emplearon colores RGB estandarizados para cada categoría de cobertura de la tierra, facilitando su interpretación visual. En el mapa se destacan las principales coberturas de la

región, tales como pastos enmalezados, vegetación secundaria y áreas industriales asociadas a la actividad petrolera. Los colores asignados permiten identificar rápidamente las zonas de mayor impacto humano, como los campos petroleros (Campo 38, Campo 5 y Tierradentro), así como áreas con vegetación predominante y cuerpos de agua. En la discusión, se resalta la efectividad del uso de los colores RGB propuestos por la metodología Corine Land Cover, ya que permiten una representación uniforme y distintiva con respecto a otras áreas. Este nivel de estandarización no solo facilita la identificación de los usos del suelo, sino que también promueve un análisis más detallado de los impactos ambientales. La superposición de datos sobre las coberturas naturales y las actividades humanas muestra que las áreas de mayor alteración corresponden a zonas donde predomina la actividad petrolera, destacando la necesidad de implementar estrategias de restauración y conservación para mitigar los efectos negativos en el ecosistema. Este análisis refuerza el valor de las herramientas geoespaciales en la gestión territorial sostenible.

**Figura 12**

*Área de Estudio – Coberturas Metodología Corine Land Cover – Ortomosaico durante la emergencia*



Fuente: Elaboración propia, 2025

En la Figura 13 se representa la distribución porcentual y en hectáreas de las coberturas de la tierra en el área de estudio, clasificadas según la metodología Corine Land Cover. Se

observa que la categoría más representativa es la de pastos enmalezados, ocupando 45,399 hectáreas, lo que corresponde al 25.79% del total del área analizada. Le siguen la vegetación secundaria alta (14.96%) y la vegetación secundaria baja (14.59%), lo que resalta el predominio de coberturas vegetales naturales o seminaturales en la región. Por otro lado, categorías como cuerpos de agua artificiales y áreas deportivas tienen una representación mínima, con menos del 1% del área total. En términos de discusión, el predominio de los pastos enmalezados refleja una alta intervención antrópica relacionada con actividades agropecuarias y, posiblemente, con procesos de degradación del suelo. Este análisis, combinado con el uso de colores RGB estandarizados, permite una interpretación visual clara y facilita la priorización de estrategias para la restauración y conservación de áreas críticas. Además, el gráfico complementa los datos tabulados al ofrecer una representación visual efectiva de la proporción relativa de cada cobertura en el contexto del manejo ambiental del territorio.

**Figura 13**

*Gráfico de resultados – Coberturas Metodología Corine Land Cover 2018*



Fuente: Elaboración propia, 2025

La Tabla 5 presenta la clasificación de las coberturas de la tierra en el área de estudio, detallando su extensión en hectáreas y porcentaje correspondiente del total. Se observa que los pastos enmalezados constituyen la categoría más predominante, abarcando 45,399 hectáreas, equivalentes al 25.79% del área total. Le siguen la vegetación secundaria alta y baja, con un 14.96% y 14.59% respectivamente, lo que refleja la importancia de estas coberturas en la composición del paisaje. Por el contrario, categorías como cuerpos de agua artificiales, áreas deportivas y jagüeyes representan un porcentaje mínimo, inferior al 1%, indicando su baja representatividad en el área.

Este análisis cuantitativo resalta las características múltiples del territorio, permitiendo identificar tanto las zonas más intervenidas como aquellas con mayor valor para la conservación.

La información de esta tabla es clave para diseñar estrategias de manejo ambiental que prioricen la restauración de áreas degradadas y el mantenimiento de coberturas vegetales que cumplen funciones ecológicas relevantes.

**Tabla 5**

*Coberturas de la Tierra Ortomosaico durante la emergencia y su distribución por Área*

Número	Cobertura	Nomenclatura	Área (ha)
1	1.1.2. Tejido urbano discontinuo	112	5,711
2	2.3.1. Pastos limpios	231	19,142
3	2.3.2. Pastos arbolados	232	11,675
4	2.3.3. Pastos enmalezados	233	45,399
5	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	333	0,880
6	4.1.1. Zonas Pantanosas	411	1,508
7	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	512	1,912
8	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	514	0,008
9	1.2.1.1. Zonas industriales	1211	12,598
10	1.2.2.1. Red vial y territorios asociados	1221	11,514
11	1.3.1.2. Explotación de hidrocarburos	1312	11,428
12	1.4.2.2. Áreas deportivas	1422	0,791
13	3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	3231	26,325
14	3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	3232	25,675
15	5.1.4.3. Estanques para acuicultura continental	5143	1,343
16	5.1.4.4. Jagueyes	5144	0,095

Fuente: Elaboración propia, 2025

### 7.2.3 clasificación supervisada sobre ortomosaico después de la emergencia

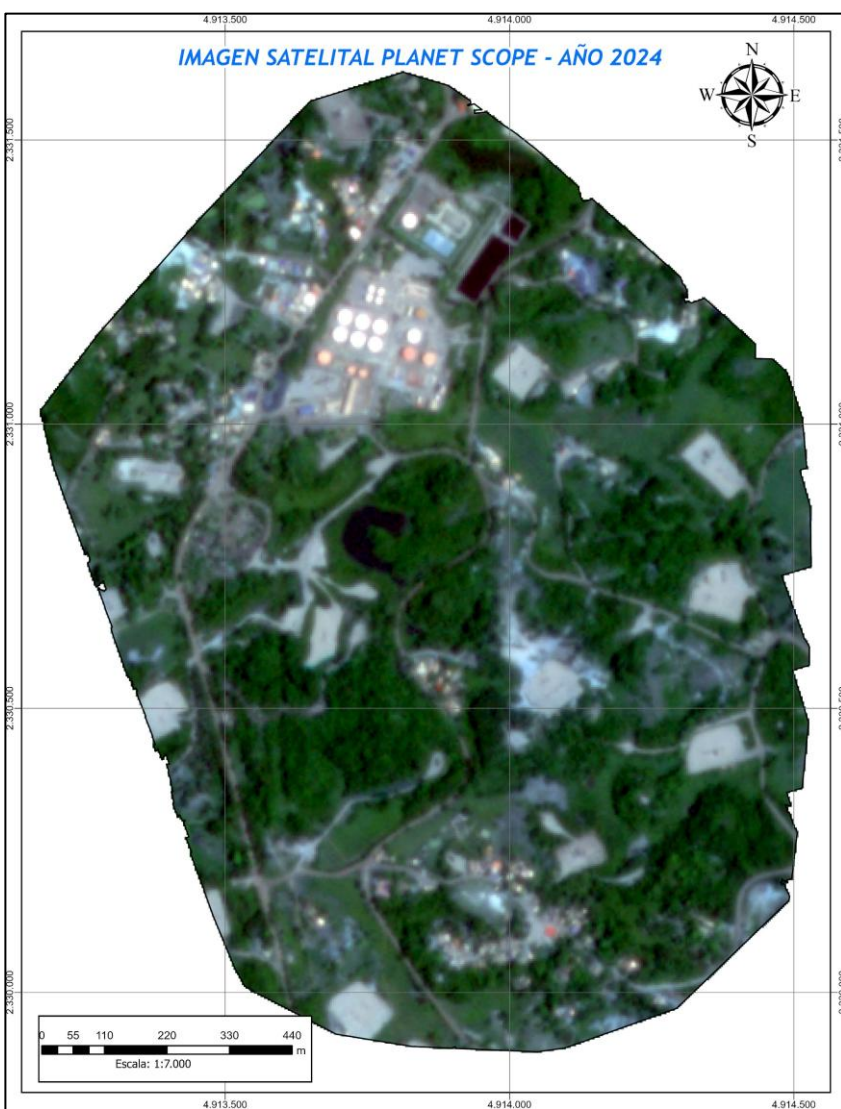
el procedimiento para obtener este ortomosaico en la

Figura 14 fue obtenido por una fuente externa a la primaria ya que a la fecha de este estudio no se ha realizado vuelos fotogramétricos para validar la evolución de la zona afectada a causa del afloramiento de petróleo, dicho esto, se tomó la información disponible gratuita de

mejor calidad haciendo la selección de una imagen satelital con poca nubosidad que cumpliera los requisitos técnicos para realizar la clasificación supervisada, la cual fue recortada al área de estudio emergencia estuvo basado en la identificación delimitación del área objeto de estudio sobre el pozo CIRA5083.

### Figura 14

*Imagen Satelital Planet Scope del campo la Cira-Infantas – vigencia de octubre Del 2024*

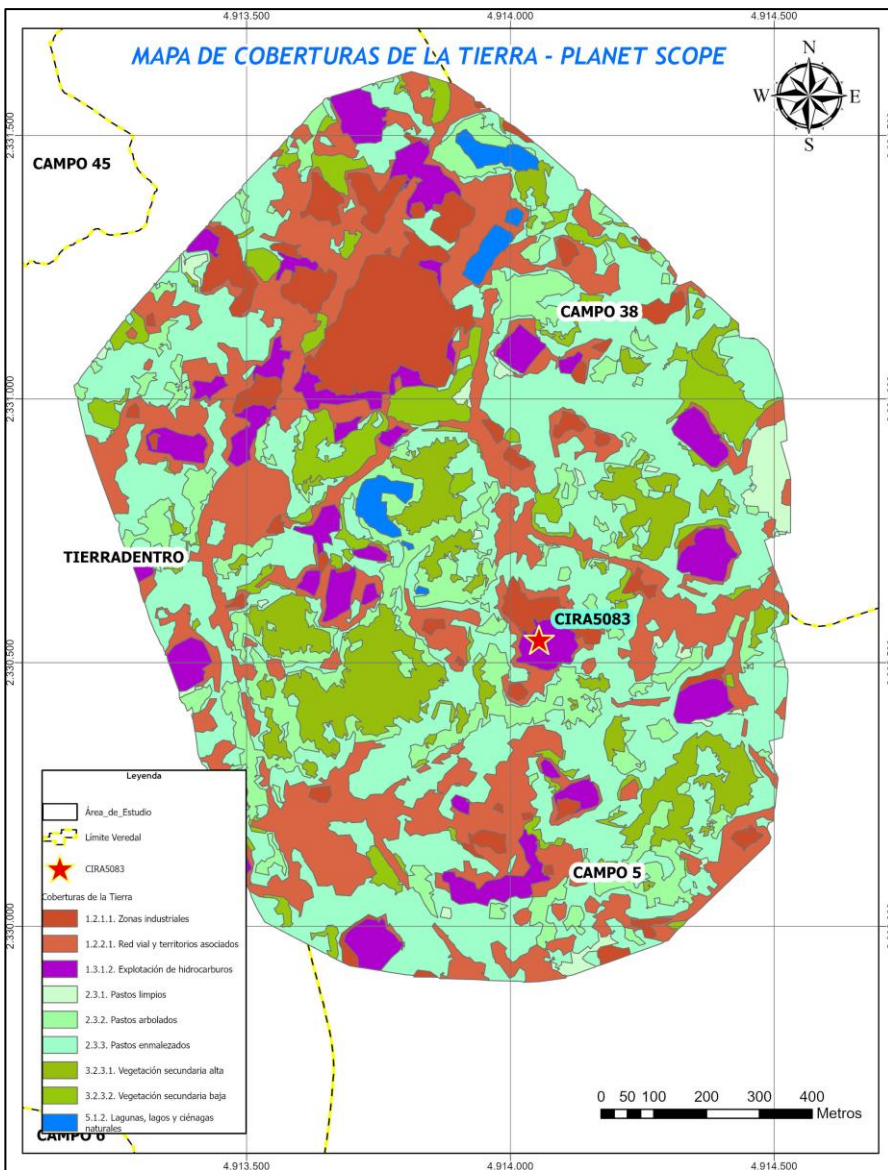


Fuente: recuperado de Planet Scope, 2025

La Figura 15 de coberturas de la tierra generado a partir de imágenes Planet Scope evidencia las diferentes clasificaciones de uso del suelo en el área de estudio, destacando zonas industriales, áreas de explotación de hidrocarburos, pastos, y cuerpos de agua naturales. Las áreas predominantes son los pastos enmalezados (representados en verde oscuro) y la vegetación secundaria baja (verde claro), lo que refleja un paisaje modificado por actividades humanas. Este análisis permite identificar sectores críticos como las zonas de explotación de hidrocarburos, que podrían representar riesgos ambientales significativos si no se manejan adecuadamente. Adicionalmente, la distribución espacial de las coberturas contribuye a una mejor planificación del manejo ambiental y a priorizar acciones de conservación en áreas vulnerables, como las lagunas y cuerpos de agua naturales.

**Figura 15**

*Área de Estudio – Coberturas Metodología Corine Land Cover – Imagen Satelital Planet Scope*



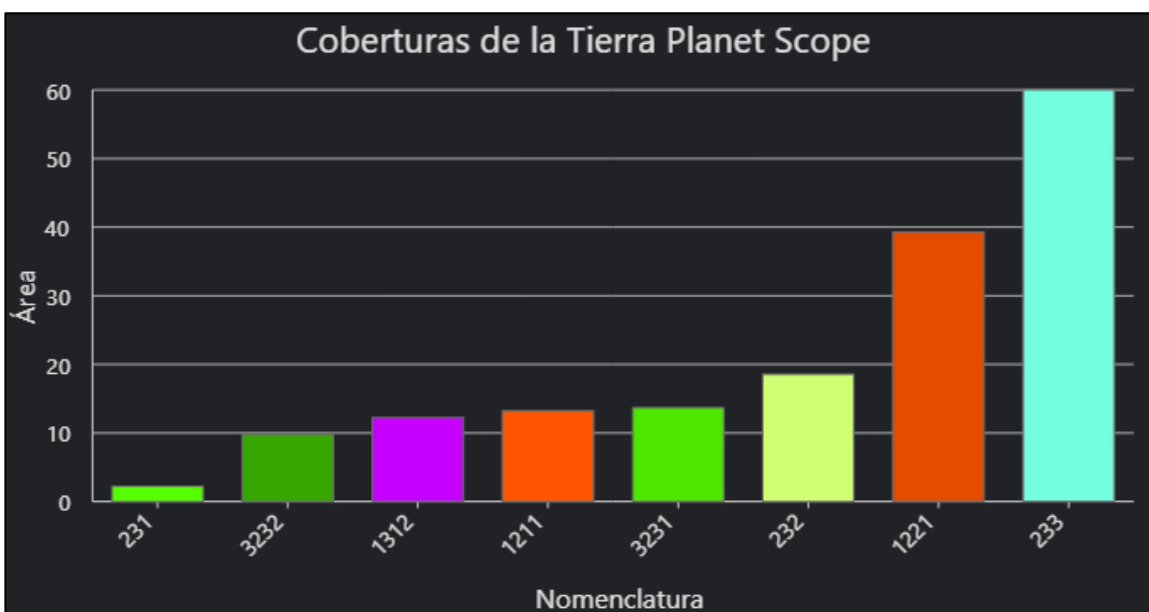
Fuente: Elaboración propia, 2025

En la Figura 16 el gráfico muestra la distribución de hectáreas por cada clase de cobertura en el área de estudio, destacándose los pastos enmalezados como la cobertura predominante con más de 55 hectáreas. Esto refleja la alteración del paisaje por actividades humanas,

probablemente relacionadas con la ganadería extensiva. Por otro lado, las áreas asociadas a la red vial y territorios adyacentes presentan una extensión considerable, lo que evidencia la infraestructura desarrollada en la región. Las lagunas y ciénagas naturales tienen la menor representación, indicando una posible presión ambiental sobre estos ecosistemas. Este análisis subraya la necesidad de gestionar las actividades en la zona para equilibrar las intervenciones humanas con la conservación de los recursos naturales.

### Figura 16

*Gráfico de resultados – Coberturas Metodología Corine Land Cover 2018 – Imagen Satelital Planet Scope*



Fuente: Elaboración propia, 2025

La Tabla 6 presenta la clasificación de las coberturas de la tierra en el área de estudio, detallando su extensión en hectáreas y porcentaje correspondiente del total. Se observa que los pastos enmalezados constituyen la categoría más predominante, abarcando 45,399 hectáreas, equivalentes al 25.79% del área total. Le siguen la vegetación secundaria alta y baja, con un

14.96% y 14.59% respectivamente, lo que refleja la importancia de estas coberturas en la composición del paisaje. Por el contrario, categorías como cuerpos de agua artificiales, áreas deportivas y jagueyes representan un porcentaje mínimo, inferior al 1%, indicando su baja representatividad en el área.

La interpretación de los resultados obtenidos en esta tabla es fundamental para determinar que se presentan grandes diferencias con respecto a los resultados obtenidos con los ortomosaicos del antes y durante la emergencia, esto puede obedecer a la calidad de la imagen satelital Planet Scope la cual tenía un GSD que no permitía tener tanto detalle por lo que los resultados obtenidos en el análisis de coberturas fueron mucho más generales.

**Tabla 6**

*Coberturas de la Tierra Imagen Satelital Planet Scope y su distribución por Área.*

<b>Número</b>	<b>Coberturas</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Área (ha)</b>
1	1.2.1.1. Zonas industriales	1211	13,21
2	1.2.2.1. Red vial y territorios asociados	1221	39,29
3	1.3.1.2. Explotación de hidrocarburos	1312	12,24
4	2.3.1. Pastos limpios	231	2,22
5	2.3.2. Pastos arbolados	232	18,57
6	2.3.3. Pastos enmalezados	233	60,03
7	3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	3231	13,67
8	3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	3232	9,77
9	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	512	1,89

Fuente: Elaboración propia, 2025

---

### **7.3 Resultado Fase III: Visita de campo para recolección de información (fauna, vegetación (árboles) y viviendas)**

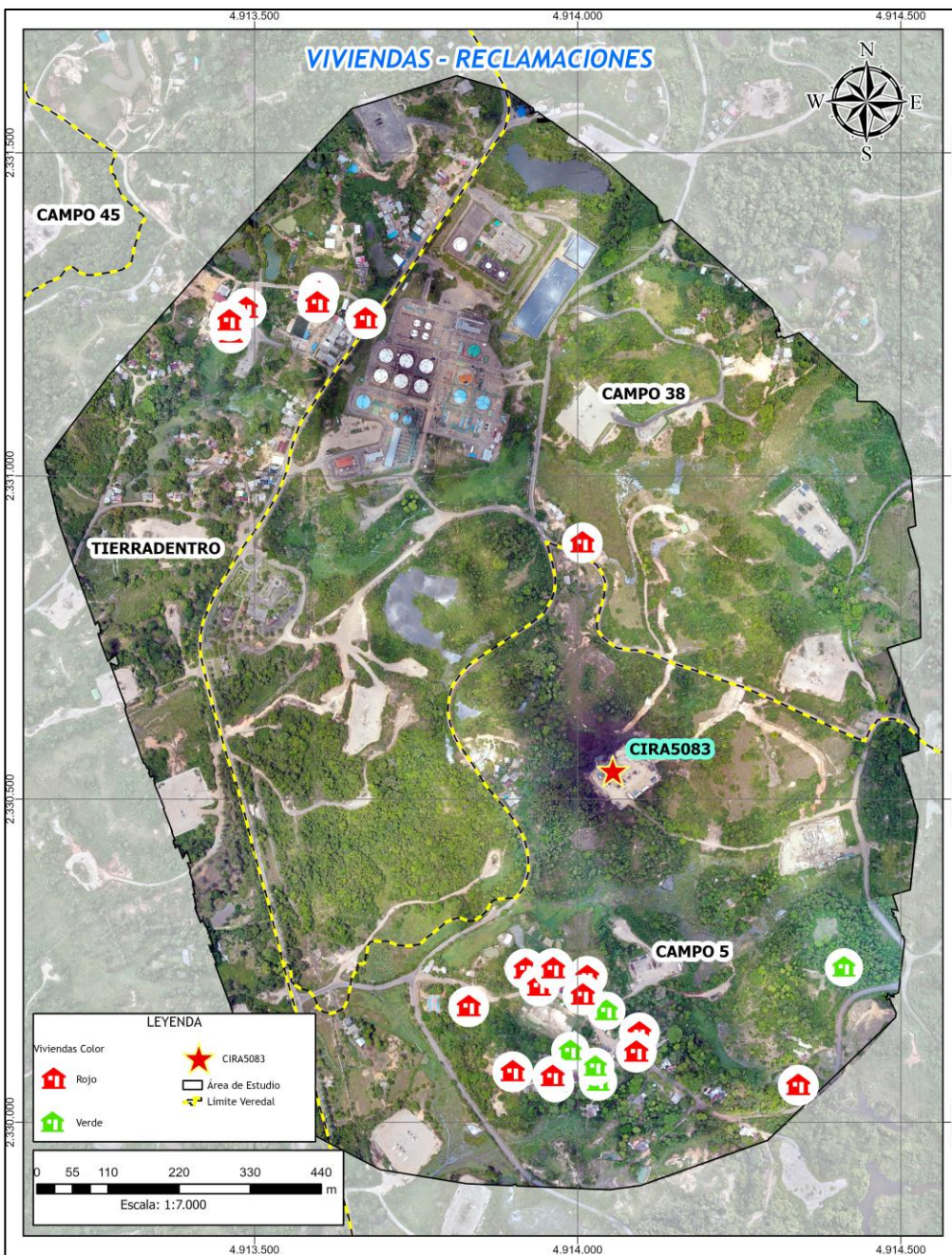
El análisis de las viviendas como se muestra en la Figura 17

*Viviendas Afectadas por las reclamaciones presentadas en campo* del área de influencia del pozo CIRA5083, ubicado en la vereda Campo 5, permitió identificar un impacto significativo derivado del afloramiento de petróleo. A través de la interpretación de imágenes obtenidas mediante vuelos fotogramétricos y procesadas en ArcGIS Pro, se delimitaron las zonas directamente afectadas por la mancha de crudo, donde se cuantificaron un total de 24 viviendas impactadas (Figura 8). Los resultados mostraron que el crudo alcanzó principalmente las zonas residenciales más próximas al área de operación, afectando tanto la infraestructura de las viviendas como la seguridad y salud de los habitantes. En la discusión, se destaca la importancia de utilizar herramientas geospaciales para delimitar áreas de riesgo y priorizar acciones de mitigación. La Figura 8 evidencia que las viviendas más afectadas se encuentran dentro de un buffer de mayor impacto, lo que sugiere que la cercanía al pozo CIRA5083 es un factor crítico en la extensión de los daños. Esto plantea la necesidad de desarrollar planes de emergencia y zonificación de riesgo que contemplen medidas preventivas, como la creación de zonas de amortiguamiento alrededor de áreas sensibles. Además, los hallazgos subrayan la urgencia de implementar estrategias de remediación orientadas a proteger la calidad de vida de las comunidades afectadas, asegurando la reparación de los daños físicos y el monitoreo de los posibles efectos a largo plazo en la salud pública y el medio ambiente. Este enfoque integral

combina el análisis espacial con la evaluación de los impactos sociales, proporcionando una base sólida para tomar decisiones informadas y prevenir futuros eventos de similar magnitud.

### Figura 17

*Viviendas Afectadas por las reclamaciones presentadas en campo*

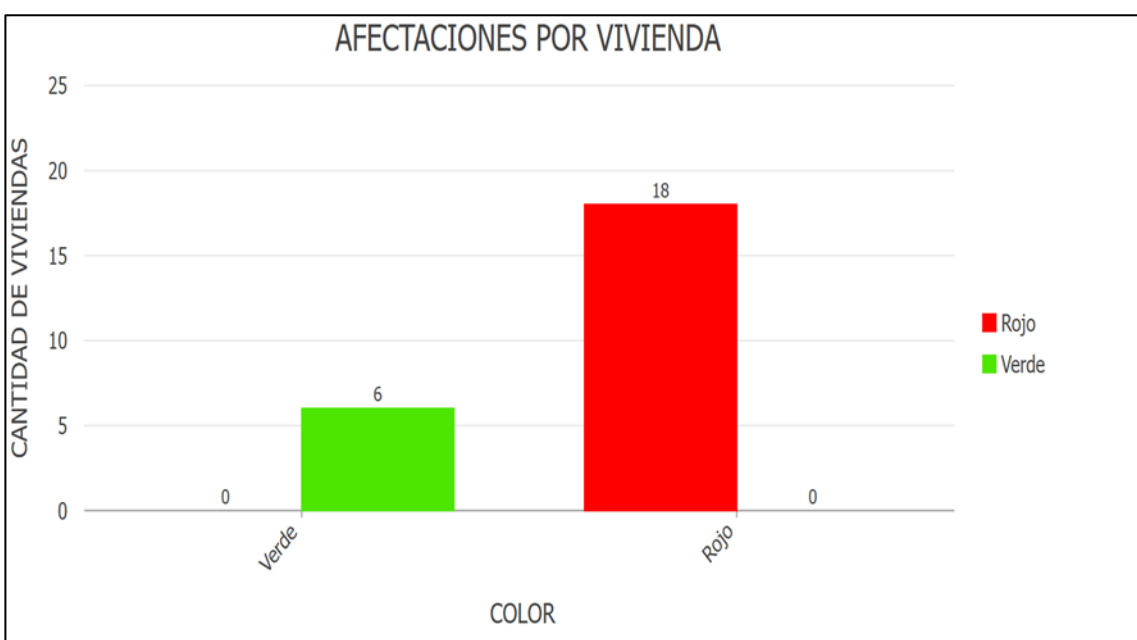


Fuente: Elaboración propia, 2025.

De las 24 viviendas que presentaron reclamaciones, se detectó que en el 75% (18 viviendas) se había detectado aspersión del fluido y en el 25% (6 viviendas) restante no se detectó evidencia de este procedimiento como se muestra en la Figura 18.

### Figura 18

*Estadísticas de Viviendas afectas por reclamaciones*



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La Tabla 7 presenta un registro detallado de las viviendas identificadas en el área de influencia del pozo CIRA5083, clasificadas según su color (rojo para afectadas y verde para no afectadas), así como datos adicionales como puntos asignados, ubicación geográfica (vereda), y la presencia o ausencia de aspersión. Este análisis permite observar que la mayoría de las viviendas afectadas se encuentran en la vereda Campo 5, con un total de 18 viviendas, mientras que las no afectadas representan una menor proporción con 6 registros. En la discusión, se resalta

que la distribución de las viviendas afectadas está correlacionada con su cercanía al área del afloramiento de petróleo, lo cual subraya la vulnerabilidad de las comunidades ubicadas en zonas de alta actividad petrolera. La incorporación de datos geográficos precisos, como coordenadas UTM, es crucial para delinear estrategias de remediación enfocadas en las viviendas más impactadas. Adicionalmente, los datos de aspersión evidencian las medidas de respuesta inicial, las cuales deberán ser complementadas con acciones sostenibles para mitigar los efectos a largo plazo sobre la salud y la calidad de vida de los residentes afectados. Este análisis refuerza la importancia de un enfoque integral que combine datos espaciales y sociales en la gestión ambiental y comunitaria.

**Tabla 7**

*Distribución de Coberturas de la Tierra en el Área de Estudio*

Número	Nombre	Color	Puntos	Vereda	Aspersión
1	Persona 1	Rojo	3	Campo 5	SI
2	Escuela Primaria Vereda Campo 5	Rojo	6	Campo 5	SI
3	Persona 2	Verde	11	Campo 5	NO
4	Persona 3	Rojo	20	Campo 5	SI
5	Persona 4	Rojo	21	Campo 38	SI
6	Persona 5	Verde	25	Campo 5	NO
7	Persona 6	Rojo	12	Tierradentro	SI
8	Persona 7	Rojo	14	Tierradentro	SI
9	Persona 8	Rojo	19	Tierradentro	SI
10	Persona 9	Rojo	24	Tierradentro	SI
11	Persona 10	Rojo	1	Campo 5	SI
12	Persona 11	Rojo	2	Campo 5	SI
13	Persona 12	Rojo	4	Campo 5	SI
14	Persona 13	Rojo	7	Campo 5	SI
15	Persona 14	Verde	5	Campo 5	NO
16	Persona 15	Verde	8	Campo 5	NO
17	Persona 16	Rojo	9	Tierradentro	SI
18	Persona 17	Rojo	10	Campo 5	SI
19	Persona 18	Verde	13	Campo 5	NO
20	Persona 19	Rojo	16	Campo 5	SI

Número	Nombre	Color	Puntos	Vereda	Aspersión
21	Persona 20	Rojo	17	Campo 5	SI
22	Persona 21	Rojo	22	Tierradentro	SI
23	Persona 22	Rojo	23	Campo 5	SI
24	Persona 23	Verde	18	Campo 5	NO

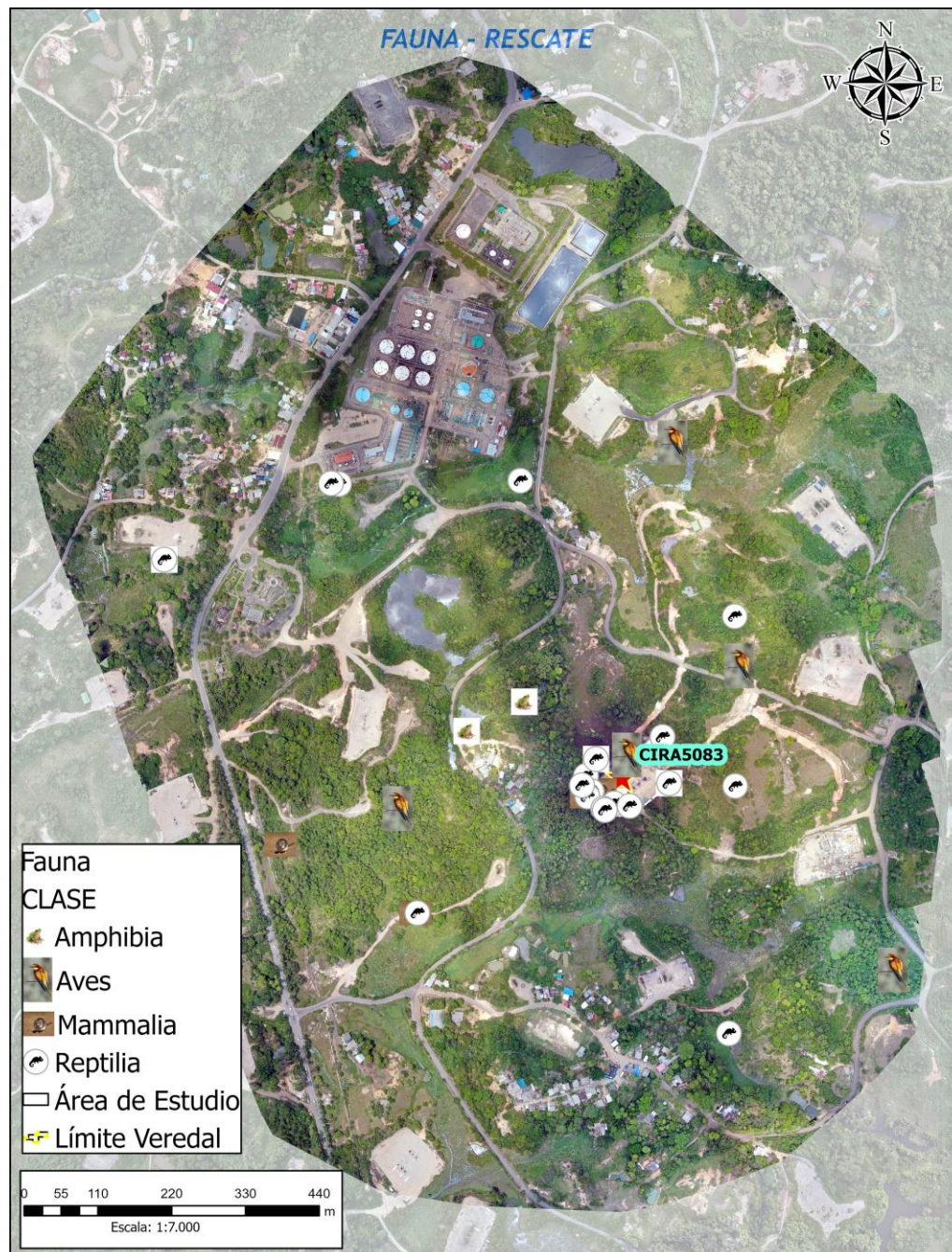
Fuente: Elaboración propia, 2025.

La

Figura 19 muestra la distribución de la fauna rescatada en el área de influencia del pozo CIRA5083, clasificada según grupos taxonómicos: Amphibia, Aves, Mammalia y Reptilia. Las especies identificadas se localizaron principalmente en las inmediaciones del área de mayor impacto del afloramiento, destacándose la alta presencia de mamíferos y aves, en comparación con los otros grupos. La delimitación espacial evidencia que la fauna se concentra en las zonas con mayor cobertura vegetal, lo que sugiere su relación directa con la disponibilidad de hábitats y recursos en las áreas menos perturbadas. En la discusión, se resalta la importancia de las estrategias de rescate y manejo de fauna para mitigar los efectos del derrame de petróleo. El análisis muestra que las áreas cercanas al pozo no solo presentan una alta vulnerabilidad ambiental, sino también una pérdida potencial de biodiversidad. Estas observaciones enfatizan la necesidad de implementar planes de restauración ecológica que prioricen la rehabilitación de los hábitats dañados, asegurando la continuidad de los ecosistemas locales y la conservación de las especies afectadas. Este enfoque refuerza el papel de las evaluaciones geoespaciales en la gestión integral de impactos ambientales.

**Figura 19**

*Distribución de Fauna Rescatada en el Área de Estudio*



Fuente: Elaboración propia, 2025.

## La Tabla 8

*Listado de Fauna Identificada y Rescatada en el Área de Estudio* presenta un inventario de 18 especies de fauna identificadas y rescatadas en el área de influencia del pozo CIRA5083, clasificadas en cuatro clases: Amphibia, Aves, Mammalia y Reptilia. Los datos muestran una mayor representación de reptiles, con 9 especies, seguidos de mamíferos (4 especies), anfibios (3 especies) y aves (2 especies). Entre los mamíferos rescatados se encuentran especies como el armadillo (*Dasyus novemcinctus*) y el zorro chucha (*Didelphis marsupialis*), mientras que los reptiles incluyen desde especies emblemáticas como la babilla (*Caiman crocodilus*) hasta serpientes como la cazadora (*Erythrolamprus melanotus*). En la discusión, la diversidad taxonómica observada resalta la riqueza de fauna en el área, lo que evidencia la importancia ecológica de los hábitats locales. Sin embargo, la alta presencia de especies en zonas impactadas subraya la vulnerabilidad de la fauna ante eventos como el afloramiento de petróleo. Estos resultados enfatizan la necesidad de desarrollar estrategias de conservación y restauración ecológica, priorizando el monitoreo de especies más sensibles y la protección de sus hábitats. Asimismo, el rescate y manejo de fauna debe complementarse con programas de educación ambiental para minimizar futuras perturbaciones en el ecosistema.

## Tabla 8

### *Listado de Fauna Identificada y Rescatada en el Área de Estudio*

Número	Clase	Orden	Familia	Genero	Nombre Común
1	Amphibia	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	Rana cohete
2	Amphibia	Anura	Leptodactylidae	Pseudopaludicola	Ranita enana
3	Amphibia	Anura	Microhylidae	Elachistocleis	Rana termitera
4	Aves	Cathartiformes	Cathartidae	Cathartes	Guala savanero

Número	Clase	Orden	Familia	Genero	Nombre Común
5	Aves	Passeriformes	Tyrannidae	Tyrannus	Sirirí
6	Mammalia	Cingulata	Dasypodidae	Dasypus	Armadillo
7	Mammalia	Didelphimorphia	Didelphidae	Didelphis	Zorro chucha
8	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	Sigmodon	Ratón algodónero
9	Mammalia	Rodentia	Echimyidae	Proechimys	Ratón espinoso
10	Reptilia	Crocodylia	Alligatoridae	Caiman	Babilla
11	Reptilia	Squamata	Colubridae	Mastigodryas	Cazadora tropical
12	Reptilia	Squamata	Colubridae	Oxybelis	Bejuquilla
13	Reptilia	Squamata	Dactyloidae	Anolis	Lagartija
14	Reptilia	Squamata	Dipsadidae	Erythrolamprus	Cazadora
15	Reptilia	Squamata	Iguanidae	Iguana	Iguana
16	Reptilia	Squamata	Teiidae	Ameiva	Lobo
17	Reptilia	Squamata	Typhlopidae	Amerotyphlops	Culebra ciega reticulada
18	Reptilia	Squamata	Viperidae	Bothrops	Talla X

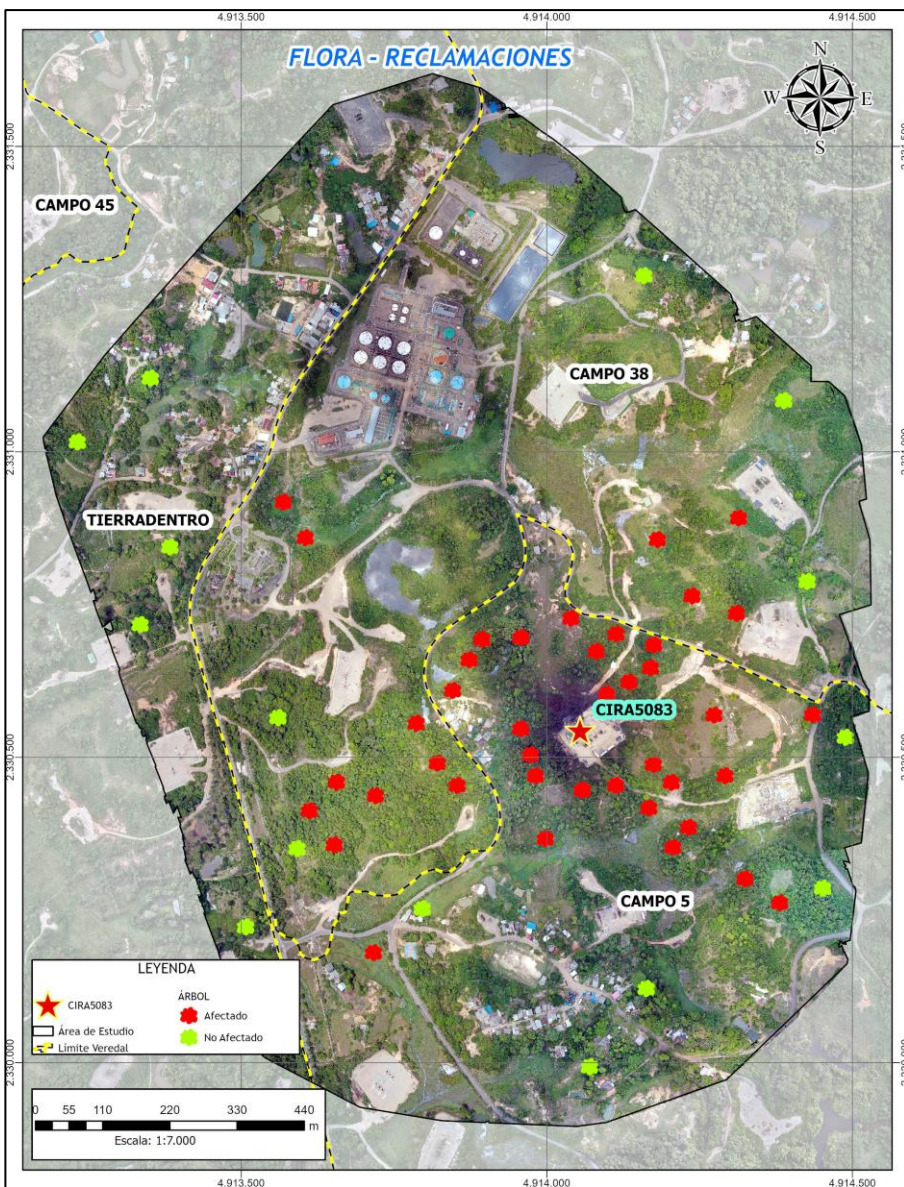
Fuente: Elaboración propia, 2025.

La Figura 20 muestra la distribución espacial de árboles afectados y no afectados en el área de influencia del pozo CIRA5083. Se evidencia que los árboles afectados (marcados en rojo) están concentrados principalmente en las inmediaciones del pozo, mientras que los árboles no afectados (marcados en verde) se localizan en zonas periféricas, alejadas de la zona de impacto directo. La mayor densidad de árboles afectados destaca la magnitud del daño causado por el afloramiento de petróleo en el ecosistema. En la discusión, estos resultados subrayan la fragilidad de la flora local frente a los impactos derivados de actividades petroleras. La proximidad al pozo CIRA5083 aparece como un factor determinante en la extensión de los daños, lo que pone en evidencia la necesidad de implementar medidas preventivas para minimizar la afectación en futuros eventos. Además, los hallazgos refuerzan la importancia de establecer programas de restauración ecológica que incluyan la reforestación con especies nativas adaptadas a las condiciones locales, a fin de recuperar las funciones ecológicas y la

biodiversidad del área. Este análisis resalta la relevancia de integrar información geoespacial en la planificación y monitoreo ambiental.

### Figura 20

*Distribución de Flora Afectada y No Afectada en el Área de Estudio*

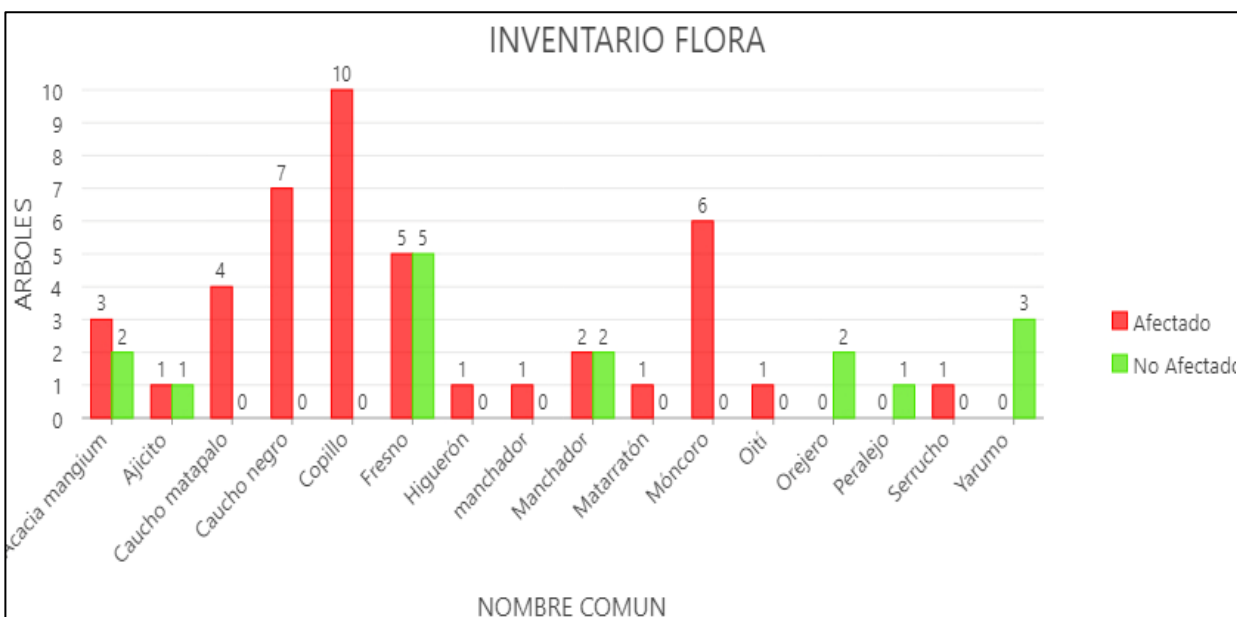


Fuente: Elaboración propia, 2025.

El gráfico de la Figura 21 presenta la distribución de árboles afectados y no afectados en el área de influencia del pozo CIRA5083. Se evidencia que especies como el caucho negro (*Sapium glandulosum*), el copillo (*Xylopia aromatica*) y el moncoro (*Cordia gerascanthus*) presentan un mayor número de ejemplares afectados, lo que refleja su cercanía y exposición directa al impacto del afloramiento de petróleo. Por otro lado, especies como el orejero (*Enterolobium cyclocarpum*), el yarumo (*Cecropia* sp.) y el fresno (*Tapirira guianensis*) se destacan por tener una mayor proporción de ejemplares no afectados, indicando su distribución en áreas menos impactadas. En la discusión, se resalta que las diferencias en los niveles de afectación están directamente relacionadas con la ubicación espacial de las especies y sus características ecológicas. Las especies más afectadas suelen estar ubicadas en zonas con mayor concentración del fluido, lo que subraya la necesidad de estrategias de restauración enfocadas en estas áreas críticas. Asimismo, las especies no afectadas ofrecen una valiosa referencia para identificar individuos resistentes que puedan ser clave en proyectos de rehabilitación ecológica. Este análisis subraya la importancia de combinar datos de campo y herramientas de visualización para comprender el impacto ambiental y orientar las acciones de remediación.

**Figura 21**

*Estadísticas de Viviendas afectas por reclamaciones*



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La

Tabla 9 presenta un inventario detallado de la flora identificada en el área de influencia del pozo CIRA5083, clasificándola según su división, clase, orden, familia, género y nombre común, con una distinción entre las especies afectadas y no afectadas por el afloramiento de petróleo. Los resultados destacan una mayor proporción de especies afectadas, como el caucho negro (*Sapium glandulosum*) y el copillo (*Xylopia aromatica*), concentradas en las zonas más cercanas al epicentro del impacto. Por otro lado, especies como el orejero (*Enterolobium cyclocarpum*) y el yarumo (*Cecropia* sp.) fueron registradas principalmente en áreas no afectadas. En la discusión, se observa que la distribución de los daños en la flora está directamente relacionada con la cercanía al pozo y la exposición al crudo. Las especies arbóreas

más impactadas, como el caucho negro, cumplen roles clave en la estructura y función del ecosistema, lo que subraya la urgencia de implementar medidas de remediación ecológica. Además, la identificación de especies no afectadas proporciona información valiosa para seleccionar especies resilientes que puedan ser utilizadas en proyectos de restauración. Este análisis refuerza la importancia de un enfoque integrado que combine evaluaciones botánicas y geoespaciales para abordar los impactos ambientales de manera efectiva.

**Tabla 9**

*Inventario de Flora Afectada y No Afectada en el Área de Estudio*

Numero	División	Clase	Orden	Familia	Genero	Nombre Común	Aspersión
1	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Euphorbiaceae	Sapium	Caucho negro	Afectado
2	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Euphorbiaceae	Sapium	Caucho negro	Afectado
3	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Euphorbiaceae	Sapium	Caucho negro	Afectado
4	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Euphorbiaceae	Sapium	Caucho negro	Afectado
5	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Euphorbiaceae	Sapium	Caucho negro	Afectado
6	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Euphorbiaceae	Sapium	Caucho negro	Afectado
7	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Euphorbiaceae	Sapium	Caucho negro	Afectado
8	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Euphorbiaceae	Maprounea	Ajicito	Afectado No
9	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Leguminosae	Enterolobium	Orejero	Afectado
10	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Magnoliales	Annonaceae	Xylophia	Copillo	Afectado No
11	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Leguminosae	Enterolobium	Orejero	Afectado
12	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Magnoliales	Annonaceae	Xylophia	Copillo	Afectado No
13	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Euphorbiaceae	Maprounea	Ajicito	Afectado
14	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Magnoliales	Annonaceae	Xylophia	Copillo	Afectado No
15	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Leguminosae	Acacia	mangium	Afectado No
16	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Leguminosae	Acacia	mangium	Afectado No
17	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Leguminosae	Acacia	mangium	Afectado
18	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Magnoliales	Annonaceae	Xylophia	Copillo	Afectado
19	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Hypericaceae	Vismia	Manchador	Afectado
20	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Leguminosae	Acacia	Acacia mangium	Afectado

<b>Numero</b>	<b>División</b>	<b>Clase</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Genero</b>	<b>Nombre Común</b>	<b>Aspersión</b>
21	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Leguminosae	Acacia	Acacia mangium	Afectado
22	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Magnoliales	Annonaceae	Xylopia	Copillo	Afectado
23	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Magnoliales	Annonaceae	Xylopia	Copillo	Afectado
24	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Sapindales	Anacardiaceae	Tapirira	Fresno Caucho	Afectado
25	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Moraceae	Ficus	matapalo Caucho	Afectado
26	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Moraceae	Ficus	matapalo Caucho	Afectado
27	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Moraceae	Ficus	matapalo Caucho	Afectado
28	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Moraceae	Ficus	matapalo	Afectado
29	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Sapindales	Anacardiaceae	Tapirira	Fresno	Afectado No
30	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Sapindales	Anacardiaceae	Tapirira	Fresno	Afectado No
31	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Sapindales	Anacardiaceae	Tapirira	Fresno	Afectado
32	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Magnoliales	Annonaceae	Xylopia	Copillo	Afectado
33	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Magnoliales	Annonaceae	Xylopia	Copillo	Afectado No
34	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Malpighiaceae	Byrsonima	Peralejo	Afectado No
35	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Sapindales	Anacardiaceae	Tapirira	Fresno	Afectado No
36	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Sapindales	Anacardiaceae	Tapirira	Fresno	Afectado No
37	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Hypericaceae	Vismia	Manchador	Afectado No
38	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Hypericaceae	Vismia	Manchador	Afectado No
39	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Urticaceae	Cecropia	Yarumo	Afectado No
40	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Sapindales	Anacardiaceae	Tapirira	Fresno	Afectado No
41	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Urticaceae	Cecropia	Yarumo	Afectado No
42	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Urticaceae	Cecropia	Yarumo	Afectado
43	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Sapindales	Anacardiaceae	Tapirira	Fresno	Afectado
44	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Moraceae	Ficus	Higuerón	Afectado
45	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Hypericaceae	Vismia	Manchador	Afectado
46	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malpighiales	Hypericaceae	Vismia	manchador	Afectado
47	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Malvales	Malvaceae	Byttneria	Serrucho	Afectado
48	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Sapindales	Anacardiaceae	Tapirira	Fresno	Afectado
49	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Sapindales	Anacardiaceae	Tapirira	Fresno	Afectado
50	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Magnoliales	Annonaceae	Xylopia	Copillo	Afectado
51	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Magnoliales	Annonaceae	Xylopia	Copillo	Afectado
52	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Boraginaceae	Cordia	Móncono	Afectado

Numero	División	Clase	Orden	Familia	Genero	Nombre Común	Aspersión
53	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Boraginaceae	Cordia	Móncoro	Afectado
54	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Boraginaceae	Cordia	Móncoro	Afectado
55	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Boraginaceae	Cordia	Móncoro	Afectado
56	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Boraginaceae	Cordia	Móncoro	Afectado
57	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Boraginaceae	Cordia	Móncoro	Afectado
58	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Leguminosae Chrysobalanaceae	Gliricidia	Matarratón	Afectado
59	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	ae	Licania	Oití	Afectado

Fuente: Elaboración propia, 2025.

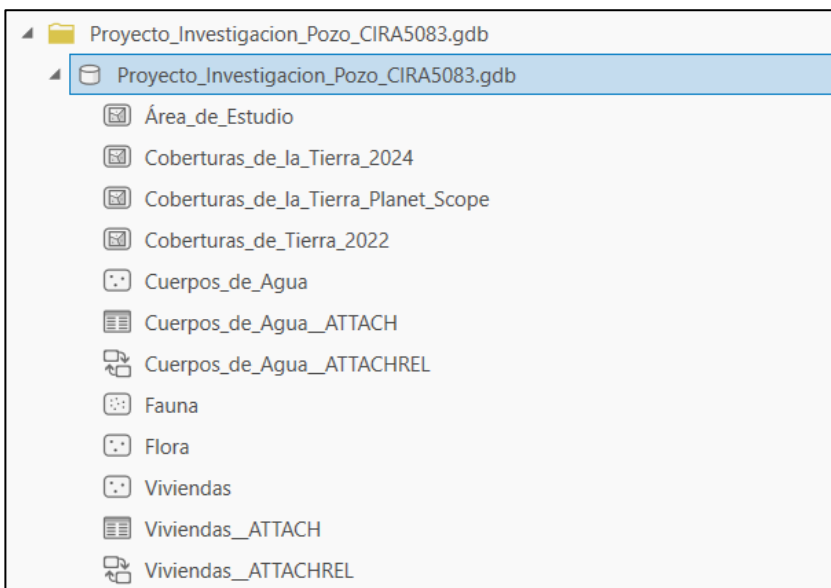
#### 7.4 Resultado Fase IV: Generar Base de datos y salidas graficas con los resultados obtenidos

El resultado de esta fase fue de suma importancia toda vez que, durante el análisis de la información de la Fase II se realizó depuración de información que no era necesaria o información que no cumplía con los criterios técnicos, adicional a esto, la consolidación de resultados permitió unificar los datos obtenidos de las diferentes fuentes donde fue organizada según el tipo, fuente y resultado generando diferentes *Feature Class*, con esto evitando que se generen múltiples archivos o la pérdida de información tal y como se evidencia en la

Figura 22.

## Figura 22

### *Consolidación de información en Geodatabase*



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Las herramientas SIG permitieron combinar los datos obtenidos de diferentes fuentes y que con el análisis realizado se tuvo un panorama amplio de las diferentes variables a identificar en este estudio, tales como las coberturas, fauna y viviendas afectadas por la emergencia, adicional a esto, se incluyeron atributos de importancia como las evidencias fotográficas de la visita de campo, descripciones, características, etc. (ver Figura 23) Optimizando los recursos con información de mayor precisión.

## Figura 23

*Ejemplo de la información contenida en el Feature Class de Cuerpos de agua*



The screenshot shows a 'Pop-up' window in a GIS application. The top part displays a tree view with the following structure:

- Cuerpos\_de\_Agua (1)
  - Frente Casa Blanca
- Coberturas\_de\_la\_Tierra\_2024 (1)

Below the tree view, the title of the pop-up is 'Cuerpos\_de\_Agua - Frente Casa Blanca'. The main content is a table with the following data:

OBJECTID	1
NOMBRE	Frente Casa Blanca
IRIDISCENC	SI
PUNTO	Cuerpo de agua
COLOR	Rojo
DESCRIPCI	Se evidencia iridiscencia en superficie
ESTE	4914020,2222
NORTE	2330817,8298
PUNTO_1	8
CAPA	Cuerpo de agua
CEL	NA
VEREDA	Campo 5

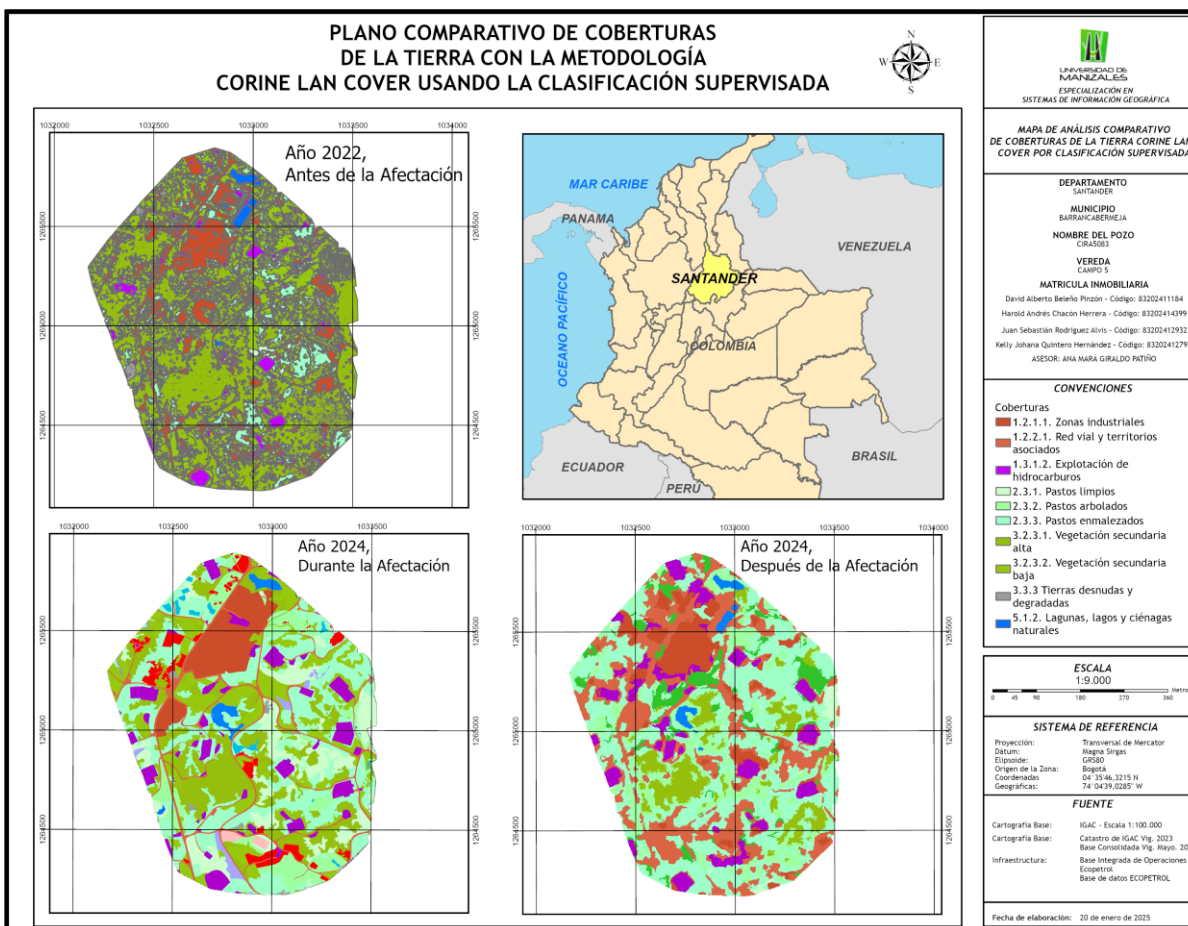
Below the table, there is a label '1.png' and a small thumbnail image showing a landscape with green vegetation and a wooden post.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Como resultado final se logró evaluar todas las afectaciones que se hicieron en las coberturas gracias a la clasificación supervisada donde se identificaron las viviendas, fauna y flora dentro de las coberturas con mayor representatividad en la afectación y como se muestra en la Figura 24 es el resultado general del proyecto de grado y también a su vez un análisis comparativo de las coberturas a lo largo del tiempo.

Figura 24

*Análisis comparativo de coberturas de coberturas del antes, durante y después de la emergencia*



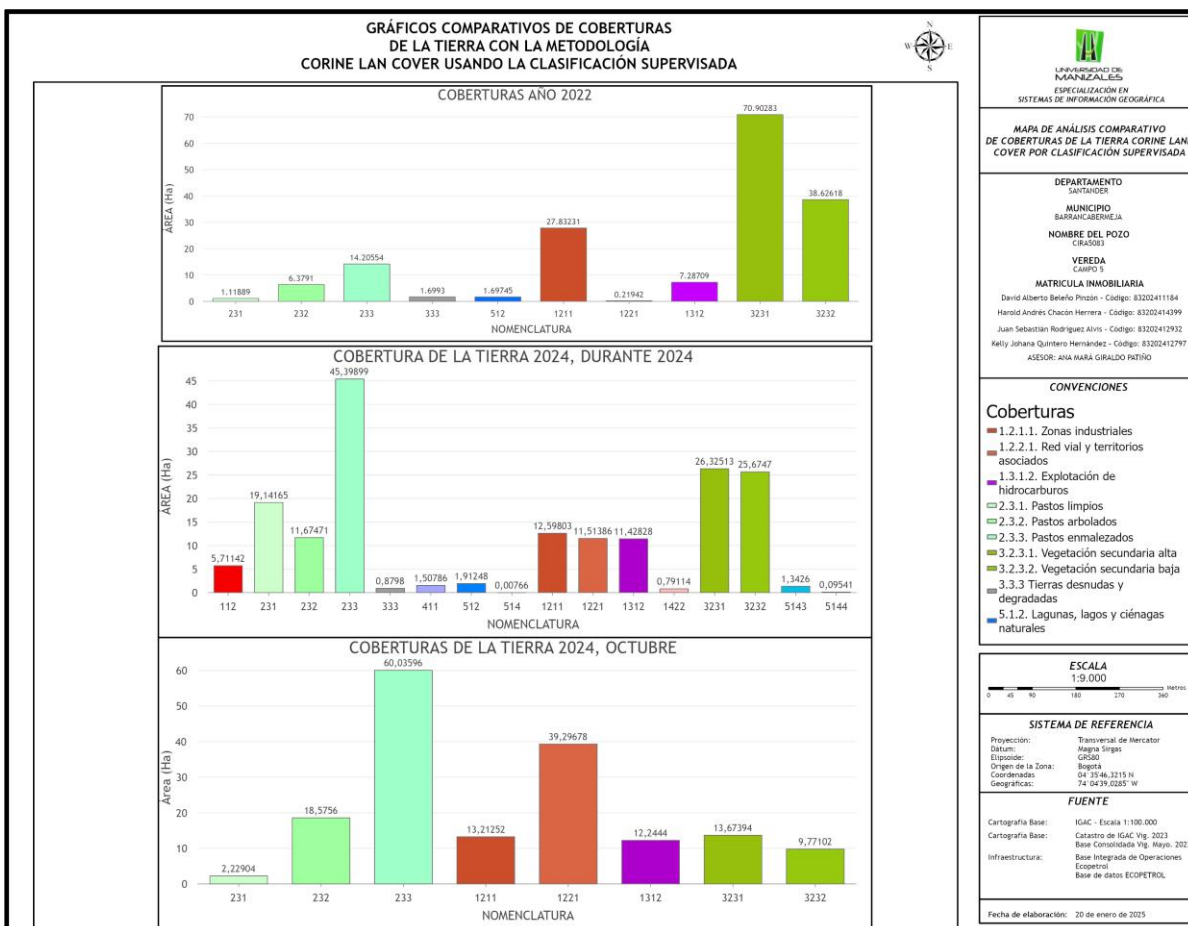
Fuente: Elaboración propia, 2025.

A partir del análisis comparativo realizado utilizando la metodología de clasificación supervisada basada en las coberturas del sistema Corine Land Cover, se evidenció una evolución significativa en las coberturas de la tierra a lo largo de los años 2022 y 2024. Este estudio evidencia que la cobertura 233 (Pastos Enmalezados) que ha mantenido una representatividad predominante en las diferentes temporalidades analizadas (ver Figura 25), consolidándose como una de las categorías más relevantes en el área de estudio. Sin embargo, los resultados también revelan que esta cobertura fue notablemente afectada por las emergencias ambientales registradas, reflejando

alteraciones tanto en su extensión como en su distribución. Este impacto evidencia la vulnerabilidad de los pastos enmalezados frente a estos eventos y destaca la necesidad de implementar estrategias de manejo y restauración que permitan mitigar los efectos negativos sobre esta cobertura, dada su importancia en los ecosistemas locales y en las actividades económicas asociadas. El análisis subraya la utilidad de la metodología Corine Land Cover para monitorear los cambios en las coberturas y proporcionar insumos valiosos para tomar las mejores decisiones dejando claro los resultados establecidos a través de todo el análisis que se realizó a lo largo del proyecto de grado investigativo.

**Figura 25**

*Gráficos comparativos de coberturas del antes, durante y después de la emergencia*

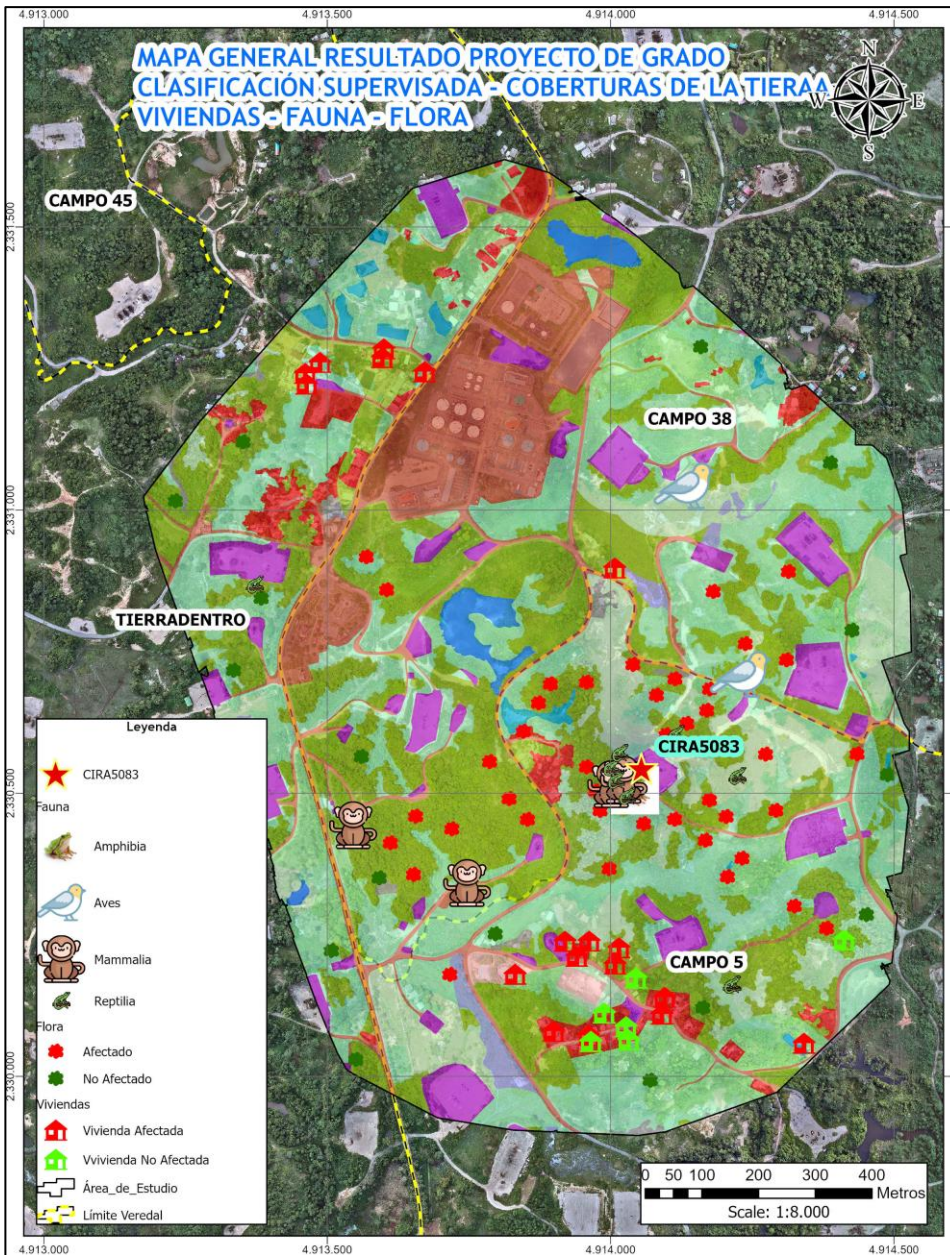


Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con base en los resultados obtenidos, se toma en cuenta la información espacializada de la emergencia y las diferentes coberturas obtenidas de la clasificación donde se logra interpretar una relación directa entre viviendas, especies de fauna y flora afectadas con las zonas de explotación de hidrocarburo como se ilustra en Figura 26, específicamente lo que corresponde al perímetro del pozo CIRA5083, siendo un importante resultado dentro del análisis obtenido

Figura 26

Mapa Final de Resultado – Coberturas Metodología Corine Land Cover - GDB



Fuente: Elaboración propia, 2025.

## 8. CONCLUSIONES

- Los vuelos fotogramétricos han demostrado ser herramientas clave para el análisis y monitoreo de emergencias ambientales, como el afloramiento de petróleo en el pozo CIRA5083. Estos permiten obtener una visión detallada y precisa de las afectaciones en el territorio, facilitando la toma de decisiones. No obstante, su implementación requiere considerar factores como la accesibilidad, la seguridad y condiciones ambientales óptimas para garantizar resultados de calidad.
- Se identificó la importancia de contar con equipos tecnológicos adecuados para la adquisición y procesamiento de datos, ya que la información generada es altamente demandante en términos computacionales. Asimismo, se recomienda invertir en la formación interdisciplinaria de profesionales en el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que permitirá generar productos de mayor precisión y utilidad en la gestión del territorio.
- Los SIG han demostrado ser esenciales en la gestión y análisis de datos espaciales, permitiendo la integración de múltiples fuentes de información y optimizando los procesos de toma de decisiones. Este estudio evidenció la fragilidad de los ecosistemas ante la intervención humana y la necesidad de fortalecer los planes de mitigación y respuesta. Para ello, es fundamental que tanto empresas como entidades gubernamentales prioricen el uso de estas herramientas en la planificación territorial y en la gestión de riesgos ambientales.

- El uso del software ArcGIS Pro permitió consolidar y analizar los resultados obtenidos de manera eficiente, facilitando la combinación de datos y la generación de cálculos con alta precisión. Gracias a su capacidad para organizar información en capas y aplicar metodologías como Corine Land Cover, se logró georreferenciar los datos recolectados en campo y representarlos a través de tablas, gráficos y mapas temáticos. Estos productos cartográficos no solo permiten un mejor entendimiento de la situación actual, sino que también son esenciales para el seguimiento y evaluación de la evolución de la afectación causada por la emergencia. Además, la geodatabase generada puede seguir siendo actualizada y robustecida, contribuyendo a la mejora continua de la calidad y precisión de los análisis espaciales.
- Este estudio resalta la importancia de contar con herramientas tecnológicas avanzadas y metodologías estructuradas para la evaluación de impactos ambientales en la industria de hidrocarburos. La combinación de fotogrametría, SIG y análisis espacial facilita la detección temprana de afectaciones, la optimización de recursos y la planificación de estrategias de mitigación. De igual manera, se enfatiza la necesidad de una mayor articulación entre el sector privado y las instituciones gubernamentales para garantizar una gestión ambiental más efectiva y responsable.
- Para obtener los insumos necesarios para la implementación de tecnologías avanzadas, tales como aquellas utilizadas en el análisis de coberturas y en estudios multi temporales, es fundamental contar con recursos financieros

significativos. Estas tecnologías requieren una inversión inicial considerable en infraestructura, software especializado, formación técnica y equipos de alta calidad. Dado que muchos de estos sistemas están diseñados para trabajar con grandes volúmenes de datos y que requieren ser alimentados constantemente para mejorar la precisión de los resultados, la inversión presupuestal requerida para su implementación puede resultar una barrera significativa, especialmente para pequeñas empresas. Estas organizaciones, a menudo con recursos limitados, enfrentan dificultades para asignar los fondos necesarios, lo que se convierte en un obstáculo para acceder a estas tecnologías y, por lo tanto, para aprovechar sus beneficios en términos de eficiencia, precisión en el análisis y toma de decisiones informadas.

- Durante la ejecución del proyecto, se logró acceder a la mayoría de la información relevante relacionada con la emergencia. No obstante, la información referente a la inversión presupuestal realizada por la empresa HS&E S.A.S. en cuanto a los vuelos fotogramétricos y la recolección de datos de campo no fue accesible debido a restricciones de seguridad. Para estimar dicho costo, se realizaron algunas cotizaciones que permitieron obtener un valor aproximado. A partir de este análisis, se concluyó que el acceso a esta tecnología está restringido a un público limitado debido a los elevados costos involucrados.
- La aplicación de vuelos fotogramétricos para el análisis de coberturas es sumamente útil y proporciona alta precisión, especialmente en la generación de modelos de terreno basados en estos vuelos. Sin embargo, para aquellos casos en los que se desee crear estos modelos, es crucial que la cobertura vegetal sea

mínima o nula, ya que esto permite obtener datos de mayor precisión. En situaciones donde la cobertura vegetal sea significativa, será necesario complementar esta tecnología con otras herramientas, como los equipos GNSS, para garantizar la exactitud de la información obtenida.

---

## 9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda mejorar los equipos tecnológicos utilizados en la adquisición y procesamiento de información geoespacial, asegurando que cuenten con la capacidad suficiente para manejar grandes volúmenes de datos. Asimismo, es fundamental invertir en la capacitación interdisciplinaria en Sistemas de Información Geográfica (SIG), promoviendo su uso en el análisis y la toma de decisiones ambientales.
- Es necesario generar ortomosaicos con estándares de calidad homogéneos, asegurando que tengan parámetros de resolución espacial, espectral y sistemas de coordenadas compatibles. Además, se recomienda realizar vuelos fotogramétricos periódicos para evaluar la evolución de las afectaciones y validar la efectividad de las medidas correctivas implementadas.
- Se sugiere establecer programas de monitoreo periódico a los pozos del campo petrolero de la vereda Campo 5 que permitan evaluar los impactos ambientales en el tiempo y ajustar las estrategias de mitigación cuando sea necesario. Para garantizar un enfoque integral, es importante incluir datos comunitarios en estos análisis y fortalecer la colaboración con entidades estatales para mejorar la gestión de riesgos y la planificación del territorio.
- Se recomienda conformar equipos de trabajo con profesionales de diferentes áreas, como geoinformática, gestión ambiental, hidrología y gestión del riesgo, para garantizar un análisis más completo y reducir errores en la recolección e interpretación de datos. La combinación de conocimientos especializados facilitará la toma de decisiones más precisas y eficientes.

- 
- La geodatabase generada en este estudio debe mantenerse actualizada con nuevos datos recolectados en campo para mejorar la calidad y precisión de los análisis espaciales. Se recomienda estructurarla de manera que pueda integrarse con bases de datos gubernamentales y privadas, permitiendo un acceso más amplio a la información para la toma de decisiones estratégicas.
  - Se recomienda seguir utilizando software como ArcGIS Pro para consolidar y analizar información de manera eficiente. Su capacidad para combinar datos en capas, realizar cálculos y generar mapas temáticos lo convierte en una herramienta clave para el seguimiento de impactos ambientales y la planificación de estrategias de mitigación. Además, es importante explorar otras herramientas SIG complementarias que puedan mejorar el procesamiento y la visualización de datos.
  - Se enfatiza la importancia de incluir a la comunidad en los procesos de gestión ambiental, promoviendo la participación ciudadana en la planificación y ejecución de estrategias de mitigación. La percepción y el conocimiento local pueden proporcionar información clave sobre las afectaciones ambientales y ayudar a diseñar soluciones más efectivas y aceptadas socialmente.
  - Se recomienda fortalecer la colaboración entre el sector privado y las instituciones gubernamentales para mejorar la regulación y supervisión de las actividades minero-energéticas. Esto permitirá desarrollar políticas públicas más efectivas, garantizar una mejor gestión de emergencias ambientales y optimizar los recursos destinados a la mitigación y restauración de los ecosistemas afectados.
  - Se sugiere explorar el uso de modelos predictivos basados en inteligencia artificial y análisis geoespacial para anticipar posibles afectaciones ambientales. Estos modelos pueden ayudar a identificar patrones de riesgo y permitir la planificación de acciones preventivas antes de que se generen impactos severos en el entorno al pozo CIRA 5083.
  - Es importante diseñar e implementar planes de restauración ambiental que contemplen acciones concretas para recuperar las áreas afectadas por la emergencia. Estos planes deben basarse en datos científicos, incluir estrategias de

reforestación y recuperación de cuerpos de agua, y contar con el respaldo de estudios de impacto ambiental actualizados.

---

## 10. REFERENCIAS

- Alcala Canto, Y., Juan Antonio, F. C., Froylán Ibarra, V., Vera Montenegro, Y., María Eugenia, C. V., Abdelfattah, Z. S., & Jorge Alfredo, C. (7 de mayo de 2018). *Desarrollo del primer mapa georreferenciado de Rhipicephalus (Boophilus) spp. en México de 1970 a la fecha y predicción de su distribución espacial*. Obtenido de Salud Geospacial: <https://www.geospatialhealth.net/gh/article/view/624/665>
- Alzate Giraldo, G. A., & Sánchez Gómez, D. P. (2018). *Universidad Católica de Manizales*. Obtenido de Repositorio Institucional-Universidad Católica de Manizales: <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/2134>
- Calvo Rey, M. M. (2022). LA INFORMACIÓN ESPACIAL APLICADA EN LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES NATURALES Y ANTRÓPICOS. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 63-77.
- Cavazos-Arroyo, J., Pérez-Armendáriz, B., & Mauricio-Gutiérrez, A. (2014). *Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México*. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 11 (4), 539: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-01292022000100053&script=sci\\_arttext](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-01292022000100053&script=sci_arttext)
- ccs.org.co. (2023, 18 octubre). Estrategias de responsabilidad social y Sostenibilidad ambiental en el sector de hidrocarburos en América Latina - ccs.org.co.

---

<https://ccs.org.co/portfolio/estrategias-de-responsabilidad-social-y-sostenibilidad-ambiental-en-hidrocarburos/>

Cressie, N., & Moores, M. T. (2023). Spatial statistics. In Encyclopedia of mathematical geosciences (pp. 1362-1373). Cham: Springer International Publishing.

[https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-030-85040-1\\_31](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-030-85040-1_31)

Csillag, F. (2023). Quadrees: hierarchical multiresolution data structures for analysis of digital images. In Scale in remote sensing and GIS (pp. 247-271). Routledge.

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203740170-13/quadrees-hierarchical-multiresolution-data-structures-analysis-digital-images-ferenc-csillag>

Cuervo Martinez, K. X. (octubre de 2020). *Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas*.

Obtenido de Repositorio Universidad Distrital:

<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/f3f962f6-1a09-4c5d-b648-ce5daa7d793a/content>

de los Ángeles, D. J. R., Tamayo, G., de Malpartida, L. E. L. A., Ibárcena, V. R. I., Castro, G. P. C., Alanoca, L. J. M., ... & Braun, A. (2024). Development of green infrastructure during the COVID-19 pandemic using spatial analysis methods. *Environmental and Sustainability Indicators*, 100422.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665972724000904>

Ecopetrol. (3 de enero de 2025). Gestión de riesgos de Ecopetrol.

<https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/QuienesSomos/GestionDeRiesgos>

- 
- Gabri. (2021, 23 febrero). ¿Cuál es la diferencia entre ortofotos, ortofotomapas, ortomosaicos y verdaderas ortofotos? El Blog de Franz. <https://acolita.com/cual-es-la-diferencia-entre-ortofotos-ortofotomapas-ortomosaicos-y-verdaderas-ortofotos/>
- García, P. (2021, 11 agosto). ¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica? Geoinnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/>
- Goodchild, M. (2018). Reimagining the history of GIS. *Annals of GIS*.  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475683.2018.1424737#d1e115>
- Gutiérrez, R. M., Humareda, M. D. C. A., Terry, A. I. L., Gonzales, M. G., Cáceres, W. M. A., Jiménez, J. P. A. I., ... & Carrasco, K. R. J. M. (2023). Detección del derrame de petróleo mediante teledetección y fotogrametría en zonas costeras de Lima y Callao: Detection of the oil spill through remote sensing and photogrammetry in coastal areas of Lima and Callao. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 6(3), 2273-2284.  
<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/61614>
- Hernández Moreno, M. M., Téllez Valdés, O., Martínez Meyer, E., Islas Saldaña, L. A., Salazar Rojas, V. M., & Macías Cuéllar, H. (2021). Distribución de la cobertura vegetal y del uso del terreno del municipio de Zapotitlán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Vol 92.
- Hernández Molina, D. D., & Gulfo Galarga, J. M. (28 de septiembre de 2018). *Universidad Pontificia Bolivariana*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Pontificia Bolivariana:

---

<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/9032/PROCESAMIENTO%20DE%20IMÁGENES%20MULTIESPECTRALES%20ADQUIRIDAS%20CON%20DRONES%20PARA%20LA%20CARACTERIZACIÓN%20DE%20SISTEMAS%20AGROAMBIENTALES.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Ids. (2023, 15 diciembre). Diferencias entre Modelos Digitales de Terreno. IDS Topografía.

<https://www.idstopografia.com/diferencias-entre-los-modelos-digitales-de-terreno/>

Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). *Centro Nacional de Informacion Geográfica*. Obtenido de

Teledetección: <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>

Kumar, M., Singh, R. B., Singh, A., Pravesh, R., Majid, S. I., & Tiwari, A. (2023). *Geographic Information Systems in Urban Planning and Management*. Springer.

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-19-7855-5>

Luna Marin, V. (2023). *Univerisdad de Antioquia*. Obtenido de Repositorio Institucional

Universidad de Antioquia: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/20219>

Mayorga, H. S., & Reyes Bueno, F. (2022). Análisis de Derrames de Petróleo en el Campo

Ancón Mediante Sistemas de Información Geográfica. *REVISTA POLITÉCNICA*, 53-60.

Mesas Carrascosa, F., & García Ferrer, A. (2016). Imágenes multiespectrales de seis bandas en

ortomosaico precisas de UAV afectadas por la planificación de misiones para la

agricultura de precisión. *Taylor & Francis Online*, 2161-2176.

Mokhtarzade, M.; Zoj, V. (2007). "Road Detection from High-resolution Satellite Images Using

Artificial Neural Networks." *International Journal of Applied Earth Observation and*

---

Geoinformation 9: 32–40.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475683.2013.868826>.

Ninisterio de Minas y Energia. (2 de septiembre de 2009). Resolución No 181445. Bogotá D.C., Bogotá D.C., Colombia.

Ortiz Valbuena, M. (28 de octubre de 2016). *Fundacion Universidad de América*. Obtenido de Lumieres - Repositorio institucional Universidad de América:

<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/633>

Picón Cabrera, I., Garcia Gago, J. M., Sanchez Aparicio, L. J., Rodriguez, G. P., & Gonzalez Aguilar, D. (14 de abril de 2020). *Sobre el uso de vuelos históricos para el análisis del crecimiento urbano de las ciudades a través del tiempo: el caso de Ávila (España)*.

Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/11/4673>

Presidencia de la República de Colombia. (17 de febrero de 1999). Decreto No. 321. Bogotá D.C., Colombia.

Presidencia de la República de Colombia. (27 de diciembre de 2021). Decreto No 1868. Bogotá D.C., Colombia.

República de Colombia - Gobierno Nacional. (4 de junio de 2004). LEY 885 DE 2004. Bogotá D.C., Colombia.

Revollo, N. V., Frery, A. C., & Delrieux, C. A. (2019). Detección de derrames de hidrocarburo basada en kernel radial automático. Proceedings of the XVIII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, 18-

---

20. [https://www.researchgate.net/profile/Natalia-Revollo-Sarmiento-2/publication/336288525\\_Generacion\\_de\\_Alertas\\_de\\_Deteccion\\_de\\_Embarcaciones\\_y\\_Derrames\\_de\\_Hidrocarburos/links/5d9a813f92851c2f70f212fa/Generacion-de-Alertas-de-Deteccion-de-Embarcaciones-y-Derrames-de-Hidrocarburos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Natalia-Revollo-Sarmiento-2/publication/336288525_Generacion_de_Alertas_de_Deteccion_de_Embarcaciones_y_Derrames_de_Hidrocarburos/links/5d9a813f92851c2f70f212fa/Generacion-de-Alertas-de-Deteccion-de-Embarcaciones-y-Derrames-de-Hidrocarburos.pdf)

Rosca, A., Juca, I., Timbota, O., Belin, V., Bertici, R., & Herbei, M. (2020). Methods for digitalizing information from analogic support and creating GIS databases. *Research Journal of Agricultural Science*, 52(4), 104-112.

Ruggeri, S., Henao-Céspedes, V., Garcés-Gómez, Y. A., & Uzcátegui, A. P. (2021). Optimized unsupervised Corine Land Cover mapping using linear spectral mixture analysis and object-based image analysis. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 1061-1069.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982321000867>

Torrado, J. o. E., Jiménez, J. J. C., & Díaz, H. P. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV.

<https://www.redalyc.org/journal/2570/257049511010/html/>

Umiles Group. (19 de octubre de 2022). *RPAS, UAS y UAV: ¿Qué son y en qué se diferencian?*

Obtenido de Umiles: <https://umilesgroup.com/rpas-uas-uav-diferencias/>

Universidad Internacional de Valencia. (11 de abril de 2018). *RPAS, UAV y drones: ¿Cuáles son las diferencias?* Obtenido de Ciencia y Tecnología Universidad Internacional de Valencia:

<https://www.universidadviu.com/co/actualidad/nuestros-expertos/rpas-uav-y-drones-cuales-son-las-diferencias>

---

Uribe Cruz, M. & Universidad Autónoma Metropolitana. (2013). Trabajo, riesgo y percepciones en el trabajo petrolero. *El Cotidiano*, 182, 0186-1840.

<https://www.redalyc.org/pdf/325/32529942009.pdf>

Vargas-Briceño, A., & Campos-Durán, D. (2022). Fauna incidents critical point identification and recommendations for its conservation, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(2), 211-225. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-38962022000200211&script=sci_arttext&tlng=en)

[38962022000200211&script=sci\\_arttext&tlng=en](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-38962022000200211&script=sci_arttext&tlng=en)

Villamil Sacristán, D. A., & Castro Ardila, J. S. (2020). Caracterización de los recortes de perforación de pozos petroleros para el análisis de su tratamiento y sus posibles aplicaciones [Tesis de Grado, Universidad Militar Nueva Granada].

<https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/20ef4bda-e7d7-440e-b8c4-a8c36c7a82a4/content>

Yan, Z., & Yifan, W. (2024, May). Application of GIS-aided INS/GNSS/GPRS navigation technology in logistics. In 2024 36th Chinese Control and Decision Conference (CCDC) (pp. 106-111). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10587837>

You, X., Ma, Y., & Liu, Z. (2020). A three-stage algorithm on community detection in social networks. *Knowledge-Based Systems*, 187, 104822.

Zúñiga, E. D. (2023, 8 septiembre). La evolución del petróleo y su panorama actual. IG.

<https://www.ig.com/es/estrategias-de-trading/la-evolucion-del-petroleo-y-su-panorama-actual-230904>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950705119302977>

**Anexo A: Correo con autorización para el uso de insumos de la zona afectada por el afloramiento de petróleo del pozo CIRA5083**

**Anexo B: Ortomosaicos del pozo CIRA5083**

**Anexo C: Geodatabase (GDB) consolidada con resultados del análisis de datos de la zona afectada por el afloramiento de petróleo del pozo CIRA5083**

**Anexo D: Video animado Proyecto de Investigación - Pozo CIRA5083**