

Localización potencial para una planta de tratamiento de residuos peligrosos a través del uso de herramientas SIG en el municipio de Dosquebradas, Risaralda.

María Andrea Villalba Yate y Marcia Milena López Nieto

Propuesta de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director (a):

Título (Ph.D., M.Sc., etc.) y nombre del director(a)

Codirector (a):

Título (Ph.D., M.Sc., etc.) y nombre del codirector(a)

Línea de Investigación: Análisis y Modelamiento Espacial

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2023

Resumen

Acorde a lo establecido dentro de la normatividad ambiental vigente en lo referente al manejo integral de los residuos sólidos y en especial los residuos peligrosos, el municipio de Dosquebradas prevé la necesidad de contar con la infraestructura necesaria para el tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos peligrosos buscando proteger la salud humana y del ambiente. Sin embargo, se encuentra dentro del Plan de Ordenamiento territorial POT 2021-2035 que el municipio de Dosquebradas no cuenta con procesos de gestión de residuos peligrosos RESPEL, ni a la fecha se ha destinado de algún lugar para construcción de bodegas de almacenamiento, aprovechamiento o celdas de seguridad.

No obstante, dentro del mismo POT, se deja abierto el interés de garantizar la buena gestión de los RESPEL de manera articulada con el “Plan Departamental de Residuos Peligrosos para el Departamento de Risaralda” dentro del programa 2 Infraestructura para el aprovechamiento y valorización de RESPEL, y el Proyecto N°2 Determinación de necesidades de infraestructura para el aprovechamiento y valorización; de tal manera, que se plantea la necesidad de contar en el mediano plazo con un estudio que facilite la identificación de la viabilidad técnica, económica y ambiental para la construcción de la planta de aprovechamiento y tratamiento de este tipo de residuos.

Palabras clave: Residuos Peligrosos, Plan de Ordenamiento Territorial, Análisis Espacial, Análisis Multicriterio.

Abstract

In accordance with what is established within the current environmental regulations regarding the integral management of solid waste and especially hazardous waste, the municipality of Dosquebradas anticipates the need to have the necessary infrastructure for the use and final disposal of waste. dangerous or biological seeking to protect human health and the environment. However, it is within the Land Management Plan POT 2021-2035 that the municipality of Dosquebradas does not have final disposal processes for RESPEL hazardous waste, nor to date has it been allocated somewhere for the construction of security cells, place for the storage of these residues or a plant for their incineration.

However, within the POT itself, the interest of guaranteeing the proper management of RESPELs is left open in an articulated manner with the "Departmental Plan for Hazardous Waste for the Department of Risaralda" within program 2 Infrastructure for the use and recovery of RESPEL , and Project No. 2 Determination of infrastructure needs for use and recovery; in such a way, that the need arises to have a study in the medium term that facilitates the identification of the technical, economic and environmental feasibility for the construction of the plant for the use and final disposal of this type of waste.

Keywords: Hazardous Waste, Land Management Plan, Spatial Analysis, Multicriteria Analysis.

Contenido

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN	7
2. JUSTIFICACIÓN	11
3. OBJETIVOS	13
3.1. Objetivo general	13
3.2. Objetivos específicos	13
4. ANTECEDENTES	14
5. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL	21
6. REFERENTE TEÓRICO	23
7. AREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO	29
8. PROCEDIMIENTO	30
9. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	33
9.1.1. Descripción de criterios-variables que se emplearon en el modelo propuesto	39
9.1.2. Criterios restrictivos	39
9.1.3. Criterios de carácter general	¡Error! Marcador no definido.
10. ANALISIS DE RESULTADOS	64
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
12. REFERENCIAS	71
13. ANEXOS	75

Lista de imágenes

Imagen 1: Plano 1 Centros poblados.....	40
Imagen 2. Plano 2. Zonas en condición de amenazas por FRM	43
Imagen 3 Plano 3. Hidrología	46
Imagen 4. Plano 4 Áreas de Conservación y Protección Ambiental FRM	50
Imagen 5 Plano 5 Geología	52
Imagen 6 Clasificación del suelo	53
Imagen 7. Residuos peligrosos generados por municipio 2019	55
Imagen 8 Volumen de residuos peligrosos generados en el municipio de Dosquebradas.....	55
Imagen 9. Clasificación de generadores respel, por sector económico.	56
Imagen 8. Tipo de suelos con sus respectivos pesos.....	61
Imagen 9. Flujo de trabajo	63
Imagen 10. Mapa Resultado Localización área para planta de tratamiento de residuos peligrosos en el municipio de Dosquebradas.....	63
Imagen 11. Mapa Área de localización de planta de tratamiento de residuos peligrosos.....	66
Imagen 12. Mapa Localización área planta de tratamiento RESPEL vs uso industrial del municipio de Dosquebradas	67
Imagen 13. Localización área para planta de tratamiento de residuos peligrosos vs POT del municipio de Dosquebradas	68

Lista de Tablas

Tabla 1: Normatividad.....	21
Tabla 2. Metodología del proyecto	32
Tabla 3. Criterios y/o restricciones ambientales	35
Tabla 4. Criterios indicados para la gestión de residuos peligrosos.	36
Tabla 5. Categorías de amenaza por fenómenos de remoción en masa (FRM).....	41
Tabla 6. Redes Hídricas Permanentes y Canalizadas del municipio de Dosquebradas	44
Tabla 7. Total humedales caracterizados en el municipio de Dosquebradas, Risaralda.....	47
Tabla 8. Clasificación del suelo POT de Dosquebradas.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 9. Clasificación geológica.....	50
Tabla 10. Clasificación según origen y características de producción.	56
Tabla 11. Generadores de RESPEL, municipio de Dosquebradas.	57

Lista de abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura Término

<i>ATR</i>	Área Tratamiento RESPEL
<i>CARDER</i>	Corporación Corporación Autónoma Regional de Risaralda
<i>MAVDT</i>	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible
<i>MinCiencia</i>	Ministerio de Ciencia
<i>POT</i>	Plan de Ordenamiento Territorial
<i>RESPEL</i>	Residuos Peligrosos y Especiales
<i>RSU</i>	Residuos Sólidos Urbanos
<i>SIG</i>	Sistemas de Información Geográfica

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN

El manejo de los residuos peligrosos a través del tiempo ha cobrado mayor importancia por ser un riesgo latente para la salud pública y los impactos en el ambiente, es por ello que desde los entes públicos nacionales como el ministerio de salud y las corporaciones autónomas regionales se ha venido regulando la disposición de estos generando requerimientos técnicos de la localización y funcionamiento de las plantas de tratamientos de dichos residuos para anular los impactos ambientales y en la salud relacionados a la mala disposición de estos.

En carácter ambiental las corporaciones autónomas regionales establecen determinantes ambientales para el ordenamiento del territorio; en el departamento de Risaralda la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER) en la resolución 1723 de 2017 actualiza y adopta dichos determinantes donde considera en el capítulo II en el determinante 5 la gestión integral de residuos sólidos donde define criterios desde el punto de vista ambiental para la adecuada localización, de las actividades asociadas al manejo, tratamiento y disposición final de residuos sólidos (CARDER,2017).

Acorde a lo establecido dentro de la normatividad ambiental vigente en lo referente al manejo integral de los residuos sólidos y en especial los residuos peligrosos, el municipio de Dosquebradas prevé la necesidad de contar con la infraestructura necesaria para el aprovechamiento, almacenamiento y disposición final de los residuos peligrosos buscando proteger la salud humana y del ambiente. Sin embargo, se encuentra dentro del Plan de Ordenamiento territorial POT 2021-2035 que el municipio de Dosquebradas no cuenta con procesos de disposición final de residuos peligrosos RESPEL, ni a la fecha se ha destinado de

algún lugar para construcción de celdas de seguridad, lugar para el almacenamiento de estos residuos o planta para la incineración de estos (Alcaldía de Dosquebradas, 2020).

Según lo expuesto se identifica un incumplimiento de los determinantes ambientales establecidos por la CARDER, relacionados con el tratamiento de residuos peligrosos donde su principal responsable es la alcaldía del municipio de Dosquebradas y los afectados son las instituciones generadoras de dichos desechos como entidades prestadoras de salud, clínicas veterinarias, centros de diagnóstico, industria, laboratorios clínicos, entre otros. Esto conlleva que se realice un mal manejo de los residuos peligrosos, sanciones ambientales, aumento de costos de disposición y mayores costos de producción, estos a su vez se traducen en contaminación ambiental, sobre costos, alteración en la salud humana y ecosistemas. Lo anterior resulta de la ineficiencia en la gestión de la entidad municipal, por voluntad política y/o por carencia de personal técnico, articulación institucional, baja prioridad en la distribución presupuestal por ende inexistencia de un estudio de factibilidad de la ubicación de una planta de tratamiento de residuos peligrosos.

No obstante, dentro del mismo POT, se deja abierto el interés de garantizar la buena gestión de los RESPEL de manera articulada con el “Plan Departamental de Residuos Peligrosos para el Departamento de Risaralda” dentro del programa 2 Infraestructura para el aprovechamiento y valorización de RESPEL, y el Proyecto N°2 Determinación de necesidades de infraestructura para el aprovechamiento y valorización; de tal manera, que se plantea la necesidad de contar en el mediano plazo con un estudio que facilite la identificación de la viabilidad técnica, económica y ambiental para la construcción de la planta de aprovechamiento y disposición final de este tipo de residuos.

Por su parte, el método general de análisis multicriterio aporta la diversidad de factores que se logran integrar en el proceso de evaluación; por tanto, según lo afirmado por Contreras & Pacheco (2007, citado por Grajales-Quintero, Serrano-Mo-ya, Hahn Von-H, 2013), esta permite transformar las mediciones y percepciones en una escala única para comparar los elementos y establecer órdenes de prioridad que permitan agregar los efectos de un proyecto en una métrica común.

1.1. Descripción del área problemática

El problema que se desea abordar es una necesidad de cumplimiento normativo que tiene el municipio de Dosquebradas, por ello y a luz del Decreto 4741 de 2005 dictamina en el artículo 25 que los municipios se encuentran obligados a “Identificar y localizar áreas potenciales para la ubicación de infraestructura para el manejo de residuos o desechos peligrosos en los Planes de Ordenamiento Territorial, Planes Básicos de Ordenamiento Territorial y Esquemas de Ordenamiento Territorial” dicha obligación ello debe ir en concordancia con lo que dictamina la autoridad ambiental del departamento de Risaralda en la resolución CARDER 1723 DE 2017 en el artículo primero “determinante 5” establece los criterios desde el punto de vista ambiental para la adecuada localización, de las actividades asociadas al manejo tratamiento y disposición final de residuos sólidos, dentro del territorio municipal. La importancia del presente estudio es ser fuente y dar solución a este problema para que el municipio de Dosquebradas no incurra en sanciones legales, por tanto para la localización de dicha planta la disposición final de residuos o desechos peligrosos - RESPEL, deben tenerse en cuenta la previsión de usos del suelo

adyacentes actuales y proyectados por el plan de ordenamiento territorial (POT)

(CARDER.2017), por medio del análisis espacial y teniendo en cuentas las variables descritas se buscará determinar el lugar óptimo de la planta de disposición final de RESPEL.

1.2. Formulación del problema

Con todo lo anteriormente expuesto, es claro que existe un problema en el municipio de Dosquebradas frente a la disposición final de los residuos peligrosos resultado de la ineficiente gestión de la entidad municipal. Sin embargo, se reconoce la necesidad de contar con un sitio adecuado para la infraestructura y el aprovechamiento y disposición final de los Respel.

Como aspirantes al título de especialistas en sistemas de información geográfica, surge entonces la siguiente pregunta, ¿es posible que a través de un análisis espacial se pueda identificar la localización de una planta de tratamiento de residuos biológicos para que el municipio de Dosquebradas cumpla con los determinantes ambientales establecidos por la máxima autoridad ambiental del departamento de Risaralda-Carder?

Con el presente proyecto, se propone dar respuesta a la pregunta problemática, que busca poder determinar cuál es el sitio óptimo en el municipio para la instalación de una planta de aprovechamiento y disposición de Respel. Debido a la necesidad se propone hacer un análisis multicriterio teniendo en cuenta herramientas SIG que ayude a la toma de decisiones, en lo que refiere a la ubicación para la disposición final de los residuos mencionados en el municipio de Dosquebradas.

2. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de determinar la localización de una planta de tratamiento y disposición final de residuos biológicos en el municipio de Dosquebradas radica en dar solución al incumplimiento que por ley exige la Corporación Autónoma de Risaralda de gestionar adecuadamente este tipo de residuos en el territorio y su contemplación en el plan de ordenamiento territorial del municipio; esto radica en que este tipo de residuos son considerados como un riesgo sobre el medio ambiente y la salud, ya que son generados a partir de actividades agrícolas, industriales, de servicios y domésticas, constituyéndose en un tema de gran importancia para el municipio debido a que su volumen ha ido creciendo como consecuencia del crecimiento demográfico y por ende su desarrollo económico. Más allá de las responsabilidades específicas que la normatividad ambiental le exige a los diferentes actores, los municipios tienen un rol importante en la gestión de los residuos peligrosos por estar integrados al territorio donde se generan, almacenan, transportan y eventualmente se reciclan, tratan y disponen dichos residuos. (Martinez, 2005). Sin embargo, existen municipios con capacidad técnica y financiera que no han podido determinar sitios de disposición final debido a las objeciones cada vez más exigentes por parte de las autoridades ambientales para la localización de estos sitios (Díaz, 2015) Suplir esta necesidad permite al municipio cumplir con las exigencias legales, gestionar adecuadamente el territorio, disminuir presiones presupuestales y de costos de producción a las entidades y sectores productivos relacionados con la generación de residuos biológicos. Sin embargo, identificar un sitio apropiado para establecer una planta de tratamiento y disposición final de residuos peligrosos es considerado un gran problema debido a la expansión de los núcleos urbanos y es crucial poder identificar de manera sistemática sitios potenciales como solución a la

problemática establecida, y que satisfaga las necesidades presentes y futuras. Es así que el beneficiario directo es el municipio de Dosquebradas ya que cumpliría los requerimientos legales, pero aunado a este se encuentran los ciudadanos que tendrían un ambiente sano y no estarían expuestos a riesgos en la salud por la mala disposición de los residuos biológicos, y todas aquellas instituciones generadoras de dicho residuos ya que impactaría positivamente en la disminución de sus costos de disposición final y podrían aumentar su nivel de la gestión, ya que se liberaría presupuesto para esto u otras necesidades institucionales. Para ello se propone la recopilación de base de datos cartográficos según los requerimientos que la corporación obliga para tener en cuenta en la localización de dicha planta, posteriormente se aplicará herramientas como los sistemas de información geográfico para superponer capas o coberturas y a través de análisis espaciales determinar la factibilidad de ubicación. Al realizar esta investigación da una solución directa al municipio en cuestión, adicionalmente al presentar un análisis multicriterio, con diferentes variables que a la fecha no cuenta el territorio, permite ser un instrumento para la toma de decisiones basada en argumentos técnicos. En un municipio con un acelerado desarrollo, el desafío más grande que se tiene frente al compromiso ambiental es resolver los graves problemas que conllevan la generación y el manejo inadecuado de los residuos sólidos y peligrosos, de tal manera que se atienda la necesidad de un desarrollo sostenible, incluyente y equitativo, que se promueva la creación de empleos, mejorar la competitividad de los diferentes sectores de desarrollo y de esta manera se mejore el desempeño ambiental de todos los actores y sectores sociales que generan y manejan residuos peligrosos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Identificar la localización de una planta de tratamiento de residuos peligrosos en el municipio de Dosquebradas a través del análisis espacial mediante sistemas de información geográfica para el cumplimiento de determinantes ambientales.

3.2. Objetivos específicos

3.2.1. Identificar requerimientos establecidos por la normatividad ambiental legal vigente.

3.2.2. Realizar análisis multicriterio a través de la aplicación de un flujo de trabajo (ModelBuilder) según lo establecido en la normatividad ambiental legal vigente.

3.2.3. Determinar la localización de una planta de tratamiento de residuos peligrosos en el municipio de Dosquebradas a través de un análisis espacial.

4. ANTECEDENTES

Para obtener el grado de magíster en ciencias en uso, manejo, y preservación de los recursos naturales Rodríguez Villeneuve (2013), realizó una “Determinación y evaluación de sitios para la disposición final de residuos sólidos municipales en la reserva de la biósfera El Vizcaino, B. C. S.” dicha investigación tuvo como objetivo general desarrollar los estudios técnicos básicos de análisis de información que permitan ubicar áreas que posean las características óptimas desde el punto de vista ambiental socioeconómico para la disposición final de los residuos sólidos generado en la reserva de la biosfera El Vizcaino, para alcanzar el objetivo propuesto e l autor propone generar una base de datos con los rasgos físicos, biológicos y socioeconómicos de las inmediaciones de los principales centros de población de la reserva, establecer la ubicación de las áreas mas probables para la disposición final de residuos sólidos utilizando criterios y factores ambientales y socioeconómicos articulados dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG), por último evaluar las opciones preseleccionadas para cada centro de población principal dentro de la Reserva; aplicando técnicas de impacto ambiental y de análisis multicriterio para seleccionar las opciones que garanticen mayor eficiencia y se minimicen los efectos negativos a la población y el medio ambiente.

La metodología para encontrar sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos inicia con la digitalización de la base de datos, posteriormente análisis espacial (mapa digital de elevación, pendientes y creación de buffer), análisis de variables (litología, geohidrología y tipos de suelos y fases físicas por último cálculo de mapas (zonas de exclusión y sitios potenciales), aunado a lo anterior aplica una evaluación de áreas potenciales mediante el análisis multicriterio. De igual forma, para obtener el magíster en ingeniería ambiental Herrera Becerra (2014), elaboró una investigación para la “Identificación de áreas potenciales para el

manejo de residuos o desechos peligrosos en el departamento de Cundinamarca” con el fin de dar cumplimiento a la obligación establecida en el Decreto 4741 de 2005, sobre identificar áreas potenciales para la localización de infraestructura para el adecuado almacenamiento, tratamiento y disposición final de estos residuos, combinando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y metodologías de evaluación multicriterio para la localización de infraestructura para el manejo de residuos peligrosos, que permiten la comparación de áreas con mayor soporte técnico.

El desarrollo de dicha metodología suplió los siguientes pasos: identificación de criterios y subcriterios de evaluación para estructurarlos en el método de jerarquización multicriterio, asignación de clasificación para los subcriterios (AHP), adición de pesos a los criterios y valores de atributos para obtener puntajes de aptitud de las zonas y ranking de áreas de acuerdo a sus puntajes (aptitud) y concluyó en la identificación de un área potencialmente apta para localización de relleno o celda de seguridad en el municipio de Ubaté y 3 áreas adicionales para localización de otro tipo de infraestructura en los municipios de Sibaté, Soacha y Villapinzón. Dicha investigación es un soporte esencial para el trabajo de grado que se propone en el presente documento. Así mismo, para obtener el título de ingenieros industriales Galeano Martínez y Hustado Sarria (2017), propusieron “Un modelo de localización para una planta de tratamiento de residuos peligrosos en el valle del cauca”, ya que identifican la necesidad de definir los factores mas relevantes que intervienen en la localización de instalaciones no deseables, y apuntan a contribuir a la minimización de impactos ambientales enmarcados dentro del concepto de sostenibilidad, para ello realizaron un diagnóstico del sistema actual de tratamiento de residuos sólidos peligrosos en el departamento del Valle del Cauca, identifican los factores claves que inciden en la localización de instalaciones no deseadas, formulan un modelo de

localización que integre los factores críticos analizados y validan el modelo propuesto a partir de un análisis de sensibilidad. Como metodología proponen consultar las de empresas con licencia ambiental o plan de manejo ambiental de residuos peligrosos, construir un análisis DOFA, solicitar información al instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en relación a la cantidad de residuos peligrosos generados en el departamento del Valle del Cauca, consultar por medio de bases de datos de la Universidad y demás fuentes fidedignas, los factores claves considerados por diversos autores para la localización de éste tipo de instalaciones y por último formular un modelo de localización que integre el concepto de sostenibilidad, los autores se definen un modelo matemático con enfoque multiobjetivo. Velasco Herrera et al (2013) realizan la investigación llamada “Los SIG aplicados a la localización de zonas potenciales para la disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU)” publicado en la revista Lacandonia los resultados del uso de técnicas geomáticas para identificar sitios óptimos potenciales de disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU).

El estudio se realizó en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. Se modeló información vectorial y ráster mediante sistemas de información geográfica (SIG). Los criterios establecidos se basaron en la Norma Oficial Mexicana NOM083SEMARNAT2003, utilizando como herramienta el software arc View GiS 3.2 realizaron una reclasificación de información vectorial consistente en capas de zonas urbanas y rurales, áreas naturales protegidas, infraestructura vial, pendiente del terreno, cuerpos de agua, fallas geológicas, permeabilidad del suelo y zonas arqueológicas. Se asignaron valores de: 0= no Óptimo y 1= Óptimo. El artículo concluye que la aplicación de las técnicas geomáticas y los SIG, permiten determinar de manera económica y rápida la ubicación de sitios óptimos para la disposición final de RSU, información

imprescindible para la toma de decisiones. Igualmente, dentro de la investigación elaborada por J. Bosque Sendra et al (2006) generan “Un nuevo modelo para localizar instalaciones no deseables: ventajas derivadas de la integración de modelos de localización asignación y SIG”, su modelo propone una solución para todos los procesos que inmersos en la disposición final de residuos peligrosos, exponen que la localización de instalaciones no deseables es una tarea compleja en la que es necesario tener en cuenta varios objetivos. El más habitual es el de la eficiencia espacial, medido usualmente por la distancia existente entre estas instalaciones y la población y mediante el cual se pretende alejar lo máximo posible estas instalaciones de las zonas habitadas. Sin embargo, la consideración exclusiva de esta idea puede generar resultados muy poco convenientes desde otros puntos de vista, por ejemplo, el de los potenciales usuarios de estas instalaciones, es decir, los productores que tienen que transportar hasta ellas los residuos. En esta comunicación se presenta un nuevo modelo de localización asignado que incluye dos criterios para medir la eficiencia espacial de las localizaciones seleccionadas. De acuerdo a (Dolui & Sarkar, 2021) en su artículo Identifying potential landfill sites using multi criteria evaluation modeling and GIS techniques for Kharagpur city of West Bengal India, afirman que Los métodos de toma de decisiones (MCDM) integrados con los sistemas de información geográfica (SIG) pueden ser una herramienta para la selección científica de vertederos alternativos. Además, ponen como ejemplo a la ciudad de Kharagpur, una de las principales ciudades industriales y de transporte de Bengala Occidental (India), puesto que ha enfrentado muchos desafíos en cuanto a la gestión de residuos debido a su creciente población urbana. En este estudio se adoptó la metodología de análisis multicriterio, con el fin de lograr identificar vertederos alternativos que fueran económicamente rentables, ecológicamente

adecuados y aceptables. Este estudio sirve como base de referencia para la aplicación de la metodología sugerida, al igual que el municipio de Dosquebradas, La eliminación de residuos tanto sólidos como peligrosos es uno de los problemas ambientales y socioeconómicos administradores de las ciudades con el aumento de la población importantes que enfrentan los a urbana. Simsek & Alp, (2022) publican en su artículo de investigación *Evaluation of Landfill Site Selection by Combining Fuzzy Tools in GISBased MultiCriteria Decision Analysis: A Case Study in Diyarbakır, Turkey*, al igual que lo que se propone en la presente propuesta, ellos tienen como objetivo evaluar e identificar áreas potenciales adecuadas para la eliminación de residuos sólidos municipales. Para ello, se constituyó una comisión de determinación y evaluación de criterios integrada por expertos de diversas instituciones y disciplinas. Establecieron catorce criterios, que incluyen sensibilidades ambientales, económicas y socioculturales que fueron seleccionados a través de la experiencia de un equipo de expertos y una amplia búsqueda bibliográfica; tal y como se plantea en la fase 1 de la metodología que se sugiere para el caso de estudio del municipio de Dosquebradas. De manera similar, Issa & Shehhi, (2012) lograron determinar mediante la integración de sistemas de información geográfica (GIS) y análisis de evaluación de criterios múltiples (MCE) los sitios adecuados para la disposición final de residuos. En su investigación, ellos incluyeron ocho mapas temáticos útiles, como la proximidad a las áreas urbanas, la proximidad a los pozos y la profundidad del nivel freático, la geología y la topografía, la proximidad a los sitios turísticos y arqueológicos, la distancia a la red de carreteras, la distancia a las redes de drenaje y la pendiente del terreno. A partir de lo anterior, se generó un mapa final que identifica las áreas potenciales que mostraban la idoneidad para la ubicación del vertedero. Los resultados revelaron que el 30 % del área de estudio se identificó como muy

adecuada, el 25 % como adecuada y el 45 % como no adecuada. Su investigación, aunque fue muy importante, se debe considerar que podría presentar vacíos que no aportaron a la selección de un sitio final. Teniendo en cuenta los resultados arrojados y planteados en el artículo A GIS selection of landf based multicriteria evaluation system for ill sites: A case study from Abu Dhabi, United Arab Emirates, se puede afirmar que la evaluación de un nuevo sitio de eliminación de desechos es un proceso complicado que requiere la evaluación de muchos criterios diferentes y una experiencia considerable en diversos campos sociales y ambientales que deberán tenerse en cuenta al momento de ejecutar la presente propuesta. Si bien durante varias décadas se ha identificado la dificultad para seleccionar un lugar apropiado para la disposición final de desechos sólidos, en Colombia los investigadores Mejía, Castañeda, & Varela, 2012 exponen de manera similar una metodología para la localización de rellenos sanitarios mediante la combinación de sistemas de información geográfica (SIG), con el proceso analítico jerárquico (PAJ) y el método de ponderación aditiva simple (MPAS). La metodología desarrollada fue aplicada a un caso regional colombiano: Tame, Arauca. Se desarrolló un escenario de comparación entre la legislación colombiana y la metodología propuesta. Los resultados muestran que existen diferencias significativas en la estimación de la disponibilidad de área. Con respecto al 95% de la ponderación máxima (1.000 puntos), la metodología propuesta fue un 81% más restrictiva que la legislación colombiana. El problema no solo se ha centrado en la búsqueda de lugares adecuados, sino que también se ha centrado en el aumento de los botaderos de residuos sólidos a cielo abierto, lo que se ha traducido en un aumento de los casos de afectación de los recursos hídricos y los sistemas ecológicos y socioeconómicos. Nuestras regiones han exigido así su cierre durante los últimos años. Dich a acción ha sido

implementada en Colombia a través de la resolución 1390 de 2005 del Ministerio del Ambiente (MAVDT, 2005)

Localización potencial para una planta de tratamiento de residuos peligrosos a través del uso de herramientas SIG en el municipio de Dosquebradas, Risaralda.

5. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL

En este apartado se presenta el marco legal y normativo que reglamenta los residuos peligrosos y plan de ordenamiento territorial, especialmente los que dictamina los lineamientos técnicos para la localización de una planta de residuos peligrosos:

Tabla 1: Normatividad

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decreto 4741 de 2005	Tiene como objetivo prevenir la generación de residuos peligrosos y regular su manejo con el fin de proteger la salud humana y el ambiente. Determina que los municipios deben identificar y localizar áreas potenciales para la ubicación de infraestructura para el manejo de residuos o desechos peligrosos en los Planes de Ordenamiento Territorial, Planes Básicos de Ordenamiento Territorial y Esquemas de Ordenamiento Territorial según sea el caso.
Resolución 1362 de 2007 del hoy Minambiente	Se creó el Registro de Generadores de RESPEL, administrado por el IDEAM, en la que se establecen los requisitos y procedimientos para que los generadores de RESPEL se inscriban al Registro ante la autoridad ambiental de su jurisdicción —si generan menos de 10 kilos de RESPEL al mes, no es obligatorio hacerlo— y reporten anualmente los RESPEL que generan, así como su gestión.
Ley 430 de 1998	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referentes a los desechos peligrosos.
Ley 1252 de 2008	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.

Resolución CARDER 1723 de 2017	Adopción y actualización de los determinantes ambientales para la elaboración de los planes de ordenamiento territorial municipal en jurisdicción del departamento de Risaralda.
Decreto 879 de 1998	Ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los planes de ordenamiento territorial.
Ley 1454 de 2011	Ordenamiento territorial
Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 1998.	Minimización de generación de residuos sólidos, aumento de aprovechamiento, tratamiento y disposición final.
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible
Acuerdo 8 de mayo 29 de 2021	Plan De Desarrollo 2020-2023 “Dosquebradas Empresa de Todos”

Fuente: Compilación normatividad colombiana. Función Pública.

Localización potencial para una planta de tratamiento de residuos peligrosos a través del uso de herramientas SIG en el municipio de Dosquebradas, Risaralda.

6. REFERENTE TEÓRICO

En 1989 (ONU-CEPAL, 2021), se descubrieron varios depósitos de desechos tóxicos en países en vía de desarrollo como África, Haití y Singapur, y sus consecuencias sobre la salud y el ambiente, se adoptó el convenio de Basilea sobre el control de los movimientos fronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, el cual entro en vigencia en mayo de 1992. Las disposiciones del Convenio giran en torno a la disminución de la generación de desechos peligrosos, la promoción de la gestión ambientalmente racional de estos, la restricción de los movimientos transfronterizos hacia países en desarrollo y la aplicación de un sistema de control para los movimientos permisibles de desechos peligrosos. Este acuerdo mundial ha sido ratificado por 187 países (Historia y desafíos: Convenio de Basilea, 2021).

Colombia, comprometida con el apoyo a las políticas dirigidas al adecuado manejo de RESPEL en el territorio, ratificó el Convenio de Basilea mediante la Ley 253 de 1996. Esto lo hizo uno de los 187 países miembros actuales. En coherencia con ello, también ratificó y adoptó el Convenio de Rotterdam mediante la Ley 1259 de 2007, el Convenio de Estocolmo mediante la Ley 1196 de 2008 y el Convenio de Minamata mediante la Ley 1892 de 2018 (Informe Nacional RESPEL, 2020). A partir de todas esas políticas y acuerdos, es cómo Colombia ha logrado avanzar en la legislación ambiental y en específico en los residuos peligrosos. A través de la ley 99 de 1993 se estableció formular la política nacional del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y es en el año 2005 en donde se expide la política ambiental para la Gestión Integral de los Residuos o Desechos Peligrosos, vigente hasta el 2018, y la norma marco de RESPEL mediante el Decreto 4741 de 2005.

Teniendo en cuenta la normatividad ambiental vigente relacionada, los residuos peligrosos se pueden clasificar de acuerdo con las características físicas, químicas y biológicas. Los residuos no peligrosos son aquellos producidos por el generador en cualquier lugar y en desarrollo de su actividad, que no presentan riesgo para la salud humana y/o el medio ambiente. Los residuos peligrosos, son aquellos residuos producidos por el generador con alguna de las siguientes características: infecciosas, combustibles, inflamables, explosivas, reactivas, radiactivas, volátiles, corrosivas y/o tóxicas, que pueden causar daño a la salud humana y/o al ambiente. Así mismo, se consideran peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos. Se clasifican en:

- **Residuos Infecciosos o de Riesgo Biológico:** Son aquellos que contienen microorganismos tales como bacterias, parásitos, virus, hongos, virus oncogénicos y recombinantes como sus toxinas, con el suficiente grado de virulencia y concentración que pueden producir una enfermedad infecciosa en huéspedes susceptibles. Cualquier residuo hospitalario y similar que haya estado en contacto con residuos infecciosos o genere dudas en su clasificación, por posible exposición con residuos infecciosos, debe ser tratado como tal.
- **Residuos Químicos:** Son los restos de sustancias químicas y sus empaques o cualquier otro residuo contaminado con éstos, los cuales, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición pueden causar la muerte, lesiones graves o efectos adversos a la salud y al medio ambiente. Se clasifican en: Fármacos parcialmente consumidos,

vencidos y/o deteriorados, Citotóxicos, Metales pesados, Reactivos, Contenedores Presurizados, Aceites usados.

- **Residuos Radiactivos:** Los residuos radiactivos, sean éstos de emisión en forma de partículas o en forma de fotones deben ser llevados a confinamientos de seguridad, de acuerdo con los lineamientos dados por el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química, INGEOMINAS o la autoridad que haga sus veces.
- **Peligrosidad de un Residuo:** Según la definición del Decreto 1076 de 2015 un residuo o desecho peligroso “Es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos”.

Teniendo en cuenta esa definición, así el sistema de clasificación de las Naciones Unidas y la NTC 1692, las características de los residuos peligrosos de acuerdo con su peligrosidad, es la siguiente:

Figura 1. Características que determinan la peligrosidad de un residuo



Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, PGIRP. 2018

Cabe resaltar que desde el siglo XVII se han estudiado los problemas de localización, grosso modo, estos problemas consisten en buscar la mejor ubicación posible para ubicar una instalación que afecta o afectará a determinados núcleos de población (Guerrero, 2007) y Dosquebradas, no es ajeno a esta necesidad.

Relacionado con la presente propuesta, sobre la ubicación óptima de un área para la disposición y manejo de residuos se han realizado en otros países con normativas diferentes y condiciones ambientales distintas al área de estudio como lo es Costa Rica donde consideraron variables como “la distancia a áreas protegidas, ríos, rutas de acceso y poblados, así como la topografía, geología, hidrogeología, tenencia de la tierra y regulaciones territoriales” (Elena Badilla, 2007). Ejercicios que pueden ayudar a encaminar la realización de este proyecto, también cabe resaltar que para el municipio de Dosquebradas no se ha realizado el estudio para ubicar este tipo de áreas.

Teniendo en cuenta lo anterior, para la presente propuesta también es importante definir un sistema de información geográfica SIG, como el conjunto de herramientas, métodos y datos que

nos permiten organizar, modelar, evaluar y compartir la información espacial con el fin de realizar investigaciones, gestionar los recursos del territorio, realizar evaluaciones de impacto, generar cartografía y planificar el territorio. Giovanna Camarco cita lo siguiente “La función principal de este software es contar con cartografía con bases de datos asociadas, con la misión principal de resolver problemas espaciales o territoriales (Camarco, 2008)”.

Diferentes autores han empleado los Sistemas de Información Geográfica y la Evaluación Multicriterio para realizar la identificación de áreas para el manejo de residuos, se encuentra que la clasificación de los residuos peligrosos en México es muy similar a la que define el Decreto 4741 de 2005 en Colombia, y dichas definiciones se encuentran establecidas bajo la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos –LGPGIR- (2003). Un ejemplo de ello, fue el estudio que se hizo en México para la localización de las instalaciones de tratamiento de residuos peligrosos y sitios de disposición final en el estado de Yucatán, México. 2010. donde se emplearon Sistemas de Información Geográfica - SIG y análisis multicriterio (MCDA) para identificar los sitios apropiados para la localización de instalaciones para el tratamiento y la disposición final de Respel. Otro estudio que se destaca fue Multi-criteria GIS-based sitting of an incineration plant for municipal solid waste, 2009. Este estudio fue enfocado en la selección de áreas potenciales para la localización de una planta incineradora, en la isla de Santiago perteneciente al archipiélago africano de Cabo Verde. Para el desarrollo del estudio, integraron los Sistemas de Información Geográfica, SIG y técnicas de MCDA, como una herramienta poderosa para facilitar y acelerar la selección de sitios.

Como experiencias nacionales se tiene que en Colombia, la literatura sobre estudios desarrollados para la localización de áreas para el manejo de infraestructura de Respel es

relativamente limitada. El estudio más reciente aplicado a Respel lo desarrolló el PIRS (2009) para Bogotá y el material de consulta más reciente sobre el tema fue desarrollado por la Universidad de los Andes en el año 2010: Fundamentos y criterios para ubicación, diseño, instalación y operación de infraestructura para la disposición de residuos o desechos peligrosos en rellenos de seguridad (2005a) y; Fundamentos y criterios de ubicación, diseño, instalación y operación de infraestructura para el tratamiento térmico de residuos o desechos peligrosos en plantas de incineración y coprocesamiento (2005b). Sin embargo, la literatura es mayor cuando se consideran estudios aplicados a localización de áreas para el manejo de residuos sólidos. Zafra, Mendoza, & Montoya (2012), presentan un desarrollo metodológico para la localización de rellenos sanitarios mediante la combinación de sistemas de información geográfica (SIG), con el proceso analítico jerárquico (AHP) y el método de ponderación aditiva simple (SAW). La metodología desarrollada fue aplicada para un estudio de caso particular en la ciudad de Tame, departamento de Arauca.

De acuerdo con la consulta bibliográfica, la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica – SIG, se ha dado ampliamente en modelos de decisión multicriterio en países desarrollados como en vía de desarrollo a nivel mundial, el empleo de criterios técnicos y ambientales son constantes en algunos estudios, y se han mejorado los procesos de toma de decisión incluyendo otras variables como los criterios económicos e incluso el análisis del impacto ambiental. En Colombia, la literatura sobre el tema es poca; por ello este trabajo aplica y ajusta las metodologías desarrolladas en diferentes estudios, para ser utilizada a nivel del municipio de Dosquebradas, con el fin de ser un aporte para las autoridades departamental y regional, considerando lo emitido en el Decreto 4741 de 2005, sobre la obligación de los

municipios de identificar dentro de sus Planes de Ordenamiento Territorial, Planes Básicos de Ordenamiento Territorial y Esquemas de Ordenamiento Territorial, según sea el caso, áreas potenciales para la ubicación de infraestructura para el manejo de Respel (MAVDT, 2005).

7. AREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO

El Municipio de Dosquebradas está localizado al sur oriente del Departamento de Risaralda, su cabecera municipal limita con la de la Ciudad de Pereira conformando una conurbación. El área del municipio es de 70.81 km² (7,081 Ha), de los cuales 13 km², aproximadamente, corresponden a la zona urbana. Dosquebradas limita por el norte y el oriente con el Municipio de Santa Rosa de Cabal, por el occidente con los municipios de Marsella y Pereira, al sur con el Municipio de Pereira.

Dosquebradas conforma el Área Metropolitana Centro Occidente con los municipios de Pereira y La Virginia, además pertenece a la Subregión 1 (ver Figura 1), con los municipios de Pereira, Santa Rosa de Cabal y Marsella; de acuerdo al proceso de Planificación Ambiental del Territorio realizado por la CARDER, ya que estos cuatro municipios presentan características biofísicas,

socioeconómicas y culturales similares, además de concentrarse allí la mayoría de la población y los procesos económicos y sociales más significativos del departamento.

Figura 2. Localización Municipio de Dosquebradas en Risaralda.



Fuente: POT

8. PROCEDIMIENTO

A continuación, se describe la metodología propuesta por fases:

8.1. Fase 1 Identificar requerimientos establecidos por la normatividad ambiental legal vigente:

Para iniciar con el proyecto, se hizo necesario iniciar con la búsqueda de información primaria y secundaria que sea útil para el propósito de la investigación. Fue importante considerar que la normatividad ambiental establece los procedimientos, criterios y restricciones para la localización de sitios de disposición final de residuos peligrosos y, por ende, fue necesario enfocar la búsqueda de la información soportada inicialmente en la asesoría de los profesionales encargados del tema que hacen parte de la CARDER y demás instituciones que lideran procesos de gestión de residuos en el municipio de Dosquebradas. En cuanto a la información secundaria,

se hizo uso de los motores de búsqueda facilitados por la Universidad de Manizales y sitios oficiales de las entidades territoriales. A partir de lo anterior, se identificaron los criterios que serán parte importante para definir y clasificar los lineamientos técnicos que permitan cumplir con el objetivo propuesto.

8.2. Fase 2: Realizar análisis multicriterio a través de la aplicación de un flujo de trabajo (ModelBuilder) según lo establecido en la normatividad ambiental legal vigente:

De acuerdo a la información recolectada se logra contar con bases cartográficas que contienen información de gran importancia como: hidrología, uso del suelo, cuencas, fallas, zonas de inundación etc. A partir de dicha información, se analizó la información y se procedió a realizar el geoprocésamiento y superposición de capas temáticas en software ArcGis y de esta manera se inició con la aplicación de un análisis multicriterio que facilitará la selección de la ubicación óptima que cumpliera con los criterios económicos, ambientales y sociales.

8.3. Fase 3: Determinar localización a través de un análisis espacial de una planta de tratamiento de residuos peligrosos en el municipio de Dosquebradas

Aplicando los criterios que se establecen en la normatividad ambiental se procedió a integrar los y adecuarlos en la cartografía obtenida, se recurrió al análisis multicriterio con el fin de incorporar otros elementos que surjan en la investigación. Con el análisis multicriterio se espera exponer una decisión basada en la comparación de escenarios o sitios seleccionados para la solución de la problemática de la disposición final de residuos peligrosos en el municipio de Dosquebradas Como producto final se obtiene un mapa con el área de ubicación del sitio de disposición final óptimo para el proyecto y que beneficie a los actores involucrados y la

comunidad en general. A continuación, se presenta la tabla 1 con el resumen de la metodología a utilizar en el proyecto.

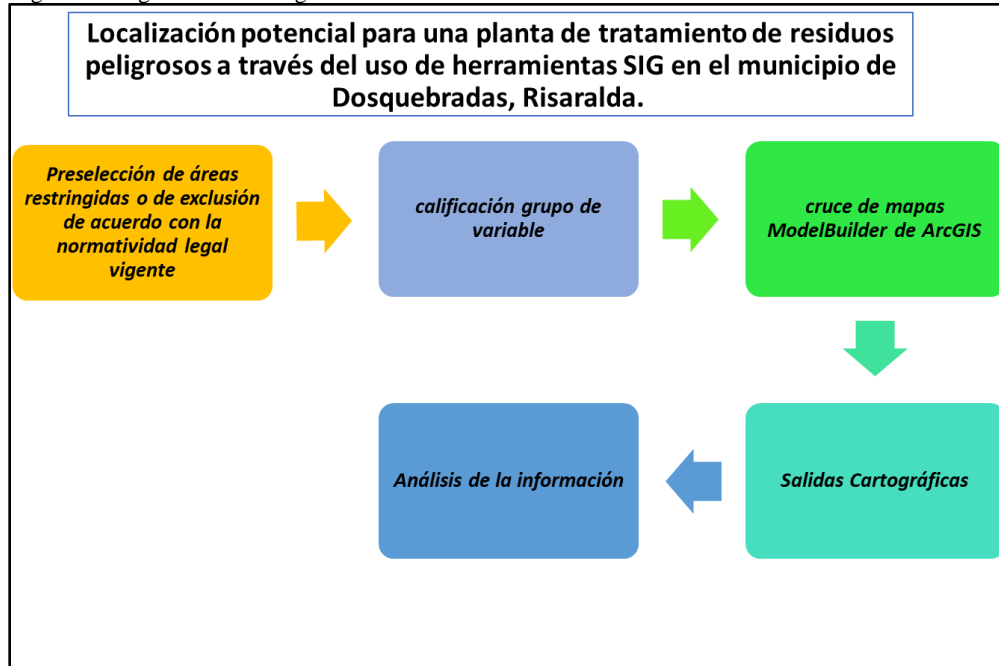
Tabla 2. Metodología del proyecto

FASES		ACTIVIDADES
Fase 1	Identificar requerimientos establecidos por la normatividad ambiental legal vigente.	1. Buscar asesoría con profesionales encargados de residuos especiales y peligrosos (RESPEL) de la CARDER. 2. Recolectar información bibliográfica a través de motores de búsqueda de la universidad de Manizales y de sitios oficiales de las entidades territoriales. 3. Extraer lineamientos técnicos, variables y/o requerimientos establecidos en la normatividad consultada. 4. Clasificar variables a tener en cuenta para el proyecto de investigación.
Fase 2	Analizar información cartográfica contrastada con los requerimientos establecidos por la normatividad ambiental legal vigente a través de la elaboración de un flujo de trabajo.	1. Solicitar acceso a bases cartográficas en formato shp, dwg, y/o GDB de las diferentes entidades que cuenten con la información de las variables requeridas. 2. Realizar geoprosesamientos y superposición de mapas con la información cartográfica recolectada a través del software Arcgis 3. Hacer un análisis a través de un modelo multicriterio por medio de la construcción de un flujo de trabajo en ModelBuilder.
Fase 3	Determinar localización de una planta de tratamiento de residuos biológicos en el municipio de Dosquebradas.	1. Determinar a partir del modelo multicriterio la localización de una planta de tratamiento de residuos biológicos en el municipio de estudio

Localización potencial para una planta de tratamiento de residuos peligrosos a través del uso de herramientas SIG en el municipio de Dosquebradas, Risaralda.

9. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Figura 3. Diagrama metodológico



Fuente: Propia

Para la identificación de áreas potenciales para la disposición final de residuos peligrosos en el Área que comprende al municipio de Dosquebradas, fue necesario ejecutar una serie de actividades que se exponen en el diagrama de la figura 3. De acuerdo con dicho diagrama, es necesario tener en cuenta las siguientes descripciones con respecto a las actividades que allí se plantean.

A partir de la literatura revisada y los antecedentes mencionados en el primer capítulo, se decidió emplear diferentes fuentes metodológicas que facilitara la formulación e implementación del Modelo objeto de la presente propuesta. Se tomó como referencia principal el modelo desarrollado por el Programa de Investigación sobre Residuos de la Universidad Nacional de Colombia (PIRS, 2009) para la identificación de áreas potenciales para la instalación de infraestructura para el manejo de Respel en el departamento de Cundinamarca.

El modelo planteado también se enfoca en el uso de las herramientas SIG, lineal y de tipo abierto que permitiera el ingreso de nueva información. La selección de este modelo se eligió adicionalmente, porque en su desarrollo, los investigadores emplearon sistemas de calificación similares a los mencionados en la literatura consultada, que incluyen metodologías como la de Pairwise Comparison (Saaty, 1980), Aggregation based on situation assessment (ASA), Situation assessment model (SAM) y Multi-criteria decision making (MCDM). Así mismo, se realizó una revisión a la monografía de Sepúlveda, José 2022 en donde plantea la selección de sitios para la disposición final de residuos sólidos usando la herramienta modelbuilder de ArcGIS a partir de la normatividad vigente y (MCDA), en el Municipio de Támesis. Se propuso una metodología de incorporación de criterios de selección de sitios de disposición final de residuos sólidos utilizando herramientas de los Sistemas de Información Geográfica como ModelBuilder de ArcGIS.

Para el caso del municipio de Dosquebradas, se resalta que en la actualidad se encuentra en el proceso de aprobación del plan de ordenamiento territorial, por lo que es pertinente el presente estudio, ya que facilita la obtención de la información cartográfica que se requiere como insumo para el diseño, análisis y ejecución del modelo que se propone.

El modelo propuesto se desarrolla en cuatro partes, que se describen así:

9.1. Primera etapa: Preselección de áreas restringidas o de exclusión de acuerdo con la normatividad legal vigente.

En la tabla 3 Se identifica aquellos criterios establecidos por la autoridad ambiental presente en el área de estudio que presentan restricciones y/o criterios para localizar lugares potenciales para construir una planta de tratamiento de residuos peligrosos:

Tabla 3. Criterios y/o restricciones ambientales

<i>REQUERIMIENTOS NORMATIVOS</i>	<i>ITEM</i>	<i>CRITERIOS Y/O RESTRICCIONES</i>
Determinante 5 - Resolución 1723 de 2017 (CARDER)	2.2 Criterios para la ubicación de actividades asociadas al manejo de residuos sólidos.	Para Aprovechamiento, tratamiento y disposición final de Residuos o Desechos Peligrosos (RESPEL). Posibilidad de Ubicación según Clase de Suelo: <u>Localización sólo en suelo rural.</u>
	2.1 Criterios generales para la gestión integral de residuos sólidos en el municipio.	Determinante 7 Ordenamiento Suelo Rural: Zonificación ambiental, Plan de Gestión de Residuos Sólidos del municipio (PGIRS), POT.
	2.2.3 Lineamientos De Ubicación Residuos Peligrosos (RESPEL)	El tratamiento y/o la disposición final de residuos o desechos peligrosos - RESPEL, deben tenerse en cuenta la previsión de <u>usos del suelo adyacentes actuales y proyectados por el plan de ordenamiento territorial (POT)</u>
Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Dosquebradas 2022 – 2035: Componente Datos generales	6.4.2.4. Manejo de Residuos o Desechos Peligrosos (RESPEL)	No debe considerarse la ubicación en zonas de especial importancia ecológica (humedales, áreas protegidas, nacimientos de agua, parques y reservas naturales, entre otros)
		El lugar deberá estar diseñado de acuerdo con la naturaleza y volumen de los residuos a ser almacenados.
		Distancia prudente de zonas densamente pobladas, de fuentes de captación de agua, de áreas inundables y de posibles fuentes externas de peligro.
		Ubicación accesible en cuanto al transporte y atención de eventos de emergencia.
		Terreno estable para soportar la obra civil prevista.
		El sitio de localización está dotado de servicios de electricidad, agua potable, red sanitaria y comunicaciones.

		No deben localizarse en áreas de influencia de centros educativos, centros de salud o zonas de poblaciones sensibles (adultos mayores y niños) y otros con cuyas actividades sean incompatibles.
		Evitar zonas de localización en términos de riesgo que sean propensas a incendio e inundaciones.
		Evitar zonas con inestabilidad geológica.

Fuente: Resolución 1723 de 2017 y POT 2022-2035

El manejo de los residuos sólidos peligrosos o RESPEL en el marco de la gestión de los residuos sólidos está reglamentado bajo el Decreto 4741 Nacional de 2005, el cual tiene como objeto prevenir la generación de residuos peligrosos y regular su manejo con el fin de proteger la salud humana y el ambiente. (Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005).

Bajo este decreto, en el artículo 25 donde se dictamina las obligaciones de los municipios, deben “Identificar y localizar áreas potenciales para la ubicación de infraestructura para el manejo de residuos o desechos peligrosos en los Planes de Ordenamiento Territorial, Planes Básicos de Ordenamiento Territorial y Esquemas de Ordenamiento Territorial según sea el caso”, en el POT del municipio de Dosquebradas se precisa los criterios indicados para la gestión de residuos peligrosos (RESPEL) condensados en la tabla 8.

Tabla 4. Criterios indicados para la gestión de residuos peligrosos.

Criterios	Subcriterios	Rango de Tolerancia			Cartografía
		Óptimo	Aceptable	No Aceptable	

Cercanía Poblaciones aledañas	Distancia Mínima	> 500 m	100 m – 500 m	<100	
	Población sensible en el área de influencia				
	Zonas densamente pobladas en el área de influencia				
Geología del terreno y zonas de riesgo	Zona de riesgo por remoción en masa	Baja	Media	Alta	Fuente: Cartografía POT 06a_FR_CG_AmenazaFenRemMasa.pdf
	Zona de riesgo por inundaciones	Baja	Media	Alta	06b_FR_CG_AmenazaInundacion.pdf

	Tipo de Suelo	Arcilloso-Arenoso Tipo A-Estable	Limoso-Franco Limoso-Arenosa Tipo B- Medio Estable	Suelos Granulares-Arenosos Tipo C-Depósitos Aluviales-Menos estable	Generar un mapa
Aguas subterráneas y superficiales	Cercanía a cuerpos de aguas superficiales y subterráneos para potabilización	> 100 m de cuerpos de agua superficiales para potabilización	30 m-100 m De acuerdo con la norma nacional Resolución 957 de 2018 se establecen 30 m de cuerpos de agua superficiales para potabilización. No obstante, al momento que se determine establecer la actividad se deberá cumplir con la normatividad establecida por CARDER, y solicitar dado su caso que se demarque la ronda hídrica.	<30	fuelle: Cartografía POT

Ecosistemas sensibles	Áreas protegidas	> 500 m de los límites de ecosistemas sensibles	Fuera de los límites de áreas sensibles	
Usos del suelo	Suelo de uso industrial	Suelos para uso industrial de alto impacto	Suelos destinados para uso industrial	

Fuente: POT de Dosquebradas 2022- 2035

9.1.1. Descripción de criterios-variables que se emplearon en el modelo propuesto

El manejo exitoso del modelo propuesto en un sistema de información geográfico depende en su mayoría de la disponibilidad y calidad de la información permitiendo a su vez que la selección de sitio sea preciso y confiable puesto facilita la toma de decisiones.

Es así como se tuvo en cuenta diferentes temáticas como geología, hidrología, topografía, densidad poblacional entre otras. Para ello, se establecieron 6 criterios agrupados en grupos de variables para correr el modelo, las cuales se denominaron de la siguiente manera:

-Variables Ambientales, -Variables Restrictivas, -Variables Físicas, -Variables climáticas, -Otras variables. Las variables que se denominan variables de exclusión no fueron calificadas dentro del modelo por ser de tipo normativo y mostrar incompatibilidad para el objetivo de este proyecto.

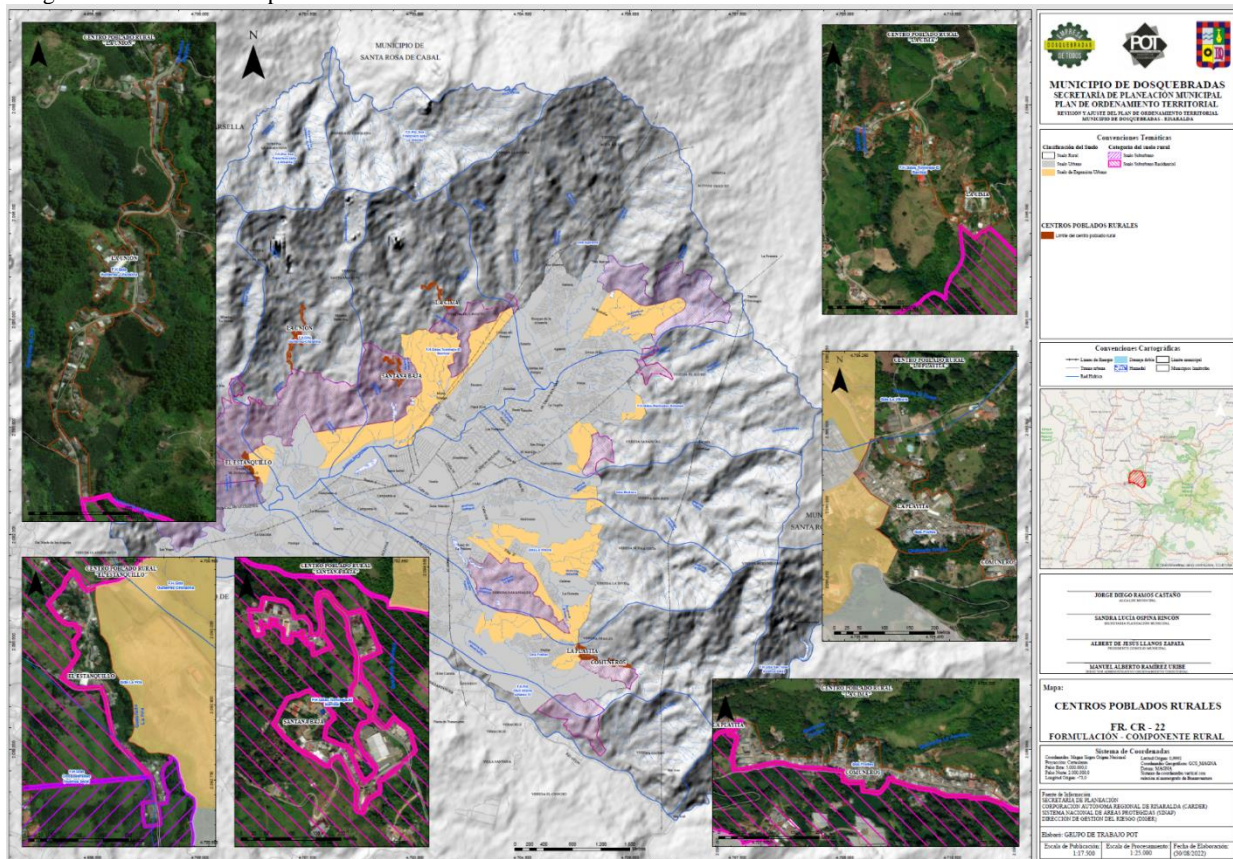
9.1.2. Criterios restrictivos

- **Variable Centros Poblados**

De acuerdo los datos suministrados por el DANE, la población de Dosquebradas en el año 2022 es de 227.696 habitantes, el 95,58% de la población (217.625 habitantes) está localizada en el área urbana y el 4,42% (10.072 habitantes) reside en el área rural (POT,2022-2035).

Teniendo en cuenta lo dispuesto por la CARDER solo es posible realizar el aprovechamiento, tratamiento y disposición final de Residuos o Desechos Peligrosos (RESPEL) en suelo rural, por ello solo se tuvo en cuenta los centros poblados de las zonas rurales como se visualiza en el siguiente plano.

Imagen 1: Plano 1 Centros poblados



Fuente: POT de Dosquebradas 2022- 2035

En la zona rural existen una gran mayoría de predios con áreas por encima de los 60.000 m² correspondiente con la unidad agrícola familiar, predios con áreas entre los 1000 y 3000 m² en las zonas de centros poblados rurales y entre los 3.000 y 10.000 m² y solo una pequeña proporción en las zonas conexas o bordes del suelo urbano (POT,2022-2035)

- **Variable amenaza por remoción en masa**

El POT adopta para la identificación de amenazas por remoción en masa el mapa elaborado por la dirección de gestión de riesgo (DIGER) del municipio en el año 2017 y actualizó en el 2020 en el marco de la actualización del plan de ordenamiento territorial del municipio de Dosquebradas (POT,2022-2035) donde se categorizo los fenómenos de remoción en masa (FRM) en amenaza alta, media y baja según las características propias del territorio como se evidencia en la siguiente tabla y plano.

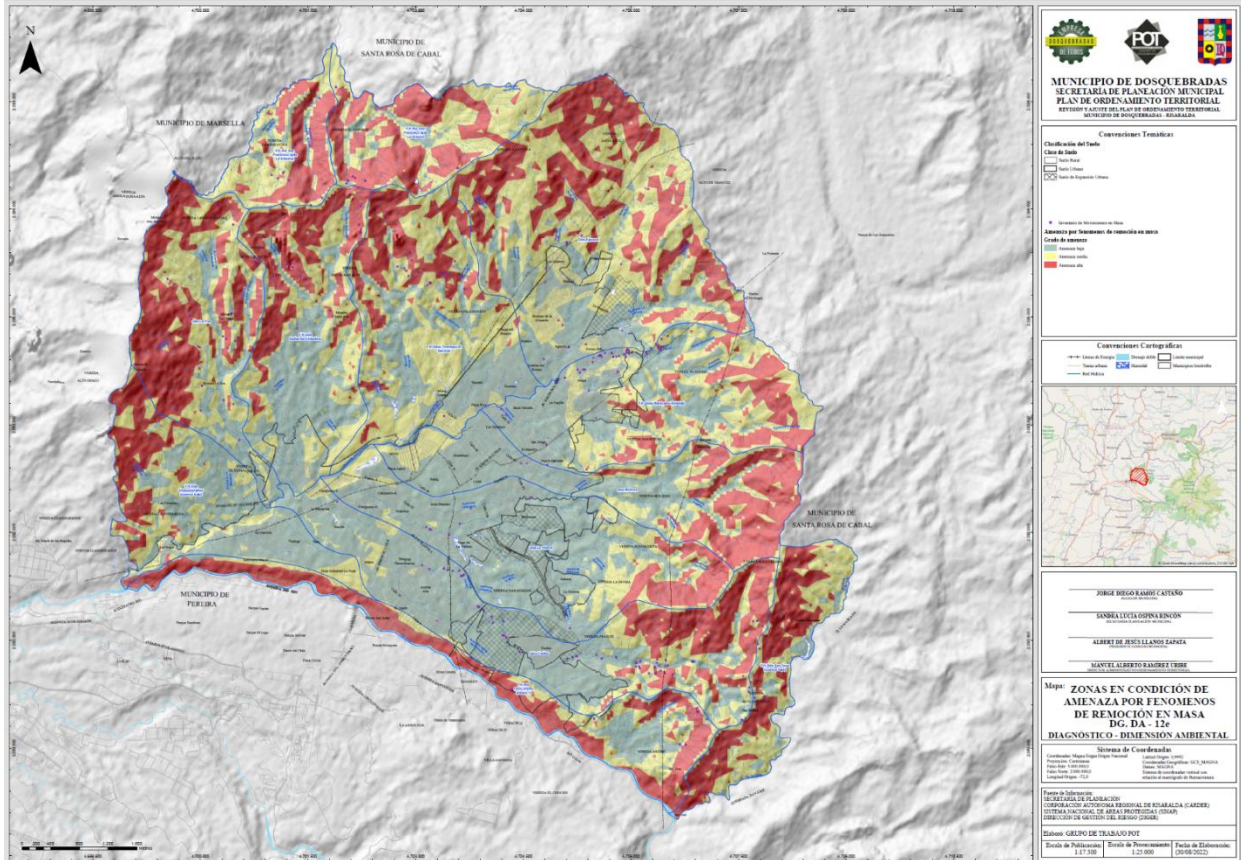
Tabla 5. Categorías de amenaza por fenómenos de remoción en masa (FRM)

Amenaza alta por FRM	Aquellas zonas del territorio municipal definidas como potencialmente inestables que debido a las características intrínsecas del terreno pueden ser frecuentes los movimientos en masa, en caso de ocurrencia de lluvias frecuentes y de alta intensidad que saturan los terrenos. En virtud al diagnóstico de prácticas y/o actividades agropecuarias y de pastos para uso de ganadería en estas zonas, se recomienda establecer buenas prácticas de uso y manejo del suelo, además de generar políticas ambientales y de reordenamiento territorial orientadas a restablecer el equilibrio de las zonas inestables, especialmente en aquellos territorios en donde han operado cambios de uso del suelo incompatibles con el potencial de uso de los territorios.
----------------------	--

<p>Amenaza media por FRM</p>	<p>Aquellas zonas del territorio municipal con poca evidencia de inestabilidad actual en sus laderas, con procesos erosivos de intensidad moderada, generalmente con pendientes moderadas que ante la ocurrencia de factores detonantes como las lluvias intensas y/o sismos, podrían esperarse algunos deslizamientos. Es común la presencia de surcos, cárcavas y pisadas de vaca, en razón a la presencia de pastos para la ganadería y coberturas vegetales tipo cultivos, por lo cual se recomienda establecer buenas prácticas de uso y manejo del suelo. Además, se debe propender por la reforestación y la preservación de los bosques de galería y vegetación asociada a las zonas de protección de corrientes hídricas.</p>
<p>Amenaza baja por FRM</p>	<p>Comprende todas aquellas zonas del territorio municipal que morfológicamente se caracteriza por la presencia de zonas de pendiente bajas a planas y en donde predominan procesos erosivos tipo socavación lateral, asociados a los taludes ribereños. Las laderas generalmente son de carácter estable. Estos territorios no presentan restricciones, pero se hace necesario, en virtud a su ocupación urbana, ampliar el diagnóstico de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa en aquellos sectores que requieran de análisis de estabilidad de taludes y cálculo de factores de seguridad.</p>

Fuente: POT de Dosquebradas 2022- 2035

Imagen 2. Plano 2. Zonas en condición de amenazas por FRM (GG. DA – 12e)



Fuente: POT de Dosquebradas 2022- 2035

- **Variable Red Hídrica:**

Para el presente trabajo de grado se toman en cuenta todas aquellas redes hídricas identificadas permanentes y canalizado en la capa cartográfica base aprobada y/o concertada con la autoridad ambiental de Risaralda (CARDER) en el proceso de revisión del POT del municipio de Dosquebradas. A continuación se relaciona dichas redes hídricas:

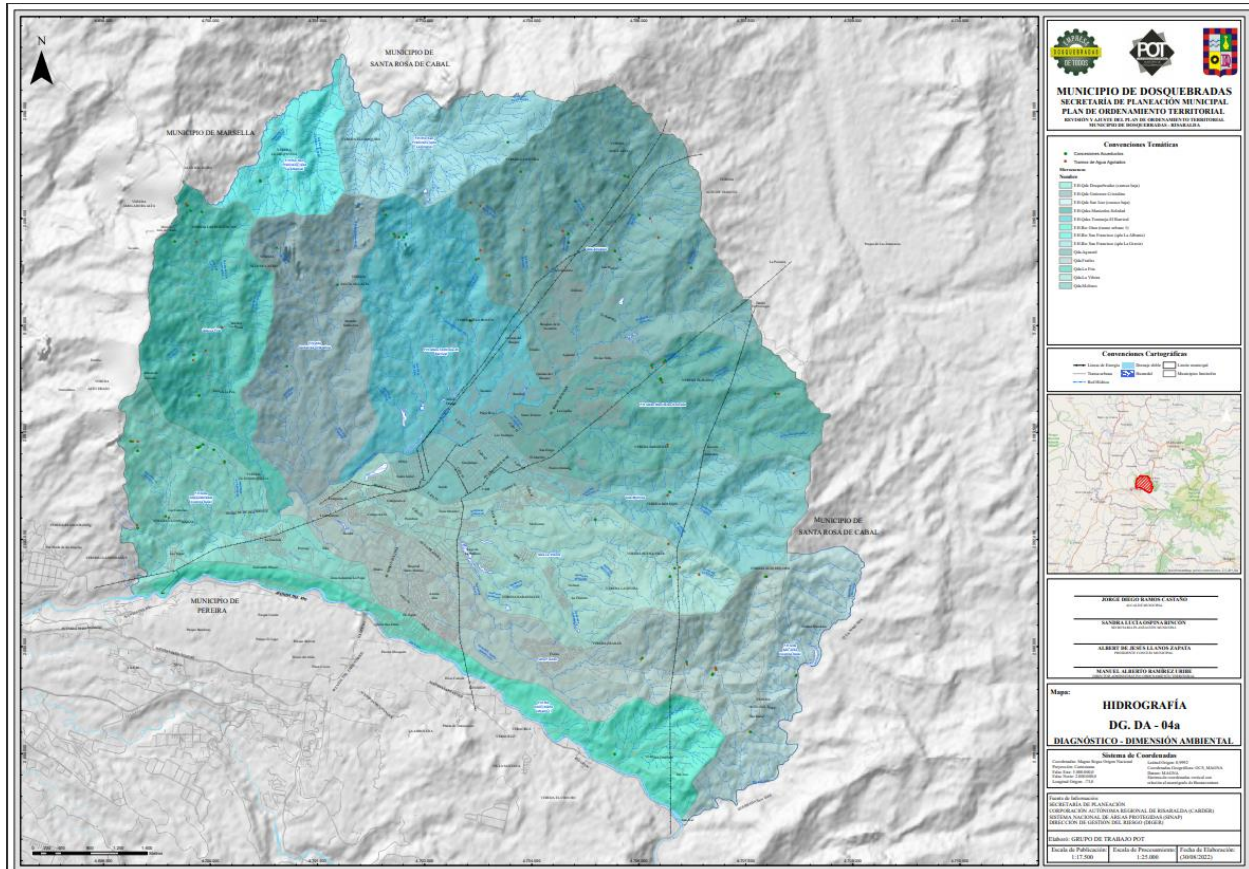
Tabla 6. Redes Hídricas Permanentes y Canalizadas del municipio de Dosquebradas

NOMBRE FUENTE HIDRICA	ESTADO
Quebrada Agüita - Montebonito	Permanente
	Canalizado
Quebrada La Silbadora	Permanente
Río Otun	Permanente
Quebrada Dosquebradas	Permanente
Quebrada Agüita - Montebonito	Canalizado
Quebrada Chisperos	Permanente
Quebrada La Mina	Permanente
Quebrada La Arenosa	Permanente
Quebrada Gaitán	Permanente
Río San Jose	Permanente
Quebrada Bellavista	Permanente
Quebrada Frailes	Permanente
Quebrada El Rosal	Permanente
Quebrada El Rosal	Canalizado
Quebrada Chisperos	Canalizado
Quebrada Cañaverál	Permanente
Quebrada La Vibora	Permanente
Quebrada Molinos	Permanente
Quebrada Peñaflor	Permanente
Quebrada La Marcada	Permanente
Quebrada El Oso	Permanente
Quebrada La Batea	Permanente
Quebrada Mulatos	Permanente
Quebrada La Fría	Permanente
Quebrada La Soledad - El Nudo	Permanente
Quebrada Cristalina	Permanente
Quebrada Tomineja	Permanente
Quebrada Los Sapos	Permanente
Quebrada El Platero	Permanente
Quebrada Amoladora	Permanente
Quebrada Gutiérrez	Permanente

Quebrada La Tomineja	Permanente
Quebrada Las Hortensias	Permanente
Quebrada La Argentina	Permanente
Quebrada La Chillona - El Nudo	Permanente
Quebrada Santa Cecilia	Permanente
Quebrada La Soledad	Permanente
Quebrada La Chillona	Permanente
Quebrada Santa Isabel	Permanente
Quebrada Roca Verde	Permanente
Quebrada El Rodeo	Permanente
Quebrada Los Juncos	Permanente
Quebrada Manizales	Permanente
Quebrada El Arroyo	Permanente
Quebrada Cusumba	Permanente
Quebrada Santa Ana	Permanente
Quebrada Aguazul	Permanente
Quebrada Cordoncillo	Permanente

Fuente: POT del municipio de Dosquebradas

Imagen 3 Plano 3. Hidrología FRM (DG. DA – 04a)



- **Variable Humedales:**

Consultando el proyecto de acuerdo 12 del 2017 “por medio del cual se declararon 32 humedales de importancia ambiental y zonas de conservación ecológica y paisajística en la localidad” nombrados dentro del POT título 6 estructurantes del territorio, 6.1 Sistema Ambiental Municipal, 6.1.1. Áreas de Protección y Conservación Ambiental, son reconocidas como áreas de protección y conservación ambiental los suelos de protección del recurso hídrico, de la biodiversidad, del paisaje, las áreas forestales protectoras y las áreas expuestas a riesgos no

mitigables y amenaza alta; además fueron definidos en el diagnóstico ambiental y delimitados en el FR.CG-04a. Áreas de conservación y protección ambiental. de Dosquebradas como suelos de protección de la biodiversidad. 6.1.1.4. constituyéndose como los suelos de protección de la biodiversidad, los humedales, los relictos boscosos y los corredores ambientales. A continuación, se listan los 37 humedales presentes en Dosquebradas, los cuales cuentan con su respectiva ficha de caracterización:

Tabla 7. Total humedales caracterizados en el municipio de Dosquebradas, Risaralda

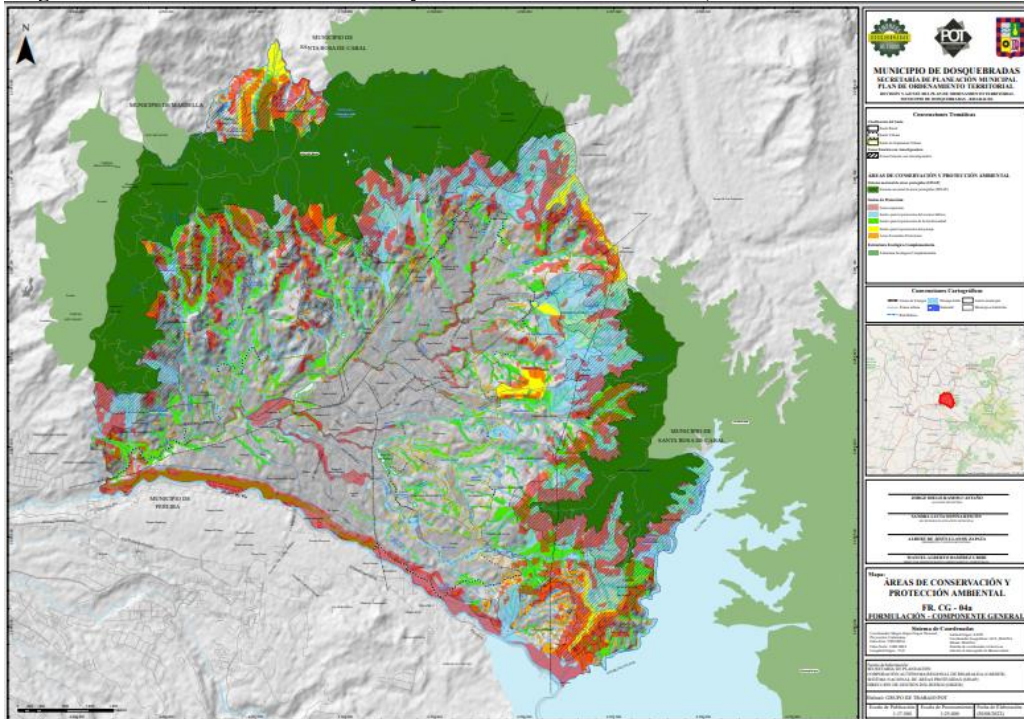
No.	No. Ficha	Nombre Humedal	Vereda o sector	Coordenada Norte	Coordenada Oeste	Área (h)	Microcuenca Hidrográfica
1	1	humedal bombay 3	Bombay	1027784,85	1156572,84	0,19	F.H. Q. Tomineja
2	1	humedal bombay 3	Bombay	1027835,48	1156612,57	0,02	F.H. Q. Tomineja
3	2	Santana	SANTANA	1027090,64	1155049,65	0,6	F.H. Q. Tomineja
4	3	La Macarena	La Macarena	1025915,03	1154053,85	0,39	Q. Frailes
5	5	Vivero Parque el Lago la Pradera	Lago la Pradera	1025662,85	1155728,04	0,13	Q. La Víbora
6	5	Vivero Parque el Lago la Pradera	Lago la Pradera	1025654,73	1155768,77	0,06	Q. La Víbora
7	6	Lago la Pradera Principal	Lago la Pradera	1025555,22	1155797,61	1,18	Q. La Víbora
8	7	Parque el Lago	Lago la Pradera	1025383,8	1155866,94	0,45	Q. La Víbora
9	8	Transversal 24 Lagos La Pradera	Lagos La Pradera	1025130,11	1156002,96	0,49	Q. La Víbora
10	9	La Pradera II	La Pradera	1025298,37	1156043,87	0,81	Q. La Víbora

11	10	Humedal diagonal 25 La Pradera	La Pradera	1025691,14	1156060,35	0,33	Q. La Víbora
12	11	Alta Pradera II	sin nombre	1025460,93	1156017,98	0,1	Q. La Víbora
13	12	Humedal predio las margaritas y capisayo	margaritas y capisayo	1030605,84	1155171,33	0,24	Q. La Aguadita
14	13	Humedal predio las margaritas y capisayo	margaritas y capisayo	1030476,13	1155215,6	0,18	Q. La Aguadita
15	14	Humedal predio las margaritas y capisayo	margaritas y capisayo	1030676,07	1155299,87	0,09	Q. La Aguadita
16	15	Humedal predio las margaritas y capisayo	margaritas y capisayo	1030656,15	1155348,44	0,03	Q. La Aguadita
17	16	Villa Carola I	Villa Carola	1029465,56	1157670,92	0,34	Q. Aguazul
18	17	La Miranda	La miranda	1027545,67	1159000,91	0,04	F.H. Q. Manizales
19	19	Santa María	Santa María	1030808,34	1156752,29	0,04	Q. Aguazul
20	20	La Graciela 1	La Graciela	1025487,71	1153366,36	0,23	F.H. Q. Dosquebradas
21	21	Bombay 1	Bombay	1027761,84	1156350,78	0,09	F.H. Q. Tomineja
22	22	El Bohío	El Bohío	1026669,7	1154514,08	44,167,00	Q. La víbora
23	23	Talleres La Romelia	Talleres La Romelia	1029089,66	1157925,2	0,44	Q. Aguazul
24	24	Vía Frailes	Vía Frailes	1024425,62	1157372,33	0,77	Q. La víbora
25	25	Bombay 2	Bombay	1027853,69	1156377,54	0,05	F.H. Q. Tomineja
26	26	Villa Claudia I	Villa Claudia	1027808,13	1155622,89	0,29	F.H. Q. Tomineja

27	27	Villa Claudia II	Villa Claudia	1027839,05	1155516,98	0,09	F.H. Q. Tomineja
28	28	Villa Claudia III	Villa Claudia	1027668,33	1155443,84	0,15	F.H. Q. Tomineja
29	30	Pique Nique II	Pike Nike	1027556,06	1155149,12	0,23	F.H. Q. Tomineja
30	31	Pique Nique III	Pike Nike	1027603,71	1155156,87	0,12	F.H. Q. Tomineja
31	32	Piedemonte	Piedemonte	1028571,67	1158082,61	0,55	Q. Aguazul
32	35	Chispero	La Pradera	1024775,54	1156369,26	0,38	Q. La víbora
33	36	Álvaro Patiño	Álvaro Patiño	1024307,91	1157040,66	0,08	Q. Frailes
34	37	La Sultana	La Sultana	1024768,31	1155858,4	0,13	Q. Frailes
35	40	Pradera Verde	La Pradera	1025851,05	1156158,67	0,09	Q. La víbora
36	41	Humedal los Sapos	Sapos	1027440,21	1154890,31	43,952,00	F.H. Q. Tomineja
37	42	La marcada	La marcada	1024136,43	1160636	44,075,00	F.H. R. San José (Cuenca Media - Baja) (md)

Fuente. Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Gestión Ambiental, CARDER, 2020

Imagen 4. Plano 4 Áreas de Conservación y Protección Ambiental FRM (04a_FR_CG_AreaConsProtAmb)



Fuente: POT de Dosquebradas 2022- 2035

- Variable: Geología

A continuación, se relaciona las unidades geológicas presentes en el municipio de

Dosquebradas:

Tabla 8. Clasificación geológica

CLASIFICACION GEOLOGIA	DESCRIPCIÓN	TIPO DE SUELO
QAI0	Este tipo de depósitos se encuentran restringidos a los cauces de los principales ríos, en este caso Dosquebradas tiene 32 quebradas y alrededor de	

	este tipo de suelos se encuentra sin cobertura de ceniza volcánica, lo que quiere decir q son suelos muy permeables	Suelos Granulares-Arenosos Tipo C-Menos estable
Qflv	Flujos de lodo volcánicos: son flujos de lodo o lahares que se componen por materiales piroclásticos, ceniza, fragmentos de roca volcánicas y esporádicamente rocas metamórficas (es el que se ve amarillo normalmente en deslizamientos, ósea es un suelo que se desprende fácilmente)	Limoso-Franco Limoso Tipo B- Medio Estable
Kvds	Suelo rocoso. Presenta suelos de textura franca a franca arenosa, los cuales son bien drenados, superficiales a moderadamente profundos. Estas rocas presentan metamorfismo de bajo grado asociado a facies prehnita-pumpellita	Limoso-Franco Limoso Tipo B- Medio Estable
Kvb	Diabasas (granito negro), pillow lavas y piroclásticas parcialmente espilitizadas. Rocas con limitado a ningún flujo de aguas subterráneas	Arcilloso-Arenoso Tipo A- Estable
Tpp	roca ígnea, más concretamente una roca filoniana. Son Suelos muy rocosos difícil de perforar.	Suelos Granulares-Arenosos Tipo C-Menos estable
QA11	Depositos Aluviales	Suelos Granulares-Arenosos Tipo C- Depositos Aluviales-Menos estable
Qh	Depositos Coluviales-los depósitos de materiales coluviales son característicos de fuentes intermitentes	Suelos Granulares-Arenosos Tipo C- Depositos Aluviales-Menos estable
Tadp	Estas rocas afloran entre las Cordilleras Central y Occidental, correspondientes a intrusivos sub-volcánicos de edad Mioceno; al norte del municipio de Dosquebradas son designados como pórfidos andesíticos de Pereira (Tadp) compuestos por fenocristales de plagioclasa, horblenda y biotita en matriz holocriticalina feldespática (González, 1993).	Arcilloso-Arenoso Tipo A- Porfidos-Estable

En el POT del municipio de Dosquebradas 2022-2035 en el libro uno documento general se determina la clasificación del uso del suelo a partir de lo definido en el acuerdo 12 de 2000 (citado en: POT 2022-2035), de la siguiente manera:

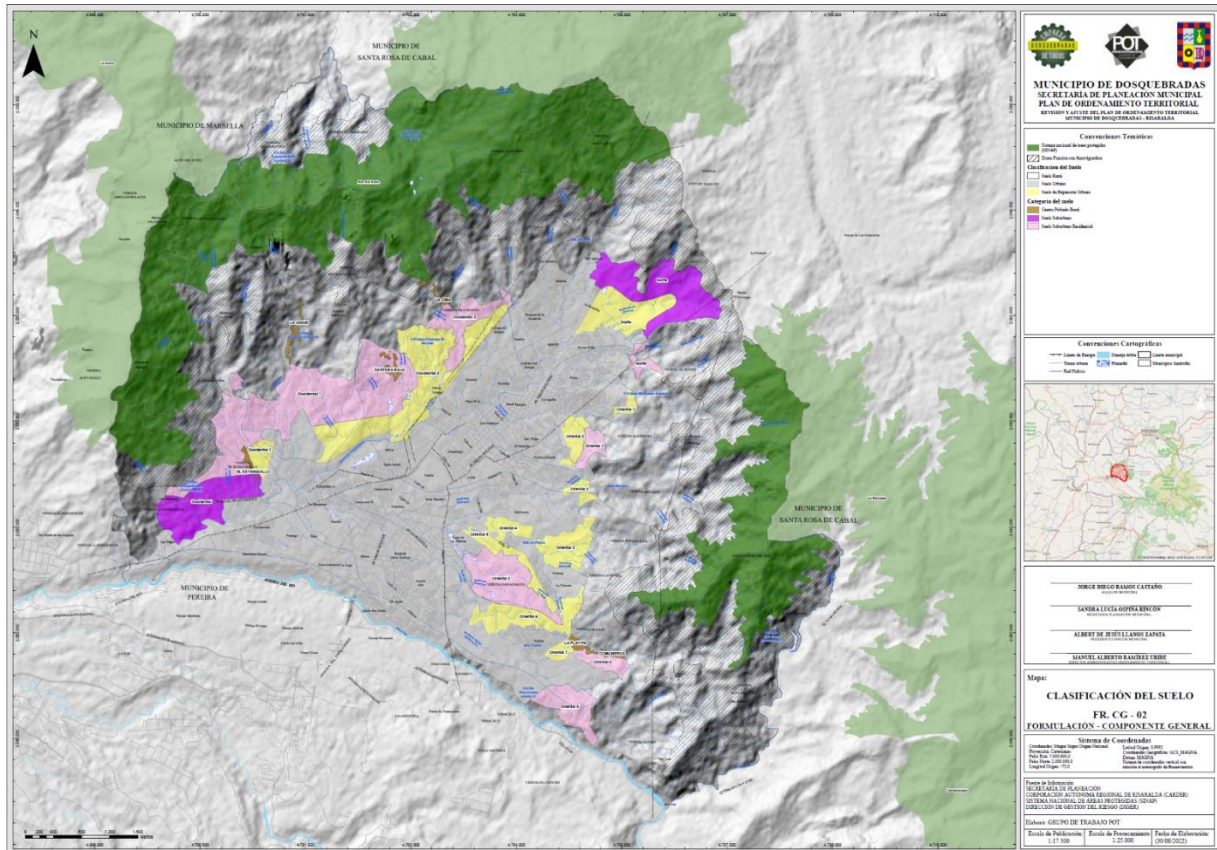
Tabla 9. Clasificación del suelo POT de Dosquebradas

Clase de suelo	Área (ha)	Porcentaje municipal
Suelo de expansión urbana	365,73	5,19%
Suelo Rural	5.010,22	71,08%
Suelo Urbano	1.627,27	23,73%
Total	7.048,22	100,00%

Fuente: POT de Dosquebradas 2022- 2035

En el siguiente plano se visualiza dicha clasificación del suelo que son las tenidas en cuenta dentro de la variable uso del suelo.

Imagen 6 Clasificación del suelo (FR.CG-02)



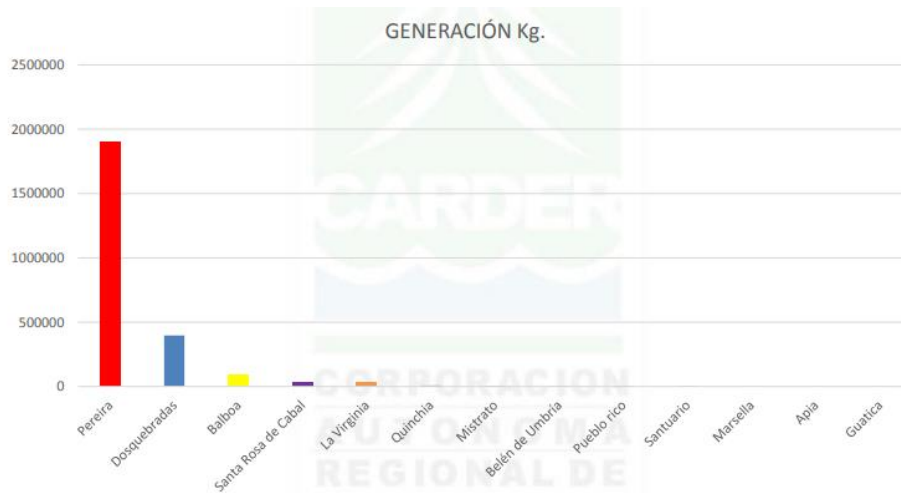
Fuente: POT de Dosquebradas 2022- 2035

- **Volumen de residuos**

La estimación de los residuos peligrosos que se generan en Dosquebradas se determinó de acuerdo con el informe de residuos peligrosos en el departamento de Risaralda del 2019 reportándose en el municipio 397475,92 kg, incluyéndose dentro del peso de los residuos en sus estados: sólido, líquido y gaseoso. Siendo el segundo municipio de mayor generación de residuos peligrosos en el Departamento Risaralda, tal y como se muestra en la imagen 5. Durante el PB

2019 del total de los residuos peligrosos en el Departamento de Risaralda el 76,12% corresponde a Pereira, el 15,87% a Dosquebradas.

Imagen 7. Residuos peligrosos generados por municipio 2019



Los tipos de tratamiento más comunes en el municipio, corresponde principalmente a los procesos de tratamiento, almacenamiento, aprovechamiento y dispuestos y relleno de seguridad.

Imagen 8 Volumen de residuos peligrosos generados en el municipio de Dosquebradas



El 49,52% del total de los RESPEL generados en Departamento de Risaralda, fueron tratados, el 41,15% aprovechados, el 8,93% dispuestos y el 0,4% almacenados.

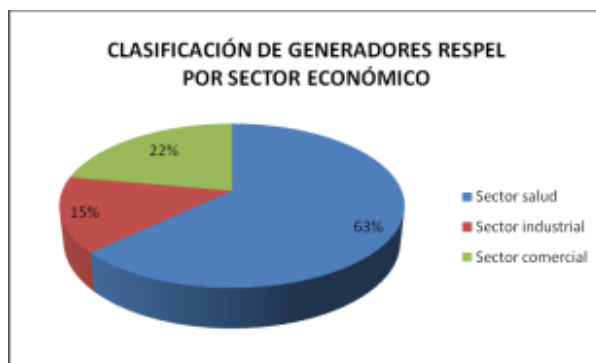
- **Generadores de RESPEL, según origen.**

De acuerdo con la información suministrada en el documento del POT título F dimensión ambiental, 1.5 sobre la gestión integral de residuos especiales, 1.5.1. residuos sólidos peligrosos RESPEL, se encuentra que los resultados encontrados en el catastro de generadores de residuos peligrosos generados en el municipio de Dosquebradas son producidos en un 63% por establecimientos pertenecientes al sector salud.

Tabla 10. Clasificación según origen y características de producción.

Clasificación según origen y características de producción.	Número de generadores
Sector salud	145
Sector industrial	34
Sector comercial	51

Imagen 9. Clasificación de generadores respel, por sector económico.



El 80% de los generadores de RESPEL se encuentran por debajo de la clasificación del artículo 28 del Decreto 4741 de 30 de diciembre de 2005, es decir, establecimientos que generan menos de 10 kg/mes de RESPEL entre los cuales se encuentran principalmente centros de belleza, consultorios odontológicos, veterinarias, laboratorios, droguerías y pequeños talleres de mecánica. El 15% de los establecimientos visitados como estaciones de servicio y empresas industriales generan entre 10 y 100 kg/mes de RESPEL clasificados como pequeños generadores; el 5% corresponde a medianos generadores con una cantidad que oscila entre los 100 kg y 1000 kg de RESPEL mensuales y con una cantidad de generación superior a 1000 kg/mes se encuentra el Hospital Santa Mónica de Dosquebradas.

Tabla 11. Generadores de RESPEL, municipio de Dosquebradas.

CLASIFICACIÓN	TOTAL, OBTENIDO
Micro generadores	185
Pequeños generadores	34
Medianos generadores	10
Grandes generadores	1

- **Estimación del del área para la disposición final de residuos peligrosos**

De acuerdo a la literatura revisada, se debe tener en cuenta diferentes instalaciones de almacenamiento permanente debido a las industrias van creciendo y de manera significativa la producción los residuos y por ello la disponibilidad de suelos se vuelve limitada debido a l desarrollo del municipio. Se hace necesario, tener en cuenta algunos criterios que permitan estimar el área para la localización de la infraestructura correspondiente al manejo y disposición final de los residuos peligrosos en el municipio de Dosquebradas, los cuales son:

- Vida útil del sitio: 50 años
- Relación promedio entre material encapsulante/Respel es de 1/1
- Densidad promedio de los Respel llevados a disposición final es de 1 g/cc (1 tonelada/m³).
- Celdas para disposición final.

A partir de los parámetros anteriores, se logra determinar el área de la siguiente manera:

- Considerando que la relación encapsulante/Respel es de 1/1, se estima que el peso aproximado de residuos a disponer en relleno de seguridad es de 2.1 toneladas/año.
- La cantidad total de respel a disponer durante la vida útil del proyecto (50 años) se estima en 105 toneladas.
- Partiendo de la densidad estimada de los Respel (1 tonelada/1m³), se requiere un volumen de 105 m³ para disponer los residuos.

- Se estima una zona de seguridad con 3 niveles de disposición, con una profundidad aproximada de 3 metros cada nivel para un total de 9 metros de profundidad incluyendo estructuras y cobertura, por lo cual sería necesaria un área de 11666 m². Esta área se aproxima a 12000 m² es decir 1 Ha + 2000 m². Corresponde entonces al área requerida para servicios auxiliares, áreas de maniobra de descargue, campamentos y oficinas, entre otros.
- **Estimación de área para tratamiento térmico y fisicoquímico**

No se cuenta con información de los residuos peligrosos para tratamiento térmico o residuos incinerados al año que permita definir el área para el tratamiento térmico y fisicoquímico; pese a que existen datos de cantidades de residuos peligrosos generados al año, se hace necesario realizar un estudio detallado de caracterización de residuos peligrosos dadas las condiciones de desarrollo industrial que identifica al municipio de Dosquebradas.

9.2. Segunda etapa: calificación grupo de variable

A partir de lo identificado en la primera etapa del presente trabajo se procederá a abordar cada uno de los criterios dados por el POT del municipio de Dosquebradas (Ver tabla 8) que para el presente trabajo son las variables para identificar la localización de la planta de tratamientos de residuos peligrosos, cabe resaltar que dichas variables son de carácter restrictivo ya que el presente trabajo busca cumplir a cabalidad con lo establecido en la normatividad.

A continuación, se presenta la calificación de cada una de las variables en la construcción del flujo de trabajo, donde 0 no cumple y 1 si cumple según las restricciones normativas señaladas anteriormente:

- Calificación: Variable Red Hídrica

Start	End	New
0	30	0
30	3324,403809	1

- Calificación: Variable Humedales

Start	End	New
0	30	0
30	3193,042725	1

- Calificación: Variable Centros Poblados

Start	End	New
0	100	0
100	3503,286377	1

- Calificación: Variable Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP)

Start	End	New
0	500	0
500	9984,106445	1

- Calificación: Variable Movimientos en Masa

Value	New
4	1
5	0

- Calificación: Variable Geología

Para la evaluación de los tipos de suelos se tuvo en cuenta la clasificación geológica y sus respectivas características, lo que permitió definir los pesos de acuerdo a sus atributos (ver tabla 9), tal y como se muestra en la imagen 8. Esta clasificación ayuda a restringir sitios con suelos que puedan afectar la estabilidad de obras de ingeniería que se requieran al momento de ejecución del proyecto; así mismo, evitar zonas con taludes inestables, como puede ser el caso de descompresión de laderas y deslizamientos del terreno por movimientos estáticos y dinámicos.

Imagen 10. Tipo de suelos con sus respectivos pesos

Value	New
QAI0	0
Qflv	1
Kvds	1
Qco	0
Qcp	0
Kvb	1
Tpp	0
QAI1	0
Qh	0
Tadp	1
Kgp	0
Kives	0
Toi	0
Pe	0
Pa	0
Ksc	0

Para las variables red hídrica, humedales, centros poblados y SINAP se utiliza la herramienta de análisis espacial “Euclidean Distance” donde se especifica para cada una de ellas la distancia mínima a la que debe estar el área de localización de la planta de disposición final de residuos peligrosos, en cambio para las variables movimientos en masa y geología se aplica “Feature to

Raster” se reclasifica las capas y se les da una calificación de cero o uno según las consideraciones dadas anteriormente (8.1.1. Criterio restrictivo)

Las variables identificadas fueron agrupadas para aplicar la herramienta “Raster calculator” y así el modelo localizara las áreas potenciales donde cumpliera con las restricciones de ley para instalación de infraestructura para el manejo de RESPEL.

9.3. Tercera etapa: cruce de capas ModelBuilder de ArcGIS

Para este trabajo se consideró utilizar el lenguaje de ModelBuilder de la plataforma de ArcGIS. La herramienta se define como un lenguaje de programación visual que permite crear flujos de trabajo de geoprocésamiento. Los modelos de geoprocésamiento automatizan y documentan los procesos de análisis espacial y de administración de datos. Los modelos de geoprocésamiento se crean y modifican en ModelBuilder, donde un modelo se representa como un diagrama que encadena secuencias de procesos y herramientas de geoprocésamiento, utilizando la salida de un proceso como la entrada de otro proceso. (Esri, 2022). Teniendo en cuenta las variables anteriormente mencionadas y las calificaciones dadas se presenta el flujo de trabajo:

Imagen 11. Flujo de trabajo

Fuente: Elaboración propia
Al cruzar las (variables) se de raster obtiene los áreas aptas para la planta de residuos



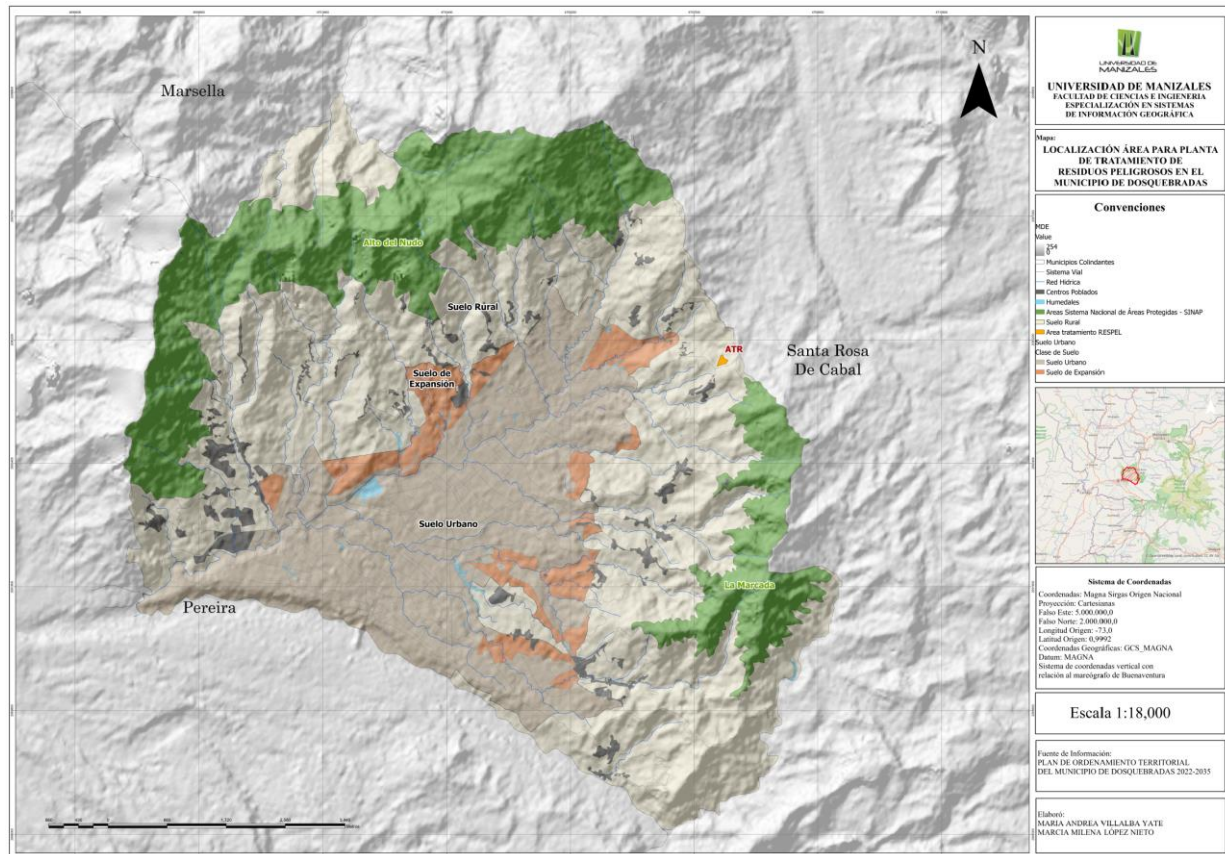
propia
diferentes capas
usa la herramienta
calculator y se
resultados de las
potencialmente
localización de una
tratamiento de
peligrosos

9.4. Cuarta cartográficos

Etapa: Resultados

Los resultados cartográficos que se generan para el presente proyecto, resultan de los cruces o superposición de las capas que se describieron en el capítulo anterior. Se presentan el polígono

Imagen 12. Mapa Resultado Localización área para planta de tratamiento de residuos peligrosos en el municipio de Dosquebradas



Fuente: Elaboración propia

10. ANALISIS DE RESULTADOS

Luego de ejecutar el modelo propuesto en el procesamiento de la información, es indispensable verificar que las áreas potenciales identificadas cumplan con los requisitos y/o criterios expuestos, los cuales deben presentar coherencia para tomar decisiones, analizar los resultados y generar productos para su exposición. Todo ello a partir de los cruces establecidos resumidos en

la imagen 8 permitiendo de esta manera determinar las zonas aptas para la localización del sitio adecuado para la disposición final de residuos peligrosos en el municipio de Dosquebradas.

Se consideró que, la manera más útil para analizar y representar los datos e información evaluada fue a través de herramientas basadas en SIG (Sumathi et al., 2008), por consiguiente, para este trabajo se consideró utilizar el lenguaje de ModelBuilder de la plataforma de ArcGIS.

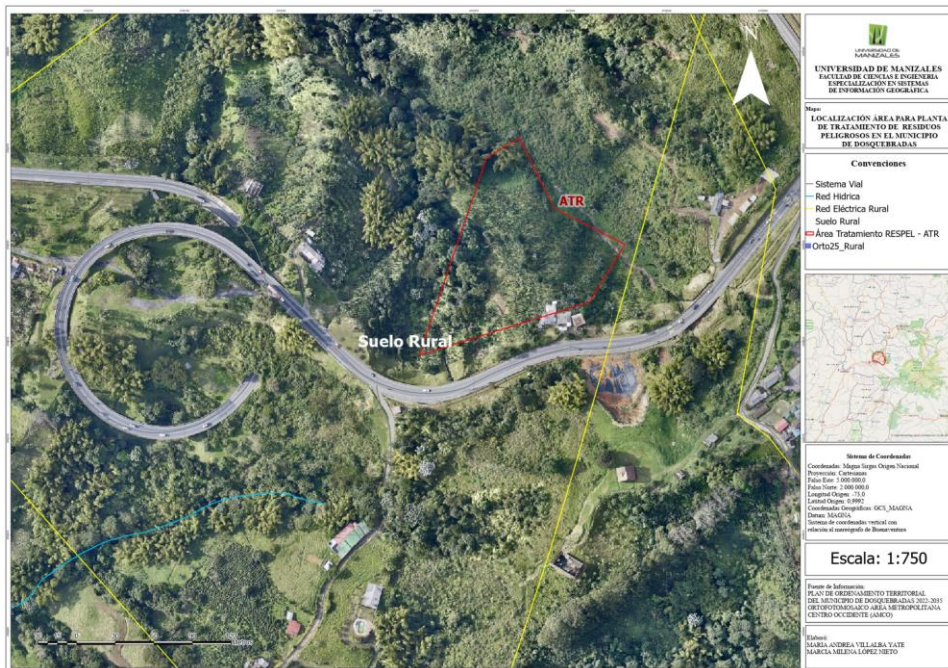
definiéndose ModelBuilder como un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo de geoprociamiento. Los modelos de geoprociamiento automatizan y documentan los procesos de análisis espacial y de administración de datos. Los modelos de geoprociamiento se crean y modifican en ModelBuilder, donde un modelo se representa como un diagrama que encadena secuencias de procesos y herramientas de geoprociamiento, utilizando la salida de un proceso como la entrada de otro proceso. (Esri, 2022). Es así como para el área de estudio, se propone un modelo que consistió en agrupar seis variables como red hídrica, humedales, centros poblados, áreas SINAP, amenazas por movimientos en masa y geología. Las anteriores variables permitieron determinar sitio de disposición final acorde con las restricciones establecidas en el POT del municipio de Dosquebradas y según la proyección poblacional para determinar el área a necesitar.

Como resultado de la suma de los criterios para la selección de áreas para la disposición final de residuos peligrosos en la jurisdicción del municipio de Dosquebradas, se identifica lo correspondiente al suelo urbano y de expansión del municipio ya que corresponde a la cabecera municipal, además los centros poblados de cada uno de las veredas que conforman el área rural, por lo cual el modelo diseñado muestra un predio para la disposición final (polígono en color

naranja), que se aleja de las zonas pobladas, hasta el punto de descartarlas acorde con la restricción establecida.

Según el plan de ordenamiento territorial (POT) del municipio de Dosquebradas en el componente general dictamina que es esencial que el sitio de localización este dotado de servicios de electricidad, agua potable, red sanitaria y comunicaciones. A continuación se presenta gráficamente el sitio de disposición elegido donde se visualiza cerca al área vías de acceso, red hídrica y red eléctrica por medio de capas vectoriales e imagen raster (Ortofotomapa) (ver Imagen 11).

Imagen 13. Mapa Área de localización de planta de tratamiento de residuos peligrosos

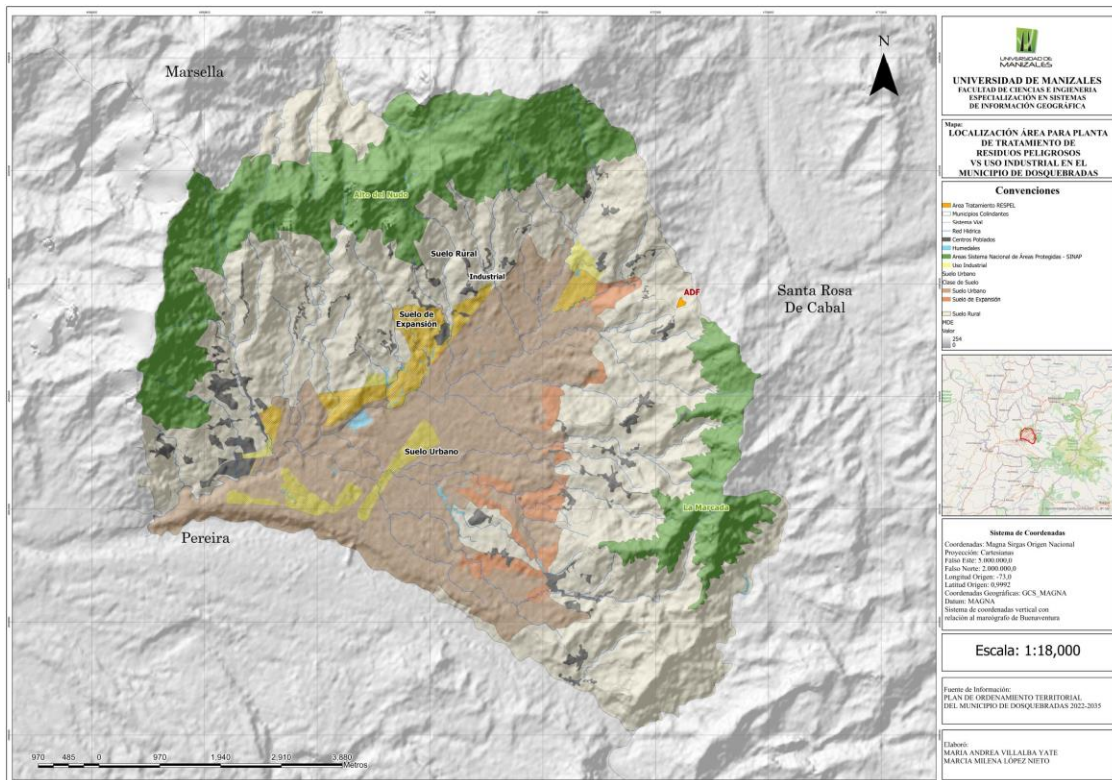


Fuente: Elaboración propia

Se puede ver además que el área más óptima se encuentra en la vereda El Rodeo, predio que limita con la zona de expansión del municipio de Dosquebradas.

De acuerdo con las variables establecidas para el proyecto, se logró identificar un solo predio apto ambientalmente para la ubicación del sitio de disposición final de los RESPEL, además es importante decir que, acorde con el documento en donde se establecen las determinantes ambientales, se deja claro que el sitio de disposición final deberá encontrarse en suelo rural; mientras que lo establecido en el POT, se recomienda como localización principal en suelo con destinación industrial. Lo anterior, no siendo concordante, ya que el suelo industrial del municipio de Dosquebradas se encuentra en la zona urbana y de expansión del municipio, tal y como se observa en el mapa de la imagen 12.

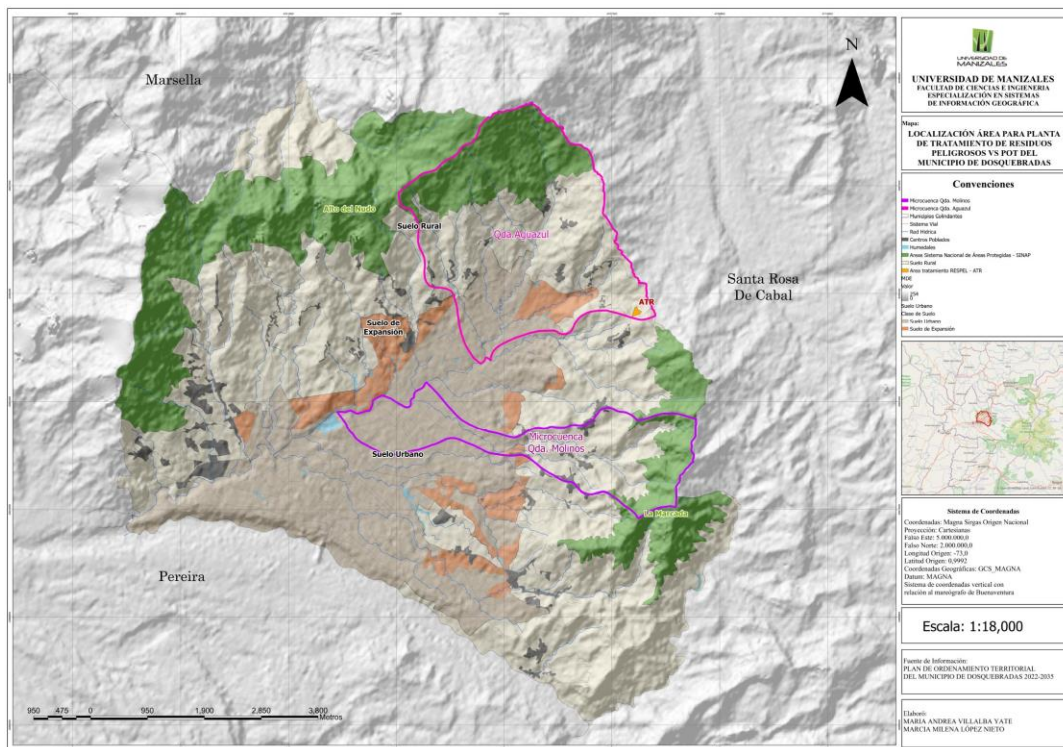
Imagen 14. Mapa Localización área planta de tratamiento RESPEL vs uso industrial del municipio de Dosquebradas



Fuente: Elaboración propia

Aunado a lo anterior dentro del proceso de documentación se identifica que el plan de ordenamiento territorial dictamina que dicha localización dadas las condiciones ambientales del territorio evaluadas en el diagnóstico del POT, la disposición final de residuos peligrosos hospitalarios y similares, solo se podrá desarrollar en el sitio señalado para tal fin en la microcuenca Molinos, el cual discrepa del área de localización ubicada a través de ModelBuilder y siguiendo con los criterios establecidos por el municipio en su plan de ordenamiento, como se observa en el siguiente mapa, dicha área se encuentra en la microcuenca de la Quebrada Aguazul

Imagen 15. Localización área para planta de tratamiento de residuos peligrosos vs POT del municipio de Dosquebradas



Fuente: Elaboración propia

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de realizar el análisis para determinar las zonas potencialmente adecuadas para la localización del sitio de tratamiento de residuos peligrosos, se logra concluir que la incorporación de aspectos normativos y de localización en el POT en cuanto a la gestión de residuos peligrosos, las restricciones y condicionantes dificultan la selección de un área adecuada para el cumplimiento de este objetivo dadas las particularidades propias de un municipio caracterizado por el crecimiento acelerado en la zona urbana y rural. Como resultado de lo anterior, solo fue posible localizar un solo polígono como área óptima.

Lo anterior, acorde con las determinantes ambientales que define la máxima autoridad ambiental del departamento de Risaralda, estableciendo que el sitio de localización para planta de tratamiento de residuos peligrosos deberá encontrarse en el área rural del municipio de Dosquebradas.

No coincide la ubicación propuesta por el plan de ordenamiento territorial y el localizado en este trabajo de grado, cabe resaltar que tomamos en cuenta todas las corrientes de residuos peligrosos que genera el municipio por tal motivo se restringe su ubicación en suelo rural y el plan de ordenamiento territorial solo toma en cuenta los residuos peligrosos biológicos, que según lo dictaminado por la CARDER solo se puede ubicar en suelo urbano o rural si su almacenamiento colectivo es Sin Transformación de Residuos o Desechos Peligrosos (RESPEL) de riesgo

Biológico o Infeccioso y de riesgo químico o no biológico. y los ubica en la microcuenca los molinos.

Identificamos disvariedad entre la posible ubicación de una planta de tratamiento de residuos biológicos en zona industrial con respecto a la microcuenca donde la ubican, ya que en esta el único uso del suelo industrial se encuentra dentro de la urbe, y las limitantes ambientales no permiten que este a menos de 100 metros de centros poblados y/o uso del suelo residencial.

También es importante aclarar que la cantidad y calidad de variables empleadas en el modelo, es directamente proporcional a la confiabilidad de los resultados. Es decir, que para lograr obtener diferentes áreas con características adecuadas y poder determinar entre varios sitios de localización para RESPEL, es necesario lograr recolectar más información que permita considerar el mayor número de criterios o factores que aporten desde diferentes puntos de vista y facilite un análisis espacial más exhaustivo. Todo lo anterior, direccionado a la identificación de áreas potencialmente aptas para la infraestructura requerida.

El uso de herramientas SIG permite dar soluciones a la planeación del territorio, y es efectivo frente a las dificultades que se enfrentan los municipios al tener que identificar áreas en el territorio que cumpla con las restricciones que impone la ley, de igual manera sirve como blindaje o soporte para determinar si técnicamente los municipios, con las características propias de cada territorio, no cuentan con áreas aptas para la disposición de planta de tratamientos de residuos peligrosos.

12. REFERENCIAS

Alcaldía de Dosquebradas. (2020). POT Dosquebradas. Obtenido de

<https://pot.dosquebradas.gov.co/dimension2.php>

Alcaldía de Dosquebradas. (2017). por medio del cual se declararon 32 humedales de importancia ambiental y zonas de conservación ecológica y paisajística en la localidad.

Consultado en: <https://www.dosquebradas.gov.co/web/index.php/180-secretarias/agropecuario-y-ambiental/noticias/2018/2525-alcaldia-de-dosquebradas-trabaja-en-la-actualizacion-de-humedales-de-la-ciudad>

Alcaldía Mayor de Bogota. 2018. Plan de Gestión Integral de Residuos Peligrosos y Especiales- PGIRP. Encontrado en:

https://idpc.gov.co/wp-content/uploads/2018/11/120182300080653_00002.pdf

Badilla E, W. R. (15 de noviembre de 2007). Obtenido de:

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/4213/4037>

Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., & Palm Rojas, F. (2006). Un modelo de para localizar instalaciones no deseables: ventajas derivadas de la integración de modelos de localización- asignación y SIG. Obtenido de Cuadernos Geográficos- Universidad de Granada: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17103904>

Camarco, G. (Septiembre de 2008). Obtenido de

<http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/106/33354455.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Corporación Autónoma Regional del Risaralda. (29 de diciembre de 2017). CARDER. Obtenido de <https://www.carder.gov.co/download/determinantes-ambientales/>

Díaz, J. M. (2015). Una propuesta de localización óptima para un nuevo sitio de disposición final de residuos sólidos no peligrosos para Bogotá, D.C. *Perspectiva Geográfica*, 20(1), 155-174. doi:ISSN: 0123-3769

Dolui, S., & Sarkar, S. (2021). Identifying potential landfill sites using multicriteria evaluation modeling and GIS techniques for Kharagpur city of West Bengal, India. (E. B.V., Ed.) Elsevier, *Science Direct* (5), 24. doi:doi.org/10.1016/j.envc.2021.100243

Función Pública. Gestor Normativo.

https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/consulta_avanzada.php

Esri. (2022). ArcGIS Pro. Obtenido de ArcGIS Pro: <http://bit.ly/3OnwYYP>

Galeano Martínez, P. A., & Hurtado Sarria, S. C. (2017). PROPUESTA DE UN MODELO DE LOCALIZACIÓN PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS EN EL VALLE DEL CAUCA. Obtenido de Universidad del Valle: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/13832>

Grajales-Quintero, A., Serrano-Moya, E. D., & Hahn Von-H, C. M. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Luna Azul*, (36), 285-306.

Guerrero G. C (2007). Un Modelo Multicriterio De Localización De Centros No Deseados Con Pesos. Publicaciones Consejo Económico y Social de Andalucía. Colección premio de investigación.

Herrera Becerra, N. M. (2014). Identificación de áreas potenciales para el manejo de residuos o desechos peligrosos en el departamento de Cundinamarca. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52040>

Issa, S. M., & Shehhi, B. A. (2012). A GIS-BASED MULTI-CRITERIA EVALUATION SYSTEM FOR SELECTION OF LANDFILL SITES: a case study from Abu Dhabi, United Arab Emirates. (F. o. Geology Department, Ed.) *Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 7.

MAVDT. (2005). Decreto 838. Bogotá.

MAVDT (2005). Decreto 4741. Bogotá.

Martinez, J. (2005). Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos, Fundamentos Tomo I. Centro Coordinador del Convenio Basilea para America Latina y El Caribe.

Mejía, C. A., Castañeda, F. A., & Varela, P. A. (2012). A methodology for landfill location using geographic information systems: a Colombian regional case. *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 32 (1), 7.

Tavares, G., Zdena, Z., & Viriato, S. (2011). Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste. *Elservier*, 13.

PNUMA. Convenio de Basilea. Sobre el control de los movimientos Transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Protocolo sobre responsabilidad e indemnización Por daños resultantes de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación. Consultado en:

<http://www.basel.int/portals/4/basel%20convention/docs/text/baselconventiontext-s.pdf>

POT 2022-2032 COMPONENTE GENERAL

Rodriguez Villeneuve, J. A. (2013). Determinación y evaluación de sitios para la disposición

final de residuos sólidos municipales en la reserva de la biósfera El Vizcaino, B. C. S. 17

Obtenido de Red de Repositorios Latinoamericanos:

<http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/biblioproxy.umanizales.edu.co/handle/2250/>

[2 2576Based Multi](#)

Sepúlveda, Granda J.A. (2022) Construcción de un modelo para la selección de sitios para la disposición final de residuos sólidos usando la herramienta model builder de ArcGIS a partir de la normatividad vigente y (MCDA), caso de estudio Municipio de Támesis.

Consultado en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/>

Simsek, K., & Alp, S. (2022). Evaluation of Landfill Site Selection by Combining Fuzzy Tools in GIS Ed.) Criteria Decision Analysis: A Case Study in Diyarbakır, Turkey.

Sustainability, 14 , 21. doi:h ttps://doi.org/10.3390/su14169810 (MDPI,

Sumathi, V. R., Natesan, U., & Sarkar, C. (2008). GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. Waste Management, 28(11), 2146–2160.

<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2007.09.032>

Velasco Herrera, J. A., Vázquez Montoya, I. d., Nájera Aguilar, H. A., Aguilar Gómez, L., & Mendoza Escobar, S. A. (2013). Los sig aplicados a la localización de zonas potenciales para la disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Universidad de ciencias y artes de Chapas: <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/1878?locale>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. (5ª ed.) McGrawHill.

Zafra, C., Mendoza, F., & Montoya, P. (2012). Metodología para la localización de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica. Un caso regional colombiano. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal - Redalyc , 64- 70.

13. ANEXOS

Salidas Cartográficas

- ATR VS USO INDUSTRIAL.pdf
- ATR ORTOFOTOMAPA.pdf
- ATR MICROCUENCA.pdf
- LOCALIZACION AREA PLANTA DE TRATAMIENTO RESPEL.pdf

Carta aval trabajo de grado - jefe POT del municipio de Dosquebradas