

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN MULTICRITERIO MEDIANTE SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE  
IMPACTOS AMBIENTALES DIRECTOS DE PROYECTOS DE  
SANEAMIENTO RURAL”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**QUISPE VILLANUEVA, JAVIER VICENTE**

**Villa El Salvador**

**2017**

## **DEDICATORIA**

A mi madre, por apoyarme todos los días en estos 5 años de vida universitaria y que hasta ahora lo sigue haciendo.

A mi padre, quien con sus consejos supo guiarme para conseguir el éxito profesional.

A mis compañeros de la universidad, con quienes compartí clases en la universidad y aprendí mucho de ellos.

A mis profesores, por compartirme sus conocimientos y experiencias que contribuyeron a mi desarrollo profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi madre, por su amor y apoyo incondicional en todo momento,  
especialmente en los peores.

Agradezco a mi padre, porque me inculcó los valores y principios para ser un  
hombre de bien.

Agradezco a mi asesor de este trabajo de investigación, porque me brindo  
sugerencias y pautas para el desarrollo del mismo.

## INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
INDICE .....	iv
LISTADO DE FIGURAS.....	v
LISTADO DE TABLAS .....	vi
INTRODUCCION .....	1
CAPITULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	2
1.2. Justificación del Proyecto.....	4
1.3. Delimitación del Proyecto.....	5
1.3.1. Espacial.....	5
1.3.2. Temporal .....	5
1.4. Formulación del Problema .....	5
1.5. Objetivos .....	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos .....	6
CAPITULO 2: MARCO TEORICO .....	7
2.1. Antecedentes de la Investigación .....	7
2.1.1. Antecedentes Nacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes Internacionales .....	9
2.2. Bases Teóricas .....	12
2.2.1. Proyectos de Inversión Pública de Saneamiento Rural.....	12
2.2.2. Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos de Saneamiento Rural.....	18
2.2.3. Evaluación Multicriterio mediante Sistemas de Información Geográfica.....	29
2.3. Marco Conceptual.....	37
CAPITULO 3: DISEÑO DEL MODELO.....	39
3.1. Análisis del Modelo .....	39
3.1.1. Alcance del problema de decisión.....	39
3.1.2. Definición de Elementos del Modelo de EMC .....	40
3.1.3. Aplicación de la combinación lineal ponderada.....	44
3.2. Diseño del Modelo .....	46
3.2.1. Recolección de datos del proyecto de saneamiento rural .....	46
3.2.2. Representación del modelo de EMC-SIG.....	51

3.2.3. Identificación de los Impactos Ambientales Directos.....	57
3.3. Revisión y Consolidación de Resultados .....	59
3.3.1. Impactos ambientales directos por cada factor ambiental.....	59
3.3.2. Jerarquía de los impactos ambientales directos.....	68
CONCLUSIONES .....	75
RECOMENDACIONES .....	76
BIBLIOGRAFÍA .....	77
ANEXOS .....	79

### **LISTADO DE FIGURAS**

- Figura 1. Mapa de impacto ambiental directo en áreas naturales protegidas
- Figura 2. Mapa de impacto ambiental directo en zonas arqueológicas
- Figura 3. Mapa de impacto ambiental directo en poblaciones cercanas
- Figura 4. Mapa de impacto ambiental directo en áreas agrícolas
- Figura 5. Mapa de impacto ambiental directo en vías existentes
- Figura 6. Mapa de impacto ambiental directo en recursos hídricos
- Figura 7. Mapa de impacto ambiental directo en cobertura vegetal
- Figura 8. Mapa de niveles de impacto ambiental directo (parte A)
- Figura 9. Mapa de niveles de impacto ambiental directo (parte B)
- Figura 10. Mapa de niveles de impacto ambiental directo (parte C)
- Figura 11. Mapa de niveles de impacto ambiental directo (parte D)
- Figura 12. Mapa de niveles de impacto ambiental directo (parte E)

## LISTADO DE TABLAS

- Tabla 1. Contenido del expediente tecnico para proyectos de saneamiento
- Tabla 2. Componentes comunes de agua potable en ambito rural
- Tabla 3. Componentes comunes de saneamiento en ambito rural
- Tabla 4. Componentes auxiliares en proyectos de saneamiento rural
- Tabla 5. Criterios empleados para incluir proyectos de saneamiento en el SEIA
- Tabla 6. Proyectos de saneamiento no comprendidos en el SEIA
- Tabla 7. Factores ambientales para DIA de un proyecto de saneamiento rural
- Tabla 8. Factores ambientales para FTA de un proyecto de saneamiento rural
- Tabla 09. Matriz de decisión
- Tabla 10. Grupos de interés en la identificación de impactos ambientales
- Tabla 11. Factores ambientales considerados como criterios del modelo de EMC
- Tabla 12. Componentes de las alternativas de decisión del modelo de EMC
- Tabla 13. Valores de la variable de decisión por cada criterio de decisión
- Tabla 14. Componentes del sistema de agua potable de proyecto especifico
- Tabla 15. Componentes del sistema de agua potable de proyecto especifico
- Tabla 16. Componentes auxiliares de proyecto especifico
- Tabla 17. Contenido de capas vectoriales que representan el proyecto especifico
- Tabla 18. Distancias consideradas para el área de influencia directa del proyecto
- Tabla 19. Datos espaciales de los factores ambientales del entorno del proyecto
- Tabla 20. Distancias para delimitar áreas de vías existentes y recursos hídricos
- Tabla 21. Matriz de decisión del modelo EMC-SIG especifico
- Tabla 22. Criterio para determinar el nivel de impacto ambiental directo
- Tabla 23. Área y porcentaje de área de cada nivel de impacto ambiental

## INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación lleva por título “Evaluación multicriterio mediante sistemas de información geográfica para la identificación de impactos ambientales directos de proyectos de saneamiento rural” para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, presentado por el bachiller Javier Vicente Quispe Villanueva.

Actualmente en el subsector saneamiento del Perú se desarrollan numerosos proyectos de inversión de saneamiento rural. Uno de los requisitos para poder ejecutar estos proyectos es la certificación ambiental. Sin embargo, la obtención de este requisito se ha convertido en un engorroso trámite debido a las observaciones que reciben los estudios de impacto ambiental. Una de las falencias de estos estudios es la inclusión inadecuada de la componente espacial de los proyectos en el proceso de evaluación de impacto ambiental.

En este trabajo de investigación se desarrolla un modelo que considera la componente espacial de los proyectos de saneamiento rural. Este modelo se basa en la metodología de evaluación multicriterio (EMC), el cual se construye habitualmente en aplicaciones de sistemas de información geográfica (SIG). El modelo de EMC-SIG se aplica en un proyecto particular ubicado en Ancash. Con esta investigación se contribuye a la aproximación de la identificación y jerarquización de los impactos ambientales directos, en base a la componente espacial de los proyectos de saneamiento rural y las preferencias de decisión de los profesionales involucrados.

## **CAPITULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

A finales del 2016, el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) emitió una norma que modifica el listado de proyectos sujetos al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en el subsector saneamiento. Esta norma trata de distinguir los proyectos de saneamiento de gran escala que generan impactos ambientales negativos significativos de los que no los generan.

El MINAM estableció nuevos criterios para incluir los proyectos de saneamiento en el marco del SEIA. Uno de los criterios consiste en la ubicación del proyecto en ecosistemas frágiles. Implícitamente este criterio considera la componente espacial de los impactos ambientales. Sin embargo, gran parte de los profesionales involucrados en la evaluación de impacto ambiental de estos proyectos no incluyen adecuadamente la componente espacial de los impactos, principalmente los de ámbito rural.

Esta situación se debe principalmente a la utilización de aplicaciones de diseño asistido por computadora (CAD) para caracterizar espacialmente los impactos ambientales de los proyectos. Las aplicaciones CAD se utilizan frecuentemente



para crear y diseñar elementos que no existen aún. No obstante, en el proceso de evaluación de impacto ambiental, tanto el proyecto de inversión como los factores ambientales posiblemente afectados se asumen que son realidades existentes.

Otros profesionales utilizan los sistemas de información geográfica (SIG) para caracterizar espacialmente los impactos. Los SIG permiten estudiar la realidad del entorno ambiental de los proyectos a través de la gestión y análisis de los datos espaciales de temática ambiental. Estos datos, representados como capas, almacenan las características espaciales y descriptivas de los proyectos y factores ambientales. Y la caracterización de los impactos ambientales se realizan generalmente mediante operaciones de superposición de estas capas.

En estas operaciones de superposición realizadas por los profesionales, se toman decisiones con respecto a la identificación, valoración y jerarquización de los impactos ambientales. Sin embargo, los SIG tienen una limitada capacidad para incorporar las preferencias de los tomadores de decisión, debido a que las operaciones de superposición no proporcionan suficiente apoyo analítico con respecto a los criterios de evaluación.

En definitiva, es necesario establecer procedimientos en las aplicaciones SIG para incorporar adecuadamente la componente espacial de los impactos ambientales que pueden generar los proyectos de saneamiento rural; incluyendo, a la vez, las preferencias de decisión de los profesionales involucrados en el proceso de evaluación de impacto ambiental.

## **1.2. Justificación del Proyecto**

En esta investigación se propone un modelo de evaluación multicriterio mediante sistemas de información geográfica (EMC-SIG) para identificar los impactos ambientales directos que puede generar un proyecto de saneamiento rural.

Este modelo incluye, como realidades existentes, a un proyecto de inversión de saneamiento rural y los factores ambientales que pueden ser impactados. Asimismo, se incorpora las preferencias de decisión de los profesionales involucrados en el proceso de evaluación de impacto ambiental. Entonces, estos profesionales, podrán incorporar adecuadamente la componente espacial de los impactos ambientales que pueden generar los proyectos de saneamiento rural.

En el modelo se representan como capas el proyecto de saneamiento rural y los factores ambientales posiblemente impactados, para utilizarlas en las aplicaciones SIG. A la vez, se emplea una metodología convencional de EMC para incorporar las preferencias de decisión de los profesionales que identifican los impactos ambientales directos.

Al final, este modelo permite aproximar la identificación y jerarquización de los impactos ambientales directos según la cantidad de factores ambientales posiblemente impactados en el área de influencia directa del proyecto, representando las zonas en tonalidades de color diferentes.

Para efectos demostrativos, este modelo propuesto se aplica en un proyecto de saneamiento rural real que está sujeto al SEIA.

### **1.3. Delimitación del Proyecto**

#### **1.3.1. Espacial**

Este trabajo de investigación se aplicó en un proyecto de inversión pública de saneamiento rural ubicado en las localidades de Tomapampa, Congar, Belen, Inkapupampa, Raramayocc y Llipta, distrito de Shilla, provincia de Carhuaz, departamento de Ancash y país de Perú.

#### **1.3.2. Temporal**

La realización de este trabajo de investigación comprendió el periodo:

- Inicio: 2 de enero de 2017
- Final: 30 de marzo de 2017

### **1.4. Formulación del Problema**

¿De qué manera la realización de una evaluación multicriterio mediante sistemas de información geográfica aproximará la identificación y jerarquización de los impactos ambientales directos que puede generar el proyecto de saneamiento rural denominado “Instalación del sistema de agua potable, alcantarillado y unidades básicas de saneamiento de las localidades de Tomapampa, Congar, Belén, Inkapupampa, Raramayocc y Llipta, Distrito de Shilla – Carhuaz – Ancash”?

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Realizar el análisis, diseño y aplicación de una evaluación multicriterio mediante sistemas de información geográfica para aproximar la identificación y jerarquización de los impactos ambientales directos que puede generar el proyecto de saneamiento rural denominado “Instalación del sistema de agua potable, alcantarillado y unidades básicas de saneamiento de las localidades de Tomapampa, Congar, Belen, Inkapupampa, Raramayocc y Llipta, Distrito de Shilla – Carhuaz – Ancash”.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Definir los elementos del modelo de evaluación multicriterio para la identificación de impactos ambientales directos de un proyecto de saneamiento rural.
- Diseñar un modelo de evaluación multicriterio mediante sistemas de información geográfica (EMC-SIG) para identificar impactos ambientales directos.
- Identificar y jerarquizar espacialmente los impactos ambientales directos que puede generar el proyecto de saneamiento rural denominado “Instalación del sistema de agua potable, alcantarillado y unidades básicas de saneamiento de las localidades de Tomapampa, Congar, Belen, Inkapupampa, Raramayocc y Llipta, Distrito de Shilla – Carhuaz – Ancash”.

## **CAPITULO 2: MARCO TEORICO**

### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

En este apartado se describen algunas investigaciones en las cuales se empleó metodologías basadas en la evaluación multicriterio (EMC) y los sistemas de información geográfica (SIG).

#### **2.1.1. Antecedentes Nacionales**

En el estudio desarrollado por Fernández Flores (2007) llamado “Aplicación de los sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio para determinar la capacidad de acogida del Callejón de Conchucos para el uso agrícola”, tuvo como objetivo elaborar un modelo de Capacidad de Acogida que determine las zonas aptas para el desarrollo de la actividad agrícola. Durante el desarrollo de su metodología, se evaluó un conjunto de criterios, denominados factores y limitantes, luego se seleccionó los criterios, posteriormente se realizó una ponderación a los factores y una valoración a las clases que compone cada factor mediante la técnica de EMC Método de Jerarquías Analíticas (AHP del inglés Analytic Hierarchy Process); seguidamente, se ingresaron los resultados de cada criterio al SIG. En el SIG se realizó el geoprocesamiento de la información y se aplicó las técnicas EMC de Sumatoria Lineal Ponderada (SLP)

y Distancia al Punto Ideal (DPI), derivando por ello dos modelos a comparar. La selección del modelo final se realizó comparando cada uno de ellos con el uso actual (Marco de Área de la Encuesta Nacional de Producción y Ventas – ENAPROVE), siendo seleccionado el modelo realizado por la técnica EMC de DPI, debido a que la superficie calculada presenta una mayor aproximación al uso actual.

Daga López (2009) en su estudio “Determinación de áreas con aptitud para la expansión urbana con fines de ordenamiento territorial aplicando el análisis espacial multicriterio. Caso: cuenca baja del río Lurín”: desarrolló una EMC para localizar áreas que reúnan las condiciones necesarias para su habitabilidad en términos de vivienda y acceso a los servicios básicos, que a su vez se encuentren en armonía con el medio ambiente. Para ello, se evaluó los aspectos físicos, sociales y económicos del área de estudio, luego se analizó tres alternativas de expansión para priorizarlas tomando en cuenta la población beneficiada y su comunicación con el resto de la ciudad. Llegó a la conclusión de que, a partir de la EMC, se puede determinar la mejor alternativa para la expansión al sur de Lima, sin poner en riesgo las áreas agrícolas y teniendo acceso a los servicios básicos. Además, se demostró que la EMC, apoyados en los SIG, son de utilidad para definir áreas de expansión urbana y apoyar a un adecuado ordenamiento territorial de los nuevos asentamientos humanos y manejo adecuado de los recursos naturales.

Y en el estudio denominado “Sistemas de información geográfica y la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos: propuesta para la provincia de

Huánuco” (Javier Silva, 2015), se elaboró un modelo para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Huánuco. Para ello realizó un análisis mediante la EMC en un SIG. Para ello, se establecieron las características y criterios excluyentes, indicados en la Ley N°27314, Ley General de Residuos Sólidos, modificado a través del Decreto Legislativo N°1065, su reglamento, Decreto Supremo N°057-2004-PCM, que implementa criterios para la selección de áreas referentes a la disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios. El modelo elaborado permitió ser extrapolado a otros escenarios con la finalidad de dar solución a la problemática del estudio de selección de áreas adecuadas para la disposición final de los residuos sólidos conforme a la normativa legal peruana.

### **2.1.2. Antecedentes Internacionales**

En el estudio “Zonificación del territorio para aplicar labranza de conservación mecanizada utilizando el enfoque de evaluación multicriterio” (Reyna-Bowen, Reyna-Bowen, & Vera-Montengro, 2017) realizado en México, tuvo como objetivo determinar las zonas aptas para la labranza de conservación mecanizada, utilizando el método de la EMC. El trabajo consistió en la EMC, por parte de un grupo de especialistas del área previamente seleccionados, donde cuyas ponderaciones se realizaron sobre la base de la experiencia, teniendo las características físicas como factor principal en el uso del suelo, por medio de los SIG. Al realizar la EMC los diferentes niveles de aptitudes tras la combinación de distintos mapas ponderados permitió el logro del mapa de zonificación para la labranza de conservación mecanizada”. Se demostró la efectividad de la EMC para describir a la provincia de Manabí. Se determinó que el 8,68 % de superficie

total de la zona de estudio es para la labranza de conservación mecanizada en el nivel apto, cuando se utilizan cultivos de rotación.

En otro estudio llamado “Análisis de rutas óptimas para el trazado de ductos petroleros basada en evaluación multicriterio” (Ordoñez, Quentin, & Cabrera Barona, 2016) realizado en Ecuador, tuvo como objetivo encontrar una ruta óptima para enlazar la Terminal de despacho de combustibles Pascuales con el Depósito de combustibles Chaullabamba de la empresa EP PETROECUADOR. A partir del resultado de la EMC, se logró el análisis de dos escenarios, uno de conservación ambiental, y otro de enfoque constructivo geológico, en las etapas de pre factibilidad de trazado de ductos petroleros sobre el Ecuador continental. Su metodología se basó en definir trazados para la comparación de recorridos en distancia y costo no monetario entre los puntos citados. Luego del análisis de las rutas encontradas, el proyecto toma mayor énfasis en determinar aquel trazado que posea la menor distancia al menor costo, analizando capas de fricción que reflejen la dificultad de construir poliductos desde la llanura de la costa ecuatoriana, hacia los Andes del Austro del país. Se concluyó que los 20 trazados obtenidos a partir de distintas técnicas de EMC permitieron discernir entre costos y distancias la factibilidad de construcción, siendo el ducto AF2 el mejor trazado para compensar criterios geológicos, ambientales y sociales con una longitud de 173.48 kilómetros y 0.15719 costo por esfuerzo de traslado entre dos puntos, utilizando el Método de Jerarquías Analíticas – MJA.

En el estudio llamado “Evaluación multicriterio de la vulnerabilidad biofísica ante inundaciones en la subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez” (Chávez-Cortés,



Binnqüist-Cervantes, & Salas-Flores, 2016) realizado también en México, tuvo como objetivo evaluar y zonificar la susceptibilidad a inundaciones de la subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez, a partir del índice de vulnerabilidad biofísica (IVBF) construido con criterios ponderados con el Proceso Jerárquico Análítico (PJA) e implementados en una plataforma de SIG. Los resultados muestran que la vulnerabilidad clasificada como alta, ocupa 38.39 % de la superficie de la cuenca. Las áreas más vulnerables son los Valles Etna, Tlacolula, Zimatlán, Ocotlán, Ejutla, Miahuatlán y la zona conurbada de la Ciudad de Oaxaca, condición que está determinada por factores fisiográficos como cercanía con cuerpos de agua, coberturas del suelo, tipos de suelo y geología. Los municipios más vulnerables son Santa Cruz Papalutla, Santa Inés Yatzeche, San Raymundo Jalpan, Asunción Ocotlán, San Antonio Castillo Velasco, Ciénega de Zimatlán y San Jacinto Amilpas. Se concluyó que la regionalización de la vulnerabilidad biofísica ante inundaciones es una aproximación efectiva para el ordenamiento del territorio, los programas de crecimiento urbano, los atlas de riesgo y la definición de políticas de gestión ambiental”.

## **2.2. Bases Teóricas**

Las temáticas que abarca el problema de investigación son el saneamiento rural y la evaluación de impacto ambiental. Y los aspectos metodológicos de esta investigación se basan en los sistemas de información geográfica (SIG) y la evaluación multicriterio (EMC). En este apartado se describen estas temáticas que proporcionan el sustento a la metodología a aplicar.

### **2.2.1. Proyectos de Inversión Pública de Saneamiento Rural**

Los proyectos de saneamiento rural se sujetan a las fases de ciclo del proyecto del sistema nacional de inversión pública – SNIP (Ley N° 27293, 2007):

- Preinversión: sustento socio-económico de la viabilidad del
- Inversión: sustento técnico del proyecto para solicitar su financiamiento. También se procede con la ejecución del proyecto.
- Postinversión: se realizan los procesos de control y la evaluación ex post.

En la fase de preinversión se elaboran el perfil y estudio de factibilidad para sustentar la viabilidad del proyecto. Estos estudios permiten determinar la alternativa de solución más rentable y sostenible para cubrir la demanda del servicio de saneamiento.

#### **2.2.1.1. Expediente técnico del proyecto**

En la fase de inversión se elabora el expediente técnico o estudio definitivo. Este expediente contiene los estudios de ingeniería del proyecto, los cuales describen de forma detallada la alternativa de solución seleccionada en la fase anterior. En la tabla 1 se describe el expediente técnico de un proyecto de saneamiento.

Tabla 1

Contenido del expediente tecnico para proyectos de saneamiento

Documento	Descripción del contenido
Índice numerado	Se indica el orden de presentación de los demás documentos
Memoria descriptiva	Características generales del proyecto y resumen de los otros documentos del expediente
Memoria de calculo	Detalle de los parámetros de diseño y su aplicación en los cálculos por cada componente del proyecto
Planilla de metrados	Cuantificación de la cantidad de obra a ejecutar en el proyecto
Presupuesto de obra	Calculo de los costos que demanda el proyecto según la planilla de metrados
Análisis de precios unitarios	Calculo de los costos unitarios que demanda cada partida de la planilla de metrados
Relación de insumos	Detalle de la cantidad total de mano de obra, maquinaria, equipos, herramientas y materiales a utilizar en obra
Cotización de materiales	Cotizaciones de los insumos requeridos con diferentes proveedores
Fórmula polinómica	Calculo de las fórmulas matemáticas que representan la estructura de costos del presupuesto
Cronogramas	Programación de la ejecución del proyecto para el controlar el avance de la obra
Especificaciones técnicas del proyecto	Se presentan las reglas que definen las prestaciones específicas del contrato de obra por cada partida de la planilla de metrados
Planos	Se muestra el diseño de los componentes físicos de la obra mediante representaciones graficas
Estudios básicos	Se realizan estudios de topografía, mecánica de suelos, fuentes de agua, gestión de riesgo de desastre y otros.
Anexos	Se adjuntan documentos que sustentan la viabilidad del proyecto como autorizaciones, actas, certificados, etc.

Fuente: Guia de orientacion para elaboracion de expedientes tecnicos de proyectos de saneamiento, 2016

### 2.2.1.2. Componentes del sistema de agua potable

El sistema de agua potable se compone de estructuras y tuberías que permiten la captación, conducción, almacenamiento y distribución del agua potable a los habitantes de una determinada población. Los componentes (tabla 2) de este sistema se seleccionan de acuerdo a ciertos parámetros (R.M. N° 173-2016-VIVIENDA, 2016). Los parámetros geosociales son el ámbito geográfico y el grado de dispersión de la población. Mientras que los parámetros de fuente de abastecimiento considera la calidad del agua, dotación y el tipo de fuente.

Tabla 2

Componentes comunes de agua potable en ámbito rural

Grupo de componentes	Componente de agua potable
Captación y conducción	Captación de manantial Captación lateral Balsa cautiva Pozo tubular Línea de conducción
Planta de tratamiento de agua potable (PTAP)	Desarenador Sedimentador Prefiltro Filtro lento
Almacenamiento y distribución	Reservorio Tanque elevado Línea de aducción Red de distribución Conexiones domiciliarias

Fuente: Resolución Ministerial N° 173-2016-VIVIENDA

Los sistemas de agua potable se clasifican básicamente en sistemas convencionales y no convencionales (R.M. N° 173-2016-VIVIENDA, 2016). Un sistema convencional atiende a una gran cantidad de familias agrupadas en localidades o ciudades. Al contrario, un sistema no convencional se implementa

para atender a pocas familias agrupadas en grandes extensiones de territorio. En el ámbito rural, en general, predominan los sistemas convencionales. En la región andina abundan los sistemas por gravedad sin tratamiento. Y en la región amazónica y costeña se desarrollan primordialmente los sistemas por gravedad con tratamiento y los sistemas por bombeo con tratamiento.

El tipo de fuente de abastecimiento más común es el manantial que se localiza mayoritariamente en la región andina. En la región amazónica y costeña no existen muchos manantiales, por lo que se utilizan como fuentes las quebradas, ríos y agua subterránea.

#### **2.2.1.3. Componentes del sistema de saneamiento**

El sistema de saneamiento o alcantarillado se compone de estructuras y tuberías que permiten la recolección, tratamiento y disposición final del agua residual que genera la población. La selección de los componentes (tabla 3) de este sistema se basa en los parámetros de permeabilidad e inundabilidad del terreno, y la dispersión de la población (R.M. N° 173-2016-VIVIENDA, 2016).

Los sistemas de saneamiento se dividen en sistemas individuales y sistemas colectivos (R.M. N° 184-2012-VIVIENDA, 2012). Para el ámbito rural, en los sistemas individuales resaltan las unidades básicas de saneamiento (UBS), mientras que en los sistemas colectivos predominan los sistemas de alcantarillado convencional. Las UBS se aplican en casos cuando la población rural se encuentra muy dispersa, al contrario de los sistemas de alcantarillado, que se implementan en poblaciones más aglomeradas.

Tabla 3

Componentes comunes de saneamiento en ambito rural

Grupo de componentes	Componente de saneamiento
Alcantarillado sanitario	Conexiones domiciliarias Red colectora Línea emisora Buzones Cámara de rejillas
Planta de tratamiento de agua residual (PTAR) y disposición final	Desarenador Sedimentador Tanque séptico Tanque Imhoff Laguna Lecho de secado Filtro biológico Cámara de contacto Línea de descarga
Unidades básicas de saneamiento (UBS)	Caseta o baño Biodigestor Cámara compostera Pozo percolador Zanja de infiltración

Fuente: Resolución Ministerial N° 173-2016-VIVIENDA

Las UBS de mayor preferencia en el ámbito rural son las UBS con arrastre hidráulico. Estos componentes se basan en estructuras simples como los biodigestores o tanques sépticos. También poseen un sistema de infiltración en los cuales predominan los pozos percoladores.

En los sistemas de alcantarillado se instalan plantas de tratamiento de aguas residuales para mejorar la calidad de un mayor volumen de aguas residuales. En el ámbito rural, la PTAR comprenden las etapas de pretratamiento, tratamiento primario y secundario. Los componentes más comunes en el ámbito rural son la cámara de rejillas, el tanque séptico, el tanque Imhoff y las lagunas.

#### 2.2.1.4. Componentes auxiliares

Los componentes auxiliares se establecen durante la etapa de construcción y se desinstalan en la sub etapa de cierre de obras. Estos componentes se dividen en componentes provisionales y componentes permanentes según la tabla 4.

Tabla 4

Componentes auxiliares en proyectos de saneamiento rural

Grupo de componentes	Componente auxiliar
Componentes provisionales	Campamento Patio de maquinas Almacén
Componentes permanentes	Cantera Depósito de material excedente

Fuente: Elaboracion propia

Los componentes provisionales permiten el almacenamiento y protección de la maquinaria, equipos, herramientas y materiales que se utilizan en las obras. También se utilizan como hospedaje para el personal de obra, especialmente los campamentos. Por otro lado, los componentes permanentes proporcionan materiales de construcción y también áreas para la disposición final de las sobras de estos materiales.

Generalmente los proyectos de saneamiento rural de mayor envergadura requieren estos componentes auxiliares. Sin embargo, la principal limitante de la instalación de estos componentes, se da en los proyectos que se encuentren localizados en zonas rurales muy aisladas y de difícil acceso.

## **2.2.2. Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos de Saneamiento Rural**

Según el Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, toda persona natural o jurídica que pretenda desarrollar un proyecto de inversión susceptible de generar impactos ambientales negativos significativos debe gestionar una certificación ambiental ante la autoridad competente que corresponda. Para obtener esta certificación, cada proyecto requiere la aprobación de un instrumento de gestión que fundamente su viabilidad ambiental.

### **2.2.2.1. Proyectos de saneamiento rural incluidos y excluidos del SEIA**

Según el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), los instrumentos de gestión ambiental o estudios ambientales de proyectos de inversión, se categorizan como (Ley N° 27446, 2001):

- Categoría I: Declaración de Impacto Ambiental (DIA)
- Categoría II: Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd)
- Categoría III: Estudio de Impacto Ambiental Detallado (EIA-d)

A finales del 2016, el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) emitió una norma que modifica el listado de proyectos sujetos al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en el subsector saneamiento. Los proyectos que incluye esta norma en el SEIA se detalla en la tabla 5.



Tabla 5

Criterios empleados para incluir proyectos de saneamiento en el SEIA

Proyectos sujetos al SEIA	Criterio empleado
Represamiento de agua para potabilización.	Características técnicas del proyecto
Proyectos integrales de agua y saneamiento para poblaciones mayores a 15000 habitantes	Cantidad de habitantes de la población beneficiada
Proyectos Integrales de Agua y Saneamiento o la ejecución parcial de cualquiera de sus componentes que se ubiquen en Áreas Naturales Protegidas o Zonas de Amortiguamiento, así como zonas donde se haya comprobado la presencia de restos arqueológicos.	Ubicación del proyecto en ecosistemas frágiles
Sistemas de tratamiento y disposición final de aguas residuales domesticas o municipales para poblaciones mayores a 15000 habitantes	Cantidad de habitantes de la población beneficiada

Fuente: Resolución Ministerial N° 383-2016-MINAM

Esta norma trata de distinguir los proyectos de saneamiento de gran escala que generan impactos ambientales negativos significativos de los que no los generan (R.M. N° 383-2016-MINAM, 2016). En el marco del SEIA, los proyectos que no generan impactos significativos les corresponde los instrumentos de gestión ambiental complementarios.

A comienzos del año 2017, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento emitió una norma que aprueba la Ficha Técnica Ambiental (FTA) para los proyectos de saneamiento que no están comprendidos en el SEIA. Estos proyectos se detallan en la tabla 6.

Tabla 6

Proyectos de saneamiento no comprendidos en el SEIA

Tipo de proyecto	Descripción
Proyectos integrales de agua y saneamiento para poblaciones menores a 15000 habitantes	<p>Sistema integrado que debe contener los siguientes componentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Captación y conducción</li> <li>- Planta de tratamiento de agua potable</li> <li>- Almacenamiento y redes de distribución</li> <li>- Redes de alcantarillado</li> <li>- Sistema de tratamiento y disposición de aguas residuales tratadas</li> <li>- Bombas de agua potable y reservorios, drenaje pluvial, bombas de agua residual y unidades básicas de saneamiento</li> </ul>
Sistemas de tratamiento y disposición final de aguas residuales tratadas para poblaciones mayores a 15000 habitantes	<p>Procesos de mejora de la calidad del agua residual proveniente de las redes de alcantarillado mediante procesos físicos, químicos, biológicos u otros, y los componentes necesarios para la disposición final o reúso</p>
Construcción de un componente o componentes de manera aislada	<p>Construcción de uno o varios de los siguientes componentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Captación y conducción</li> <li>- Planta de tratamiento de agua potable</li> <li>- Almacenamiento y redes de distribución</li> <li>- Redes de alcantarillado</li> <li>- Sistema de tratamiento y disposición de aguas residuales tratadas</li> <li>- Bombas de agua potable y reservorios, u otros</li> </ul>
Drenaje pluvial	<p>Comprende la recolección, transporte y evacuación a un cuerpo receptor de las aguas pluviales que se precipitan sobre un área urbana.</p>

Fuente: Resolución Ministerial N° 036-2017-VIVIENDA

Según la norma de FTA, el llenado de información de este formulario se realiza de forma virtual a través del portal electrónico del MVCS. Además, que la FTA lo debe desarrollar un profesional colegiado y habilitado de la especialidad de ingeniería civil, sanitaria ambiental o afín (R.M. N° 036-2017-VIVIENDA, 2017).

La mayoría de los proyectos de saneamiento rural se categorizan generalmente como DIA y FTA. Estos estudios ambientales se estructuran básicamente en:

- Descripción del proyecto
- Línea base
- Plan de participación ciudadana,
- Caracterización de los impactos ambientales
- Estrategia de manejo ambiental

#### **2.2.2.2. Factores ambientales de línea base**

La línea base comprende todos los atributos y características socio ambientales que se consideran en el área de emplazamiento de un proyecto. Estas características se definen de acuerdo al nivel de detalle del instrumento de gestión ambiental.

Según Conesa (2010), para describir el entorno del proyecto se requiere delimitar geográficamente el ámbito afectado y establecer el área de influencia, definir el estado preoperacional del medio receptor, inventariar todos los factores ambientales posiblemente afectados por la ejecución del proyecto y determinar la aptitud del entorno de soportar las actividades que se realizarán durante el desarrollo del proyecto.

Para determinar los atributos socio ambientales relacionados a un proyecto de inversión, es necesario realizar la delimitación del área de influencia. En el caso de la DIA de proyectos de saneamiento se considera los siguientes criterios (Dirección general de asuntos ambientales – MVCS, 2016):

- Los componentes del proyecto
- Características topográficas
- Características locales
- Caminos y vías de acceso existentes
- Poblaciones cercanas y colindantes
- Cuerpos de agua cercanos

Además, si el proyecto se ubica en ecosistemas frágiles como las áreas naturales protegidas y restos arqueológicos, se considera como criterios (Dirección general de asuntos ambientales – MVCS, 2016):

- Zonas de Amortiguamiento (ZA)
- Áreas Naturales Protegidas (ANP)
- Áreas de Conservación Regional (ACR)
- Áreas de Conservación Privada (ACP)
- Zonas arqueológicas y zonas de interés monumental

La línea base de cualquier proyecto de saneamiento considera diversos factores ambientales. La información de estos factores se obtiene generalmente de fuentes secundarias. Los factores que normalmente se exige para DIA y FTA se detallan en las tablas 7 y 8, respectivamente.

Tabla 7

Factores ambientales para DIA de un proyecto de saneamiento rural

Medio	Componente ambiental	Factor ambiental
Medio físico	Aire	Temperatura Precipitación Dirección y velocidad del viento Calidad del aire
	Agua	Cantidad de agua Calidad de agua Uso de agua Actividades que afectan el agua
	Suelo	Características físicas del suelo Clasificación del suelo Uso actual del suelo Geología Geomorfología
Medio biológico	Flora	Especies de flora Especies amenazadas
	Fauna	Especies de fauna Especies amenazadas
Medio socio-económico	Aspectos sociales	Población Servicios básicos Infraestructura básica Conflictos sociales Índices demográficos Índices sociales
	Aspectos económicos	Actividades productivas Índices económicos Índices de ocupación laboral
	Aspectos culturales	Zonas arqueológicas Áreas históricas y/o científicas Áreas naturales protegidas
	Aspectos paisajísticos	Paisajes naturales Paisajes urbanos

Fuente: Contenidos mínimos a presentar para proyecto de categoría I – DIA en la especialidad de saneamiento, 2016

Tabla 8

Factores ambientales para FTA de un proyecto de saneamiento rural

Medio	Componente o factor ambiental
Medio físico	Aire Agua
Medio biológico	Flora Fauna
Medio socio-económico	Aspectos sociales Aspectos económicos Paisaje

Fuente: Resolución Ministerial N° 036-2017-VIVIENDA

Para proyectos que le corresponde la FTA, la información exigida para la línea base solo se limita a los factores ambientales más comunes. Mediante el aplicativo virtual se realiza una breve descripción por cada factor ambiental considerado, y se consigna una apreciación respecto al estado en el que se encuentra cada factor ambiental (R.M. N° 036-2017-VIVIENDA, 2017). Esta última exigencia no la solicitan en la DIA de estos mismos proyectos.

En ambos instrumentos de gestión ambiental solicitan planos y mapas temáticos para comprender gráficamente algunos aspectos del proyecto y sus impactos ambientales. Los principales mapas, exigidos por ambos, son:

- Mapa de ubicación
- Mapa de áreas de influencia
- Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo ambiental

Los otros mapas temáticos son opcionales, y están relacionados a detallar algún componente del proyecto o representar como el proyecto de saneamiento se superpone a algún factor ambiental considerado en la línea base.

### **2.2.2.3. Caracterización de los impactos ambientales**

El apartado clave de los estudios de impacto ambiental es la caracterización de los impactos ambientales, el cual consiste en identificar, describir, evaluar, valorar y jerarquizar los impactos ambientales que puede generar un proyecto de inversión (Conesa, 2010). Existen diversas metodologías para evaluar los impactos ambientales.

Estas metodologías permiten analizar, por una parte, los factores ambientales y, por otra, las acciones humanas de forma que, observando las interacciones entre ambos, nos brinden información sobre el comportamiento de todo el sistema. Las metodologías más usuales, según Conesa (2010), se clasifican en los siguientes grupos:

- Matrices causa-efecto
- Listas de chequeo
- Sistemas de interacciones o redes
- Sistemas cartográficos
- Análisis de sistemas hombre-ambiente
- Métodos basados en indicadores, índices e integración de la evaluación
- Métodos cuantitativos
- Métodos de simulación
- Métodos "ad hoc"

De estos grupos metodológicos, destacan los sistemas cartográficos, los cuales permiten identificar la componente espacial de cualquier proyecto de inversión y evaluar sus impactos ambientales mediante el uso de mapas (Conesa, 2010).

El método más práctico de este grupo es la superposición de transparencias, el cual es idóneo para estudios ambientales de proyectos con pocas complicaciones ambientales. Este método consiste en elaborar mapas de cada factor ambiental posiblemente afectado, para posteriormente superponerlos y así señalar el nivel de los impactos ambientales con colores diferenciados u otro modo de representación (Conesa, 2010).

Actualmente, este método se apoya en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten procesar y superponer fácilmente el proyecto y los factores ambientales involucrados, ya que los datos de estos se encuentran almacenados como archivos informáticos.

Por otro lado, los métodos más utilizados en proyectos de saneamiento son: matrices causa-efecto, diagramas de flujo ambiental y diagrama de redes (Dirección general de asuntos ambientales – MVCS, 2016). En los cuales, los aspectos considerados como más susceptibles de ser impactados son la salud de las personas y el ambiente.

El especialista que elabora el instrumento de gestión ambiental, ya sea DIA o FTA, debe realizar la descripción de los impactos ambientales y el medio al que afecta durante las etapas de:

- Planificación
- Construcción o ejecución de obra
- Operación y mantenimiento



Dentro de la etapa de construcción, se considera la sub etapa de cierre de obras, en la cual se desarrollan actividades para dejar el área del proyecto en condiciones similares antes de las obras. Y en la fase final de la etapa de operación y mantenimiento, llamada también sub etapa de cierre o abandono del proyecto, se realizan actividades para devolver a un estado ambiental aceptable el entorno del proyecto, al cumplir su vida útil.

En el aplicativo virtual de FTA, los impactos ambientales se agregan de acuerdo al llenado de estos campos por cada uno (R.M. N° 036-2017-VIVIENDA, 2017):

- Etapa del proyecto
- Denominación del impacto
- Medio al que afecta

Posteriormente se genera una tabla de impactos ambientales con la información ingresada, teniendo como columnas los campos mencionados. Esta información permite la identificación de los impactos ambientales de los proyectos de saneamiento y el acopio de información para la predicción de los impactos a través de métodos de valoración cualitativa, lo cual conlleva establecer las medidas de prevención y control (R.M. N° 036-2017-VIVIENDA, 2017). Estas medidas se establecen para el manejo adecuado de:

- Residuos solidos
- Aguas
- Efluentes
- Otros que pudieran corresponder

En la DIA se describen a detalle los potenciales impactos ambientales negativos. Los impactos se derivan de la ejecución de todas las etapas del proyecto. Se consideran principalmente los impactos que afecten la salud de las personas y al ambiente.

Las herramientas estructuradas que se utilizan para caracterizar los impactos ambientales en DIA (Dirección general de asuntos ambientales – MVCS, 2016):

- Listas de chequeo o control
- Matrices de causa-efecto
- Diagramas de flujo ambiental
- Diagramas de redes

De estas herramientas, para los proyectos de saneamiento rural, se utilizan mayormente los diagramas de flujo ambiental y las matrices de causa-efecto. El diagrama de flujo ambiental describe las entradas (inputs) o insumos que requieren cada actividad del proyecto y las salidas (outputs) que generan que pueden afectar negativamente los factores ambientales del entorno del proyecto.

La matriz de causa-efecto describe cualitativamente las actividades que pueden generar impactos ambientales. Primero se definen las actividades que se realizarán en el proyecto. Luego se identifican los factores ambientales susceptible de ser afectados por el proyecto. Luego se realiza una evaluación exhaustiva para identificar las relaciones más relevantes de actividad-factor ambiental que pudiera darse y finalmente se clasifican y valoran los impactos.

### **2.2.3. Evaluación Multicriterio mediante Sistemas de Información**

#### **Geográfica**

Los fenómenos que se manifiestan en el medio tienen una obvia componente espacial, las cuales son afectados por varios factores. El estudio de estos factores puede ser una herramienta clave para tomar decisiones relativas a estos fenómenos. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten separar los datos de estos factores en capas temáticas, lo cual es favorable para analizarlos de forma combinada (Olaya, 2012). La información que se obtiene de estos análisis es valiosa para la resolución de problemas espaciales. Sin embargo, las operaciones de combinación de capas no proporcionan suficiente apoyo analítico, debido a la limitada capacidad de incorporar las preferencias de los tomadores de decisión. Por otro lado, la Evaluación Multicriterio (EMC) ofrece una gran variedad de métodos que pueden apoyar los procesos complejos de toma de decisiones. Entonces, la integración de los procesos de los SIG y la EMC (EMC-SIG) expanden las capacidades de los SIG en el apoyo a la toma de decisiones. Esta integración permite que un tomador de decisiones pueda introducir juicios de valor en el proceso de toma de decisiones espacial.

#### **2.2.3.1. Elementos de la evaluación multicriterio**

La EMC consiste, básicamente, en la evaluación de un conjunto de alternativas en base a criterios contradictorios e inconmensurables de acuerdo a las preferencias de un tomador de decisiones o un grupo de tomadores de decisiones. Los elementos principales de la EMC son los tomadores de decisión (agentes de toma de decisiones), los criterios de evaluación, y las alternativas de decisión (Malczewski & Rinner, 2015).

El tomador de decisiones es una entidad responsable de tomar decisiones, el cual puede ser un individuo, un grupo de individuos o una organización. Maasam (1988) sugiere el término grupos de interés; entidades que participan interesadamente en un asunto de decisión. Este autor distingue tres tipos de grupos de interés:

- Los proponentes de un plan (o decisión) en particular.
- Las entidades que son afectadas por las acciones de los proponentes.
- Las entidades responsables de la mediación, arbitraje o sanción a las acciones de los proponentes o afectados.

Las alternativas de decisión pueden entenderse como cursos alternativos de acción entre los cuales el tomador de decisiones debe elegir (Malczewski & Rinner, 2015). Una alternativa de decisión comprende mínimamente dos componentes:

- Acción, ¿qué hacer?
- Ubicación, ¿dónde hacerlo?

Este componente espacial puede especificarse implícita o explícitamente. Las alternativas implícitamente espaciales asocian de forma consecuente la componente espacial, opuesto a las alternativas explícitamente espaciales, que lo hacen de forma directa (Malczewski & Rinner, 2015). La definición de las alternativas de decisión depende de los modelos de datos de SIG. En los datos ráster, una alternativa de decisión se define generalmente como una celda de la cuadrícula de celdas, mientras que los datos vectoriales, las entidades (ya sean puntos, líneas o polígonos) pueden representar una alternativa.

Una alternativa se especifica completamente definiendo los valores de las variables de decisión. Una variable es una cantidad medible que tiene un valor definido en cada instancia. Las variables de decisión se clasifican en tres categorías (Malczewski & Rinner, 2015):

- Binario: consiste en tomar un curso de acción o no hacer nada, es decir la decisión de si o no. Es un caso especial de las variables discretas.
- Discreto: puede tomar cualquier valor de un número finito de valores. Está restringido a valores enteros.
- Continuo: comprende un número infinito de valores posibles, dentro de un rango especificado.

Las alternativas de decisión se evalúan en base a un conjunto de criterios, que incluye atributos y objetivos. Estos criterios deben poseer ciertas propiedades para representar adecuadamente la naturaleza multicriterio de la decisión. Un conjunto de criterios debe ser (Malczewski & Rinner, 2015):

- Completo: debe abarcar todos los aspectos de un problema de decisión.
- Operacional: los criterios pueden ser utilizados de forma significativa en el análisis.
- Descomponible: el conjunto de criterios puede dividirse en partes para simplificar el proceso.
- No redundante: para evitar el problema de conteo doble.
- Mínimo: debe mantenerse la mínima cantidad de criterios.

### 2.2.3.2. Matriz de decisión

Los elementos de la EMC pueden organizarse en una tabla, denominada matriz de decisión. Las filas de la matriz representan las alternativas y los criterios de evaluación son representados en las columnas (Malczewski & Rinner, 2015). Cada alternativa es descrita por sus datos de criterios de evaluación y ubicación.

La tabla 09 es una matriz de decisión  $m \times n$  en la que el elemento  $a_{ik}$  indica el rendimiento de la alternativa  $A_i$ , cuando este es evaluado en términos del criterio  $C_k$ , para  $i = 1, 2, \dots, m$  y  $k = 1, 2, \dots, n$ . Las preferencias de los tomadores de decisiones se definen en términos de las ponderaciones de criterio  $w_k$ , para  $k = 1, 2, \dots, n$ . La ubicación ( $s_i$ ) de las alternativas de decisión se definen según coordenadas ( $x_i, y_i$ ) (Malczewski & Rinner, 2015).

Tabla 09

Matriz de decisión

Alternativa, $A_i$	Criterio/atributo $C_k$					Coordenadas	
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	...	$C_n$	X	Y
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	...	$a_{1n}$	$x_1$	$y_1$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	...	$a_{2n}$	$x_2$	$y_2$
$A_3$	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	...	$a_{3n}$	$x_3$	$y_3$
...	...	...	...	...		...	...
$A_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	$a_{m3}$	...	$a_{mn}$	$x_m$	$y_m$
Ponderación, $w_k$	$w_1$	$w_2$	$w_3$	...	$w_k$	$w_{ik}$	

Fuente: Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science, 2015

La ubicación de cada alternativa se define implícita o explícitamente. Para la EMC convencional (no espacial), la ubicación de una alternativa de decisión se

da implícitamente. Generalmente se asume que estas preferencias son espacialmente homogéneas; por ello, se asigna a cada criterio la misma ponderación (Malczewski & Rinner, 2015). Por otro lado, en la EMC espacialmente explícita, el valor de la ponderación de criterio puede variar de una ubicación a otra, por ello, la ponderación de criterio ( $w_k$ ) depende de la ubicación de cada alternativa definida en términos de coordenadas ( $x_i, y_i$ ).

### **2.2.3.3. Combinación lineal ponderada**

La investigación teórica y aplicada sobre la EMC-SIG se ha centrado en un número relativamente pequeño de procedimientos que incluye a la combinación lineal ponderada, al proceso de jerarquía analítica/proceso de red analítica y los métodos de superación (Malczewski & Rinner, 2015).

La combinación lineal ponderada (CLP) y los modelos relacionados son los métodos de EMC-SIG más utilizados (Malczewski & Rinner, 2015). El modelo de CLP consta de dos componentes: las ponderaciones de criterio y las funciones de valor.

La CLP es un procedimiento de combinación de mapas que asocia la  $i$ -ésima decisión alternativa (ubicación) un conjunto de ponderaciones de criterio y combina las ponderaciones con los valores de criterio (atributo). La fórmula matemática de este se describe como sigue (Malczewski & Rinner, 2015):

$$V(A_i) = \sum_{k=1}^n w_k v(a_{ik})$$

Donde:

- $V(A_i)$ : valor global de la  $i$ -ésima alternativa en la posición  $p_i$ , definida por las coordenadas  $(x_i, y_i)$ .
- $v(a_{ik})$ : valor de la  $i$ -ésima alternativa con respecto al  $k$ -ésimo atributo medio de la función de valor.

La alternativa caracterizada por el valor más alto de  $V(A_i)$  es la más preferida el modelo CLP y se basa en los supuestos de linealidad y de forma aditiva.

Una de las principales ventajas de CLP es que el método se puede implementar fácilmente dentro del entorno SIG utilizando operaciones de álgebra de mapas. El método también es intuitivamente atractivo para los tomadores de decisiones. Sin embargo, se debe notar que las suposiciones detrás de la CLP son a menudo muy difíciles de aplicar en los problemas de toma de decisiones espaciales. Además, hay evidencia que demuestra que el método CLP produce aproximaciones cercanas a formas no lineales mucho más complicadas, mientras que sigue siendo mucho más fácil de usar y comprender. En consecuencia, se ha aplicado la CLP en los SIG para analizar situaciones de decisión y gestión en una variedad de dominios de aplicación (Malczewski & Rinner, 2015).

#### **2.2.3.4. Evaluación multicriterio en aplicaciones SIG**

La representación de un problema de decisión multicriterio en los SIG depende de la representación de los fenómenos espaciales que definen el problema, en particular las alternativas de decisión y los criterios de evaluación (Malczewski &



Rinner, 2015). Normalmente, se distinguen la dimensión geométrica, la dimensión del atributo y a veces la dimensión temporal de los fenómenos espaciales. Estas dimensiones presentan desafíos de modelización algo diferentes.

Existen dos enfoques para representar la geografía y agregar atributos a las ubicaciones: el modelo ráster y el modelo vectorial (Malczewski & Rinner, 2015). El modelo ráster, por su estructura sistemática, se utiliza para fenómenos espaciales que se manifiestan continuamente a través del espacio. Estos fenómenos están representados por valores de atributos unidos a una serie de unidades mínimas denominadas celdas. El modelo vectorial se utiliza para fenómenos que se producen en ubicaciones distintas o se asignan a características físicas o conceptuales distintas. En este caso, los valores de atributo se adjuntan a entidades geométricas, es decir, puntos, líneas o polígonos.

En el modelo ráster, cada celda se considera generalmente como una alternativa de decisión. Por el contrario, en el modelo vectorial se define bien un conjunto de características mucho más pequeño que representan las alternativas de decisión. En el modelo ráster, cada criterio requiere una capa ráster separada, no obstante, todas las capas tienen que ser transformadas a la misma resolución de cuadrícula para poder combinarlas. Por lo tanto, las capas de criterios múltiples representan el mismo conjunto de alternativas, las cuales son las celdas de la cuadrícula. En el modelo vectorial, cada criterio está representado por una columna (campo) en una tabla de atributos asociada al conjunto de

alternativas de decisión (Malczewski & Rinner, 2015). A través de simples operaciones de unión de tablas, todos los criterios pueden integrarse en una única tabla de atributos, aunque provengan de múltiples fuentes. Por lo tanto, en el modelo vectorial normalmente sólo hay una capa de mapa que representa las alternativas de decisión como características que están vinculadas a una tabla de atributos de múltiples columnas, muy parecido al concepto de la matriz de decisión (Malczewski & Rinner, 2015).

Malczewski (1999) señala que la toma de decisiones multiatributo es más adecuada para el modelo ráster, mientras que el modelo vectorial puede contribuir a la toma de decisiones multiobjetivo.

Un paso de procesamiento clave en la EMC es la combinación de valores de criterio múltiple en una sola puntuación de evaluación para cada alternativa de decisión (Malczewski & Rinner, 2015). Los cálculos necesarios se pueden implementar utilizando la funcionalidad de los SIG genéricos. En el modelo vectorial, la tabla de atributos de características representa la matriz de decisión y sus columnas se combinan para obtener puntuaciones de evaluación como una nueva columna que se refiere a las mismas alternativas (filas). En el modelo ráster, cada capa de mapa de un solo valor corresponde a una columna de la matriz de decisión, y las capas se combinan usando álgebra de mapas, resultando en una nueva capa que se refiere a las mismas alternativas (Malczewski, 1999).

### **2.3. Marco Conceptual**

**Capa:** Mecanismo de visualización que permite la división vertical de la información geográfica en varios niveles de una zona de estudio, la cual recoge información de diferentes variables de forma independiente (Olaya, 2012).

**Componentes auxiliares:** Componentes de un proyecto de inversión en el que el personal de obra se apoya para realizar las actividades programadas.

**Estructuras:** También llamadas infraestructuras. Elementos de un proyecto de saneamiento constituidos principalmente de concreto y accesorios adicionales.

**Estudio de impacto ambiental:** Instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo mediante el cual se evalúan los proyectos de inversión respecto a la generación de impactos ambientales (D.S. N° 019-2009-MINAM, 2009).

**Factores ambientales:** Elementos, cualidades y procesos del entorno ambiental que pueden ser afectados por un proyecto de inversión (Conesa, 2010).

**Modelo ráster:** Modelo de representación que divide la zona de estudio de forma sistemática en una serie de unidades mínimas denominadas celdas, y en cada una de estas se recoge la información que la describe (Olaya, 2012).

**Modelo vectorial:** Modelo de representación que recoge la variabilidad y características de la zona de estudio a través de entidades geométricas, para cada una de las cuales dichas características son constantes (Olaya, 2012).

**Impacto ambiental directo:** Alteración positiva o negativa de uno o más factores del ambiente, provocada por la acción de un proyecto con influencia directa sobre ellos, definiendo su relación causa-efecto (D.S. N° 019-2009-MINAM, 2009).

**Ponderación de criterio:** Valor asignado a un criterio de decisión que indica su importancia en relación a los demás criterios considerados (Malczewski, 2015).

**Regla de combinación:** Procedimiento o método para evaluar y ordenar un conjunto de alternativas de decisión (Malczewski, 2015).

**Sistemas de agua potable:** Conjunto de obras de ingeniería que permiten llevar el agua potable de la fuente de abastecimiento hasta las viviendas de los habitantes de una población (R.M. N° 173-2016-VIVIENDA, 2016).

**Sistema de información geográfica:** Sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica, y su principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados (Olaya, 2012).

**Sistema de saneamiento:** También llamado sistema de alcantarillado. Conjunto unificado de obras de ingeniería que recoge, transporta y trata las aguas residuales que genera una población (R.M. N° 173-2016-VIVIENDA, 2016).

**Tuberías:** Conductos que transportan agua, ya sea potable o residual, y conectan las estructuras de los sistemas de agua potable y saneamiento.

## **CAPITULO 3: DISEÑO DEL MODELO**

### **3.1. Análisis del Modelo**

En este apartado se establece el alcance del problema de decisión espacial que se pretende resolver con la EMC-SIG. También se definen los elementos del modelo de Evaluación Multicriterio (EMC) que se representaran en los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Por último, se sustenta la elección de la regla de combinación que permite identificar los impactos ambientales de un proyecto de saneamiento rural.

#### **3.1.1. Alcance del problema de decisión**

El problema de decisión de esta investigación consiste en identificar y jerarquizar espacialmente los impactos ambientales directos que generaría un proyecto, en base a la ubicación de los impactos y la probabilidad que se manifiesten estos. Al tener identificados los impactos de mayor jerarquía (mayor nivel de impacto), se les pueden establecer y priorizar adecuadas medidas ambientales de prevención, mitigación y/o compensación.

### 3.1.2. Definición de Elementos del Modelo de EMC

#### 3.1.2.1. Tomador de decisiones

Las entidades responsables de tomar decisiones en el proceso de identificación de impactos ambientales directos son los profesionales involucrados en la elaboración, evaluación y aprobación (o desaprobación) de los estudios de impacto ambiental de los proyectos de saneamiento rural. También se considera en la toma de decisiones a la población que se beneficiara con el proyecto. Estos grupos de interés (Massam, 1988) se pueden categorizar según la tabla 10.

Tabla 10

Grupos de interés en la identificación de impactos ambientales

Grupo de interés	Organización	Entidades involucradas
Proponentes	Empresa consultora adscrita a la DGAA del MVCS	Consultor ambiental Equipo multidisciplinario consultor
Entidades afectadas	Población de una localidad rural	Habitantes de la población
Entidades mediadoras	Dirección de EIA de la DGAA del MVCS	Evaluador ambiental Equipo multidisciplinario evaluador

Fuente: Elaboración propia

La empresa consultora, para los proyectos de saneamiento rural, se encarga de elaborar los estudios de FTA y DIA. Posteriormente la Dirección de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) evalúa estos estudios para posteriormente aprobarlos o no en base a ciertos criterios.

### 3.1.2.2. Criterios de decisión

Los profesionales involucrados en el proceso de identificación de impactos ambientales directos toman decisiones en base a unos criterios, que en este caso son los factores ambientales que pueden ser impactados por el proyecto. Según el contenido mínimo que exigen en los estudios de DIA y FTA para proyectos de saneamiento rural se han seleccionado y agrupado los factores ambientales que puede impactar un proyecto. En la tabla 11 se detallan estos factores.

Tabla 11

Factores ambientales considerados como criterios del modelo de EMC

Factor ambiental	Abrev.	Argumento del criterio
Áreas naturales protegidas	ANP	Resolución Ministerial N° 383-2016-MINAM
Restos arqueológicos	RA	
Poblaciones cercanas	PC	Exigencia de la DGAA del MVCS en los estudios ambientales
Áreas agrícolas	AA	
Vías existentes	VE	
Recursos hídricos	RH	
Cobertura vegetal	CV	

Fuente: Elaboración propia

Estos criterios cumplen con todos los requisitos que mencionan Malczewski & Rinner (2015). Es decir, los criterios son completos, operacionales, descomponibles, no redundantes, mínimos y medibles. Por otro lado, estos factores ambientales se agruparon considerando los factores ambientales que exigen en los estudios ambientales de DIA y FTA.

Las áreas naturales protegidas consideran todas las categorías que gestiona el SERNANP en el país, las cuales son:

- Zonas de Amortiguamiento (ZA)
- Áreas de Administración Nacional (AAN)
- Áreas de Conservación Regional (ACR)
- Áreas de Conservación Privada (ACP)

Las poblaciones cercanas representan las viviendas que serán beneficiadas con el proyecto y las viviendas que se encuentra cerca de las anteriores. Además, se considera los servicios básicos que benefician en la actualidad a estas poblaciones como, colegios, hospitales, comisarias, etc. Por otro lado, las áreas agrícolas consideran las unidades de vegetación que propone el MINAM: Agricultura costera y andina, y áreas de no bosque amazónico.

Entre los factores ambientales lineales, las vías existentes representan todas las redes viales que gestiona el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) y las trochas y caminos de herradura que existen en el área del proyecto. Y los recursos hídricos representan los principales cuerpos de agua de los cuales la población puede aprovechar sus beneficios, los cuales se encuentra los ríos, quebradas, lagunas y lagos.

La cobertura vegetal considera las unidades de vegetación que considera el mapa de cobertura vegetal propuesta por el MINAM, que categoriza a la vegetación natural como todo tipo de bosques, arbustos y otras especies.



### 3.1.2.3. Alternativas de decisión

Los cursos alternativos de acción entre los cuales deben decidir los profesionales que elaboran estudios ambientales son las celdas de la capa ráster final. Esta capa final resulta de la combinación de capas de criterio de los factores ambientales. En tabla 12 se indica los dos componentes que definen cada alternativa de decisión de este modelo de EMC, según Malczewski (1999).

Tabla 12

Componentes de las alternativas de decisión del modelo de EMC

Componente	Finalidad	Representación grafica
Acción	Identificar el nivel del impacto ambiental directo	Celdas de la capa ráster resultante Conjuntos de celdas
Ubicación	Indicar el lugar donde se genera el impacto directo	Lugares de referencia Coordenadas geográficas

Fuente: Elaboración propia

A cada celda de la capa resultante se le asignan valores que representan el nivel de impacto ambiental directo según la cantidad de factores ambientales que puede afectar un proyecto de saneamiento rural. Además, solo se consideran las celdas que se superpongan al área de influencia directa del proyecto definido para cada proyecto en particular. Por ello la cantidad de celdas será limitada, por lo que la cantidad de alternativas de decisión también lo será.

Las alternativas de decisión, este modelo de EMC, se expresan a través de variables de categoría binaria según cada criterio considerado. En la tabla 12 se detalla los valores que se asignara a cada categoría de variable y su representación gráfica correspondiente.

Tabla 13

Valores de la variable de decisión por cada criterio de decisión

Valores de variable	Interpretación del valor	Representación grafica
1	el factor ambiental es impactado por el proyecto	Celdas que representan áreas de impacto ambiental directo
0	el factor ambiental no es impactado por el proyecto	Celdas que representan áreas sin impacto directo

Fuente: Elaboración propia

Se considera que el proyecto puede generar un impacto ambiental directo cuando las celdas de cada criterio que presentan el valor 1 se superpone a alguna celda que ocupa el área de influencia directa del proyecto de saneamiento rural. Después de realizar la combinación de capas, cada una de estas celdas combinadas se constituye como una alternativa de decisión.

### 3.1.3. Aplicación de la combinación lineal ponderada

En este modelo de EMC, la combinación lineal ponderada (CLP) define el valor final de cada alternativa de decisión a partir de la sumatoria de los valores binarios, los cuales son representados como celdas en las capas de criterio. Si estas celdas de dos o más capas de criterio se superponen, utilizando una aplicación SIG, se realiza la operación de la CLP.

Considerando las definiciones anteriores, la fórmula de la CLP para este caso, se adecua de la siguiente manera.

$$V(C_i) = \sum_{k=1}^7 (1) \times v(FA_{ik})$$

Donde,

- $V(C_i)$ : valor global de la i-ésima celda ráster en la posición  $p_i$ , definida por las coordenadas  $(x_i, y_i)$ , (alternativas de decisión).
- $v(FA_{ik})$ : valor de la i-ésima presencia de factor ambiental con respecto al k-ésimo criterio de factor ambiental (variable de decisión de categoría binaria).

Se han considerado siete criterios de decisión, las cuales son representadas por capas ráster de un factor ambiental. Estas, al combinarse por cada celda, nos resultan el valor final de las alternativas de decisión. Al final se eligen las celdas ráster con valores altos, las cuales representan una mayor cantidad de factores ambientales impactados por el proyecto de saneamiento rural.

En este caso, al aplicar la CLP, por ser un método convencional, la ubicación de cada alternativa de decisión se da implícitamente. Es decir, la ubicación geográfica de estas alternativas no condiciona el resultado final de la operación. Y como consecuencia, las variables de decisión no les corresponden asignar una ponderación con respecto a los criterios considerados. Por ello la ponderación se considera la unidad (1).

### **3.2. Diseño del Modelo**

En este apartado se explica el procedimiento que se siguió para diseñar el modelo propuesto de EMC en una aplicación SIG en particular.

#### **3.2.1. Recolección de datos del proyecto de saneamiento rural**

Se revisó el expediente técnico del proyecto de inversión denominado “Instalación del sistema de agua potable, alcantarillado y unidades básicas de saneamiento de las localidades de Tomapampa, Congar, Belen, Inkapupampa, Raramayocc y Llipta, Distrito de Shilla – Carhuaz - Ancash” con código SNIP N° 348846. El titular del proyecto es la Municipalidad distrital de Shilla.

##### **3.2.1.1. Generalidades del proyecto**

El proyecto se ejecutará en 9 meses y tendrá una vida útil de 20 años. El costo total del proyecto es de 6561848.80 soles. Este proyecto beneficiara a 3438 habitantes con agua potable. Se proyecta la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para 610 habitantes y la instalación de unidades básicas de saneamiento (UBS) para 110 familias.

En estos sectores existen componentes de agua potable y saneamiento que se encuentran en regular y mal estado de conservación. La mayoría de estos componentes ya cumplieron su vida útil y por ello están muy deteriorados. Por tal motivo, requieren ser reemplazados por nuevos componentes para continuar brindando el servicio de agua potable y saneamiento.

Adicionalmente, todas las tuberías existentes de agua potable también se encuentran en mal estado de conservación, incluyendo los accesorios existentes como cámaras rompe presión y válvulas. En cambio, las tuberías existentes de saneamiento están regularmente conservadas, así como los accesorios y las conexiones domiciliarias. Por esta situación requieren la ejecución de un proyecto de saneamiento rural para mejorar la calidad de los servicios de agua y saneamiento que se brindan actualmente a la población.

Este proyecto de saneamiento rural va a beneficiar a la población de dos sectores, los cuales agrupan las localidades de la siguiente manera:

- Sector 1 (4 localidades): Tomapampa, Congar, Belen e Inkapupampa
- Sector 2 (2 localidades): Raramayocc y Llipta

En el sector 1 habitan 1705 habitantes agrupadas en 340 viviendas, mientras que en sector 2 comprende 270 viviendas para 1310 habitantes. En total se contabilizan 610 viviendas para 3015 habitantes que se van a beneficiar con el proyecto.

### **3.2.1.2. Descripción del sistema de agua potable**

La instalación del sistema de agua potable va a beneficiar a todas las localidades consideradas en el proyecto. La fuente de agua del sistema es el manantial Huishcashpampa, ubicado a una altitud de 3701 m.s.n.m. Este sistema comprende la construcción de estructuras y la instalación de tuberías para captar, conducir, almacenar y distribuir el agua de la fuente mencionada. La descripción de estos componentes de agua potable se describe en la tabla 14.

Tabla 14

Componentes del sistema de agua potable de proyecto específico

Grupo de componentes	Lugar de referencia	Componente de agua potable	Cantidad y/o metrado
Captación y conducción	Sin referencia	Captación de manantial	1 und
		Línea de conducción	15464.44 ml
		Cruce de cursos de agua	5 und
		Cámara de distribución	1 und
		Cámara rompe presión	15 und
Almacenamiento y distribución	Sector 01	Reservorio	1 und
		Línea de aducción	665.8 ml
		Red de distribución	7221.41 ml
		Conexiones domiciliarias	1709.42 ml
		Cruce de cursos de agua	2 und
		Cámara reductora de presión	15 und
	Sector 02	Reservorio	1 und
		Línea de aducción	424.22 ml
		Red de distribución	6247.62 ml
		Conexiones domiciliarias	2262.2 ml
		Cruce de cursos de agua	2 und
		Cámara reductora de presión	6 und

Fuente: Elaboración propia

La captación nueva va a reemplazar una captación antigua que se encuentra más cerca a la población. Cada sector va a poseer un sistema de almacenamiento y distribución para proveer de agua potable a las viviendas mediante conexiones domiciliarias. Las tuberías se van a instalar paralelamente a las vías de acceso existentes para distribuir adecuadamente el agua potable.

En el área de emplazamiento del proyecto existen quebradas que intersectan con los trazos de tuberías. Por este motivo, se instalarán un cruce de cursos de agua en cada intersección para proteger las tuberías. Además, se van a instalar cámaras rompe presión y reductoras de presión para disminuir la presión que pudieran producir roturas en las tuberías.

### 3.2.1.3. Descripción del sistema de saneamiento

La instalación del sistema de saneamiento o alcantarillado va a abarcar ambos sectores. Este sistema comprende un sistema de alcantarillado convencional con su planta de tratamiento de aguas residuales y unidades básicas de saneamiento (UBS). El sistema convencional proyecta tuberías que se extenderán por las localidades de Congar y parte de Inkapupampa, pertenecientes al sector 01. Las UBS se instalarán en algunas viviendas de ambos sectores, porque las demás viviendas ya están conectadas a sistemas de alcantarillado existentes en un moderado estado de conservación. Los componentes de este sistema se detallan en la tabla 15.

Tabla 15

Componentes del sistema de agua potable de proyecto específico

Grupo de componentes	Lugar de referencia	Componente de saneamiento	Cantidad y/o metrado
Alcantarillado sanitario	Sector 01	Conexiones domiciliarias	416.84 ml
		Red colectora	15464.44 ml
		Línea emisora	290.62 ml
		Buzones	73 und
Planta de tratamiento de agua residual (PTAR) y disposición final	Sector 01	Cámara de rejillas	1 und
		Desarenador	1 und
		Tanque Imhoff	1 und
		Lecho de secado	1 und
		Filtro biológico	1 und
		Línea de descarga	55.72 ml
Unidades básicas de saneamiento (UBS)	Sector 01	Caseta o baño	78 und
		Biodigestor	78 und
		Pozo percolador	78 und
	Sector 02	Caseta o baño	32 und
		Biodigestor	32 und
		Pozo percolador	32 und

Fuente: Elaboración propia

En la red colectora del sistema de alcantarillado se van a instalar buzones de inspección para realizar la limpieza de desechos sólidos que pueden presentar las aguas residuales colectadas. Por otro lado, cada una de las UBS comprenden un sistema de recolección, la caseta, un sistema de tratamiento, el biodigestor, y un sistema de infiltración, el pozo percolador.

Esta planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) tiene como tratamiento preliminar una cámara de rejas, como tratamiento primario un desarenador y como tratamiento secundario, un tanque Imhoff con su lecho de secado y un filtro biológico. Esta PTAR va a descargar las aguas tratadas a la quebrada Buin.

#### **3.2.1.4. Descripción de los componentes auxiliares**

En este proyecto de saneamiento solo se van a instalar componentes provisionales o temporales. La ubicación de estos componentes esta prevista en el sector 02, específicamente en la localidad de Raramayocc. Estos componentes, detallados en la tabla 16, van a servir para almacenar y proteger la maquinaria, equipos, herramientas y materiales y acopiar los residuos sólidos.

Tabla 16

Componentes auxiliares de proyecto específico

Grupo de componentes	Lugar de referencia	Componente de auxiliar	Cantidad y/o metrado
Componentes provisionales	Sector 02	Patio de maquinas	1 und
		Almacén	1 und
		Almacén temporal de residuos solidos	1 und

Fuente: Elaboración propia



### **3.2.2. Representación del modelo de EMC-SIG**

En este apartado se detalla el procedimiento que se realizó para construir el modelo de EMC en una aplicación SIG específica.

#### **3.2.2.1. Área de influencia directa del proyecto**

El área de influencia directa (AID) considera criterios técnicos del proyecto, los cuales se basan en normas técnicas de saneamiento y en los criterios que los profesionales encargados asumen según su experiencia

Para delimitar el AID, primero se representaron gráficamente la ubicación y extensión espacial de todos los componentes relevantes del proyecto. Para representar estas componentes se crearon capas (archivos) de formato vectorial. Las capas creadas y los componentes del proyecto que se asignaron a cada de dichas capas se detallan en la tabla 17.

Para crear estas capas vectoriales, en primer lugar, se identificaron las entidades geométricas que representan los componentes del proyecto en los planos CAD del expediente técnico. Luego se separaron estas geométricas en nuevos archivos de formato CAD. Y dentro de la aplicación SIG, se exportaron estos archivos para obtener las capas vectoriales del proyecto.

Posteriormente se asignaron los valores de distancia en la tabla de atributos de cada capa del proyecto. Se consideraron normas técnicas de saneamiento y los criterios que emplean los profesionales que elaboran los estudios ambientales para establecer estas distancias. Después, se generó la capa vectorial que

representa el AID del proyecto considerando las distancias de la tabla 18. Para ello se utilizaron herramientas de geoprocésamiento, una para generar las áreas de influencia por cada capa y otra para fusionarlas. Al final esta capa vectorial se convirti6 en una capa de formato ráster a un tamaño de celda de 1 m<sup>2</sup>.

Tabla 17

Contenido de capas vectoriales que representan el proyecto específico

<b>Capa vectorial</b>	<b>Tipo de geometría</b>	<b>Componentes del proyecto</b>
Componentes de agua potable	Polígono	Captación de manantial Reservorios Cruces de cursos de agua Cámara distribuidora de caudales Cámaras rompe presión Cámaras reductora de presión
Tuberías de agua potable	Polilínea	Línea de conducción Línea de aducción Red de distribución Conexiones domiciliarias
Componentes de saneamiento o alcantarillado	Polígono	Buzones Cámara de rejillas Desarenador Tanque Imhoff Lecho de secado Filtro biológico Casetas o baños Biodigestores Pozos percoladores
Tuberías de saneamiento o alcantarillado	Polilínea	Conexiones domiciliarias Red colectora Línea emisora Línea de descarga
Componentes auxiliares	Polígono	Patio de máquinas Almacén Almacén temporal de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18

Distancias consideradas para el área de influencia directa del proyecto

Capa	Componente	Distancia	Fuente
Componentes de saneamiento	PTAR de tanque Imhoff	500 m	Norma Técnica OS.090
	Unidades básicas de saneamiento	15 m	Consulta a experto
	Los demás componentes	5 m	Consulta a experto
Tuberías de saneamiento	Todos los componentes	5 m	Consulta a experto
Componentes de agua potable	Todos los componentes	5 m	Consulta a experto
Tuberías de agua potable	Todos los componentes	5 m	Consulta a experto
Componentes auxiliares	Todos los componentes	5 m	Consulta a experto

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2.2. Factores ambientales del entorno del proyecto

Los datos de factores ambientales, que representan los criterios de decisión de este modelo de EMC-SIG, se obtuvieron de diversas fuentes. Estos datos se descargaron como capas (archivos) de formato vectorial. Otros datos se visualizaron a través de visores de mapas web. En la tabla 19 se detallan las capas descargadas y/o visualizadas y sus respectivas fuentes de información.

Posteriormente se creó una capa vectorial que representa las dimensiones del entorno del proyecto según la extensión del proyecto. Se superpusieron las demás capas de los factores ambientales y con un geoproceto se realizaron recortes a cada una de estas capas utilizando como molde la capa del entorno del proyecto. También se obtuvo una imagen satelital actual del entorno.

Tabla 19

Datos espaciales de los factores ambientales del entorno del proyecto

Factor ambiental	Fuente	Capas de datos
Áreas Naturales Protegidas	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas	Zonas de amortiguamiento Áreas Naturales Protegidas Áreas de Conservación Regional Áreas de Conservación Privada
Zonas Arqueológicas	Ministerio de Cultura	Áreas de Patrimonio Arqueológico
Poblaciones Cercanas	Google Earth Pro	Imagen satelital (único ráster)
Áreas Agrícolas	Ministerio del Ambiente	Cobertura vegetal del Perú
Vías Existentes	Ministerio de Transportes y Comunicaciones	Red Vial Nacional Red Vial Departamental Red Vial Vecinal
Recursos Hídricos	Instituto Geográfico Nacional	Ríos del Perú Lagunas del Perú
Cobertura Vegetal	Ministerio del Ambiente	Cobertura vegetal del Perú

Fuente: Elaboración propia

La capa que no se descargó fue la de poblaciones cercanas. Esta capa se creó a partir de los planos del expediente técnico y la imagen satelital anteriormente descargada. Se utilizaron herramientas de edición de entidades geométricas.

En el caso de las capas de vías existentes y recursos hídricos, según a las distancias de la tabla 20, se les consideró un área mayor que las representadas en las capas descargadas. Para la capa de vías existentes, se consideraron el ancho de las vías y el derecho de vía. Y para los recursos hídricos se consideró el ancho de las quebradas y su faja marginal. Para ello se utilizaron los geoprocursos de áreas de influencia y fusión.

Tabla 20

Distancias para delimitar áreas de vías existentes y recursos hídricos

Factor ambiental	Fuente	Criterio	Distancia
Vías existentes	R.D. N°028-2014-MTC/14 y consulta a expertos	Ancho de vía de trocha	4 m
		Ancho de vía sin afirmar	4 m
		Ancho de vía afirmada	7 m
		Ancho de vía asfaltada	7 m
		Derecho de vía a todos	20 m
Recursos hídricos	R.J. N°153-2016-ANA y consulta a expertos	Ancho de quebrada intermitente	1.5 m
		Ancho de quebrada perenne	2.5 m
		Faja marginal a todos	10 m

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la capa de cobertura vegetal esta se separó en dos: la capa de áreas agrícolas y la capa de cobertura vegetal natural. La unidad de vegetación que se tomó como áreas agrícolas fue la denominada agricultura costeña y andina. Las demás coberturas, consideradas como coberturas sin intervención humana, se agruparon en la capa de cobertura vegetal natural.

Para las capas de áreas naturales protegidas, solo se superpusieron al entorno del proyecto las capas de áreas protegidas nacionales y las zonas de amortiguamiento. También se revisó los datos relacionados a las zonas arqueológicas, en los cuales no se encontró datos que se superponían al área al entorno del proyecto.

Finalmente, cada una de las capas de factores ambientales se convirtieron a formato ráster a un tamaño de celda de 1 metro. Para esto se utilizó una herramienta de geoprocésamiento para convertirlas a ráster.

### 3.2.2.3. Diseño de la matriz de decisión

El diseño de la matriz de decisión sirvió para comprender el proceso de combinación de capas que se realizó (tabla 21). Las filas ( $A_{celda}$ ) representan cada una de las celdas de la capa final que resultó de la combinación de capas de criterio. Las columnas ( $C_{FA}$ ) representan los siete criterios considerados, los cuales representan los factores ambientales que podría afectar el proyecto de saneamiento rural.

En las intersecciones de alternativas y criterios se asignan los valores de variable binaria ( $a_{1ANP}$ ,  $a_{1ZA}$ , ...) que le corresponde a cada alternativa de decisión según el criterio considerado en cada momento. Debajo se asignan las ponderaciones que en este caso en todos los casos se considera el mismo valor.

Tabla 21

Matriz de decisión del modelo EMC-SIG específico

Alternativa/ celda, $A_{celda}$	Criterio/factor ambiental $C_{FA}$							Valor global
	$ANP$	$ZA$	$PC$	$AA$	$VE$	$RH$	$CV$	$IA$
$A_{celda 1}$	$a_{1ANP}$	$a_{1ZA}$	$a_{1PC}$	$a_{1AA}$	$a_{1VE}$	$a_{1RH}$	$a_{1CV}$	$\sum_{k=1}^7 (1)(a_{1FA})$
$A_{celda 2}$	$a_{2ANP}$	$a_{2ZA}$	$a_{2PC}$	$a_{2AA}$	$a_{2VE}$	$a_{2RH}$	$a_{2CV}$	$\sum_{k=1}^7 (1)(a_{2FA})$
$A_{celda 3}$	$a_{3ANP}$	$a_{3ZA}$	$a_{3PC}$	$a_{3AA}$	$a_{3VE}$	$a_{3RH}$	$a_{3CV}$	$\sum_{k=1}^7 (1)(a_{3FA})$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$A_{celda m}$	$a_{mANP}$	$a_{mZA}$	$a_{mPC}$	$a_{mAA}$	$a_{mVE}$	$a_{mRH}$	$a_{mCV}$	$\sum_{k=1}^7 (1)(a_{mFA})$
Ponderación, $w_k$	1	1	1	1	1	1	1	...

Fuente: Elaboración propia

Y en la última columna de la tabla 21, se coloca la fórmula que le corresponde a cada alternativa de decisión. La fórmula de la combinación lineal ponderada considera los valores de variable binaria ubicados en la misma fila de cada alternativa de decisión (celda), donde dichos valores se sumarán a través de la superposición de capas de criterio de los factores ambientales.

### **3.2.3. Identificación de los Impactos Ambientales Directos**

El primer paso para identificar los impactos ambientales directos fue superponer las capas ráster de cada criterio con la capa ráster de área de influencia directa. Este procedimiento se realizó con una herramienta de geoprocésamiento que permite superponer capas ráster. La excepción fue la capa de criterio que representa las zonas arqueológicas ya que no se encontró datos que se superponían al área de influencia del proyecto. Por lo tanto, este criterio fue excluido del modelo de EMC-SIG.

Las partes de cada capa de criterio que resultaron superpuestas representan las áreas donde los factores ambientales son impactados directamente, es decir que reciben el impacto ambiental directo del proyecto de saneamiento rural. Posteriormente se elaboraron mapas de cada factor ambiental impactado, los cuales se muestran en el apartado 3.3.1.

Posteriormente se aplicó la combinación lineal ponderada según lo detallado en el apartado 3.2.2.3. Este método de combinación en el modelo de EMC-SIG diseñado, permitió identificar el nivel de los impactos ambientales directos en

cada celda de la zona de estudio representada en la capa ráster. Se utilizó un geoproceso de sumatoria de celdas de capas ráster para esta combinación.

El procedimiento anterior se realizó según los niveles de impacto ambiental directo detallados en la tabla 22. Estos niveles permitieron jerarquizar los impactos ambientales según la cantidad de factores ambientales afectados.

Tabla 22

Criterio para determinar el nivel de impacto ambiental directo

Nivel de impacto	Cantidad de factores ambientales afectados
Nivel 1	1
Nivel 2	2
Nivel 3	3
Nivel 4	4
Nivel 5	5
Nivel 6	6
Nivel 7	7

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se convirtió la capa ráster a formato vectorial. En esta capa convertida se calculó el área y el porcentaje de área de cada nivel de impacto ambiental directo. Este último procedimiento se realizó en la tabla atributiva de esta capa. Se elaboró una serie de mapas detallando los niveles de impacto directo en varias zonas del proyecto, los cuales se muestran en el apartado 3.3.2.



### **3.3. Revisión y Consolidación de Resultados**

En este apartado se presentan e interpretan los resultados obtenidos. Primero se explican los mapas de impacto ambiental directo que se elaboraron por cada factor ambiental afectado. Al final se interpretan el mapa final sobre los niveles de impacto ambiental directo que puede generar el proyecto de saneamiento rural. También se explican las áreas y porcentajes de áreas calculadas por cada nivel de impacto directo hallado en el modelo de EMC-SIG.

#### **3.3.1. Impactos ambientales directos por cada factor ambiental**

Al desarrollar la superposición de las capas de factores ambientales con la capa de áreas de influencia se identificaron áreas de impacto ambiental directo por cada factor ambiental. Estas áreas de impacto se visualizan en las figuras de este apartado, presentados como mapas.

Según la figura 1, las áreas de impacto ambiental directo en las áreas naturales protegidas se localizan en el tramo inicial de la línea de conducción. En estas áreas de impacto también se ubican la captación y otros componentes.

En la figura 2 se visualiza que el proyecto de saneamiento rural no genero ningún área de impacto directo en las zonas arqueológicas. Esto se debe a que este factor ambiental no está presente en el área de influencia directa del proyecto.

Según la figura 3, las áreas de impacto ambiental directo se localizan principalmente en el área de influencia de la PTAR. También hay pequeñas

áreas de impacto en diferentes partes de ambos sectores de la población donde se encuentran las redes de tuberías y otros componentes del proyecto.

En la figura 4 se visualiza que varios tramos de la línea de conducción, línea de aducción, red de distribución, red colectora y la PTAR generan áreas de impacto ambiental directo en las áreas agrícolas. La PTAR es la que mayor área de impacto directo genera. Los dos reservorios y otros componentes del proyecto también generan áreas de impacto directo.

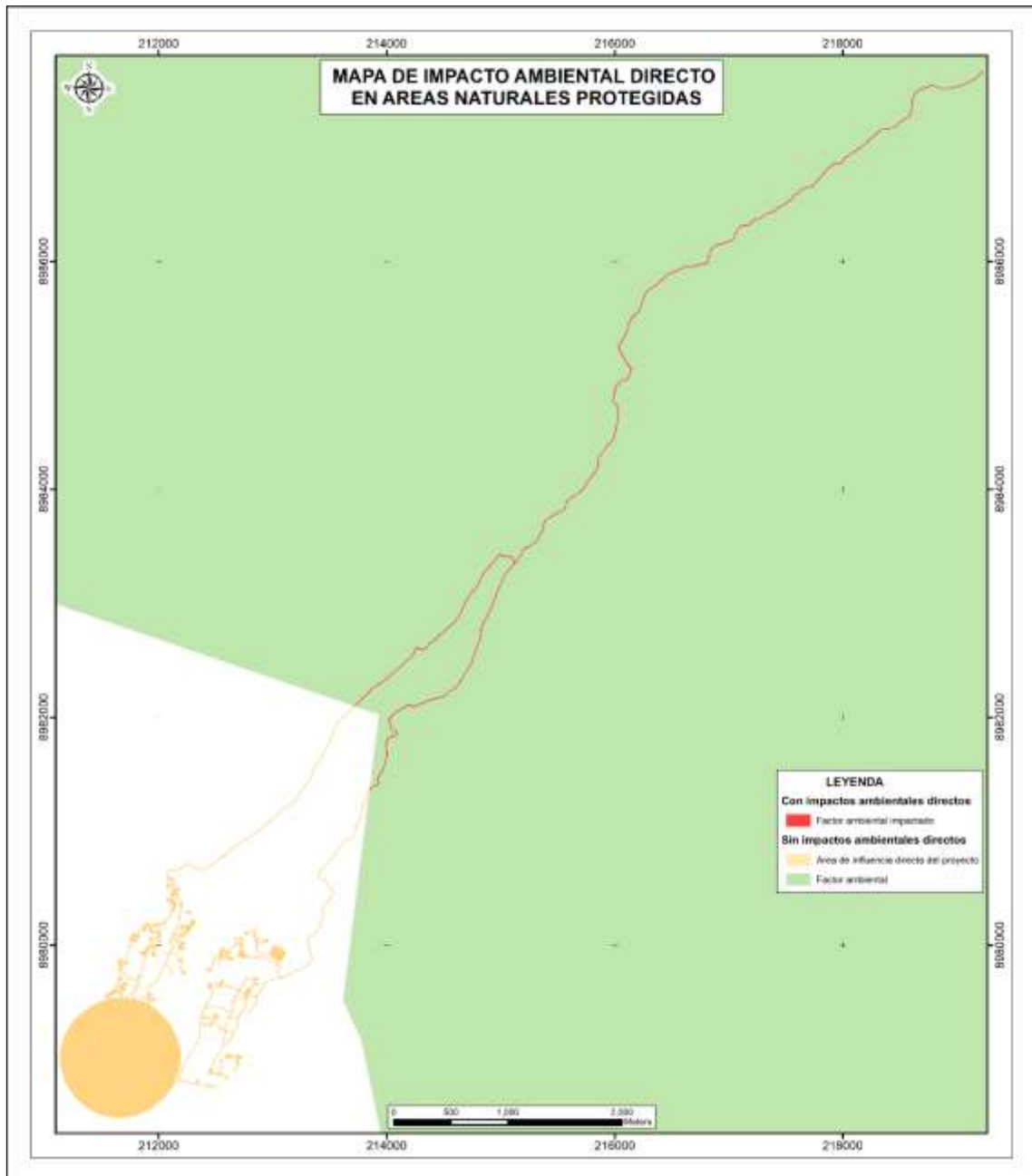
El proyecto genera áreas de impacto directo en las vías existentes, localizadas en un gran tramo intermedio de la línea de conducción, red de distribución, red colectora y la PTAR, según la figura 5. Las áreas de impacto también se generan por las cámaras rompe presión, cámaras reductoras de presión y los cruces de cursos de agua presentes.

Según la figura 6, las áreas de impacto ambiental directo en los recursos hídricos se localizan en la PTAR y en las intersecciones que existen entre las tuberías y las quebradas existentes. La PTAR nuevamente ocupa una mayor área de impacto directo en este factor ambiental.

Y en la figura 7, la cobertura vegetal es afectada por el tramo inicial y tramo intermedio de la línea de conducción. También se observa que se generan áreas de impacto directo en una parte de la PTAR y la red de distribución y red colectora del sector 02. Aquí la PTAR también ocupa una mayor área de impacto.

Figura 1

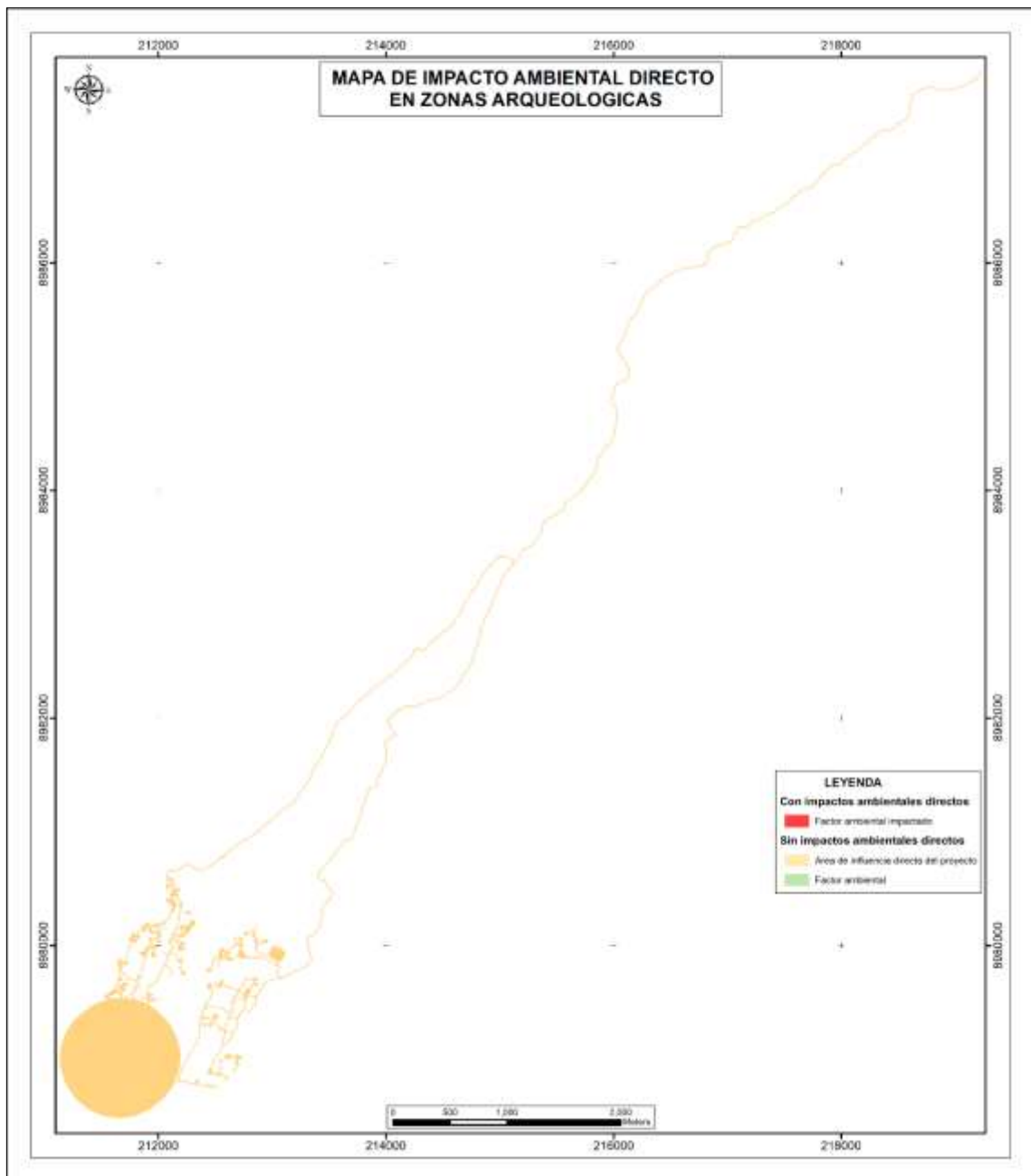
Mapa de impacto ambiental directo en áreas naturales protegidas



Fuente: Elaboración propia

Figura 2

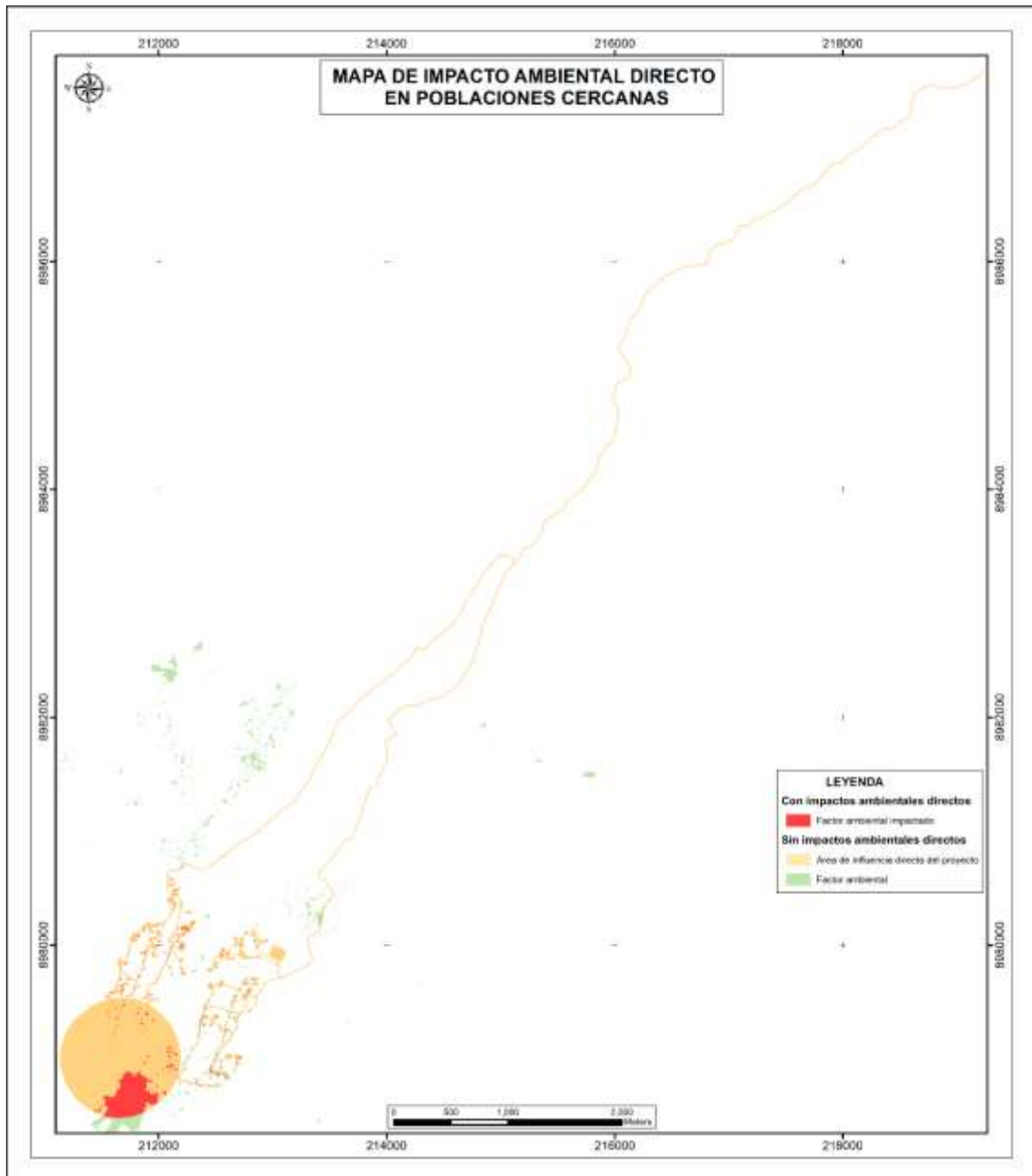
Mapa de impacto ambiental directo en zonas arqueológicas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3

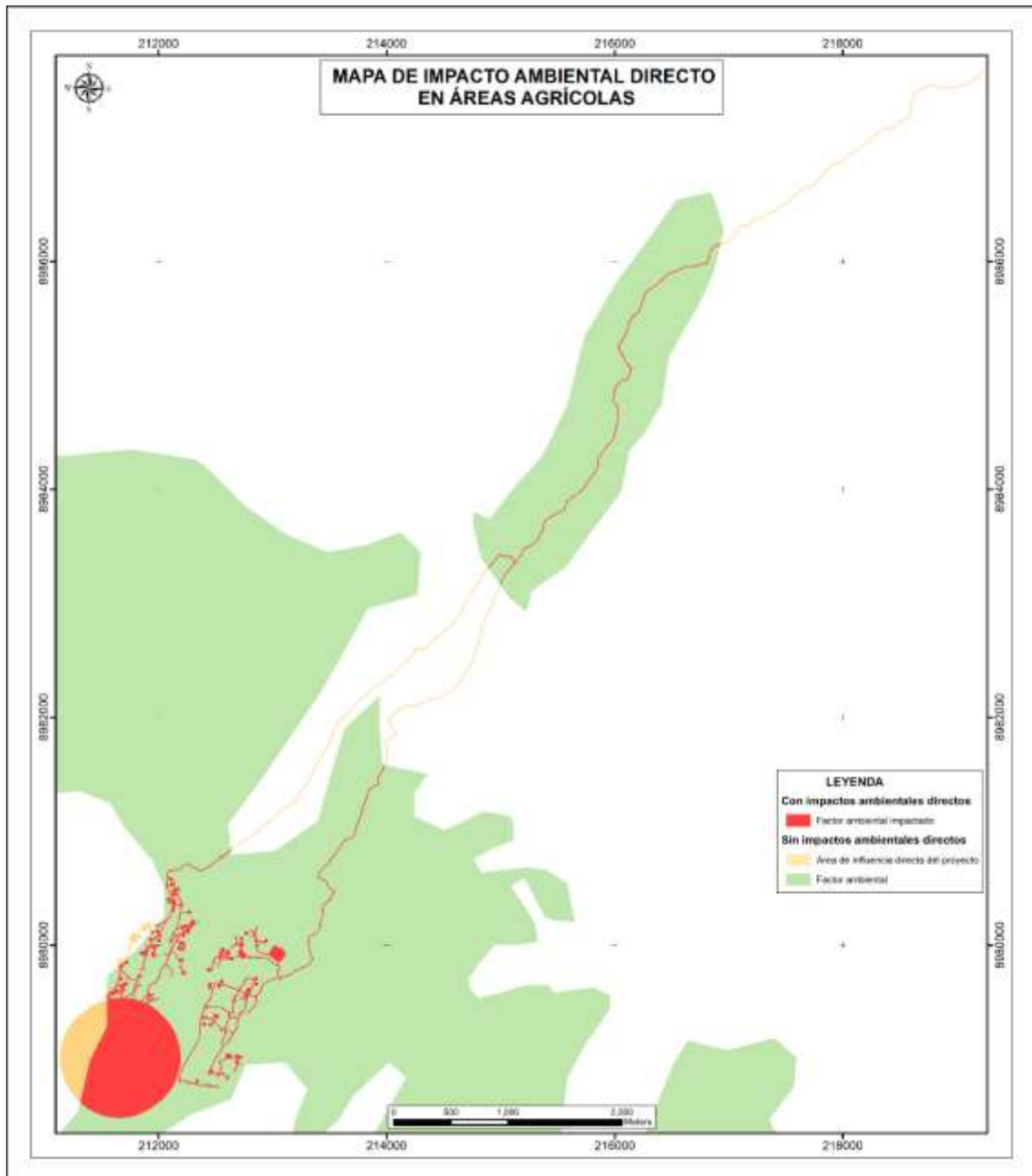
Mapa de impacto ambiental directo en poblaciones cercanas



Fuente: Elaboración propia

Figura 4

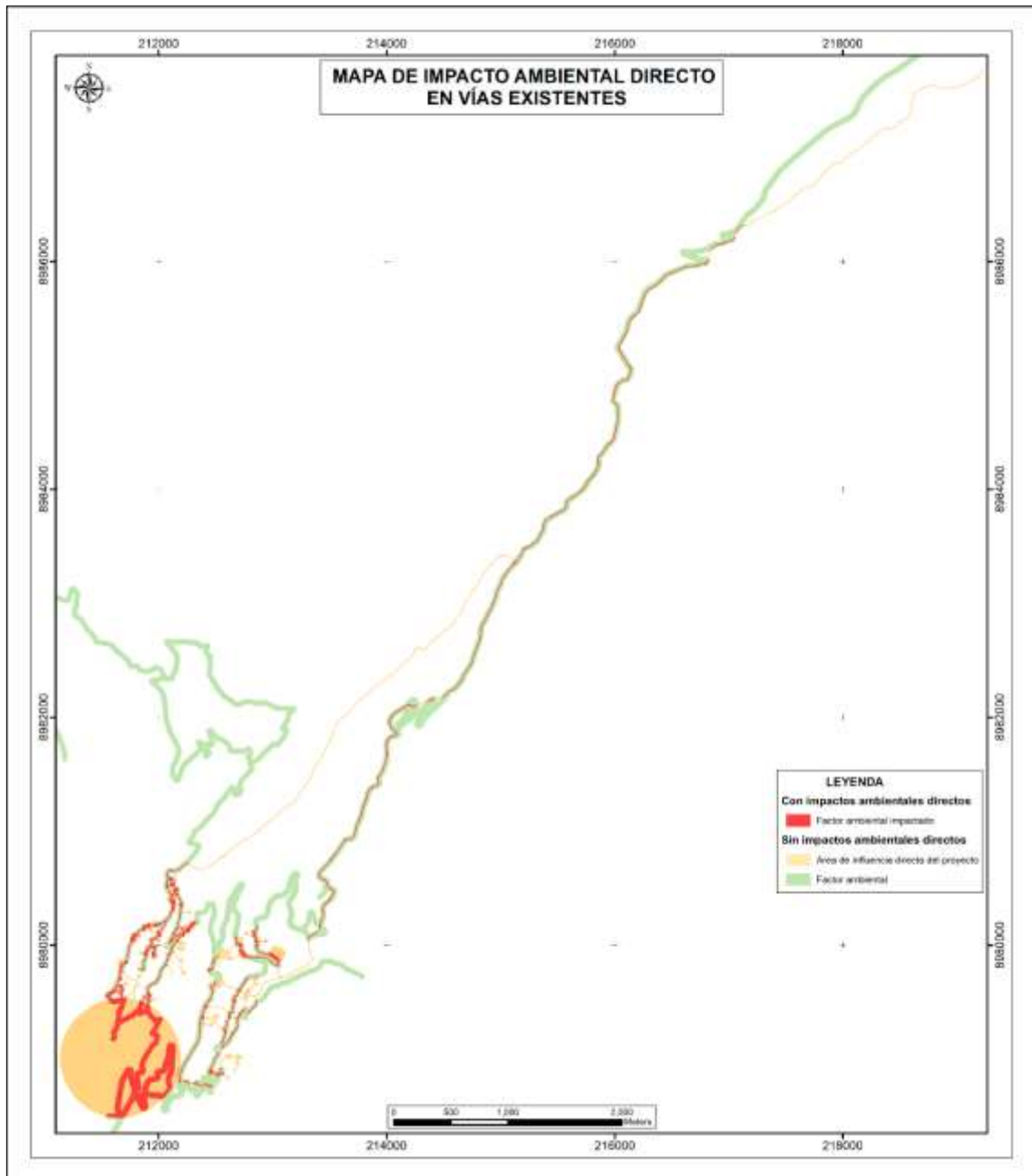
Mapa de impacto ambiental directo en áreas agrícolas



Fuente: Elaboración propia

Figura 5

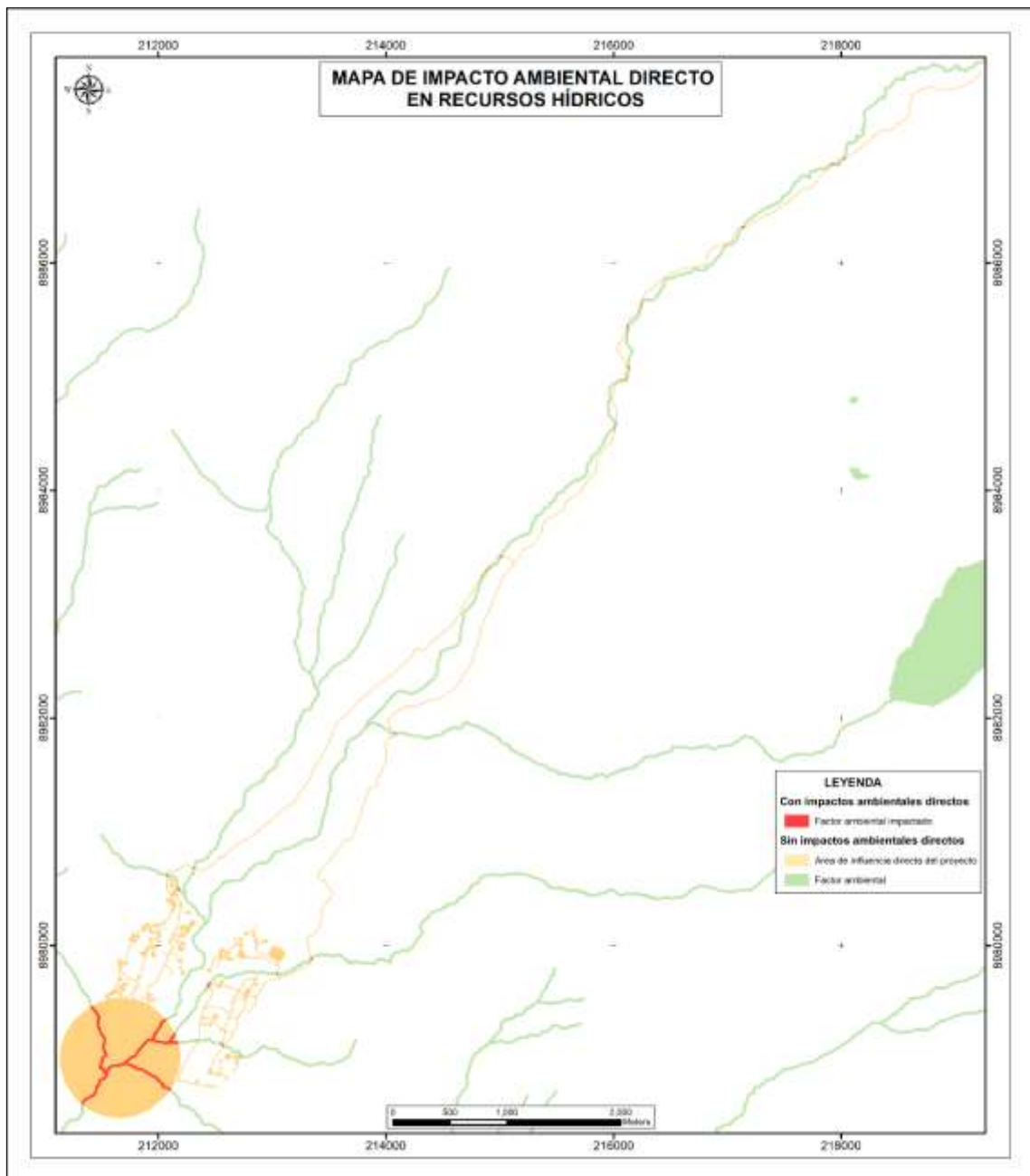
Mapa de impacto ambiental directo en vías existentes



Fuente: Elaboración propia

Figura 6

Mapa de impacto ambiental directo en recursos hídricos

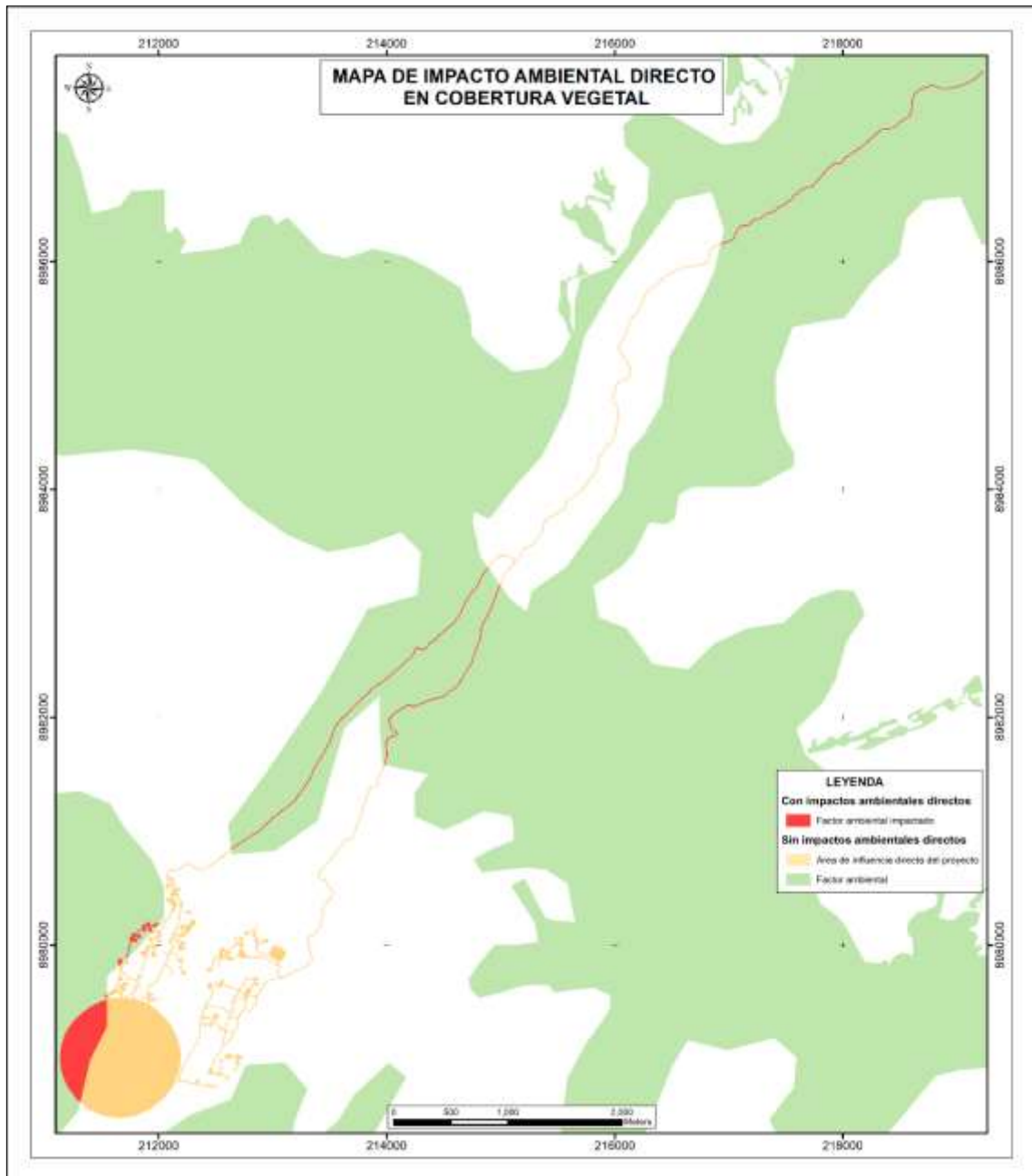


Fuente: Elaboración propia



Figura 7

Mapa de impacto ambiental directo en cobertura vegetal



Fuente: Elaboración propia

### **3.3.2. Jerarquía de los impactos ambientales directos**

Al realizar la combinación lineal ponderada de las capas de criterio que representan los factores ambientales del entorno limitados al área de influencia del proyecto, los resultados se muestran en las figuras de este apartado. La representación gráfica del área de influencia directa del proyecto se dividió en cinco mapas para mostrar mayor detalle.

En la figura 8 se visualiza que el primer tramo de la línea de conducción presenta mayoritariamente un nivel de impacto directo 2. Es decir que en esta parte se afectaron dos factores ambientales a la vez.

Y en la figura 9 se observa que predomina el nivel de impacto directo 3 ocasionado por el siguiente tramo de línea de conducción. En otras palabras, en esta parte se impactan tres factores ambientales al mismo tiempo. También se visualiza partes de nivel de impacto directo 4.

En la figura 10, donde se separa la línea de conducción en dos direcciones, que observa que el tramo que se dirige al sector 01 de población presenta el nivel de impacto directo 3. En cambio, el tramo que se dirige al sector 02 se muestra en nivel de impacto directo 2.

Según la figura 11, el tramo que se dirige al sector 01 presenta el nivel de impacto directo 1, mientras que el tramo que dirige al sector 02 presenta los niveles de impacto directo 2 y 3 mayoritariamente. También se observa una parte donde hay niveles de impacto 4.

En la figura 12 se observa que predomina el nivel de impacto directo 1 localizado principalmente en el área de influencia de la PTAR. También se visualiza el nivel de impacto directo 2 localizado mayoritariamente también en la PTAR. Y El nivel de impacto directo 3 se observa en menor área ubicándose principalmente también en la PTAR. Estos tres niveles se observan en ambos sectores de la población donde se ubican las redes de tuberías y demás componentes.

Se calculó el área de cada nivel de impacto ambiental directo y su porcentaje de área con respecto al total. Al analizar la tabla 23 se observa que el proyecto de saneamiento rural puede generar mayores áreas de impacto ambiental directo de nivel 1. Y genera menos áreas de impacto ambiental directo de nivel 4. Los niveles de impacto directo 5, 6 y 7 no se obtuvieron. Entonces solo se impacta un factor ambiental diferente en más de la mitad del área de influencia al proyecto.

Tabla 23

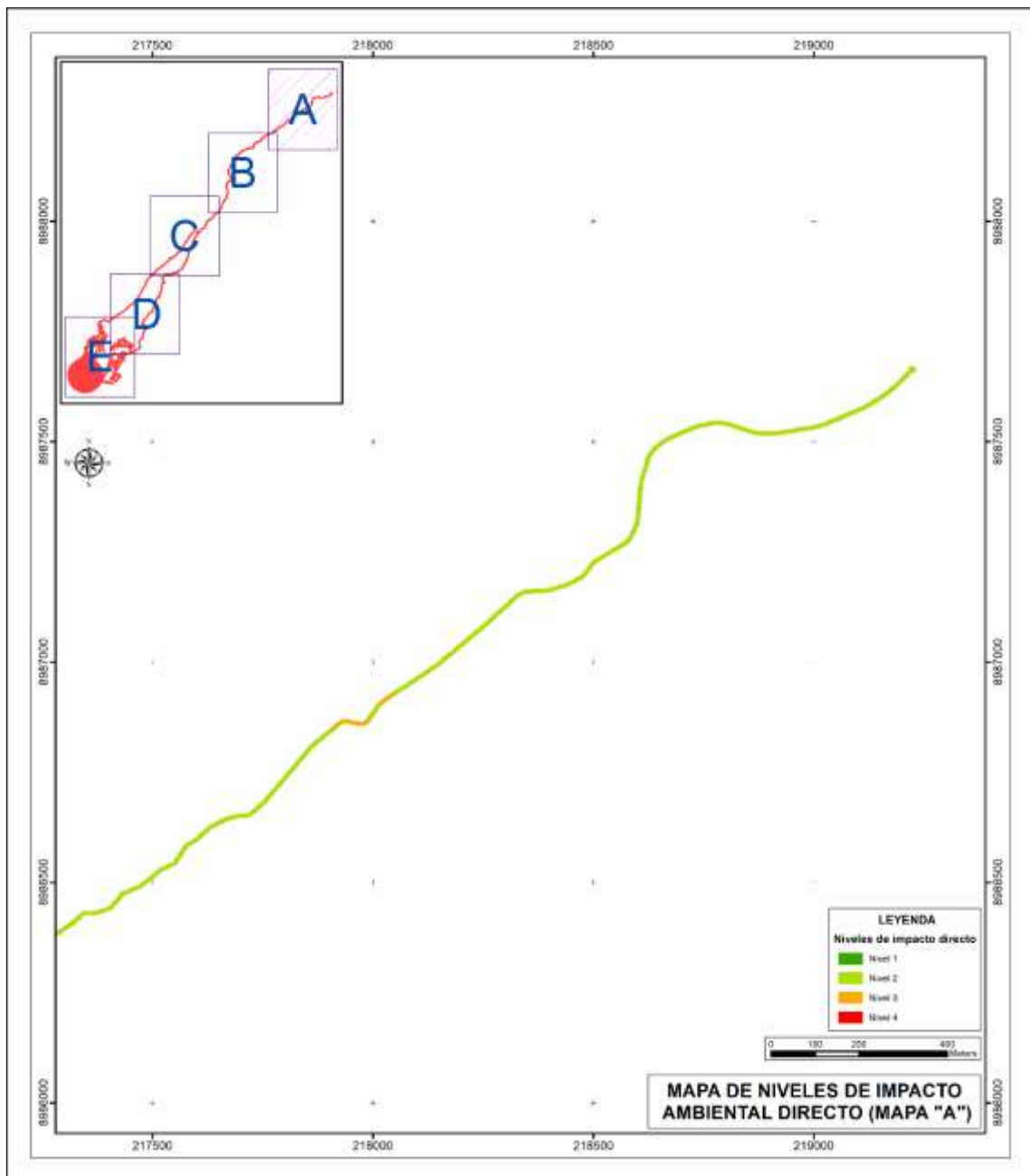
Área y porcentaje de área de cada nivel de impacto ambiental

Nivel de impacto	Área (m <sup>2</sup> )	Porcentaje de área (%)
Nivel 1	688732.64	53.55
Nivel 2	426550.38	33.16
Nivel 3	168247.86	13.08
Nivel 4	2707.45	0.21
Nivel 5	0	0
Nivel 6	0	0
Nivel 7	0	0
Total	1286238.32	100

Fuente Elaboración propia

Figura 8

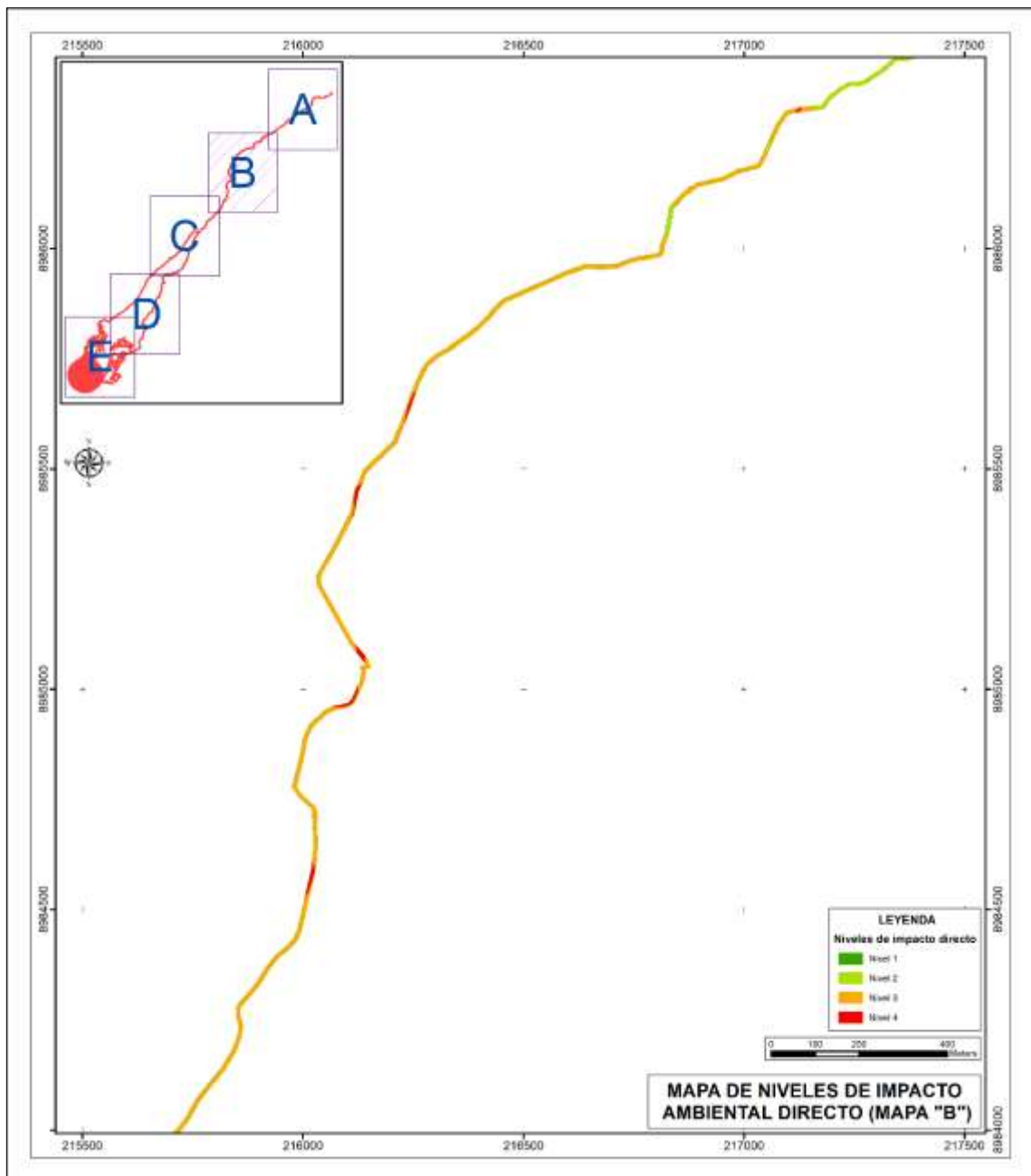
Mapa de niveles de impacto ambiental directo (parte A)



Fuente: Elaboración propia

Figura 9

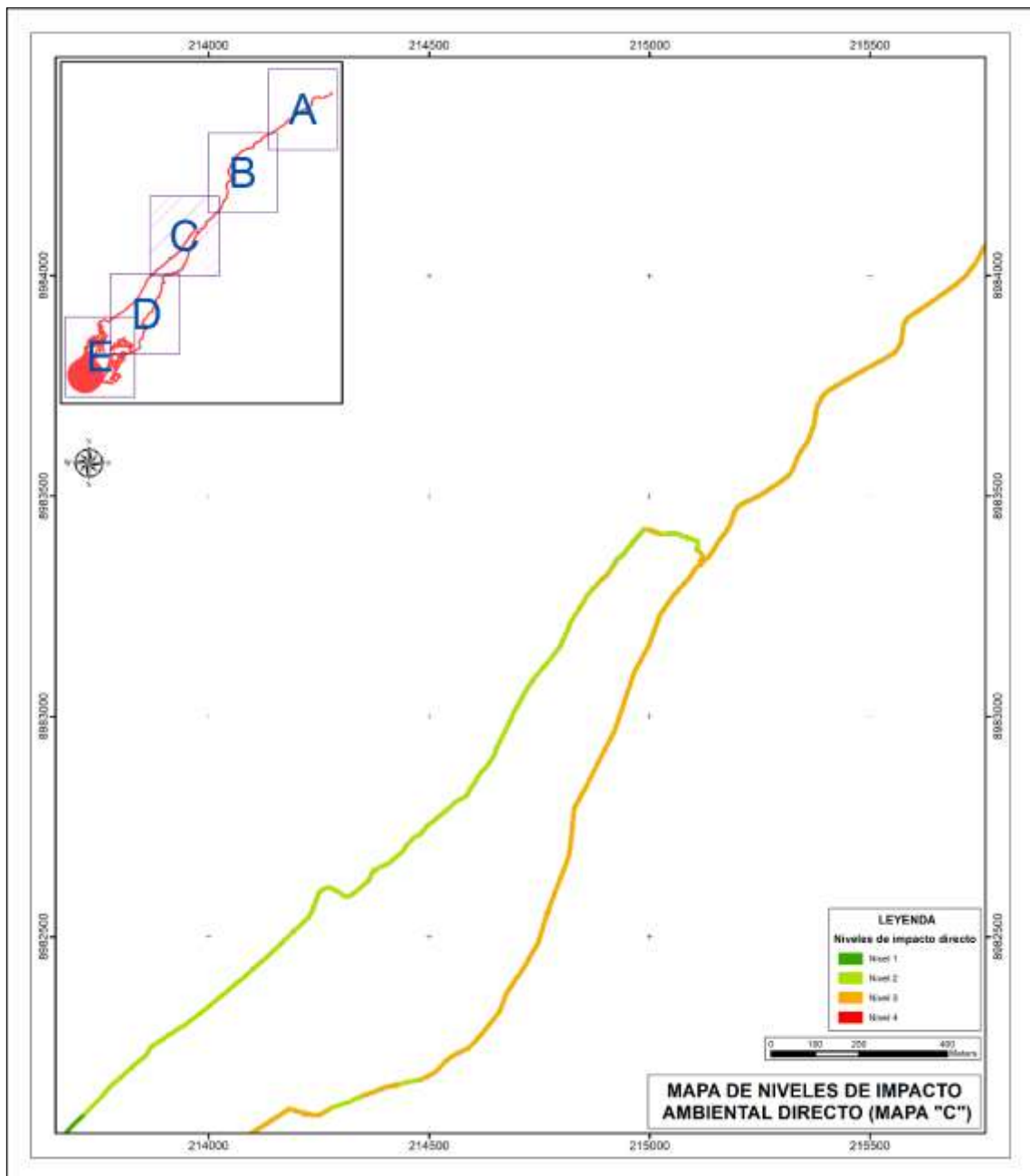
Mapa de niveles de impacto ambiental directo (parte B)



Fuente: Elaboración propia

Figura 10

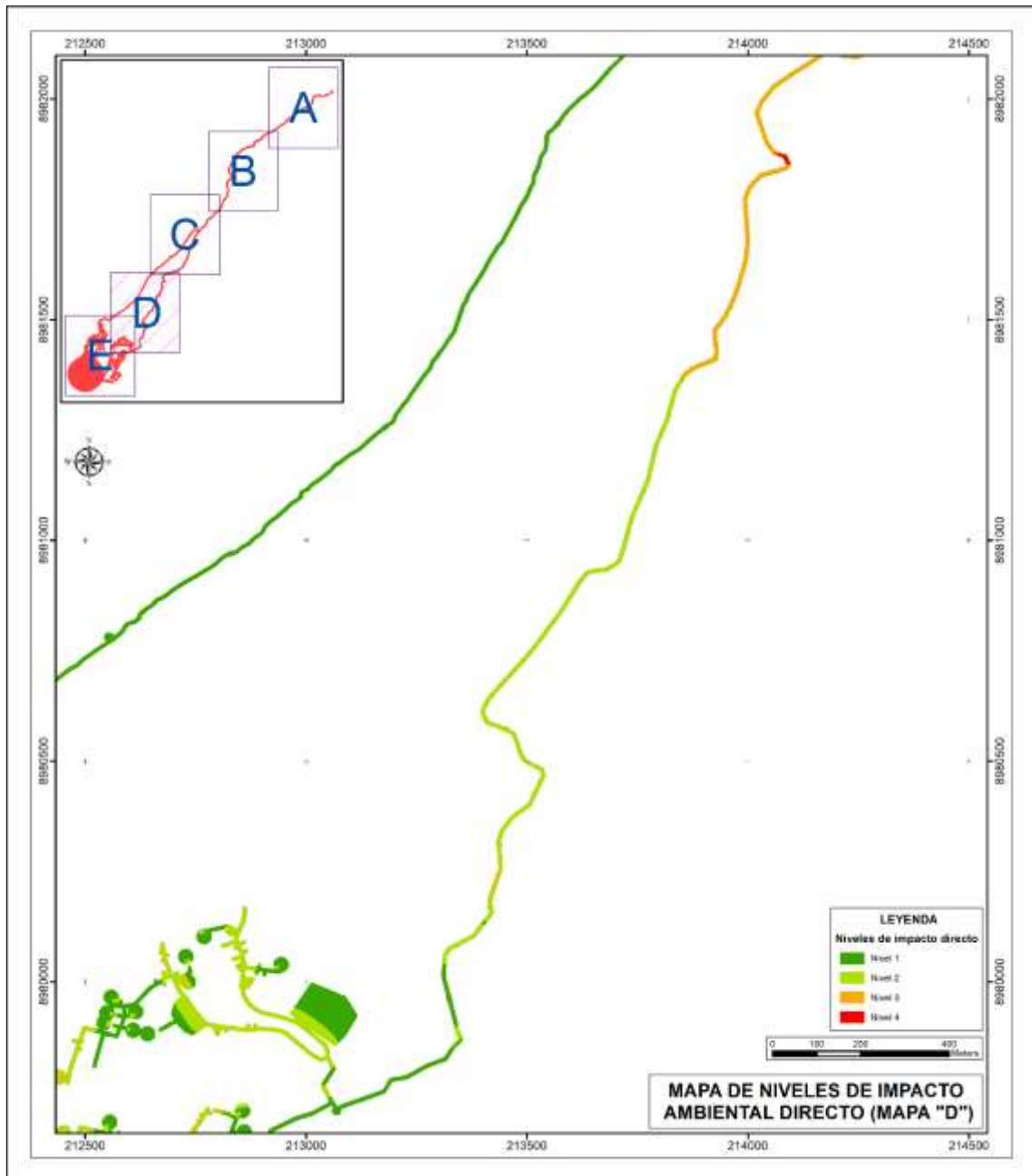
Mapa de niveles de impacto ambiental directo (parte C)



Fuente: Elaboración propia

Figura 11

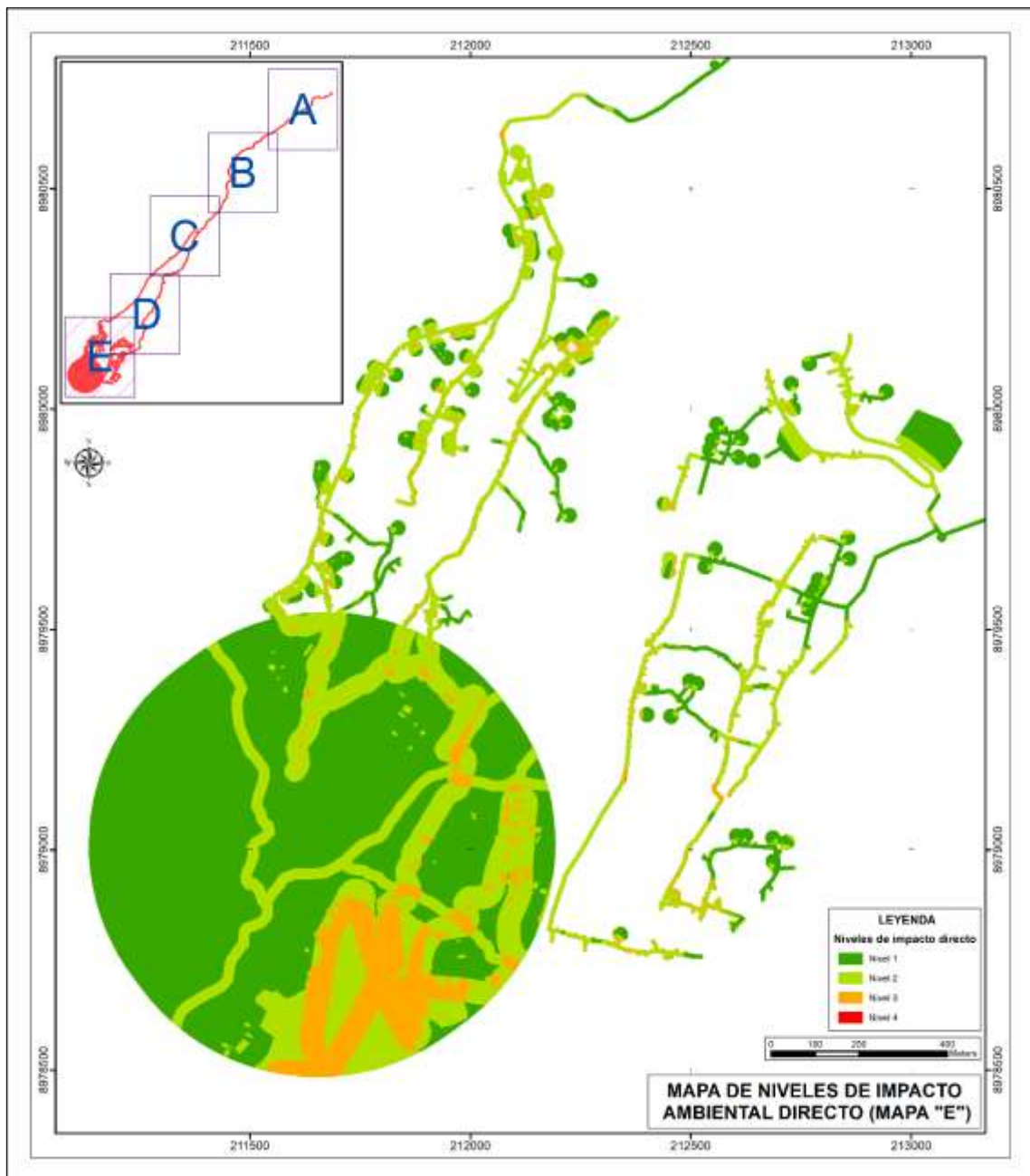
Mapa de niveles de impacto ambiental directo (parte D)



Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Mapa de niveles de impacto ambiental directo (parte E)



Fuente: Elaboración propia



## **CONCLUSIONES**

La aplicación de una evaluación multicriterio mediante sistemas de información geográfica permitió aproximar la identificación y jerarquización de los impactos ambientales directos del proyecto de inversión pública de saneamiento rural denominado “Instalación del sistema de agua potable, alcantarillado y unidades básicas de saneamiento de las localidades de Tomapampa, Congar, Belen, Inkapupampa, Raramayocc y Llipta, Distrito de Shilla – Carhuaz - Ancash”. Esta jerarquización de impactos se basó en la cantidad de factores ambientales impactados dentro del área de influencia directa del proyecto.

En la evaluación multicriterio planteada, la definición de las alternativas de decisión y los criterios de decisión permitió representar adecuadamente a las unidades de área de nivel de impacto directo (celdas) y los factores ambientales, respectivamente.

El diseño del modelo de evaluación multicriterio, conformada por los elementos del modelo, la matriz de decisión y la regla de combinación, permitió realizar el proceso de identificación de los impactos ambientales directos de un proyecto de saneamiento rural.

Este proceso de identificación y jerarquización de impactos ambientales directos, permitió determinar el área de influencia del proyecto, las áreas que pueden recibir impactos ambientales directos y las áreas de cada nivel de impacto directo que puede ocasionar el proyecto de saneamiento rural.

El área de influencia directa del proyecto de saneamiento rural ocupó áreas de impacto ambiental directo de nivel 1 más de la mitad del área total. Y las áreas de nivel 4, el mayor, ocupó menos de 1% del área total. Con estos resultados se concluye que este proyecto solo puede generar impactos ambientales negativos leves y en pequeñas áreas puntuales pueden generar impactos significativos.

## **RECOMENDACIONES**

En este modelo de evaluación multicriterio se podría aproximar la identificación y jerarquización de los impactos ambientales indirectos definidos en el área de influencia indirecta de un proyecto de saneamiento rural.

En este modelo se podrían incluir más factores ambientales como criterios de decisión presentes en el área de influencia del proyecto para mejorar la identificación y jerarquización de impactos ambientales. También se podría especificar y detallar aún más los factores ambientales del modelo.

Para precisar aún más la identificación y jerarquización de impactos ambientales, se podrían definir variables de decisión de categorías discretas de tres a más valores.

Este modelo de evaluación multicriterio también se podría diseñar y aplicar en proyecto de inversión de otros sectores, como proyectos mineros, proyectos viales, proyectos de riego, etc., adecuando los criterios de decisión que le corresponden a cada situación.

## BIBLIOGRAFÍA

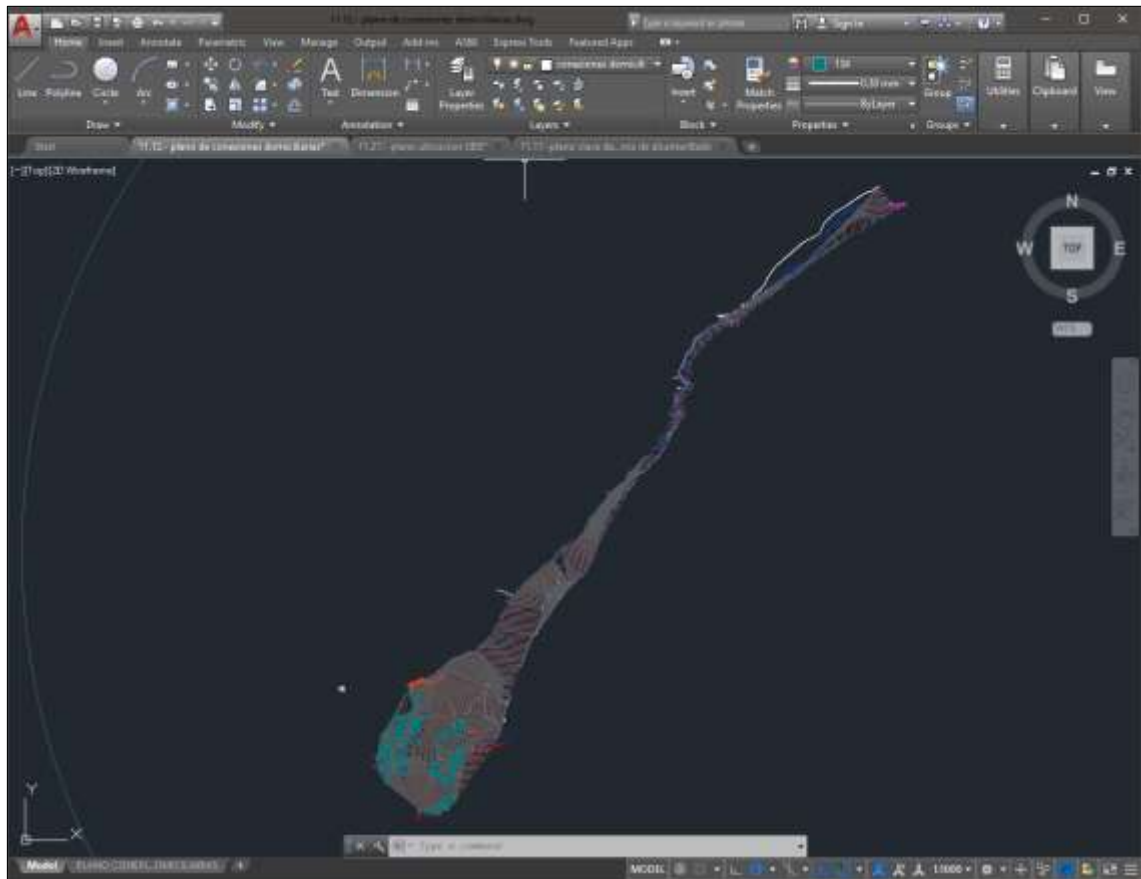
- Chávez-Cortés, M. M., Binnqüist-Cervantes, G., & Salas-Flores, A. C. (2016). Evaluación multicriterio de la vulnerabilidad biofísica ante inundaciones en la subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 97-109.
- Conesa Fernández-Vítora, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Congreso de la República del Perú. (2001). Ley del sistema nacional de evaluación del impacto ambiental. (*Ley N° 27446*). Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/seia/wp-content/uploads/sites/39/2013/10/Ley-y-reglamento-del-SEIA.pdf>
- Congreso de la República del Perú. (2007). Ley del Sistema Nacional de Inversión Pública. (*Ley N° 27293*). Diario Oficial El Peruano. Obtenido de [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/normas/normasv/snip/2015/1.Ley27293-Ley\\_que\\_crea\\_el\\_SNIP\(2014\\_agosto\).pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/snip/2015/1.Ley27293-Ley_que_crea_el_SNIP(2014_agosto).pdf)
- Daga López, R. A. (Octubre de 2009). Determinación de áreas con aptitud para la expansión urbana con fines de ordenamiento territorial aplicando el análisis espacial multicriterio: caso: cuenca baja del río Lurín. *Determinación de áreas con aptitud para la expansión urbana con fines de ordenamiento territorial aplicando el análisis espacial multicriterio: caso: cuenca baja del río Lurín*. Lima, Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/3132>
- Dirección general de asuntos ambientales – MVCS. (2016). Contenidos mínimos a presentar para proyectos de categoría I - DIA en la especialidad saneamiento. Obtenido de [http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos\\_SICA/manual/CONTENIDOSMINIMOSDIASANEAMIENTO.pdf](http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos_SICA/manual/CONTENIDOSMINIMOSDIASANEAMIENTO.pdf)
- Fernandez Flores, J. J. (2007). Aplicación de los sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio para determinar la capacidad de acogida del Callejón de Conchucos para el uso agrícola. *Aplicación de los sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio para determinar la capacidad de acogida del Callejón de Conchucos para el uso agrícola*. Lima, Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Javier Silva, L. A. (2015). Sistemas de información geográfica y la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos: propuesta para la provincia de Huánuco. *Sistemas de información geográfica y la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos: propuesta para la provincia de Huánuco*. Lima, Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. Ontario: John Wiley & Sons, Inc.
- Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Informaticon*. New York: Springer.
- Massam, B. H. (1988). *Multi-criteria decision making (MCDM) techniques in planning*. Progress in Planning.
- Ministerio de Vivenda, Construcción y Saneamiento. (2017). Ficha Técnica Ambiental (FTA) para los proyectos de inversión del subsector saneamiento, no

- comprendidos en el sistema nacional de evaluación de impacto ambiental. (R.M. N° 036-2017-VIVIENDA). Obtenido de <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-ficha-tecnica-ambiental-fta-para-los-proyectos-de-resolucion-ministerial-no-036-2017-vivienda-1480643-6/>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2016). Guía de opciones tecnológicas para sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano y saneamiento en el ámbito Rural. (R.M. N° 173-2016-VIVIENDA). Lima, Lima, Perú. Obtenido de [http://temis.vivienda.gob.pe/SIS\\_RESOLUCIONES/documentos.aspx](http://temis.vivienda.gob.pe/SIS_RESOLUCIONES/documentos.aspx)
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones. *Norma OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Lima, Perú. Obtenido de [http://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.090.pdf](http://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf)
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). Guía de orientación para elaboración de expedientes técnicos de proyectos de saneamiento. Obtenido de <http://www3.vivienda.gob.pe/pnsu/documentos/GUIA%20ORIENT%20EXP%20TEC%20SANEAMIENTO%20V%201.5.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2012). Guía de opciones técnicas para abastecimiento de agua potable y saneamiento para los centros poblados del ámbito rural. (R.M. N° 184-2012-VIVIENDA). Obtenido de <http://pnsr.vivienda.gob.pe/public/docs/65.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2016). Modifican primera actualización del listado de inclusión de los proyectos de inversión sujetos al sistema nacional de evaluación de impacto ambiental - SEIA. (R.M. N° 383-2016-MINAM). Obtenido de <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/modifican-primera-actualizacion-del-listado-de-inclusion-de-resolucion-ministerial-no-383-2016-minam-1463358-2/>
- Olaya, V. (2012). *Sistema de Información Geográfica*. Obtenido de <http://volaya.github.io/libro-sig/>
- Ordoñez, P., Quentin, E., & Cabrera Barona, P. (2016). Análisis de rutas óptimas para el trazado de ductos petroleros basada en evaluación multicriterio. *Revista Geoespacial*, 20-29.
- Reyna-Bowen, L., Reyna-Bowen, M., & Vera-Montengro, L. (2017). Zonificación del territorio para aplicar labranza de conservación mecanizada utilizando el enfoque de evaluación multicriterio. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 40-49.

## ANEXOS

Tomas de pantalla del procedimiento de diseño del modelo EMC-SIG

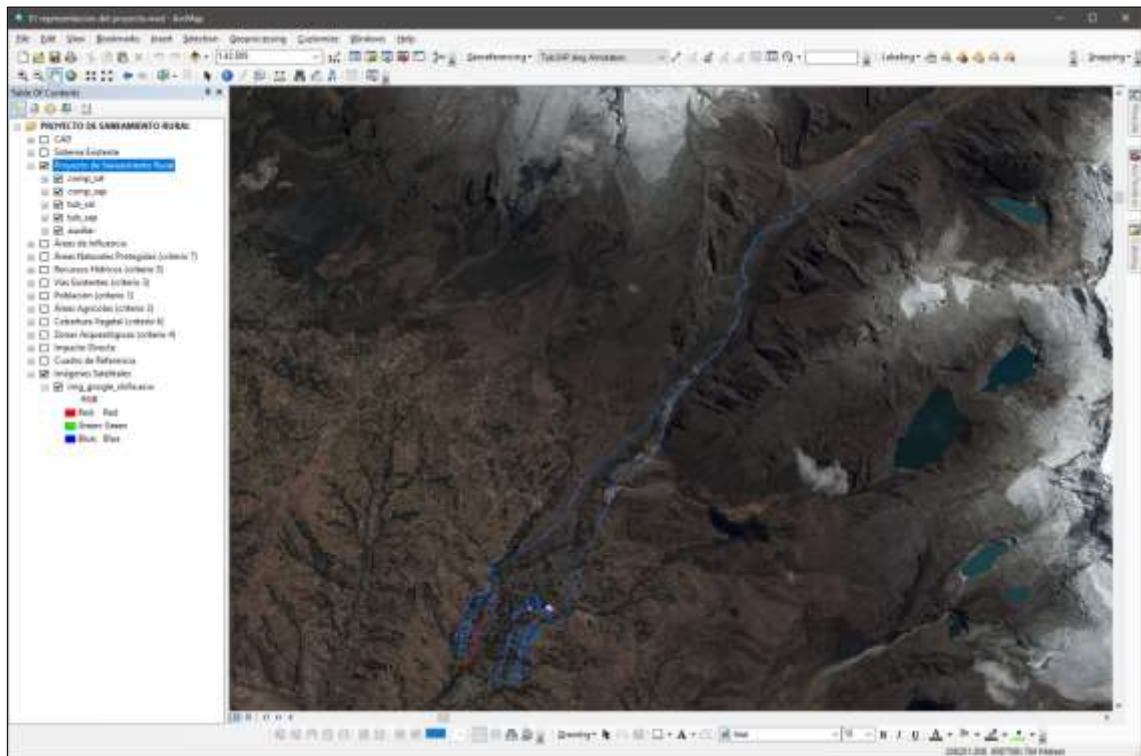
### A1. Planos CAD del expediente técnico



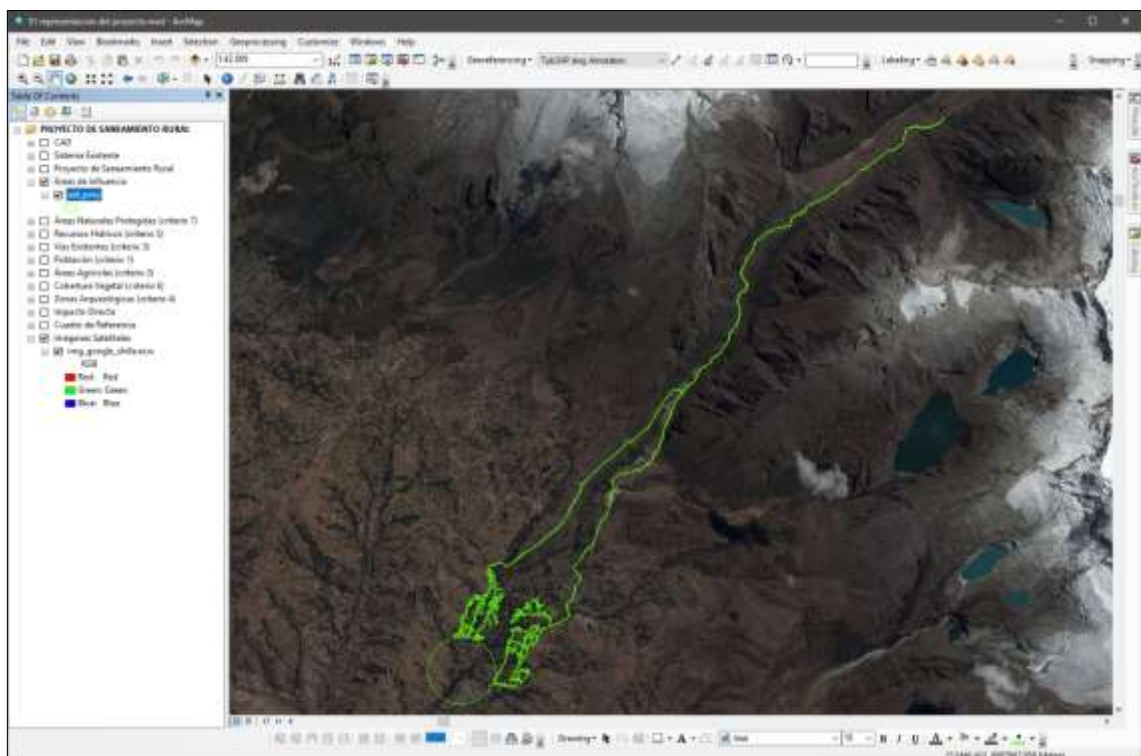
### A2. Archivos CAD creados a partir de los Planos

Nuevo vol (D:) > googledrive > gis_investigacion > emc_saneamiento > 01_diseno_del_modelo > 01_cad				
Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño	
planos_v1	12/02/2018 19:33	Carpeta de archivos		
comp_sal.dwg	20/07/2016 09:47	Archivo DWG	129 KB	
comp_sal_exis.dwg	20/07/2016 12:13	Archivo DWG	38 KB	
comp_sap.dwg	20/07/2016 14:36	Archivo DWG	54 KB	
comp_sap_exis.dwg	20/07/2016 12:12	Archivo DWG	53 KB	
lotes.dwg	20/07/2016 09:45	Archivo DWG	159 KB	
rios_exptec.dwg	21/07/2016 12:14	Archivo DWG	336 KB	
temp.dwg	28/10/2016 17:13	Archivo DWG	41 KB	
tub_sal.dwg	20/07/2016 09:45	Archivo DWG	53 KB	
tub_sal_exis.dwg	25/07/2016 18:36	Archivo DWG	50 KB	
tub_sap.dwg	20/07/2016 11:39	Archivo DWG	111 KB	
tub_sap_exis.dwg	20/07/2016 11:21	Archivo DWG	58 KB	
vias_exptec.dwg	21/07/2016 12:15	Archivo DWG	211 KB	

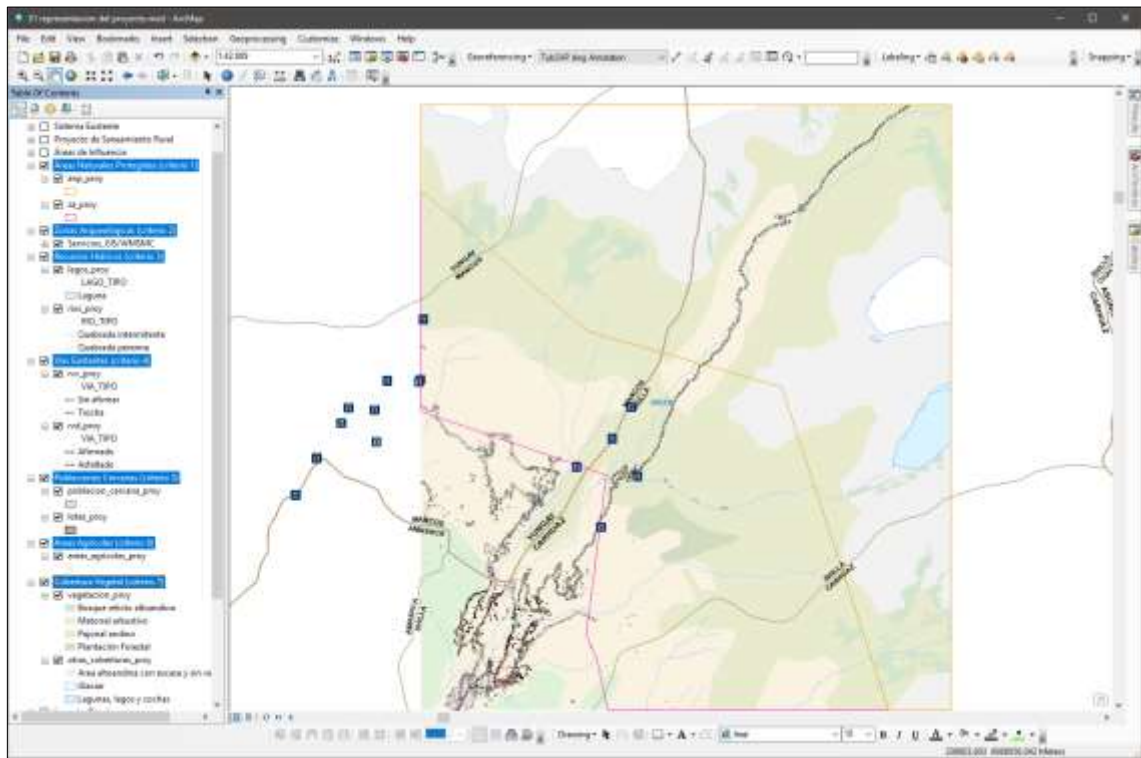
### A3. Capas del proyecto de saneamiento rural con imagen satelital



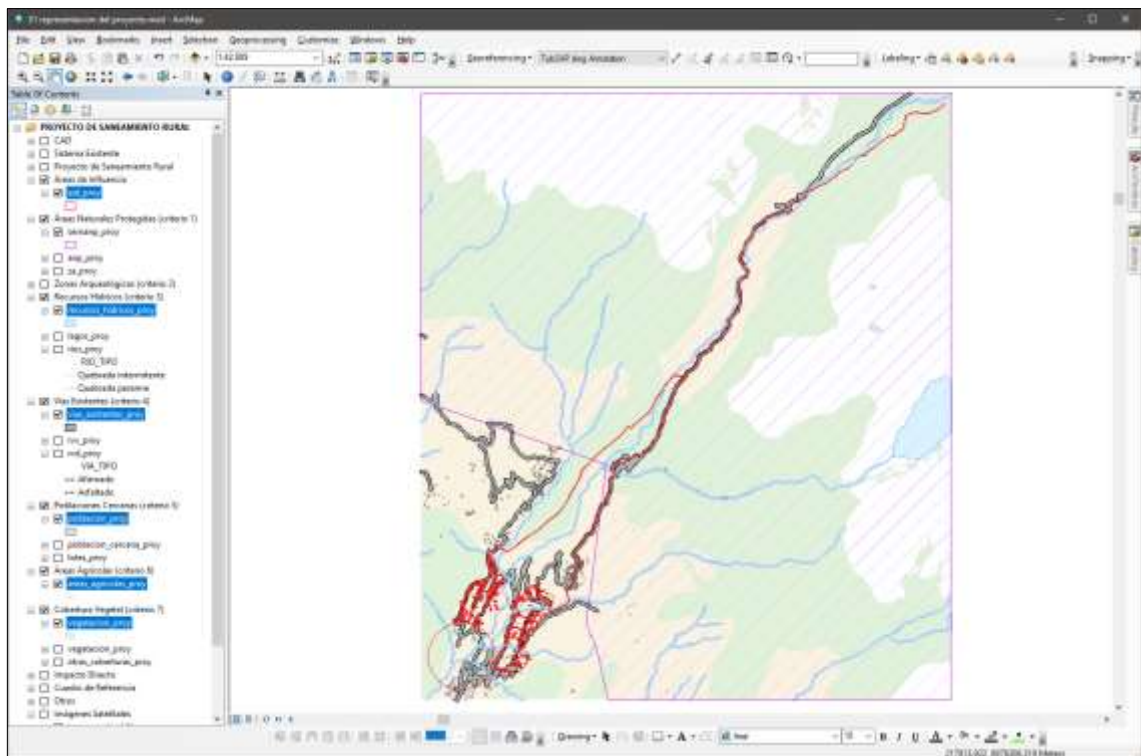
### A4. Capa del área de influencia directa con imagen satelital



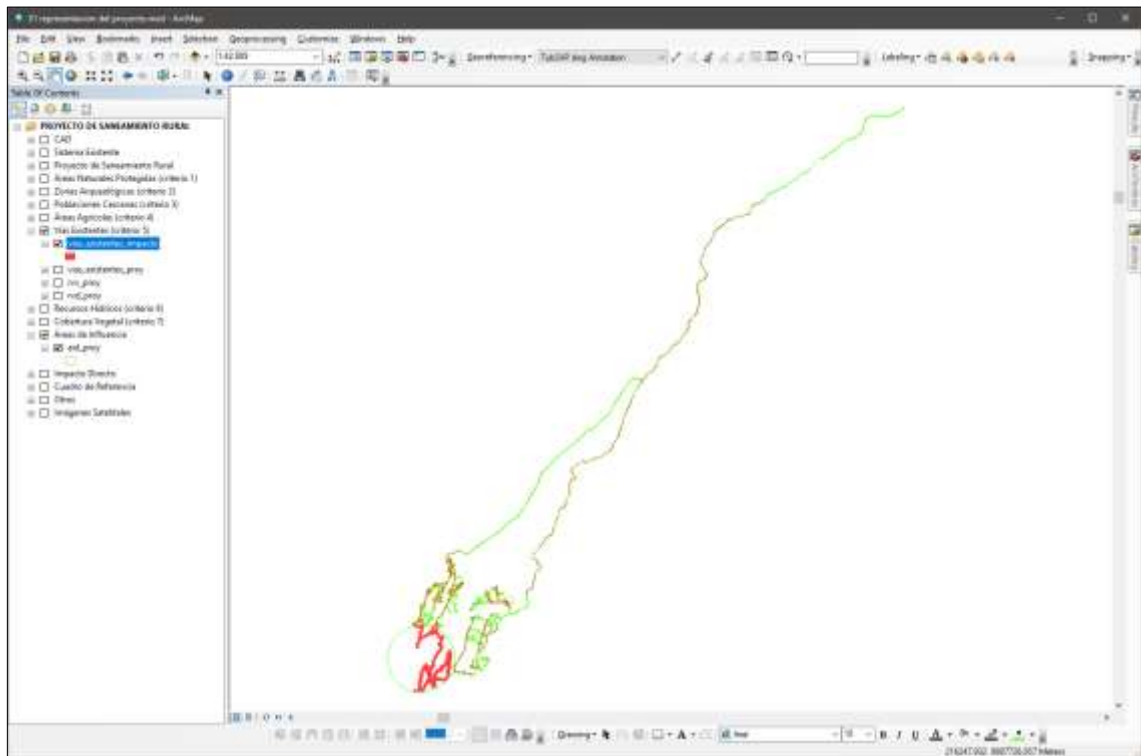
### A5. Capas recortadas de los factores ambientales de acuerdo al proyecto



### A6. Capas agrupadas de los factores ambientales de acuerdo a los criterios



### A7. Capas de presencia del factor ambiental (caso de las vías existentes)



### A8. Capa de niveles de manifestación de impactos ambientales

