

**IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DIFUSAS PARA LA EVALUACIÓN DE
IMPACTO AMBIENTAL MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA**

GERMÁN YESID LUQUE DÍAZ

Proyecto de grado para optar al título de
Especialista en sistemas de información geográfica

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y CIVIL
2022**

**IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DIFUSAS PARA LA EVALUACIÓN DE
IMPACTO AMBIENTAL MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA**

GERMÁN YESID LUQUE DÍAZ

Proyecto de grado para optar al título de
Especialista en sistemas de información geográfica

AREA DE CONOCIMIENTO
Evaluación de Impactos Ambientales

Director
ANDRÉS FELIPE CARVAJAL VANEGAS, Dr.

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y CIVIL
2022

DEDICATORIA

Lo dedico primero a Dios por sobre todas las cosas, a mis padres, mi esposa y a mis tres hermosas hijas las cuales son los amores más grandes de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y mi familia y también a mí mismo por siempre persistir y nunca decaer.

TABLA DE CONTENIDO

1	MARCO TEORICO	16
2	ESTADO DEL CONOCIMIENTO	17
3	OBJETIVOS	19
3.1	Objetivo general	19
3.2	Objetivos específicos	19
4	METODOLOGÍA.....	20
4.1	Diseño de investigación	20
4.2	Procedimiento	20
4.2.1	Conjuntos difusos para variables de tipo cualitativo	20
4.2.2	Conjuntos difusos de salida	23
4.2.3	Valor final del impacto	26
4.2.4	Representación SIG	58
5	RESULTADOS.....	62
6	DISCUSIÓN	97
7	CONCLUSIONES	100
	BIBLIOGRAFÍA	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estructura número difuso trapezoidal	21
Figura 2 Calculo de la importancia del impacto para "Cambio en la Calidad del Aire" mediante el software MATLAB R2018b	26
Figura 3 Línea de alteración ante la intervención	58
Figura 4 Generación mapa Zonificación ambiental	59
Figura 5 Migración de atributos de la Zonificación Ambiental a los Atributos de la Zonificación de Manejo Ambiental.	60
Figura 6 Mapa impacto Cambio en la Calidad del Aire	64
Figura 7 Mapa impacto Cambios en los niveles de presión sonora	65
Figura 8 Mapa Impacto Alteración en el régimen de flujo del agua superficial	66
Figura 9 Mapa Impacto Cambio en la disponibilidad del recurso hídrico superficial (caudal de pérdida) y subterráneo por el abatimiento de los niveles	67
Figura 10 Abatimiento del nivel freático	68
Figura 11 Mapa Impacto Cambio en la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo	69
Figura 12 Mapa Impacto Cambio en la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua superficial	70
Figura 13 Mapa Impacto Alteración de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo	71
Figura 14 Mapa Impacto Cambio en el uso del suelo	72
Figura 15 Mapa Impacto Variación en el nivel de vibraciones	73
Figura 16 Mapa Impacto Inestabilidad geotécnica	74
Figura 17 Mapa impacto Pérdida de cobertura vegetal y hábitats terrestres 75	
Figura 18 Mapa impacto Alteración de flora endémica y con estatus especial de conservación	76
Figura 19 Mapa impacto alteración de la Fauna silvestre	77
Figura 20 Mapa impacto alteración de la fauna silvestre endémica y con estatus especial de conservación	78
Figura 21 Mapa impacto alteración de las comunidades hidrobiológicas	79
Figura 22 Mapa impacto Cambios en la fragmentación y alteración en la conectividad de ecosistemas	80
Figura 23 Mapa impacto Alteración de la calidad visual del paisaje	81
Figura 24 Mapa impacto Generación de expectativas y potenciación de conflictos	82
Figura 25 Mapa impacto Traslado involuntario de las unidades sociales	83
Figura 26 Mapa impacto Cambios en la dinámica poblacional y en la demanda de servicios públicos y sociales	84
Figura 27 Mapa impacto Generación de Empleo	85

Figura 28 Mapa impacto Aumento en la demanda y oferta de bienes y servicios	86
Figura 29 Mapa impacto Afectación a la movilidad local	87
Figura 30 Mapa impacto afectación a la infraestructura de uso comunitario	88
Figura 31 Mapa impacto Cambios en las dinámicas organizativas comunitarias	89
Figura 32 Mapa impacto Reconfiguración del relacionamiento con el territorio	90
Figura 33 Mapa impacto Cambio en las dinámicas de las actividades turísticas	91
Figura 34 Mapa impacto Cambio en las dinámicas de la minería local	92
Figura 35 Mapa impacto Cambios en la gestión institucional y capacidad financiera	93
Figura 36 Mapa impacto Afectación al sitio de interés cultural Santuario de San Antonio	94
Figura 37 Mapa impacto Cambios en las dinámicas funcionales y conectividad de las unidades territoriales veredales por su fraccionamiento y traslado de población e infraestructura social	95
Figura 38 Mapa impacto Afectación a la producción agropecuaria tradicional	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Construcción números difusos trapezoidales.	21
Tabla 2 Números difusos para variables propias del proyecto.....	22
Tabla 3 Importancia del impacto en EIA Soto Norte	24
Tabla 4 Subconjuntos difusos de salida (CI)	24
Tabla 5 Valoración del impacto método Ad Hoc proyecto Soto Norte	27
Tabla 6 Valoración del impacto método propuesto	37
Tabla 7 Resultados método propuesto	46
Tabla 8 Valoración subconjunto difuso de salida	60
Tabla 9 Valoración áreas de zonificación ambiental de manejo	60
Tabla 10 Impactos valorados mediante técnicas difusas	62
Tabla 11 Comparación metodología propuesta versus metodología AD HOC ..	97

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Función de razonamiento aproximado	24
Ecuación 2 Consistencia para dos funciones	25
Ecuación 3 Importancia del impacto	61

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado con la finalidad de aplicar Técnicas Difusas en conjunto con los sistemas de información geográfica como metodología para la evaluación de impactos ambientales, teniendo como caso de estudio explotación subterránea de minerales auroargentíferos "SOTO NORTE". En el desarrollo de este proyecto se realizó un análisis en el cual se identifican las ventajas de usar técnicas difusas sobre métodos convencionales y la forma en la que los sistemas de información geográfica ayudan a focalizar las áreas en las que influye de manera relevante el impacto en caso de llevarse a cabo al proyecto constructivo.

ABSTRACT

The present work was carried out with the purpose of applying Fuzzy Techniques with geographic information systems as one methodology for the environmental impacts assessment, having as a case study underground exploitation of auroargentiferous minerals "SOTO NORTE". In the development of this project, an analysis was carried out in which the advantages of using fuzzy techniques over conventional methods are identified and the way in which geographic information systems help to focus on the areas in which the impact is relevant in case of carrying out the construction project

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la EIA se considera un proceso de análisis que predice bien sean los impactos negativos como positivos de ciertas actividades, permitiendo elegir entre diferentes alternativas, idear mecanismos de control para prevenir / mitigar sus efectos no deseados y potenciar aquellos que generan beneficio en el área de influencia. La EIA se concentra en problemáticas o limitaciones de recursos naturales que podrían afectar la ejecución del proyecto. Examina los impactos del proyecto sobre la población, su territorio, sus medios de vida, o sobre otros proyectos aledaños. Además de predecir problemas potenciales, identifica las medidas para mitigar los problemas y permite adaptar el proyecto al ambiente propuesto (REVELO, 2007).

En Colombia, las EIA se han realizado mediante alternativas que usan métodos cualitativos y/o cuantitativos; metodologías que han presentado varias deficiencias, entre ellas la inhabilidad de valorar la imprecisión de la predicción realizada y de incorporar al análisis aquellas variables no medibles, por lo cual se propone aplicar Técnicas Difusas como herramientas de apoyo, integrando las mismas en una representación geográfica que manifiesta el grado de afectación por medio de la sensibilidad zonal establecida en la zonificación ambiental del proyecto, para lo cual se aplica una metodología de evaluación de impacto ambiental utilizando los Sistemas de Información geográfica (SIG) como herramienta principal para evaluar y determinar todas las condiciones ambientales y sociales del área, utilizando como objeto de estudio el estudio de impacto ambiental (EslA) para el proyecto de explotación subterránea de minerales auroargentíferos “SOTO NORTE” (en adelante proyecto soto norte), proyecto minero que se quiere ejecutar en inmediaciones del páramo de Santurbán.

Es de amplio conocimiento que las metodologías utilizadas para realizar la evaluación de impacto ambiental en Colombia son de carácter subjetivo y en proyectos de alta envergadura se tienden a usar metodologías ad hoc, en busca siempre de disminuir esta subjetividad.

La EIA se caracteriza principalmente por realizar una valoración cualitativa impacto por medio de variables catalogas mediante etiquetas tales como; cobertura, sinergia, recuperabilidad, entre otras, las cuales van asociadas a un rango numérico con el fin de cuantificar esa primera valoración cualitativa, y a su vez, esta valoración es procesada mediante una ecuación asignada a cada método evaluativo, estableciendo un grado de importancia para cada variable y arrojando como resultado un valor que permite magnificar el impacto mediante un rango numérico asociado nuevamente a una etiqueta que nos define el grado de incidencia de una actividad en medio ambiente.

De este modo, se logran evidenciar varias dificultades inherentes a la naturaleza propia de dichas evaluaciones, como son:

- La forma en que el proyecto repercutirá sobre el entorno, dado que la evaluación de impactos es una predicción y asociada a ésta se tiene la incertidumbre.
- El entorno es muy complejo, impidiendo tratar el proyecto como una unidad. Esto obliga a modelar los distintos factores ambientales que sean relevantes, representativos y fácilmente analizables.
- Aunque cada factor se pueda analizar por separado, los factores ambientales son muy diferentes entre sí, y por lo tanto es difícil agregar la información parcial de cada factor para obtener un análisis global del entorno. Esta situación se acentúa aún más, si la evaluación de cada factor se lleva a cabo por un experto diferente.
- Algunas de las variables involucradas son cuantitativas, mientras que otras son de tipo cualitativas; el modelo matemático que se emplee debe ser capaz de combinar ambos tipos de variables de forma coherente.
- El nivel de detalle con que se desea efectuar la evaluación no es siempre el mismo, sino que varía según la fase en que se esté desarrollando el proyecto. La metodología empleada debe adecuarse a distintas características específicas para cada proyecto y cada fase de este.

Como consecuencia a esto que se plantea, se denotan varias deficiencias, tales como son la poca respuesta de los métodos actuales a la eliminación de la incertidumbre generada por el grado de subjetividad inherente a la forma de calificación cualitativa y/o cuantitativa y a su vez, la poca representatividad espacial

asociada a la sensibilidad que representa cada factor dentro del mismo ecosistema debido a la valoración del proyecto como un todo.

De esta manera surge como interrogante, ¿De qué manera las Técnicas Difusas pueden ser una metodología de evaluación de impacto ambiental integrada a los SIG, en donde se elimine el grado de subjetividad?

Es evidente la incidencia y proyección de este requerimiento y el papel protagónico que pasa a cumplir el ANLA, en su proceso de EIA en las etapas de construcción y operación de oleoductos en Colombia. De acuerdo a lo anterior, se hace necesario que las metodologías utilizadas para realizar la EIA sean lo más precisas posibles, y permitan evidenciar de una manera más cercana a la realidad del cómo influirán sobre el entorno las acciones susceptibles a producir impacto una vez se realice la ejecución del proyecto. Sin embargo, muchas de las variables empleadas en las EIA se refieren a conceptos sin fundamentos teóricos, y para ello la modelación se realiza a partir de variables lingüísticas. Por ejemplo, en muchos casos el valor que se le da a la importancia de un impacto se ajusta a criterios de “Irrelevante”, “Moderado”, “Severo” o “Crítico”, los cuales corresponden a etiquetas de semántica muy bien definida.

Por su parte, la metodología “crisp” propone para diferenciarlas una clasificación por intervalos, empleando para ello el cálculo de un índice de importancia. Así, al calcular la importancia de dos impactos, resulta que para uno la importancia es 49 y para el otro 50, surgiendo el siguiente interrogante ¿Es tal la diferencia entre un impacto y otro como para clasificar al primero como moderado y el segundo como severo? Razón por la cual, se propone definir una variable lingüística que contenga los rangos de clasificación de los impactos representados por conjuntos difusos. Aunque, existen otras variables cuya representación con números “crisp” parecería, al menos en principio, adecuada, tal es el caso de la magnitud de un impacto, que se mide empleando indicadores asociados a los factores impactados.

Así mismo se denota la importancia de establecer como el proyecto influye de acuerdo a esta evaluación, en los diferentes micro ecosistemas presentes a lo largo de toda el área de influencia, tanto directa como indirecta, dado que cada uno de ellos presenta un diferente tipo de sensibilidad a la actividad, no es lo mismo una explotación subterránea en un área donde se presenta un pozo de agua subterránea a un área donde se carece completamente de la misma y es separado por diferentes barreras ecológicas.

Por su parte, la superposición de mapas es un método que sirve para evaluar los impactos ambientales por medio de los SIG. Esta herramienta permite capturar

información y especializarla, sirviendo como base datos para analizar la información de forma grupal o independiente. De este modo, la implementación de un SIG en una evaluación de impacto ambiental tiene como objetivo demostrar que los resultados obtenidos pueden usarse de una forma más dinámica, lo cual permite visualizar rápidamente los puntos de interés identificando los impactos ambientales más relevantes en un área geográfica, además que esta aplicación permite capturar la atención de aquellas personas que están interesada en dicho estudio, ya que los traslada directamente al lugar de importancia.

1 MARCO TEORICO

La EIA es el fundamento que permite a una organización sea responsable ambientalmente, de esta manera se conocen los posibles impactos que una actividad pueda generar y así controlar las acciones para prevenir, mitigar, controlar y equilibrar estos impactos. La EIA es un estudio para predecir los efectos ambientales de proyectos a gran escala. La EIA se concentra en conflictos o deficiencias de recursos naturales que pueden influir la ejecución del proyecto. Determina la influencia del proyecto sobre la población, su territorio, sus medios, o sobre su alrededor. Además de predecir problemas potenciales, ofrece medidas para disminuir o aumentar los efectos según sea su característica positiva o negativa y sugiere cómo adaptar el proyecto al ambiente propuesto (REVELO, 2007).

La EIA por medio de Técnicas Difusas es un método que se ha establecido como representación alternativa y más adecuada para indicadores como los usados en la EIA ya que estos representan valores vagos o valores en los que puede presentarse cierta incertidumbre. Este método permite obtener una EIA sujeta a un grado de subjetividad menor lo cual permite tomar medidas correctivas más ajustadas a la realidad del proyecto. La metodología mediante Técnicas Difusas se realiza basada en la metodología convencional, por lo que se considera una extensión de esta, más sin embargo la extensión se ha concebido en forma tal, que realmente cubre otras metodologías similares (DUARTE, 2000).

Diferentes metodologías permiten realizar EIA. Algunos son generales, otros adecuados a cada proyecto, permitiéndoles ser más eficaces y útiles dependiendo de cada necesidad. ,

La superposición de mapas, superposición de transparencias y el método de Mc Harg. Tratan de cartografía en la que los mapas se realizan sobre transparencias, usando gradaciones de color, denotando en los mismos distintos aspectos que luego puede suponerse.

2 . ESTADO DEL CONOCIMIENTO

El uso de las técnicas difusas como herramientas para la EIA se ha aplicado más en estudios enfocados en el campo computacional, específicamente en la creación de software, globalizando los métodos de EIA existentes. De este modo, DUARTE (2000) planteó una metodología creada a partir de la convencional en números crisp, por lo cual se considera una extensión de la misma. En ellas planteó dos fases denominadas valoración difusa aproximada (o de granularidad gruesa) y valoración detallada (o de granularidad fina), además de plantear una función de razonamiento aproximada permitiendo realizar la valoración difusa aproximada.

Por su parte, SHEPARD (2006) en su libro *Quantifying Environmental Impact Assessments Using Fuzzy Logic* se refiere al uso de la lógica difusa para la realización de la EIA, argumentando lo útil que resulta la aplicación del conocimiento adquirido por medio del lenguaje de computación, en donde al igual que DUARTE (2000), se usa la aritmética difusa como una variante de la lógica difusa para realizar los análisis multicriterio y minimizar la subjetividad a la que se encuentran sometidos dichos estudios.

En el campo computacional la Universidad Complutense de Madrid creó el software EIA09 aplicación open-source que facilita realización de proyectos de EIA. En este, se generan alternativas de ejecución, valorando impactos, facilitando la elección de la solución más adecuada (GALLEGO MATÍN, CRUZ MÍNGUEZ, & GONZÁLEZ DE PAULA, 2009).

En el campo de aplicación de técnicas difusas Duarte et al. realizaron la EIA para un depósito mineral en Moa, Cuba, con lo cual demostraron una eliminación notoria de la subjetividad obtenida en los resultados obtenidos por las metodologías convencionales (DUARTE, REQUENA, & ROSARIO, 2010).

Se realizó un trabajo de investigación por estudiantes de ingeniería civil de la universidad católica de Colombia, el proyecto se realizó en la Mojana una subregión geográfica ubicada al norte de Colombia sobre las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge. El proyecto trata de una zonificación ambiental utilizando como herramienta principal los SIG. Por medio de esta herramienta se pudo identificar los corredores que permite la ampliación de la infraestructura vial, con el fin de mejorar las condiciones de transporte y comunicación entre los otros municipios generando un trazado que no afecte su entorno. Para este proyecto se realizó un modelo digital por medio del Software Arc-Gis representando geográficamente las condiciones ambientales y sociales en las que se encuentra el municipio. Analizando mapas abióticos, geológicos, morfológicos, hidrológicos, socioeconómicos, entre otros

Una estudiante de la universidad de Manizales realizó un proyecto donde pudo identificar las zonas ambiental y territorialmente compatibles con la explotación minera en el municipio de Marmato Caldas. Este proyecto se logró con la ayuda de las herramientas SIG, en el cual se pudo analizar, identificar y clasificar la información de forma espacial, logrando identificar áreas compatibles con la minería.

La Universidad Nacional del Nordeste en Argentina ha utilizado los Sistema de Información Geográfica para hacer Gestión Ambiental. Dos estudiantes de esta universidad hicieron un proyecto sobre Sistema de información y Gestión ambiental en las provincias de Chaco y Corrientes. Este proyecto surge de la necesidad de organizar la información ambiental que se tiene en estas regiones y por medio de este sistema se pudo lograr hacer una gestión ambiental, eficaz y rigurosa, y a su vez teniendo información verídica de los recursos naturales. Está información se encontraba, pero en completo desorden, no existía sistematización de la misma, por ello surgió la necesidad de implementar un sistema de información medioambiental que permitiera tomar decisiones.

Se realizó un trabajo de consultoría para el gobierno de la provincia de Mendoza en Argentina, en el cual solicitaba al instituto de CIFOT realizar una evaluación de impacto ambiental de los circuitos productivos y turísticos de la provincia, ellos se enfocaron a realizar un proyecto sistematizado en el cual se puedan evaluar los impactos en conjunto y no parcialmente como lo es en la mayoría de métodos. Este proyecto tiene implícito dos aspectos importantes 1. La geografía, que es el conjunto de condiciones de cada lugar.

Con lo anterior queda demostrado que la aplicación de técnicas difusas y los sistemas de información geográfica en la EIA es un tema en desarrollo, y se cuenta con poca información sobre todo en el campo ambiental, aún más, el uso de ambas metodologías en conjunto es un campo sin explorar, con lo cual se espera con este trabajo innovar en este sentido.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar los impactos ambientales a partir del uso de técnicas difusas y Sistemas de Información Geográfica, en el proyecto de explotación subterránea de minerales auroargentíferos “SOTO NORTE”, en el municipio de Suratá, Santander.

3.2 Objetivos específicos

- Implementar la metodología de EIA basada en técnicas difusas en el proyecto de explotación subterránea de minerales auroargentíferos “SOTO NORTE”, generando una alternativa que permita establecer el valor final del impacto
- Analizar los impactos ambientales utilizando representación de la valoración del impacto mediante la zonificación de manejo ambiental representado por un SIG.

4 METODOLOGÍA

4.1 Diseño de investigación

Para la realización de este proyecto se utilizó información recolectada a través del EIA proyecto Soto Norte que se encuentra publicada por Agencia Nacional de Licencias ambientales en su sitio web. Una vez obtenida la información se procedió a extraer de la misma los datos referentes a la EIA del proyecto y transformando las mismas para convertir cada una de las etiquetas usadas mediante el método ad hoc usado para el proyecto, construyendo los números difusos con los cuales se realizó la obtención final de la valoración del impacto.

Además, se usó un método indirecto, este método no evalúa explícitamente un impacto ambiental, sino que se valoran los impactos ambientales del proyecto valorando su interacción con el ambiente.

Se procede a usar una serie de mapas que contienen componentes ambientales(hidrología, suelos, geología, topografía, asentamientos humanos, etc.): los cuales pueden superponerse para lograr la caracterización de la zona de influencia de un proyecto.

4.2 Procedimiento

4.2.1 Conjuntos difusos para variables de tipo cualitativo

Para este trabajo se procedieron a utilizar números difusos trapezoidales los cuales cumplen con la estructura establecida en la figura a continuación (**Figura 1**)

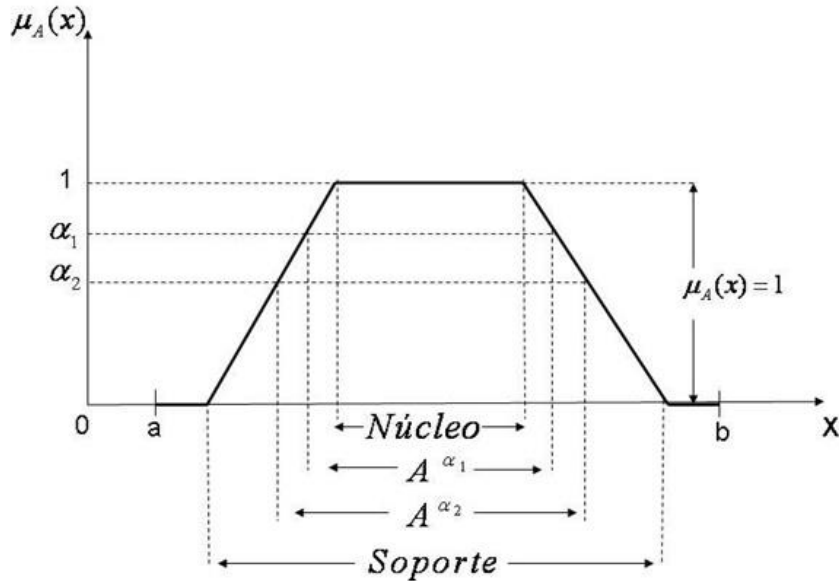


Figura 1 Estructura número difuso trapezoidal

FUENTE: (DUARTE, 2000)

Para la construcción de estos subconjuntos se tomó los pasos establecidos en la tabla para construcción números difusos trapezoidales (**Tabla 1**) y de esta manera se construyó el número difuso propio de cada variable, para ejemplificar este procedimiento se toma la variable *cobertura* para la validación de la metodología propuesta con lo cual se tiene que la variable *cobertura* se encuentra definida por tres etiquetas denominadas *puntual*, *local* y *regional* por lo que en este caso la variable p sería igual a tres, por lo tanto los números difusos de tipo trapezoidal $CD_i = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ para la variable intensidad se construyeron de la siguiente manera:

Sea $p=3$ entonces

Tabla 1 Construcción números difusos trapezoidales.

Construcción números difusos trapezoidales	
$CD_i = (a_1, a_2, a_3, a_4), i = 1, 2, 3 \dots p.$	
<i>Siendo p el número de etiquetas por conjunto.</i>	
$a_i = \begin{cases} 0; & i = 1 \\ (2i - 3)\Delta; & i \neq 1 \end{cases}$	$b_i = \begin{cases} 0; & i = 1 \\ (2i - 2)\Delta; & i \neq 1 \end{cases}$
$c_i = \begin{cases} (2i - 1)\Delta; & i \neq p \\ 1; & i = p \end{cases}$	$d_i = \begin{cases} (2i)\Delta; & i \neq p \\ 1; & i = p \end{cases}$
$\Delta = \frac{1}{2p - 1}$	

FUENTE: (DUARTE, 2000)

Sea $p=4$ entonces

$$\Delta = \frac{1}{2(p) - 1}$$

$$\Delta = \frac{1}{2(3) - 1}$$

$$\Delta = \frac{1}{5}$$

La primera etiqueta es *baja* por lo tanto $i = 1$ y el número difuso se construye de la siguiente manera

$$a_i = \{0; i = 1\}$$

$$a_i = \{0\}$$

$$b_i = \{0; i = 1\}$$

$$b_i = \{0\}$$

$$c_i = \{(2i - 1)\Delta; i \neq p\}$$

$$c_i = \left\{ (2(1) - 1) \frac{1}{5}; \right\}$$

$$c_i = \{0, 2\}$$

$$d_i = \{(2i)\Delta; i \neq p\}$$

$$d_i = \left\{ (2(1)) \frac{1}{5} \right\}$$

$$d_i = \{0, 4\}$$

Siendo entonces el número difuso de la etiqueta *puntual* [0,00 0,00 0,20 0,40]. Siguiendo metodológicamente con $i = 2$, $i = 3$ e $i = 4$ la variable *intensidad* queda definida por los subconjuntos:

- *Puntual*: [0,00 0,00 0,20 0,40]
- *Local*: [0,20 0,40 0,60 0,80]
- *Regional*: [0,60 0,80 1,00 1,00]

De esta manera se procedió a construir todos los números difusos para cada una de las variables utilizadas dentro de la valoración del impacto para el proyecto EIA Soto Norte (**Tabla 2**)

Tabla 2 Números difusos para variables propias del proyecto

TI	Tipo	Conceptos escalares	Número difuso
CA	Carácter	Positivo	N.A.
		Negativo	N.A.
CO	Cobertura	Puntual	0,00 0,00 0,02 0,04
		Local	0,02 0,04 0,06 0,08
		Regional	0,06 0,08 1,00 1,00
M	Magnitud	Baja	0,00 0,00 0,02 0,04
		Media	0,02 0,04 0,06 0,08
		Alta	0,06 0,08 1,00 1,00
DU	Duración	Ocasional	0,00 0,00 0,02 0,04
		Temporal	0,02 0,04 0,06 0,08
		Permanente	0,06 0,08 1,00 1,00
RE	Reversibilidad	Reversible	0,00 0,00 0,33 0,66

		Irreversible	0,33 0,66 1,00 1,00
RC	Recuperabilidad	Recuperable	0,00 0,00 0,33 0,66
		Irrecuperable	0,33 0,66 1,00 1,00
PE	Periodicidad	Intermitente	0,00 0,00 0,02 0,04
		Puntual	0,02 0,04 0,06 0,08
		Continuo	0,06 0,08 1,00 1,00
TE	Tendencia	Disminuye	0,00 0,00 0,02 0,04
		Se mantiene	0,02 0,04 0,06 0,08
		Aumenta	0,06 0,08 1,00 1,00
PO	Probabilidad	Poco Probable	0,00 0,00 0,02 0,04
		Probable	0,02 0,04 0,06 0,08
		Seguro	0,06 0,08 1,00 1,00
IR	Condición de Residualidad	Bajo	0,00 0,00 0,02 0,04
		Medio	0,02 0,04 0,06 0,08
		Alto	0,06 0,08 1,00 1,00
IA	Condición Acumulativa	No existe	0,00 0,00 0,33 0,66
		Existe	0,33 0,66 1,00 1,00
IS	Condición de Sinergia	Muy Baja	0,00 0,00 0,14 0,29
		Baja	0,14 0,29 0,43 0,57
		Alta	0,43 0,57 0,71 0,86
		Muy Alta	0,71 0,86 1,00 1,00
IG	Grado de Incertidumbre	Muy Baja	0,00 0,00 0,11 0,22
		Baja	0,11 0,22 0,33 0,44
		Media	0,33 0,44 0,56 0,67
		Alta	0,56 0,67 0,78 0,89
		Muy Alta	0,78 0,89 1,00 1,00
NV	Nivel de Vulnerabilidad	Muy Baja	0,00 0,00 0,11 0,22
		Baja	0,11 0,22 0,33 0,44
		Media	0,33 0,44 0,56 0,67
		Alta	0,56 0,67 0,78 0,89
		Muy Alta	0,78 0,89 1,00 1,00

FUENTE:AUTOR

4.2.2 Conjuntos difusos de salida

Una vez fueron creados los números difusos se procedioa realizar la evaluación por medio de la función de razonamiento aproximado

Ecuación 1 Función de razonamiento aproximado

$$fra: y = \sum_{i=1}^n f_i w_i g_i(x_i) + \sum_{i=1}^n (1 - f_i) w_i g_i(1 - x_i)$$

FUENTE: (DUARTE, 2000)

Para la cual si (y) es monótonamente creciente a la entrada i , se dará un valor $f_i = 1$, si de lo contrario se dará un valor $f_i = 0$. La variable w_i es el peso de la entrada i , la suma de todos los pesos de entrada deberá ser de 1. La función $g(x_i)$ asignada fue $g(x_i) = (x_i)^{\theta_i}$, donde θ_i es un exponente identificado de acuerdo a las características de la evaluación, para valores de $\theta_i > 1$ permiten subvalorar los valores bajos de x_i y para valores de $\theta_i < 1$ permiten sobrevalorar los valores bajos de x_i . En este caso se escogió un valor por defecto de $\theta_i = 2$.

Estos números de la forma $T: (a_1, a_2, a_3, a_4)$ se transforman a intervalos mediante la ecuación de los α - cortes $T: [a_1 + (a_2 - a_1)\alpha, a_4 - (a_4 - a_3)\alpha] \forall \alpha \in [0, 1]$

Para este trabajo se tomó como referencia las variables de salida del EIA proyecto Soto Norte (**Tabla 3**) y se acondicionaron a la posibilidad de generar impactos negativos dentro de los conjuntos difusos (**Tabla 4**) creados siguiendo los pasos para la construcción de números difusos trapezoidales (**Tabla 1**)

Tabla 3 Importancia del impacto en EIA Soto Norte

Calificación de Importancia (CI)	
8,5 < CI ≤ 10,0	Impacto Muy Significativo
6,0 < CI ≤ 8,5	Impacto Significativo
2,8 < CI ≤ 6,0	Impacto Moderadamente Significativo
0,7 < CI ≤ 2,8	Impacto Poco Significativo
0,0 < CI ≤ 0,7	No Significativo

FUENTE:AUTOR

Tabla 4 Subconjuntos difusos de salida (CI)

Variable difusa del impacto	Número difuso
Critico (-)	-1 -1 -0,89 -0,78
Severo (-)	-0,89 -0,78 -0,67 -0,56
Moderado (-)	-0,67 -0,56 -0,44 -0,33
Compatible (-)	-0,44 -0,33 -0,22 -0,11
Insignificante (-)	-0,22 -0,11 0,00 0,00
No significativo (+)	0,00 0,00 0,11 0,22
Poco Significativo (+)	0,11 0,22 0,33 0,44
Moderadamente Significativo (+)	0,33 0,44 0,56 0,67

Significativo (+)	0,56 0,67 0,78 0,89
Muy Significativo (+)	0,78 0,89 1,00 1,00

FUENTE:AUTOR

Una vez se establece el número difuso que identifica al impacto, se procede a hallar la consistencia

Ecuación 2 Consistencia para dos funciones

$$cons(x, y) = \sup_{u \in U} (\min (\mu_x(u), \mu_y(u)))$$

FUENTE (DUARTE, 2000)

entre las funciones de pertenencia del número difuso y y las funciones de pertenencia de los subconjuntos de la variable importancia para lo cual se tiene que la variable y tiene un dominio $D = (x_1, x_2)$ que hace intersección con los dominios de los subconjuntos difusos de salida siendo definidas las consistencias entre cada subconjunto de la siguiente manera:

1. Si el núcleo del número difuso y coincide con alguno de los núcleos de los subconjuntos de salida este será definido como $cons(CI, y) = \sup_{u \in U} (\min (\mu_{CI}(u), \mu_y(u)))$ tendrá un valor de $1,00$ lo que nos define el valor de la importancia del impacto como *muy posiblemente*
2. De no coincidir los núcleos se procederá a calcular el valor de la intersección de las rectas laterales del número difuso y y los subconjuntos difusos de salida mediante la igualación de las ecuaciones de la recta pendiente dando como resultado un valor I que determina el valor de la importancia del impacto y a su vez el grado de pertenencia a cada subconjunto de la siguiente manera:
 - Si $I > \frac{2}{3}$ se considera que el número difuso y es ***muy posiblemente*** perteneciente al subconjunto de salida con el cual intercepta
 - Si $\frac{2}{3} > I \geq \frac{1}{3}$ se considera que el número difuso y es ***posiblemente*** perteneciente al subconjunto de salida con el cual intercepta
 - Si $I < \frac{1}{3}$ se considera que el número difuso y es ***poco posiblemente*** perteneciente al subconjunto de salida con el cual intercepta

De esta manera se procedió a calcular cada valor de la importancia del impacto I llevando a la metodología mencionada a un código en **MATLAB R2018b**, mediante el uso de su herramienta **Guide**. Los valores de entrada para definir el valor de cada número de salida y fueron tomados de la valoración asignada dentro de la EIA del Proyecto Soto Norte, los cuales se muestran en la tabla valoración del impacto método Ad Hoc proyecto Soto Norte. **(Tabla 5)**

Una vez se creó el código y se introducen los valores asignados para cada impacto (Figura 2) para el impacto *Cambio en la Calidad del Aire* y se procede a realizar este procedimiento para cada impacto a evaluar, los resultados obtenidos se ubican en la tabla valoración del impacto método propuesto (Tabla 6)

4.2.3 Valor final del impacto

Una vez se obtienen los valores de pertenencia de cada impacto a los subconjuntos de salida, se propuso tomar cada impacto y su valor final aquel en el que alcance por lo menos la categoría de *posiblemente* hacia el extremo del eje en el que se valore el impacto, negativo o positivo (Tabla 7). Esto establece que el valor en el que se mueve el impacto a pesar de no estar completamente dentro de dicho subconjunto tiene un valor de pertenencia considerable y no se puede dar por descartado el mismo, sino por el contrario, se debe de tomar como relevante porque la matemática difusa nos muestra que este impacto se acerca a ser valorado como un impacto de una significancia mucho mayor a la de metodologías tradicionales, o por el contrario afirmará el valor del impacto en el valor establecido en estas mismas metodologías tradicionales.

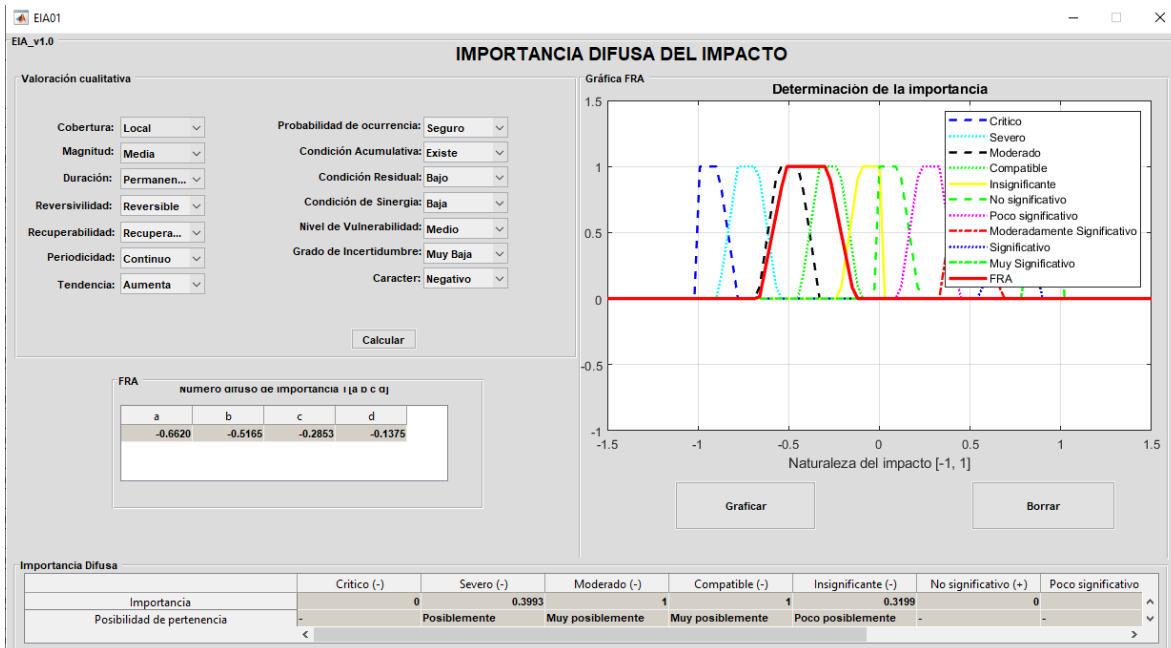


Figura 2 Calculo de la importancia del impacto para "Cambio en la Calidad del Aire" mediante el software MATLAB R2018b

FUENTE:AUTOR

Tabla 5 Valoración del impacto método Ad Hoc proyecto Soto Norte

Medio	Impacto Ambiental	CALIFICACIÓN DEL IMPACTO ESCENARIO CON PROYECTO																
		Tipo	Cobertura	Magnitud	Duración	Reversibilidad	Recuperabilidad	Periodicidad	Tendencia	Probabilidad de Ocurrencia	Condición Acumulativa	Condición de Residualidad	Condición de Sinergia	Nivel de Vulnerabilidad	Grado de Incertidumbre	Calificación del Impacto	Carácter	Calificación de Importancia
		TI	CO	M	DU	RE	RC	PE	TE	PO	IA	IR	IS	NV	GI	CI	CA	
Abiótico	Cambios en la Calidad del Aire	Directo	0,3	0,3	0,8	0,25	0,25	0,5	0,4	0,8	0,51	0,2	0,4	0,3	0,1	4,8	-1	Impacto Moderadamente Significativo
			Local	Media	Permanente	Reversible	Recuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Bajo	Baja	Medio	Muy Bajo		Negativo	
Abiótico	Cambios en los niveles de presión sonora	Directo	0,3	0,2	0,9	0,4	0,25	0,5	0,4	0,9	0,4	0,2	0,25	0,15	0,1	4,6	-1	Impacto Moderadamente Significativo
			Local	Baja	Permanente	Irreversible	Recuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	No existe	Bajo	Muy Baja	Bajo	Muy Bajo		Negativo	
Abiótico	Alteración en el régimen de flujo del agua superficial	Directo	0,35	0,47	0,51	0,41	0,41	0,31	0,31	1	0,51	0,2	1	0,41	0,2	5,8	-1	Impacto Moderadamente Significativo
			Local	Media	Permanente	Irreversible	Irrecuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Bajo	Muy Alta	Muy Alto	Bajo		Negativo	

Abiótico	Cambio en la disponibilidad del recurso hídrico superficial (caudal de pérdida) y subterráneo por el abatimiento de los niveles	Directo	0,3	0,5	0,51	0,38	0,25	0,5	0,31	1	0,51	0,2	1	0,41	0,3	5,9	-1	Impacto Moderadamente Significativo
			Local	Media	Permanente	Irreversible	Recuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Bajo	Muy Alta	Muy Alto	Medio	Negativo		
Abiótico	Abatimiento del nivel freático	Directo	0,5	0,5	1	0,25	0,25	0,4	0,4	1	0,6	0,4	0,4	0,01	0,1	5,7	-1	Impacto Moderadamente Significativo
			Local	Media	Permanente	Reversible	Recuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Medio	Baja	Muy Bajo	Muy Bajo	Negativo		
Abiótico	Cambio en la disponibilidad del recurso hídrico	Directo	0,37	0,3	0,7	0,3	0,25	0,4	0,4	1	0,6	0,4	0,4	0,01	0,1	5,0	-1	Impacto Moderadamente Significativo
			Local	Media	Permanente	Irreversible	Recuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Medio	Baja	Muy Bajo	Muy Bajo	Negativo		

	subterráneo																		
Abiótico	Cambio en la calidad físicoquímica y bacteriológica del agua superficial	Directo	0,3	0,75	1	0,25	0,25	0,5	0,11	1	1	0,2	0,25	0,3	0,1	5,9	-1	Impacto Moderadamente Significativo	
			Local	Alta	Permanente	Reversible	Recuperable	Continuo	Se mantiene	Seguro	Existe	Bajo	Muy Baja	Medio	Muy Bajo		Negativo		
Abiótico	Alteración de las propiedades físicoquímicas y biológicas del suelo	Directo	0,3	0,08	1	0,5	0,25	0,31	0,1	1	1	0,35	0,76	0,3	0,1	5,5	-1	Impacto Moderadamente Significativo	
			Local	Baja	Permanente	Irreversible	Recuperable	Continuo	Disminuye	Seguro	Existe	Medio	Muy Alta	Medio	Muy Bajo		Negativo		
Abiótico	Cambio en el uso del suelo	Directo	0,3	0,08	1	0,5	0,25	0,5	0,11	1	1	0,2	0,76	0,2	0,1	5,5	-1	Impacto Moderadamente Significativo	
			Local	Baja	Permanente	Irreversible	Recuperable	Continuo	Se mantiene	Seguro	Existe	Bajo	Muy Alta	Bajo	Muy Bajo		Negativo		
			0,3	0,5	1	0,15	0,15	0,2	0,11	0,51	0,01	0,3	0,01	0,35	0,25	3,9	-1		

Abiótico	Variación en el nivel de vibraciones	Directo	Local	Media	Permanente	Reversible	Recuperable	Puntual	Se mantiene	Seguro	No existe	Medio	Muy Baja	Alto	Medio			Negativo	Impacto Moderadamente Significativo
Abiótico	Inestabilidad Geotécnica	Directo	0,3	0,15	1	0,35	0,2	0,2	0,05	0,3	0,1	0,15	0,3	0,15	0,25	3,3	-1	Impacto Moderadamente Significativo	
			Local	Baja	Permanente	Irreversible	Recuperable	Puntual	Disminuye	Probable	No existe	Bajo	Baja	Bajo	Medio		Negativo		
Biótico	Pérdida de cobertura vegetal y hábitats terrestres	Directo	0,3	0,03	1	0,4	0,25	0,2	0,5	1	0,7	0,4	0,75	0,5	0,2	5,7	-1	Impacto Moderadamente Significativo	
			Local	Baja	Permanente	Irreversible	Recuperable	Puntual	Aumenta	Seguro	Existe	Medio	Alta	Muy Alto	Bajo		Negativo		
Biótico	Alteración de flora endémica y con estatus especial de conservación	Directo	0,3	0,07	1	0,4	0,25	0,2	0,5	1	0,7	0,4	0,5	0,5	0,1	5,4	-1	Impacto Moderadamente Significativo	
			Local	Baja	Permanente	Irreversible	Recuperable	Puntual	Aumenta	Seguro	Existe	Medio	Baja	Muy Alto	Muy Bajo		Negativo		

Biótico	Alteración de la Fauna silvestre	Directo	0,2	0,01	1	0,2	0,2	0,4	0,3	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	5,2	-1	Impacto Moderadamente Significativo
			Puntual	Baja	Permanente	Reversible	Recuperable	Continuo	Se mantiene	Seguro	Existe	Alto	Baja	Alto	Bajo		Negativo	
Biótico	Alteración de la fauna silvestre endémica y con estatus especial de conservación	Directo	0,2	0,01	1	0,21	0,25	0,4	0,3	1	0,8	0,6	0,5	0,42	0,2	5,3	-1	Impacto Moderadamente Significativo
			Puntual	Baja	Permanente	Reversible	Recuperable	Continuo	Se mantiene	Seguro	Existe	Alto	Baja	Muy Alto	Bajo		Negativo	
Biótico	Alteración de las comunidades hidrobiológicas	Indirecto	0,2	0,7	1	0,3	0,2	0,4	0,5	1	1	0,3	0,3	0,2	0,15	6,0	-1	Impacto Significativo
			Puntual	Alta	Permanente	Irreversible	Recuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Medio	Baja	Bajo	Bajo		Negativo	
Biótico	Cambios en la fragmentación y	Directo	0,6	0,27	1	0,5	0,4	0,4	0,5	1	0,7	0,6	0,5	0,29	0,4	6,8	-1	Impacto Significativo
			Regional	Media	Permanente	Irreversible	Irrecuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Alto	Baja	Medio	Alto		Negativo	

	alteración en la conectividad de ecosistemas																	
Biótico	Alteración de la calidad visual del paisaje	Directo	0,6	0,1	1	0,5	0,4	0,4	0,4	1	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	6,6	-1	Impacto Significativo
			Regional	Baja	Permanente	Irreversible	Irrecuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Alto	Baja	Alto	Alto		Negativo	
Socioeconómico	Generación de expectativas y potenciación de conflictos	Directo	0,6	0,6	0,51	0,26	0,25	0,4	0,09	0,6	0,6	0,6	0,6	0,2	0,35	5,7	-1	Impacto Moderadamente Significativo
			Regional	Alta	Permanente	Irreversible	Recuperable	Continuo	Disminuye	Seguro	Existe	Alto	Alta	Bajo	Alto		Negativo	
Socioeconómico	Traslado involuntario de las unidades sociales	Directo	0,5	0,8	1	0,5	0,5	0,4	0,4	1	0,9	0,9	0,95	0,5	0,5	8,6	-1	Impacto Muy Significativo
			Local	Alta	Permanente	Irreversible	Irrecuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Alto	Muy Alta	Muy Alto	Muy Alto		Negativo	
			0,5	0,8	0,4	0,31	0,5	0,5	0,31	0,8	0,8	0,4	0,6	0,44	0,39	6,7	-1	

Socioeconómico	Cambios en la dinámica poblacional y en la demanda de servicios públicos y sociales	Directo	Local	Alta	Temporal	Irreversible	Irrecuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Medio	Alta	Muy Alto	Alto		Negativo	Impacto Significativo
Socioeconómico	Generación de Empleo.	Directo	1	0,77	1	0,25	0,25	0,5	0,5	1	0,8	1	1	0,3	0,2	8,6	1	Impacto Muy Significativo
			Regional	Alta	Permanente	Reversible	Recuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Alto	Muy Alta	Medio	Bajo		Positivo	
Socioeconómico	Aumento en la demanda y oferta de bienes y servicios	Directo	1	1	1	0,25	0,25	0,5	0,5	1	1	0,3	0,75	0,25	0,31	8,3	1	Impacto Significativo
			Regional	Alta	Permanente	Reversible	Recuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Medio	Alta	Medio	Alto		Positivo	
Socioeconómico	Afectación a la movilidad	Directo	0,49	0,6	0,99	0,3	0,25	0,5	0,4	0,7	0,6	0,3	0,7	0,3	0,29	6,3	-1	Impacto Significativo
			Local	Alta	Permanente	Irreversible	Recuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Medio	Alta	Medio	Medio		Negativo	

	ad local																	
Socioeconómico	Afectación a la infraestructura de uso comunitario	Directo	0,2	0,6	0,3	0,3	0,25	0,3	0,09	1	0,01	0,3	0,25	0,3	0,1	4,0	-1	Impacto Moderadamente Significativo
			Puntual	Alta	Temporal	Irreversible	Recuperable	Puntual	Disminuye	Seguro	No existe	Medio	Muy Baja	Medio	Muy Bajo		Negativo	
Socioeconómico	Cambios en las dinámicas organizativas comunitarias	Directo	0,5	0,6	0,8	0,3	0,3	0,31	0,5	0,7	0,6	0,4	0,8	0,31	0,35	6,3	1	Impacto Significativo
			Local	Alta	Permanente	Irreversible	Irrecuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Medio	Muy Alta	Alto	Alto		Positivo	
Socioeconómico	Reconfiguración del relacionamiento con el territorio	Directo	0,4	0,6	0,8	0,3	0,4	0,31	0,4	0,8	1	0,6	0,6	0,31	0,35	6,6	-1	Impacto Significativo
			Local	Alta	Permanente	Irreversible	Irrecuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Alto	Alta	Alto	Alto		Negativo	
Socioeconómico	Cambio en las dinámicas de las	Indirecto	0,6	0,1	1	0,3	0,5	0,5	0,31	0,4	0,51	0,25	0,26	0,1	0,41	5,0	1	Impacto Moderadamente
			Regional	Baja	Permanente	Irreversible	Irrecuperable	Continuo	Aumenta	Probable	Existe	Medio	Baja	Muy Bajo	Muy Alto		Positivo	

	actividades turísticas																	Significativo
Socioeconómico	Cambio en las dinámicas de la minería local	Indirecto	1	0,8	1	0,4	0,5	0,5	0,5	1	0,8	1	1	0,2	0,3	9,0	1	Impacto Muy Significativo
			Regional	Alta	Permanente	Irreversible	Irrecuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Alto	Muy Alta	Bajo	Medio		Positivo	
Socioeconómico	Cambios en la gestión institucional y capacidad financiera	Directo	1	1	1	0,25	0,25	0,5	0,5	1	1	1	0,76	0,5	0,2	9,1	1	Impacto Muy Significativo
			Regional	Alta	Permanente	Reversible	Recuperable	Continuo	Aumenta	Seguro	Existe	Alto	Muy Alta	Muy Alto	Bajo		Positivo	
Socioeconómico	Afectación al sitio de interés cultural Santuario de San Antonio	Indirecto	0,51	0,3	0,4	0,25	0,15	0,35	0,11	0,3	0,7	0,2	0,75	0,3	0,35	4,6	-1	Impacto Moderadamente Significativo
			Regional	Media	Temporal	Reversible	Recuperable	Continuo	Se mantiene	Probable	Existe	Bajo	Alta	Medio	Alto		Negativo	
			0,21	0,2	0,5	0,25	0,2	0,31	0,01	0,8	0,9	0,2	0,75	0,45	0,1	4,5	-1	

Socioeconómico	Cambios en las dinámicas funcionales y conectividad de las unidades territoriales veredales por su fraccionamiento y traslado de población e infraestructura social	Directo	Local	Baja	Temporal	Reversible	Recuperable	Continuo	Disminuye	Seguro	Existe	Bajo	Alta	Muy Alto	Muy Bajo		Negativo	Impacto Moderadamente Significativo
Socioeconómico	Afectación a la producción agropecuaria	Directo	0,02	0,09	1	0,3	0,01	0,11	0,3	1	0,01	0,01	0,12	0,15	0,1	2,9	-1	Impacto Moderadamente Significativo
			Puntual	Baja	Permanente	Irreversible	Recuperable	Puntual	Se mantiene	Seguro	No existe	Bajo	Muy Baja	Bajo	Muy Bajo		Negativo	

tradicional																	
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

FUENTE:AUTOR

Tabla 6 Valoración del impacto método propuesto

Medio	Impacto Ambiental	Número difuso	Importancia difusa del impacto									
			Critico (-)	Severo (-)	Moderado (-)	Compatible (-)	Insignificante (-)	No significativo (+)	Poco Significativo (+)	Moderadamente Significativo (+)	Significativo (+)	Muy Significativo (+)
Abiótico	Cambio en la Calidad del Aire	[-0,0662 - 0,5165 - 0,2853 - 0,1375]		0,3993	1	1	0,3199					
				Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy posiblemente	Poco Posiblemente					
Abiótico	Cambios en los niveles de presión sonora	[-0,5949 - 0,4980 - 0,2772 - 0,1319]		0,1688	1	1	0,345					
				Poco Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy posiblemente	Posiblemente					
Abiótico	Alteración en el régimen de flujo del agua superficial	[-0,8135 - 0,7419 - 0,4272 - ...]	0,1843	1	1	0,6992	0,0185					
			Poco Posiblemente	Muy Posiblemente	Moderado	Muy posiblemente	Poco posiblemente					

		0,21 40]										
Abiótico	Cambio en la disponibilidad del recurso hídrico superficial (caudal de pérdida) y subterráneo por el abatimiento de los niveles	[- 0,76 64 - 0,67 18 - 0,39 17 - 0,20 44]		1	1	0,7925	0,0525					
				Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Poco Posiblemente					
Abiótico	Abatimiento del nivel freático	[- 0,66 69 - 0,51 76 - 0,28 33 - 0,13 33]		0,4123	1	0,8783	0,3335					
				Posiblemente	Muy posiblemente	Muy posiblemente	Posiblemente					
Abiótico	Cambio en la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo	[- 0,72 68 - 0,61 77 - 0,33 66 - 0,14 66]		0,7612	1	0,9781	0,2446					
				Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Poco Posiblemente					
Abiótico				0,4824	1	1	0,2336					

	Cambio en la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua superficial	[-0,6718 - 0,5500 - 0,3129 - 0,1582]		Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Poco Posiblemente						
Abiótico	Alteración de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo	[-0,6791 - 0,5859 - 3,287 - 0,1558]		0,586	1	1	0,2271						
				Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Poco Posiblemente						
Abiótico	Cambio en el uso del suelo	[-0,6635 - 0,5733 - 0,3198 - 0,1498]		0,517	1	1	0,2507						
				Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Poco Posiblemente						
Abiótico	Variación en el nivel de vibraciones	[-0,6072 - 0,4114 - 0,2320 - 0,1121]		0,1544	0,9066	1	0,4691						
				Poco Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Posiblemente						
Abiótico					0,5927	1	0,7529						

	Inestabilidad Geotécnica	[-0,4837 - 0,3344 - 0,1608 - 0,0652]			Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente					
Biótico	Pérdida de cobertura vegetal y hábitats terrestres	[-0,7082 - 0,5961 - 0,3349 - 0,1655]	0,6673	1	0,9825	0,195						
			Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Poco Posiblemente						
Biótico	Alteración de flora endémica y con estatus especial de conservación	[-0,7009 - 0,5976 - 0,3350 - 0,1591]	0,6605	1	0,9826	0,213						
			Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Poco Posiblemente						
Biótico	Alteración de la Fauna silvestre	[-0,5793 - 0,4684 - 0,2723 - 0,1429]	Poco Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente						
			0,1527	1	1	0,2437						
Biótico			0,1527	1	1	0,2437						

	Alteración de la fauna silvestre endémica y con estatus especial de conservación	[-0,59 20 - 0,49 23 - 0,29 33 - 0,16 09]		Poco Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Poco Posiblemente						
Biótico	Alteración de las comunidades hidrobiológicas	[-0,70 21 - 0,64 40 - 0,36 61 - 0,17 99]		0,8453	1	0,878	0,1353						
				Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Poco Posiblemente						
Biótico	Cambios en la fragmentación y alteración en la conectividad de ecosistemas	[-0,81 79 - 0,76 71 - 0,43 99 - 0,21 75]	0,2359	1	1	0,6694	0,0075						
				Poco Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Poco Posiblemente						
Biótico	Alteración de la calidad visual del paisaje	[-0,77 69 - 0,74 37 - 0,43 48 - 0,22 49]		1	1	0,6724							
				Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente							

Socioeconómico	Generación de expectativas y potenciación de conflictos	[-0,7883 - 0,7436 - 0,4420 - 0,2344]		0,0539	1	1	0,6473					
				Poco Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Posiblemente					
Socioeconómico	Traslado involuntario de las unidades sociales	[-0,8922 - 0,8560 - 0,5199 - 0,2869]	0,7676	1	1	0,4464						
			Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Posiblemente						
Socioeconómico	Cambios en la dinámica poblacional y en la demanda de servicios públicos y sociales	[-0,8550 - 0,7895 - 0,4619 - 0,2386]	0,4273	1	1	0,6043						
			Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Posiblemente						
Socioeconómico	Generación de Empleo.	[0,2727 - 0,4918 - 0,7878 - 0,8390]						0,5084	1	1	0,3658	
								Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Posiblemente	
								0,5883	1	1	0,1179	

Socioeconómico	Aumento en la demanda y oferta de bienes y servicios	[0,25 21 0,46 15 0,73 06 0,80 13]							Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Poco Posiblemente
Socioeconómico	Afectación a la movilidad local	[- 0,79 27 - 0,70 18 - 0,40 16 - 0,19 82]	0,0631	1	1	0,7717	0,0697					
			Poco Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Poco Posiblemente					
Socioeconómico	Afectación a la infraestructura de uso comunitario	[- 0,48 37 - 0,38 56 - 0,20 67 - 0,09 35]			0,7386	1	0,5668					
					Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Posiblemente					
Socioeconómico	Cambios en las dinámicas organizativas comunitarias	[0,24 01 0,46 63 0,79 59 0,85 82]							0,5946	1	1	0,4538
									Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Posiblemente
Socioeconómico	Reconfiguración del relacionamiento	[- 0,86 43 - 0,80 47 -	0,497	1	1	0,5876						
			Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Posiblemente						

	con el territorio	0,4703 - 0,2402]										
Socioeconómico	Cambio en las dinámicas de las actividades turísticas	[0,1757 - 0,3518 - 0,6260 - 0,6865]					0,1549	0,9237	1	0,7419		
							Poco Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente		
Socioeconómico	Cambio en las dinámicas de la minería local	[0,2794 - 0,5362 - 0,8961 - 0,8961]						0,4379	1	1	1	
								Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	
Socioeconómico	Cambios en la gestión institucional y capacidad financiera	[0,3100 - 0,5550 - 0,8843 - 0,9072]						0,3662	1	1	0,957	
								Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	
Socioeconómico	Afectación al sitio de interés cultural Santuario de San Antonio	[-0,5519 - 0,4206 - 0,2481 - 0,1225]		0,9195	1	0,4139						
				Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Posiblemente						
				0,6184	1	0,579						

Socioeconómico	Cambios en las dinámicas funcionales y conectividad de las unidades territoriales veredales por su fraccionamiento y traslado de población e infraestructura social	[-0,4782 - 0,3485 - 0,1940 - 0,1044]			Posiblemente	Muy Posiblemente	Posiblemente						
Socioeconómico	Afectación a la producción agropecuaria tradicional	[-0,4888 - 0,3783 - 0,1978 - 0,0876]			0,72	1	0,6013						
					Muy Posiblemente	Muy Posiblemente	Posiblemente						

FUENTE:AUTOR

Medio	Impacto Ambiental	Número difuso	Importancia difusa del impacto									
			Critico (-)	Severo (-)	Moderado (-)	Compatible (-)	Insignificante (-)	No significativo (+)	Poco Significativo (+)	Moderadamente Significativo (+)	Significativo (+)	Muy Significativo (+)
	les veredas por su fraccionamiento y traslado de población e infraestructura social											
Socioeconómico	Afectación a la producción agropecuaria tradicional	[-0,48 - 0,37 - 0,19 - 0,08 - 0,76]			0,72							
					Muy Posiblemente							

FUENTE:AUTOR

4.2.4 Representación SIG

De acuerdo al estudio de impacto ambiental del Proyecto Soto Norte, se establecen dos zonificaciones, la zonificación ambiental y la zonificación de manejo que se establece a partir de la zonificación ambiental las cuales fueron usadas en el presente trabajo para manifestar el grado de alteración de acuerdo a la sensibilidad de cada zona

4.2.4.1 Zonificación ambiental

De acuerdo al estudio de impacto ambiental del Proyecto Soto Norte, se estableció la zonificación ambiental aquella que comprende el estudio de la sensibilidad presente en un área de forma armonizada con los tres componentes (abiótico, biótico y socioeconómico) y sus respectivos elementos en la condición sin afectación por la injerencia del proyecto, el análisis de la zonificación ambiental parte de las cualidades del medio que expresan su susceptibilidad ante fenómenos naturales y/o antrópicos y de cómo se presenta su respuesta ante estos eventos.

Por lo cual se establecieron unidades de zonificación como lo son las áreas de exclusión minera, áreas de especial valor ecológico, planes de ordenamiento y/o planificación, áreas de recuperación ambiental, de riesgo natural, de inversión por parte del estado para la conservación microcuencas, producción económica y de importancia social.

Una vez establecidas las unidades de zonificación se establecieron categorías de sensibilidad siendo estas denominadas, áreas ambientalmente frágiles, ambientalmente sensibles y con potencialidad.

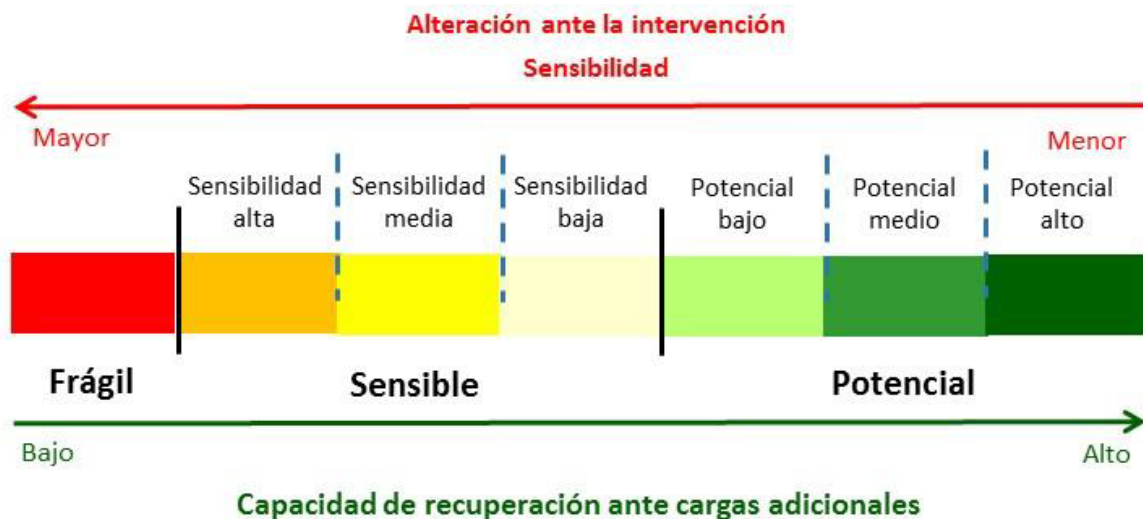


Figura 3 Línea de alteración ante la intervención

Fuente: EsIA proyecto Soto Norte

Una vez obtenido cada mapa de acuerdo con la clasificación anterior se procede a establecer un mapa de zonificación ambiental figura generación mapa Zonificación ambiental.

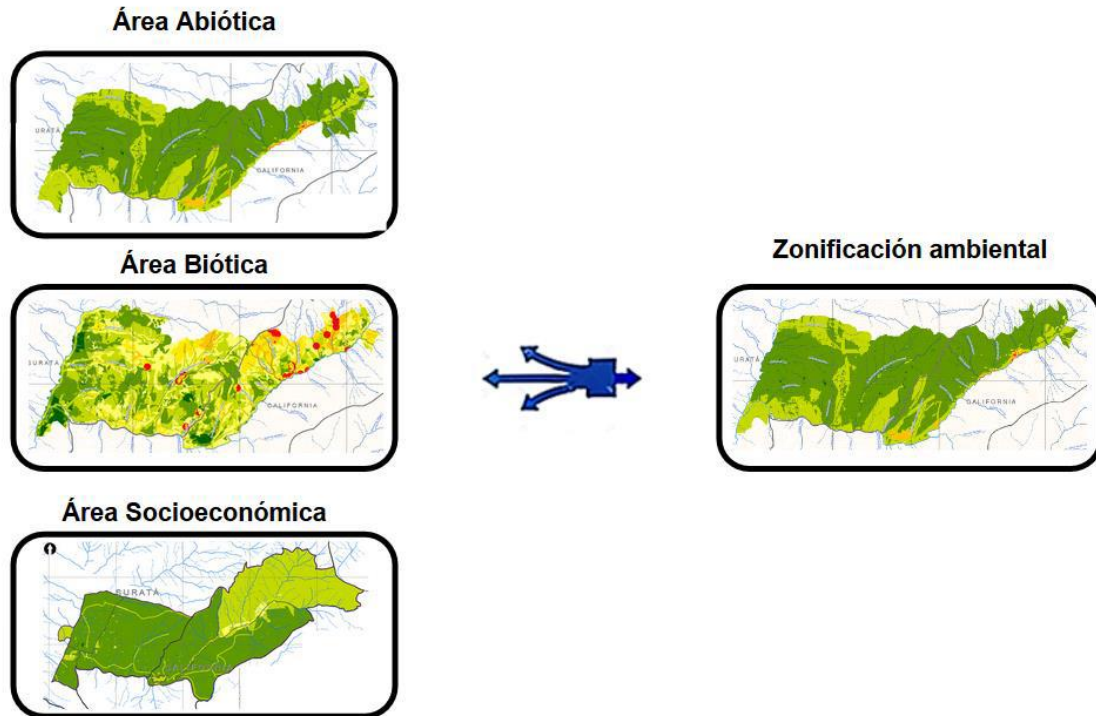


Figura 4 Generación mapa Zonificación ambiental
Fuente: EsIA proyecto Soto Norte

4.2.4.2 Zonificación de manejo

Una vez establecida la zonificación ambiental, se procedió a generar una zonificación de manejo en donde se representan las tendencias de las áreas o zonas dentro de las cuales se requiere realizar un determinado proceso, el cual está ajustado acorde a la normatividad ambiental vigente para Colombia y sus directrices se consignan en la normatividad ambiental y los términos de referencia propios de cada proyecto, como en este caso puntual el proyecto Soto Norte

Esta zonificación ambiental de manejo, transforma las categorías de sensibilidad y/o potencialidad, realizado en la zonificación ambiental, en tres tipos de áreas que corresponden a: exclusión, intervención con restricciones e intervención. Las áreas de intervención con restricciones se subdividen a su vez en tres dependiendo a su grado de restricción: alta, media y baja. Las áreas de intervención son aquellas, en donde se pueden desarrollar actividades inherentes al proyecto sin restricciones, pero con la aplicación de medidas de manejo ambiental, acordes con la normatividad actual. (Figura 5)

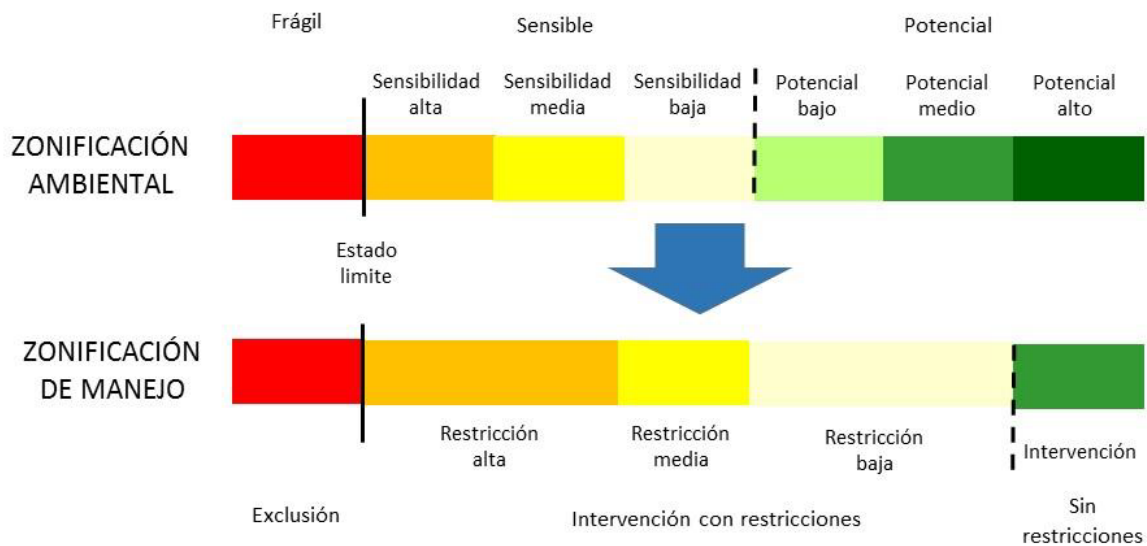


Figura 5 Migración de atributos de la Zonificación Ambiental a los Atributos de la Zonificación de Manejo Ambiental.

Fuente: EsIA proyecto Soto Norte

4.2.4.3 Metodología propuesta

Mediante el uso de los datos obtenidos para el método propuesto (**Tabla 7**) se procedió a asignar valores escalares a los subconjuntos difusos de salida (**Tabla 8**), y a las variables establecidas en la zonificación de manejo ambiental (**Tabla 9**)

Tabla 8 Valoración subconjunto difuso de salida

Variable difusa del impacto	Valor escalar
Critico (-)	-5
Severo (-)	-4
Moderado (-)	-3
Compatible (-)	-2
Insignificante (-)	-1
No significativo (+)	1
Poco Significativo (+)	2
Moderadamente Significativo (+)	3
Significativo (+)	4
Muy Significativo (+)	5

FUENTE:AUTOR

Tabla 9 Valoración áreas de zonificación ambiental de manejo

Áreas de zonificación ambiental de manejo	Valor escalar
Intervención sin restricción	1

Intervención con Restricción Baja	2
Intervención con Restricción Media	3
Intervención con Restricción Alta	4
Exclusión	5

FUENTE:AUTOR

Una vez se estableció esta valoración escalar para los subconjuntos difusos de salida y las áreas de zonificación de manejo ambiental, se procede a valorar el grado de influencia de cada impacto dentro de cada área establecida

Ecuación 3 Importancia del impacto

Importancia del impacto = Vble. difusa del imp. × Áreas de zonif. amb. de manejo

FUENTE: AUTOR

De esta manera cada impacto muestra el grado de influencia en cada área valorada dentro de la zonificación ambiental.

5 RESULTADOS

Para la zonificación de manejo ambiental se tienen definidas dentro del EsIA 10,915 áreas definidas y valoradas de acuerdo con lo mencionado en el numeral 4.2.4.2 las cuales fueron evaluadas de acuerdo con los 33 impactos encontrados dentro de la EIA del proyecto Soto Norte (**Tabla 10**)

Tabla 10 Impactos valorados mediante técnicas difusas

Medio	impacto	Impacto Ambiental	Valoración difusa del impacto	Valoración escalar
Abiótico	impacto_1	Cambio en la Calidad del Aire	severo	-4
Abiótico	impacto_2	Cambios en los niveles de presión sonora	moderado	-3
Abiótico	impacto_3	Alteración en el régimen de flujo del agua superficial	severo	-4
Abiótico	impacto_4	Cambio en la disponibilidad del recurso hídrico superficial (caudal de pérdida) y subterráneo por el abatimiento de los niveles	severo	-4
Abiótico	impacto_5	Abatimiento del nivel freático	severo	-4
Abiótico	impacto_6	Cambio en la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo	severo	-4
Abiótico	impacto_7	Cambio en la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua superficial	severo	-4
Abiótico	impacto_8	Alteración de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo	severo	-4
Abiótico	impacto_9	Cambio en el uso del suelo	severo	-4
Abiótico	impacto_10	Variación en el nivel de vibraciones	moderado	-3
Abiótico	impacto_11	Inestabilidad geotécnica	moderado	-3
Biótico	impacto_12	Pérdida de cobertura vegetal y hábitats terrestres	severo	-4
Biótico	impacto_13	Alteración de flora endémica y con estatus especial de conservación	severo	-4
Biótico	impacto_14	alteración de la Fauna silvestre	moderado	-3
Biótico	impacto_15	alteración de la fauna silvestre endémica y con estatus especial de conservación	moderado	-3
Biótico	impacto_16	alteración de las comunidades hidrobiológicas	severo	-4
Biótico	impacto_17	Cambios en la fragmentación y alteración en la conectividad de ecosistemas	severo	-4
Biótico	impacto_18	Alteración de la calidad visual del paisaje	moderado	-3
Socioeconómico	impacto_19	Generación de expectativas y potenciación de conflictos	moderado	-3
Socioeconómico	impacto_20	Traslado involuntario de las unidades sociales	severo	-4

Socioeco nómico	impacto_2 1	Cambios en la dinámica poblacional y en la demanda de servicios públicos y sociales	severo	-4
Socioeco nómico	impacto_2 2	Generación de Empleo.	Muy significativ o	5
Socioeco nómico	impacto_2 3	Aumento en la demanda y oferta de bienes y servicios	significativ o	4
Socioeco nómico	impacto_2 4	Afectación a la movilidad local	severo	-4
Socioeco nómico	impacto_2 5	Afectación a la infraestructura de uso comunitario	moderado	-3
Socioeco nómico	impacto_2 6	Cambios en las dinámicas organizativas comunitarias	muy significativ o	5
Socioeco nómico	impacto_2 7	Reconfiguración del relacionamiento con el territorio	critico	-5
Socioeco nómico	impacto_2 8	Cambio en las dinámicas de las actividades turísticas	significativ o	4
Socioeco nómico	impacto_2 9	Cambio en las dinámicas de la minería local	muy significativ o	5
Socioeco nómico	impacto_3 0	Cambios en la gestión institucional y capacidad financiera	muy significativ o	5
Socioeco nómico	impacto_3 1	Afectación al sitio de interés cultural Santuario de San Antonio	moderado	-3
Socioeco nómico	impacto_3 2	Cambios en las dinámicas funcionales y conectividad de las unidades territoriales veredales por su fraccionamiento y traslado de población e infraestructura social	moderado	-3
Socioeco nómico	impacto_3 3	Afectación a la producción agropecuaria tradicional	moderado	-3

FUENTE:AUTOR

Estas valoraciones son representadas mediante el uso del software ArcGIS 10.8. y son presentadas de la siguiente manera:

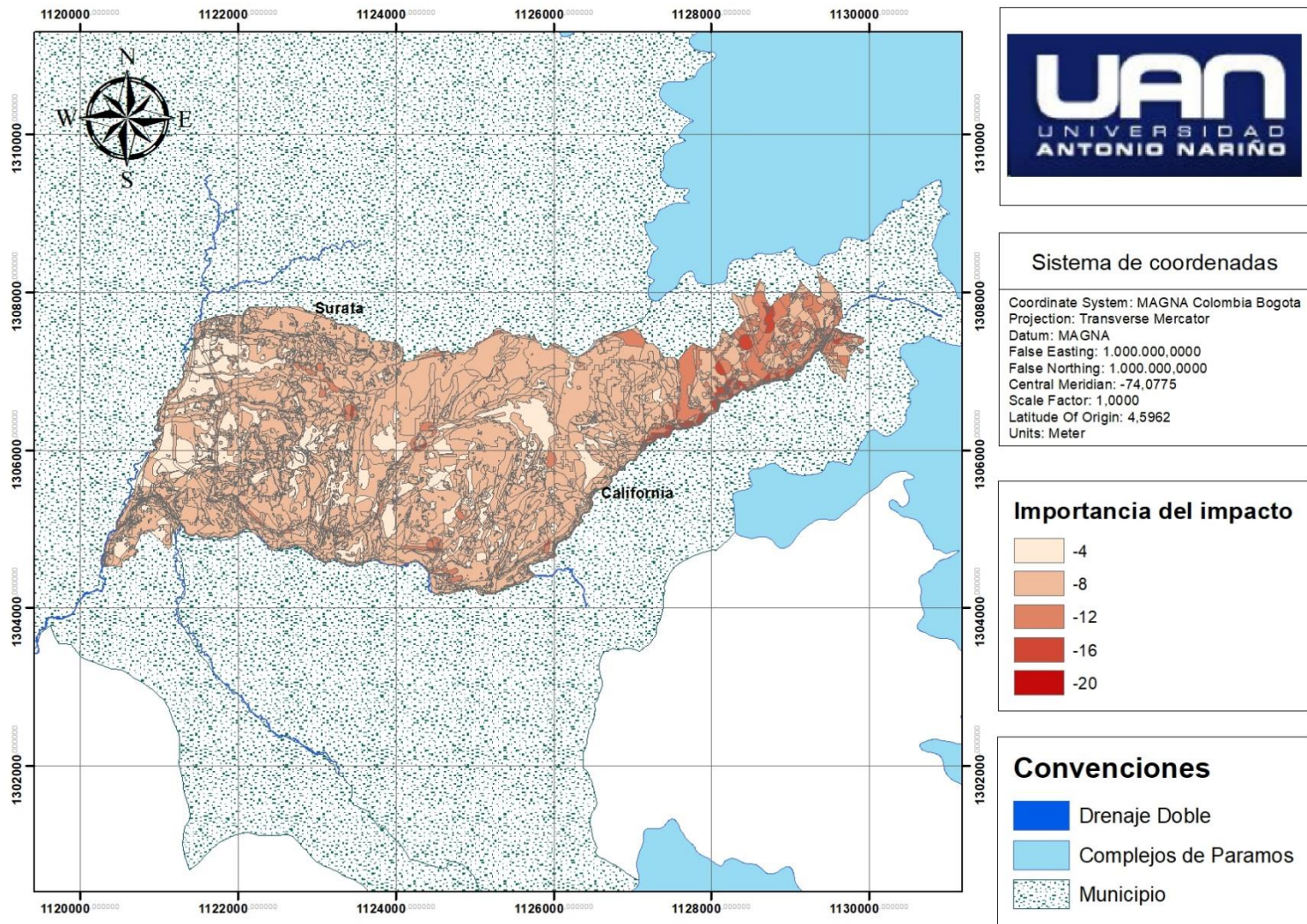


Figura 6 Mapa impacto Cambio en la Calidad del Aire
 FUENTE: Elaboración autor

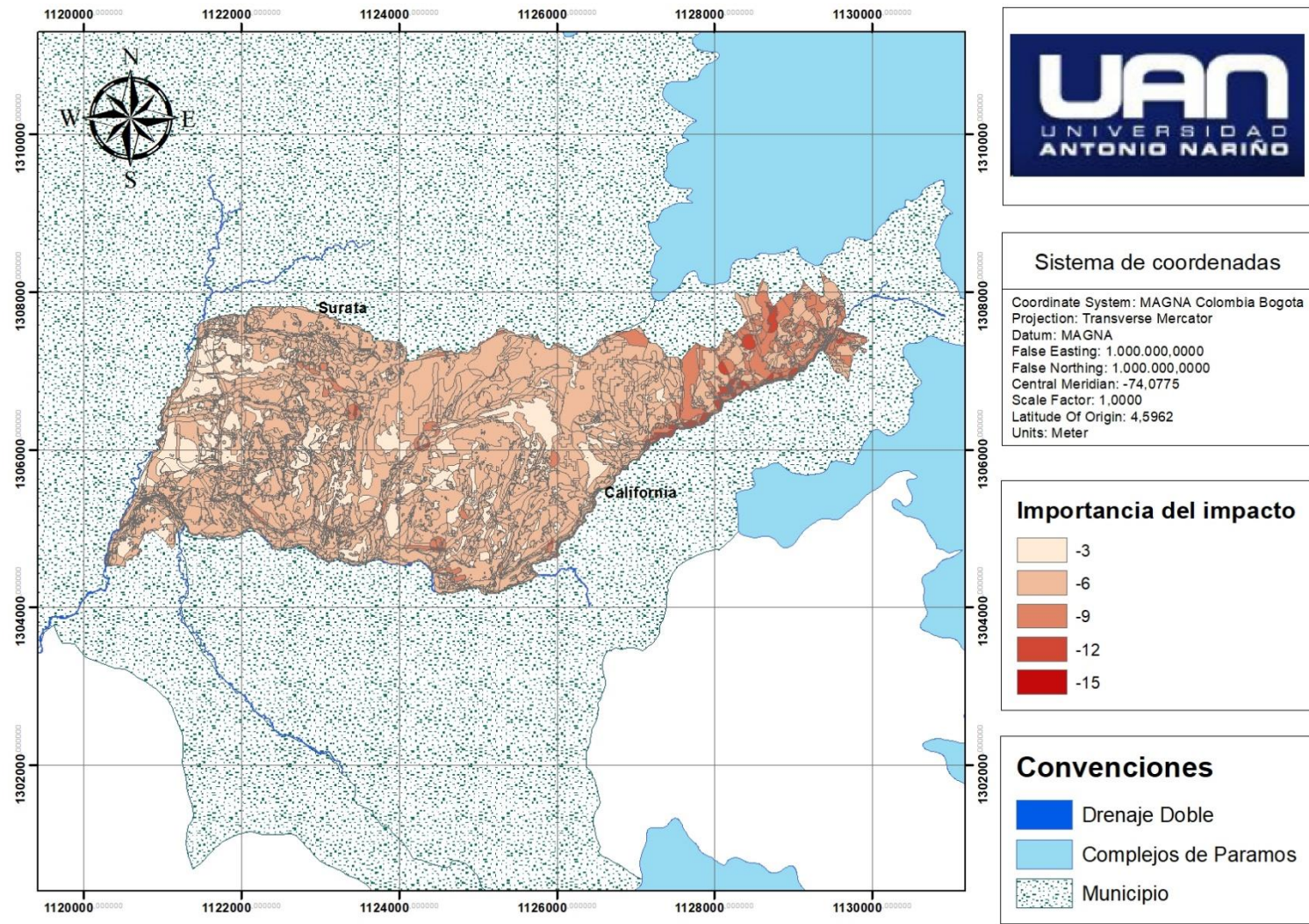


Figura 7 Mapa impacto Cambios en los niveles de presión sonora
 FUENTE: Elaboración autor

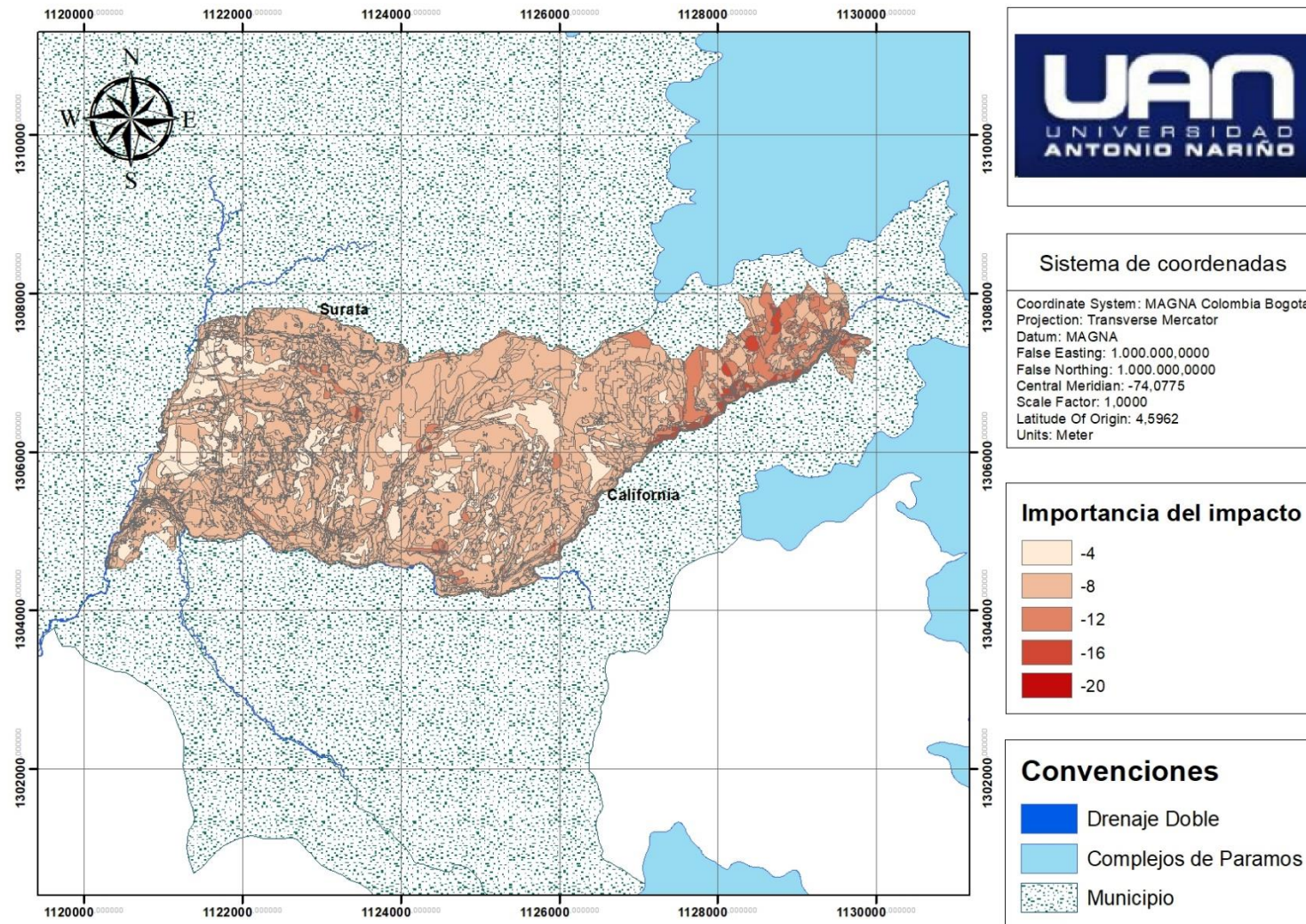


Figura 8 Mapa Impacto Alteración en el régimen de flujo del agua superficial

FUENTE: Elaboración autor

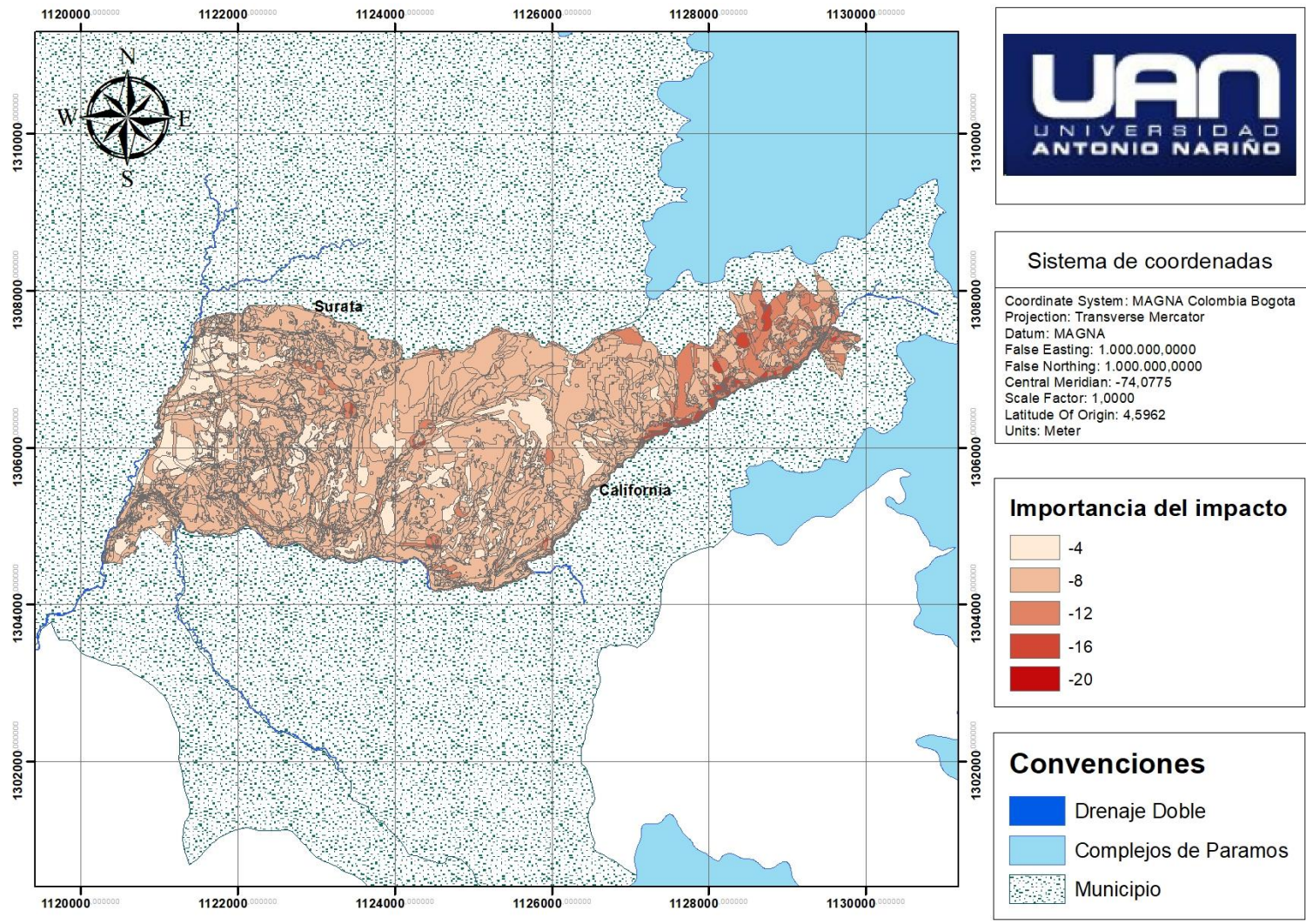


Figura 9 Mapa Impacto Cambio en la disponibilidad del recurso hídrico superficial (caudal de pérdida) y subterráneo por el abatimiento de los niveles
 FUENTE: Elaboración autor

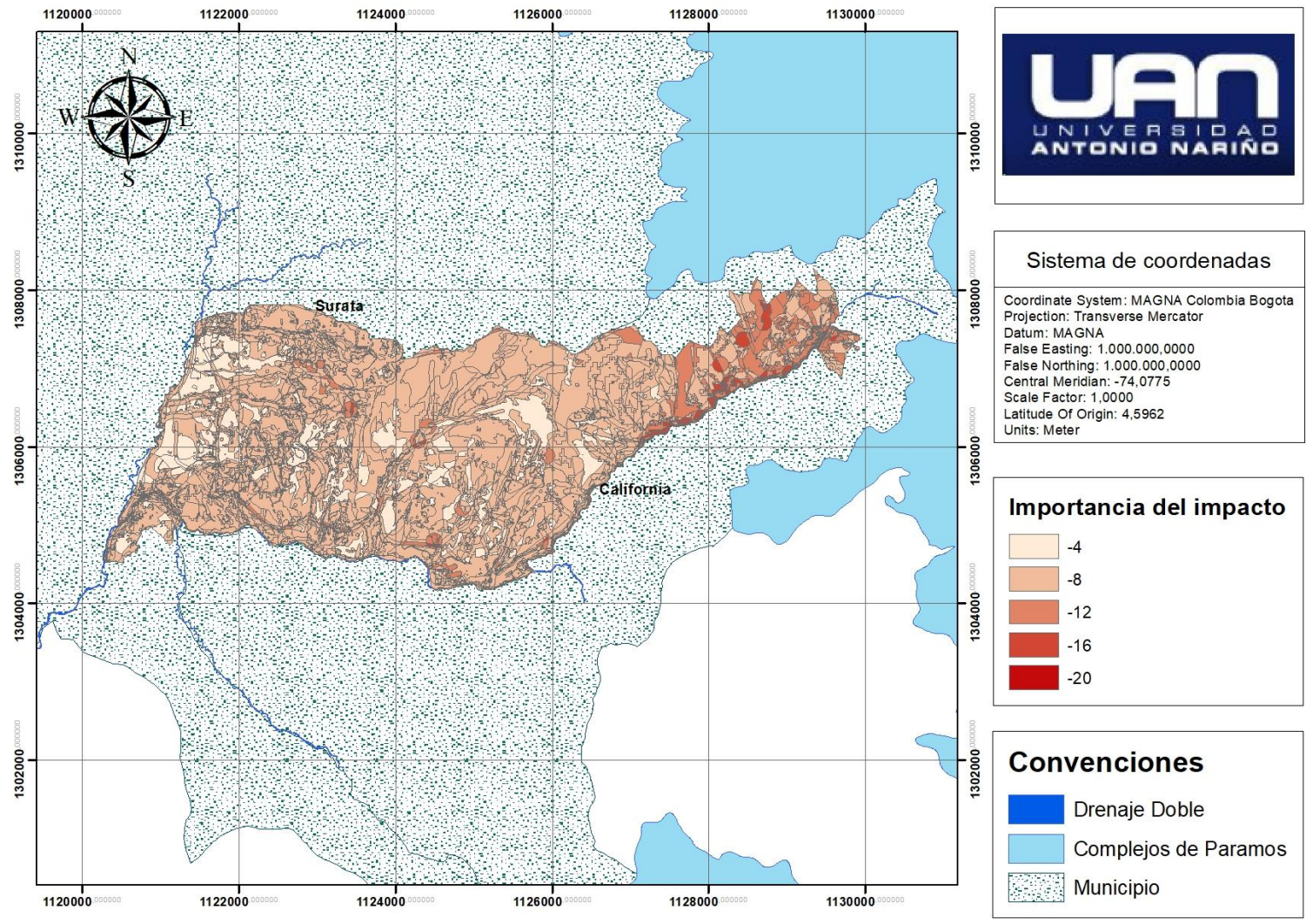


Figura 10 Abatimiento del nivel freático
 FUENTE: Elaboración autor

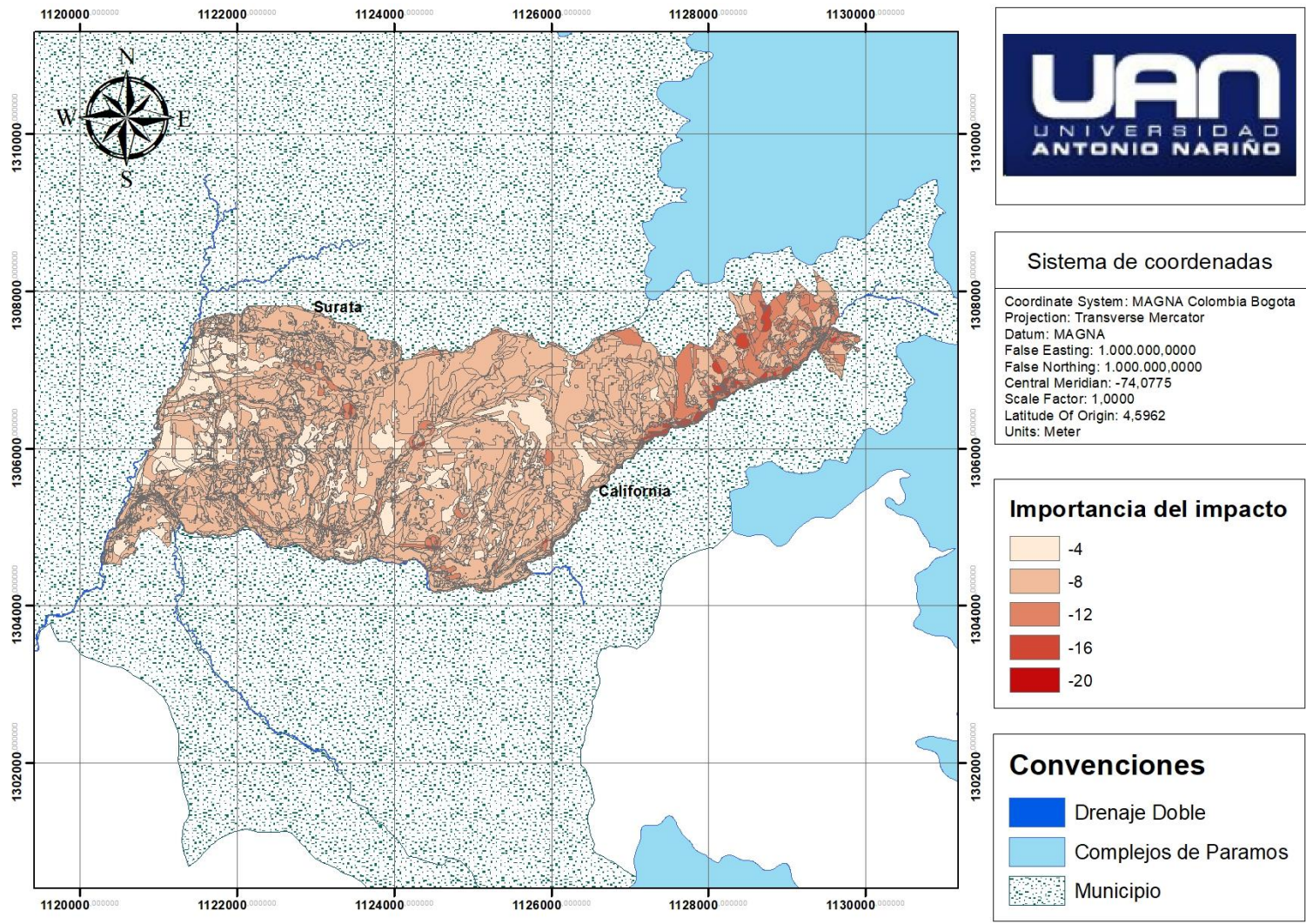


Figura 11 Mapa Impacto Cambio en la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo
 FUENTE: Elaboración autor

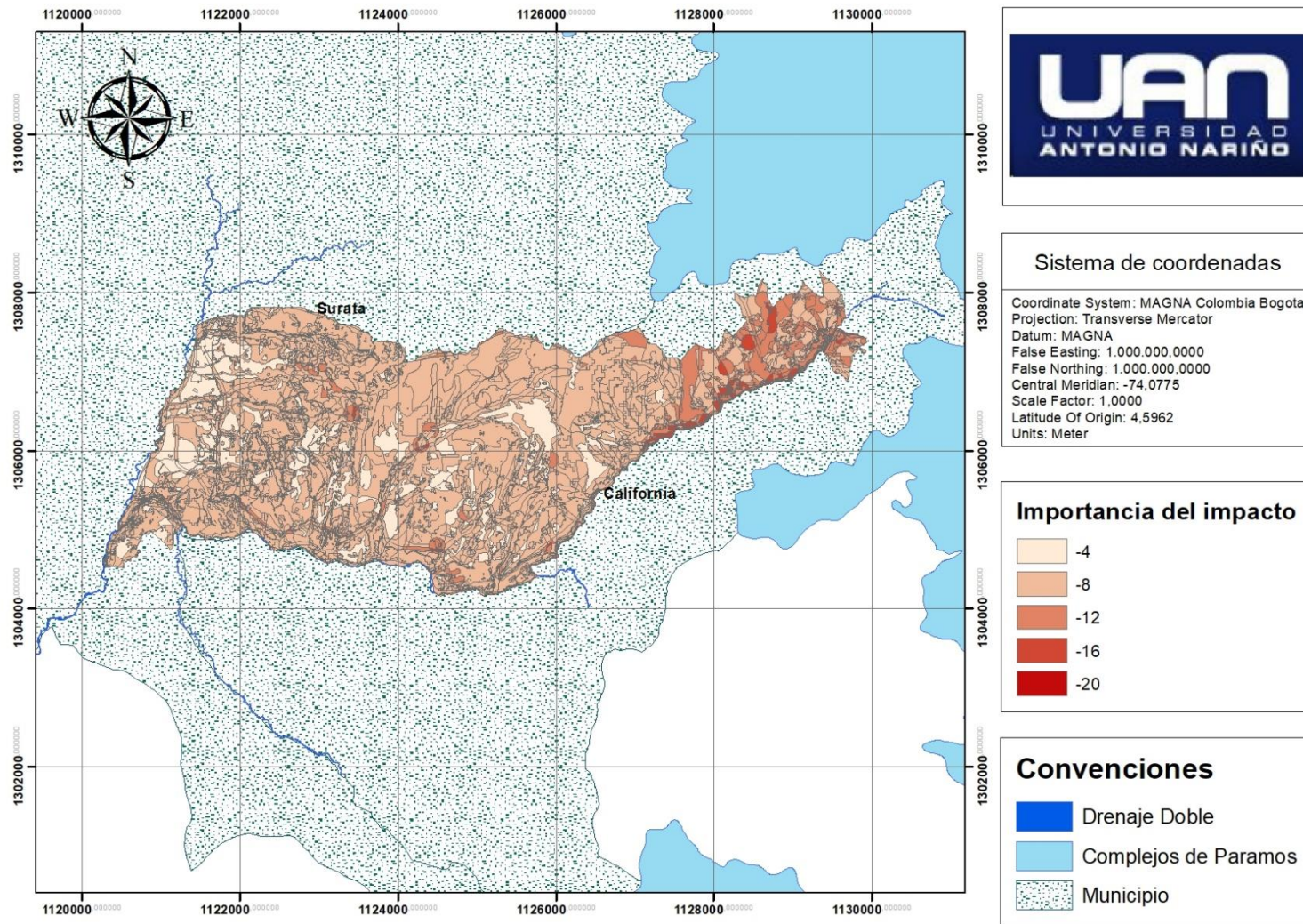


Figura 12 Mapa Impacto Cambio en la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua superficial

FUENTE: Elaboración autor

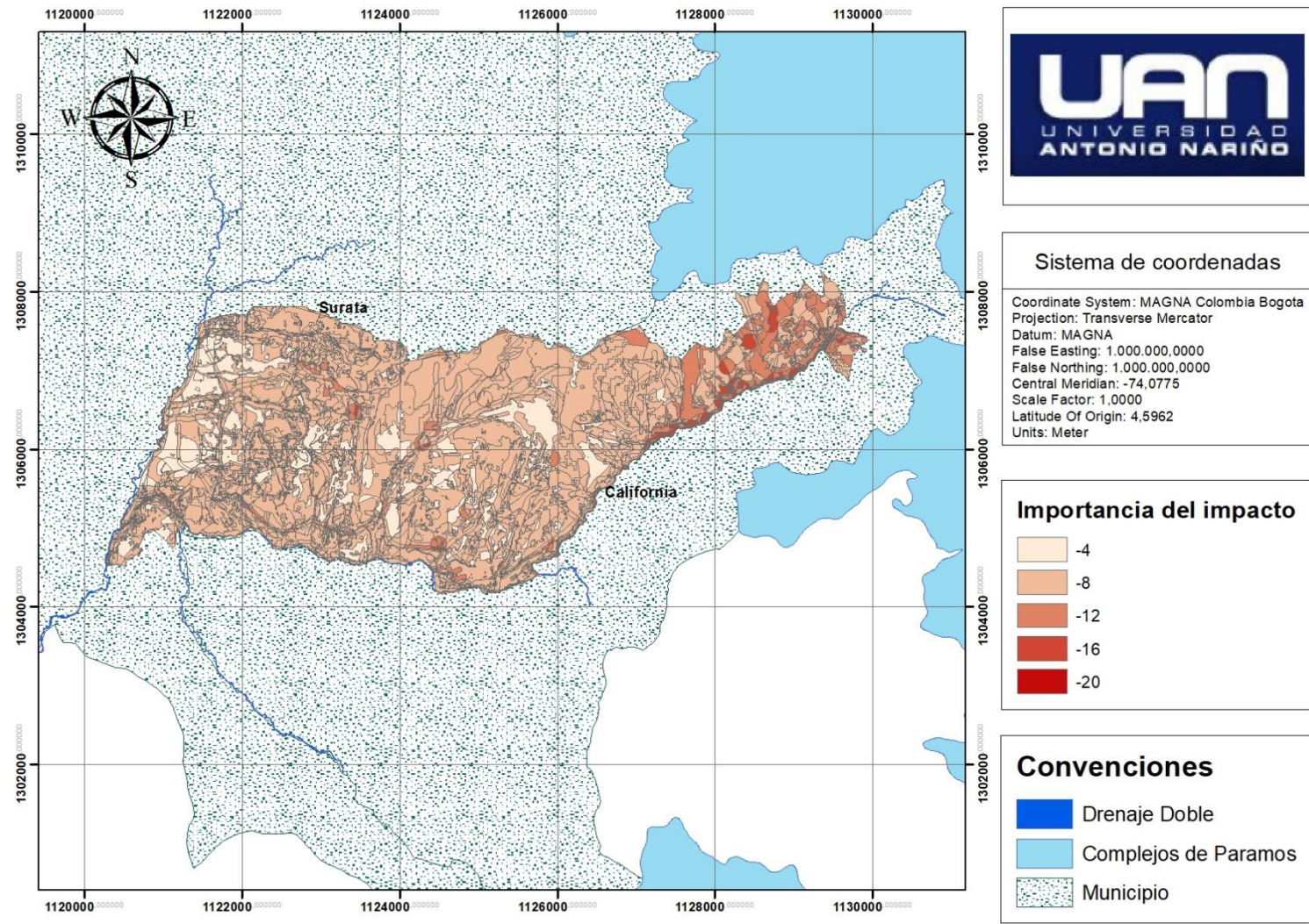


Figura 13 Mapa Impacto Alteración de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo
 FUENTE: Elaboración autor

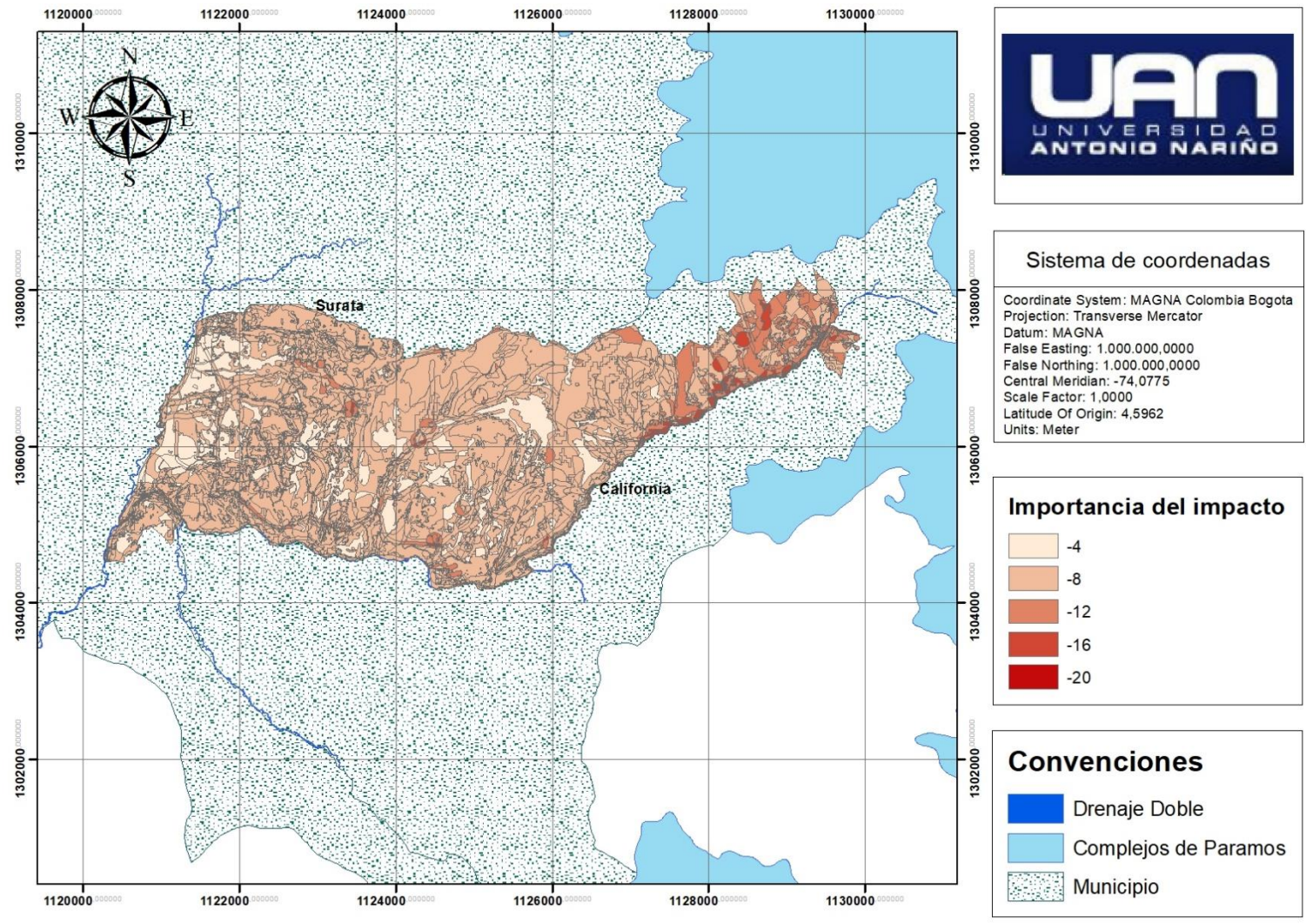


Figura 14 Mapa Impacto Cambio en el uso del suelo
 FUENTE: Elaboración autor

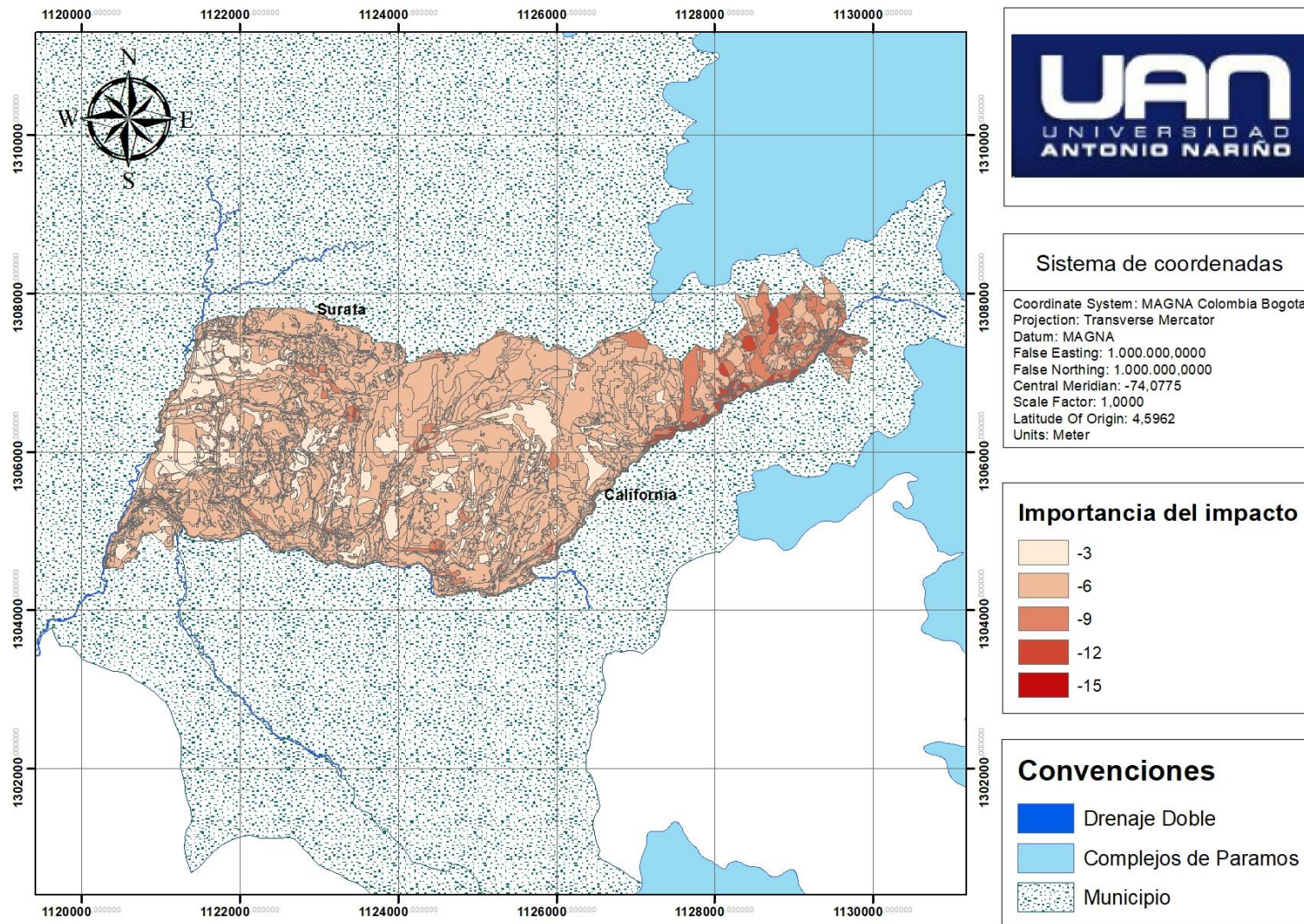


Figura 15 Mapa Impacto Variación en el nivel de vibraciones
FUENTE: Elaboración autor

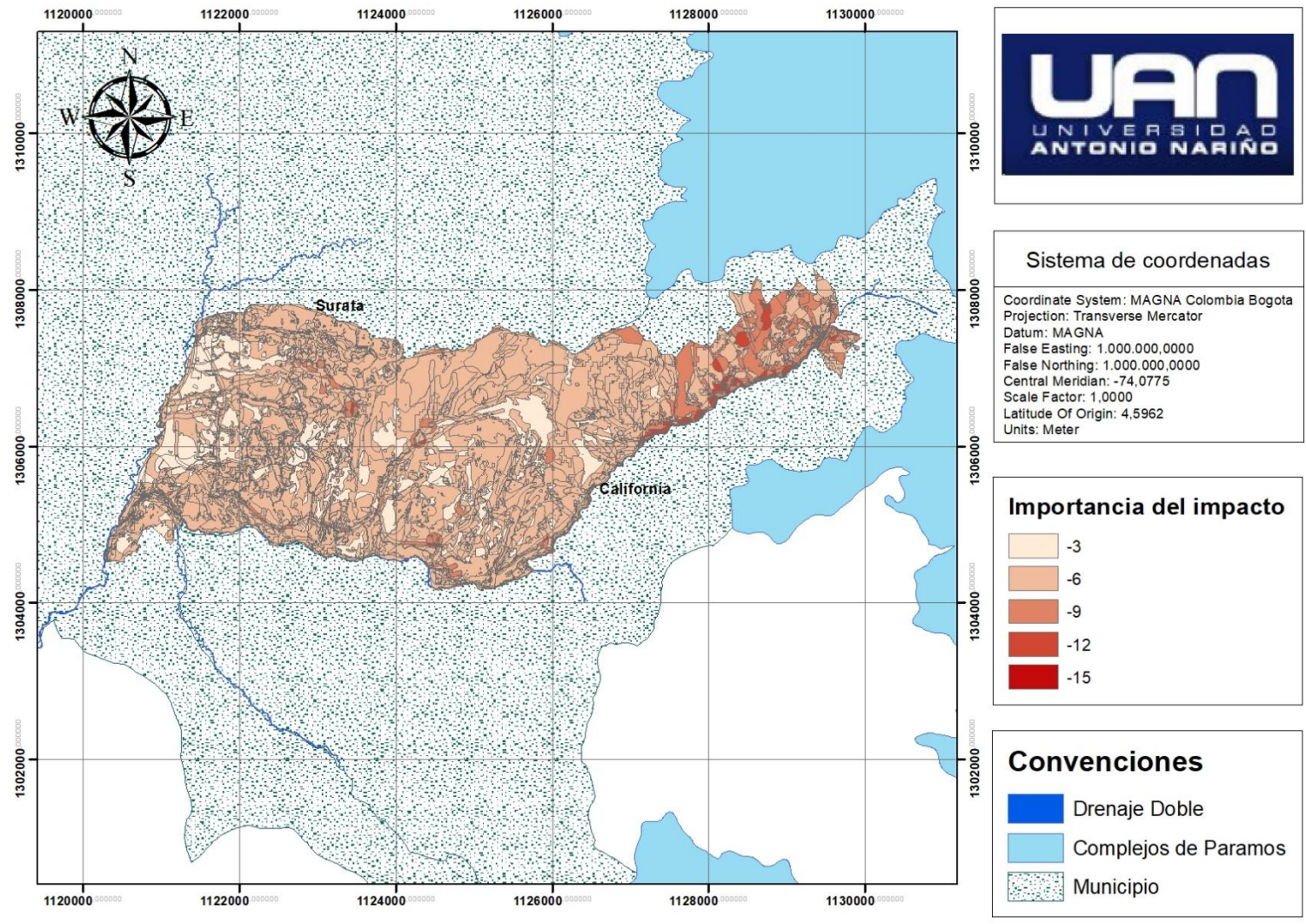


Figura 16 Mapa Impacto Inestabilidad geotécnica
 FUENTE: Elaboración autor

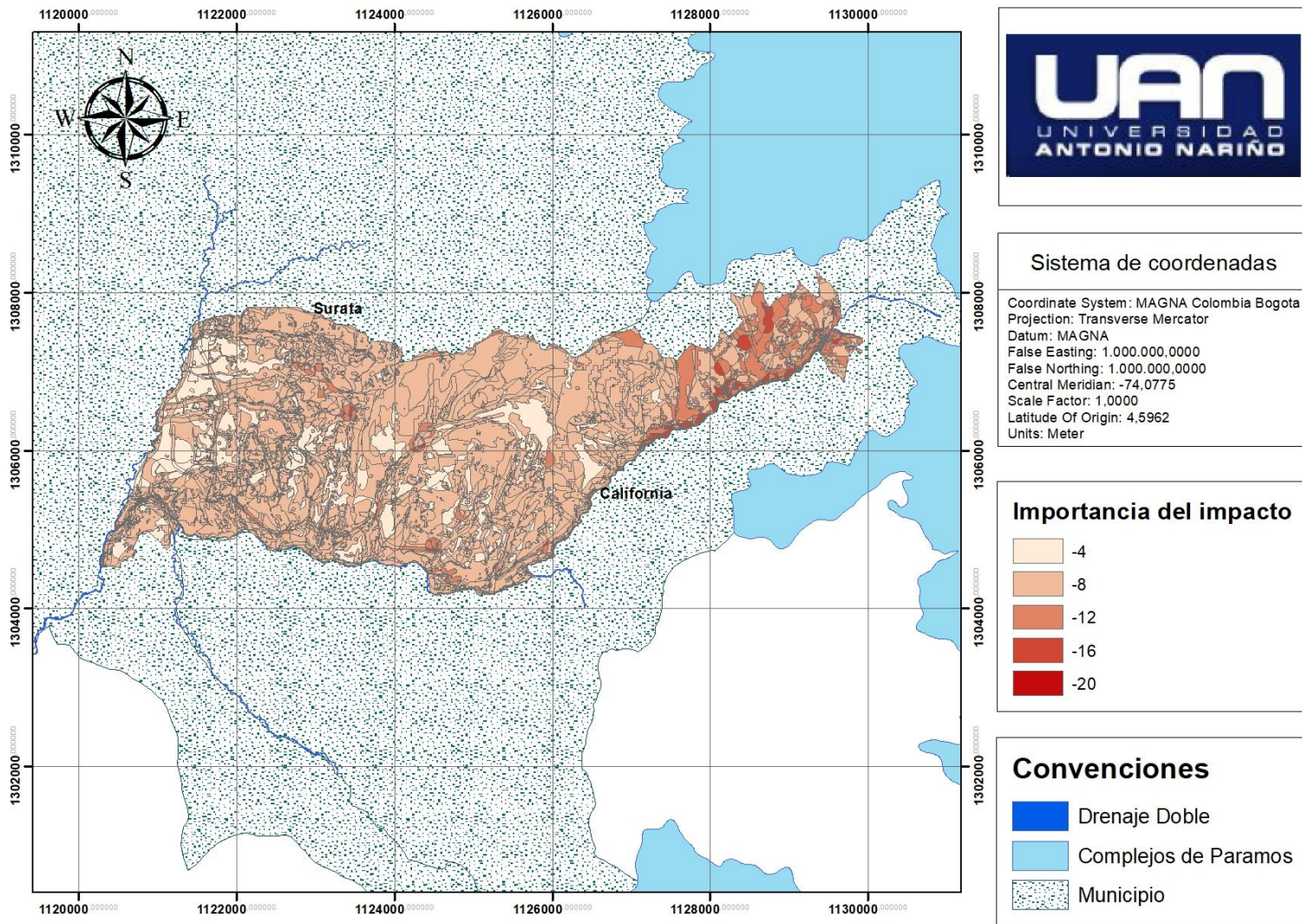


Figura 17 Mapa impacto Pérdida de cobertura vegetal y hábitats terrestres
 FUENTE: Elaboración autor

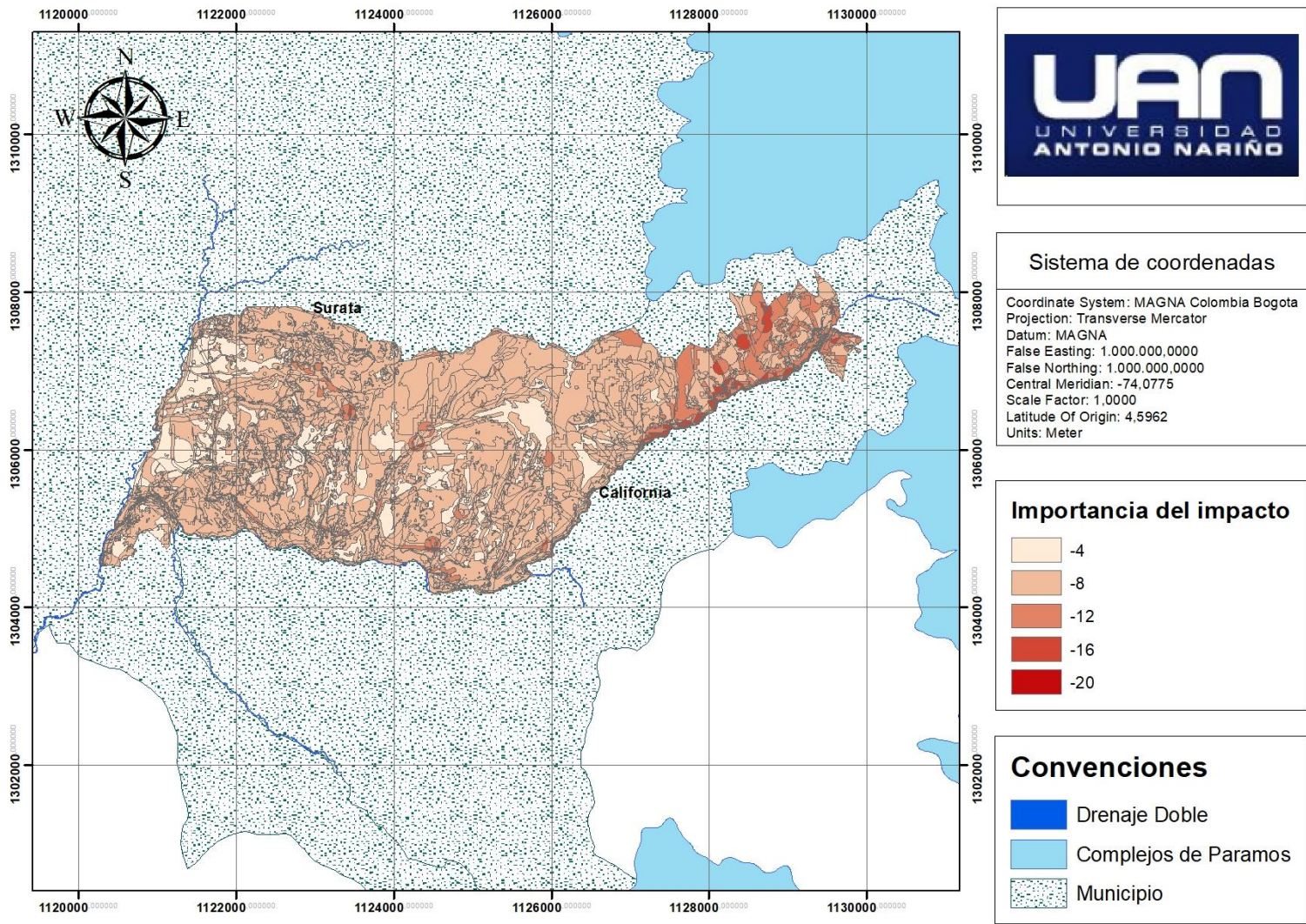


Figura 18 Mapa impacto Alteración de flora endémica y con estatus especial de conservación

FUENTE: Elaboración autor

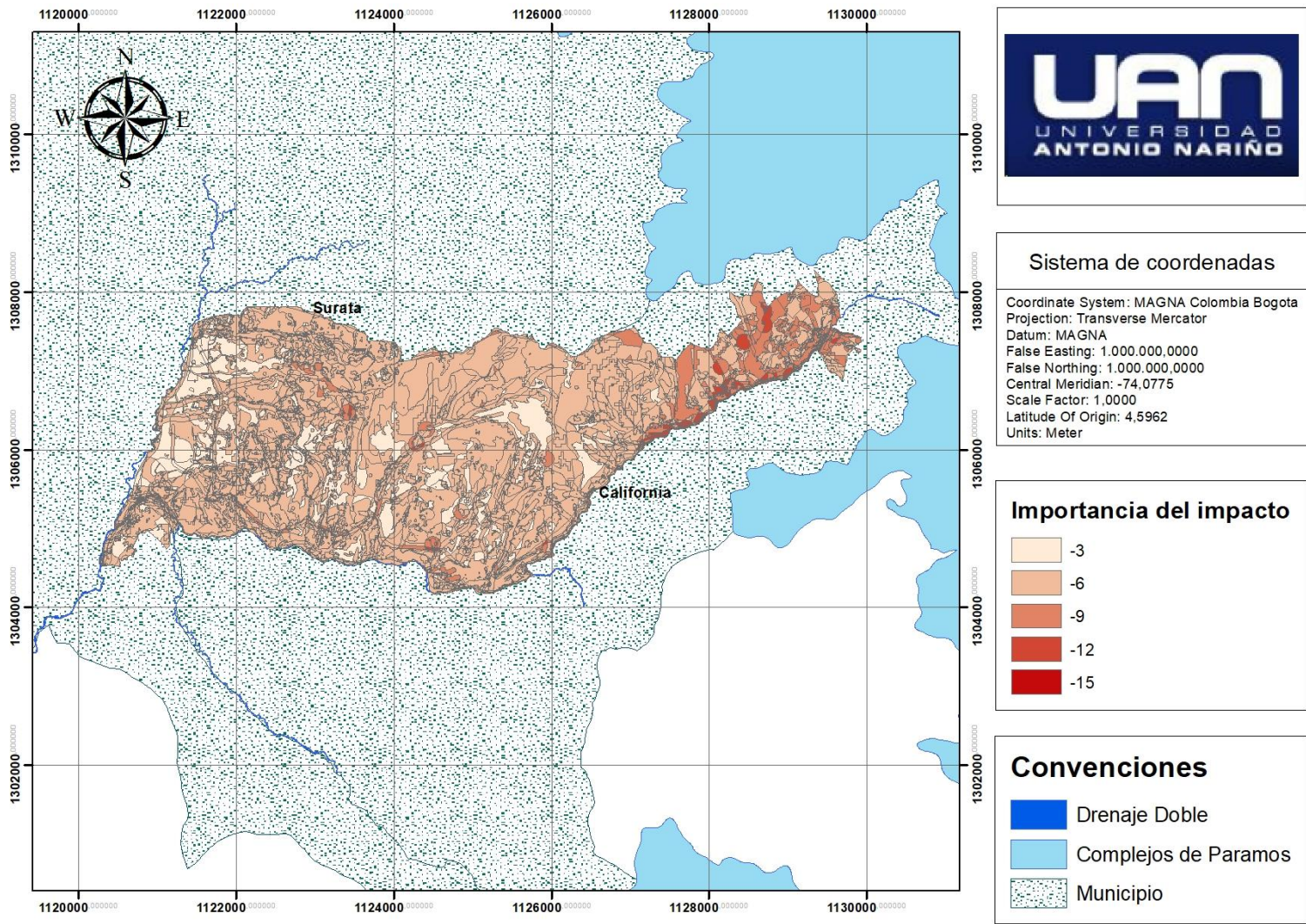


Figura 19 Mapa impacto alteración de la Fauna silvestre
 FUENTE: Elaboración autor

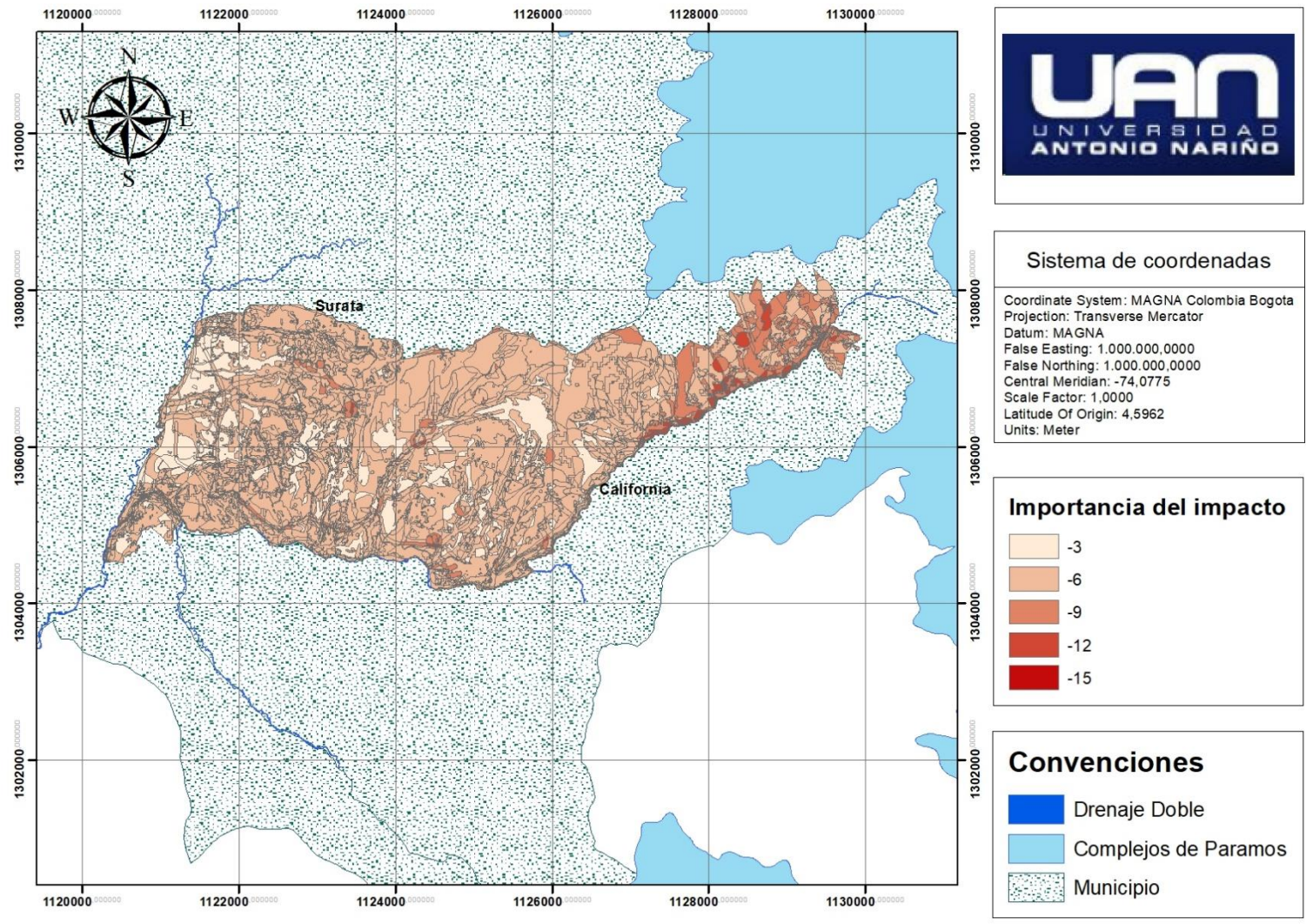


Figura 20 Mapa impacto alteración de la fauna silvestre endémica y con estatus especial de conservación
 FUENTE: Elaboración autor

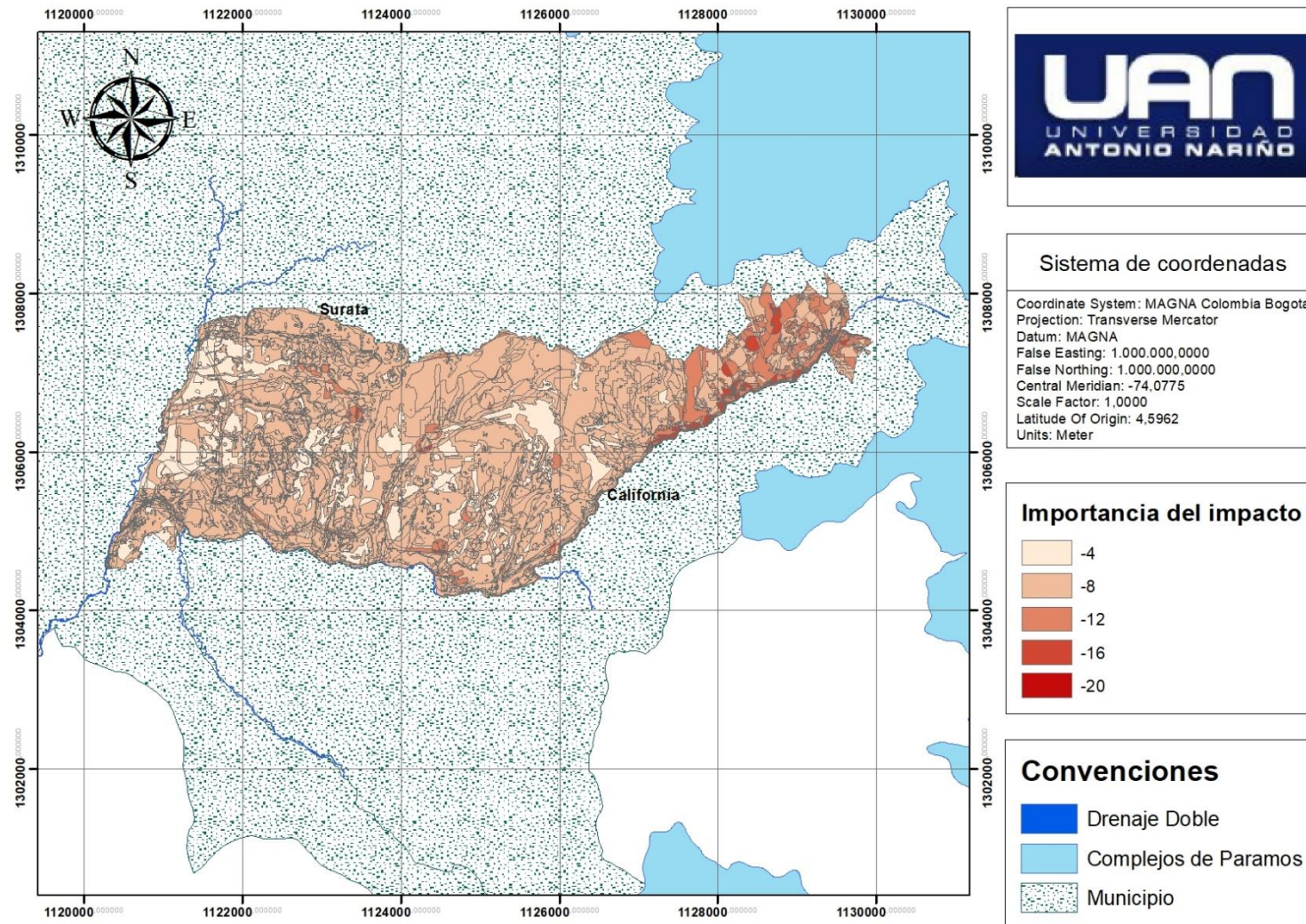


Figura 21 Mapa impacto alteración de las comunidades hidrobiológicas

FUENTE: Elaboración autor

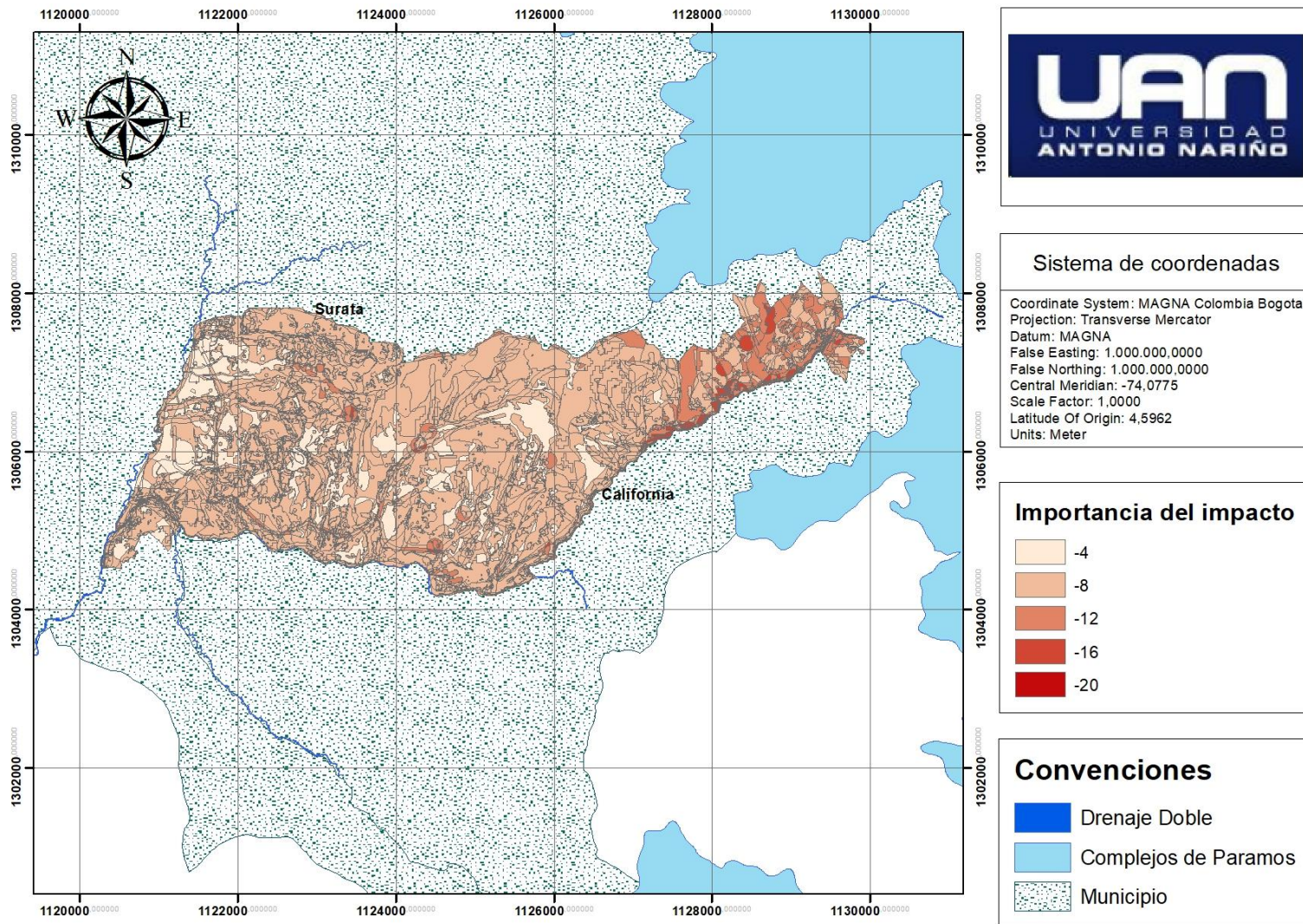


Figura 22 Mapa impacto Cambios en la fragmentación y alteración en la conectividad de ecosistemas
 FUENTE: Elaboración autor

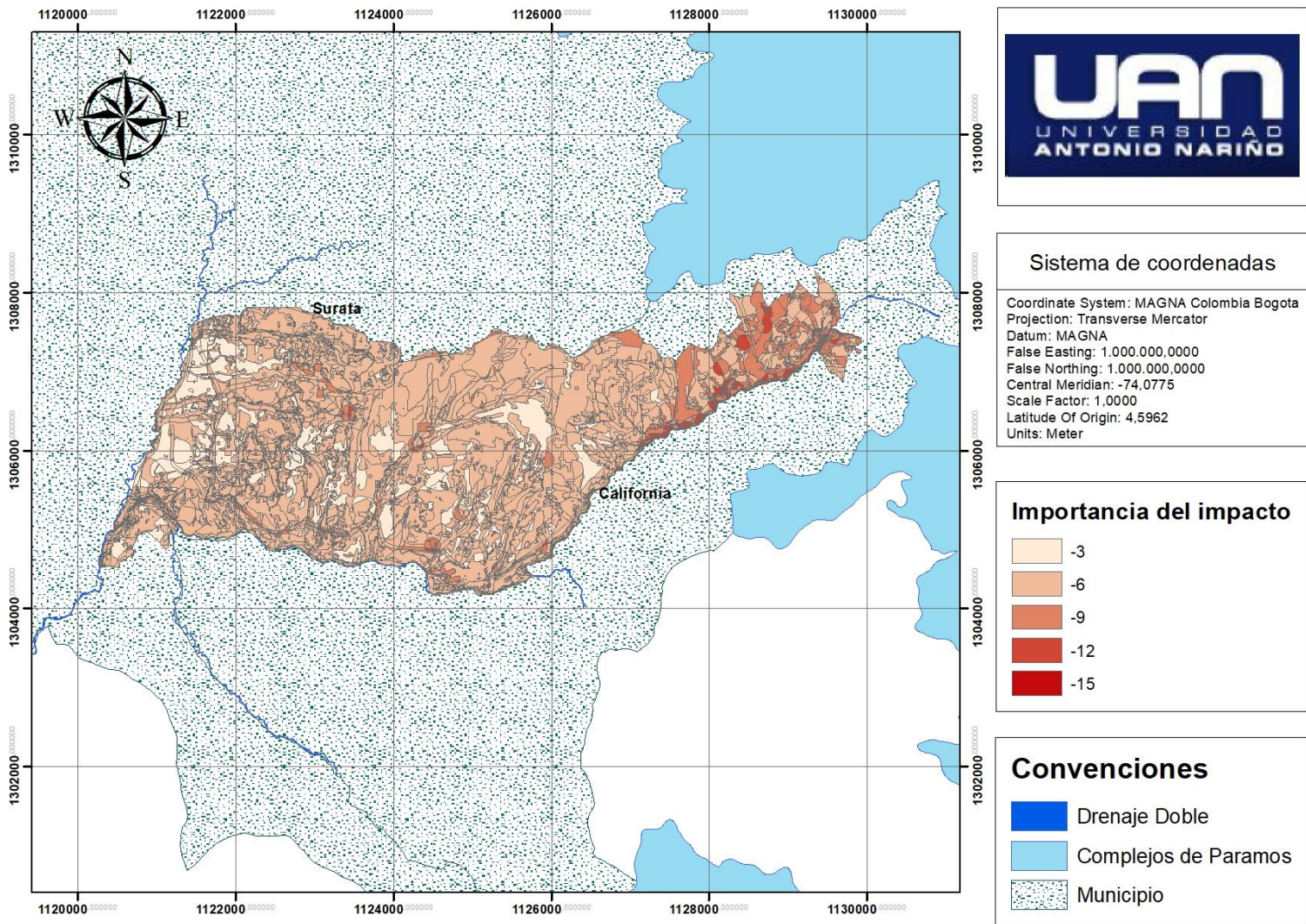


Figura 23 Mapa impacto Alteración de la calidad visual del paisaje
 FUENTE: Elaboración autor

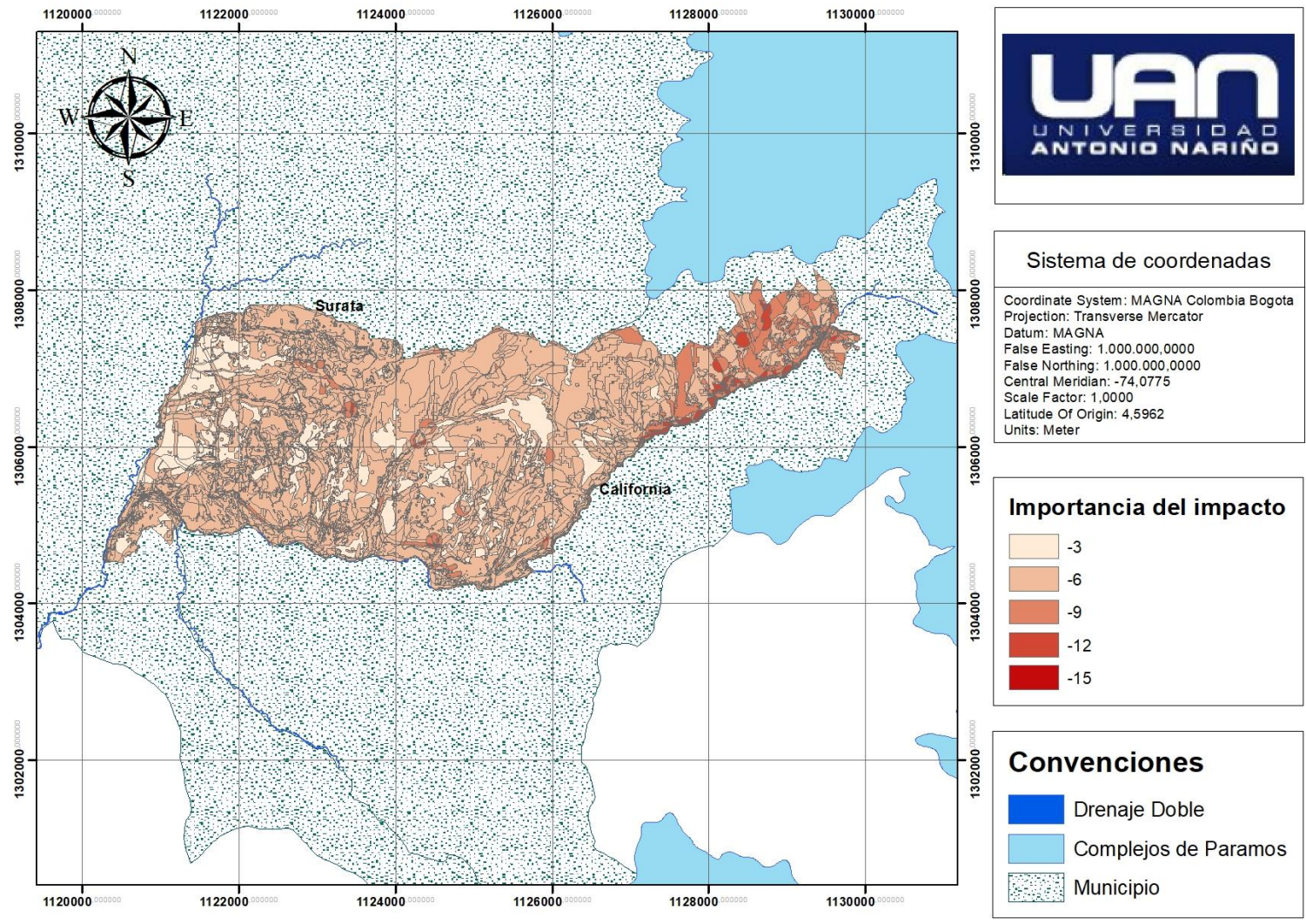


Figura 24 Mapa impacto Generación de expectativas y potenciación de conflictos
 FUENTE: Elaboración autor

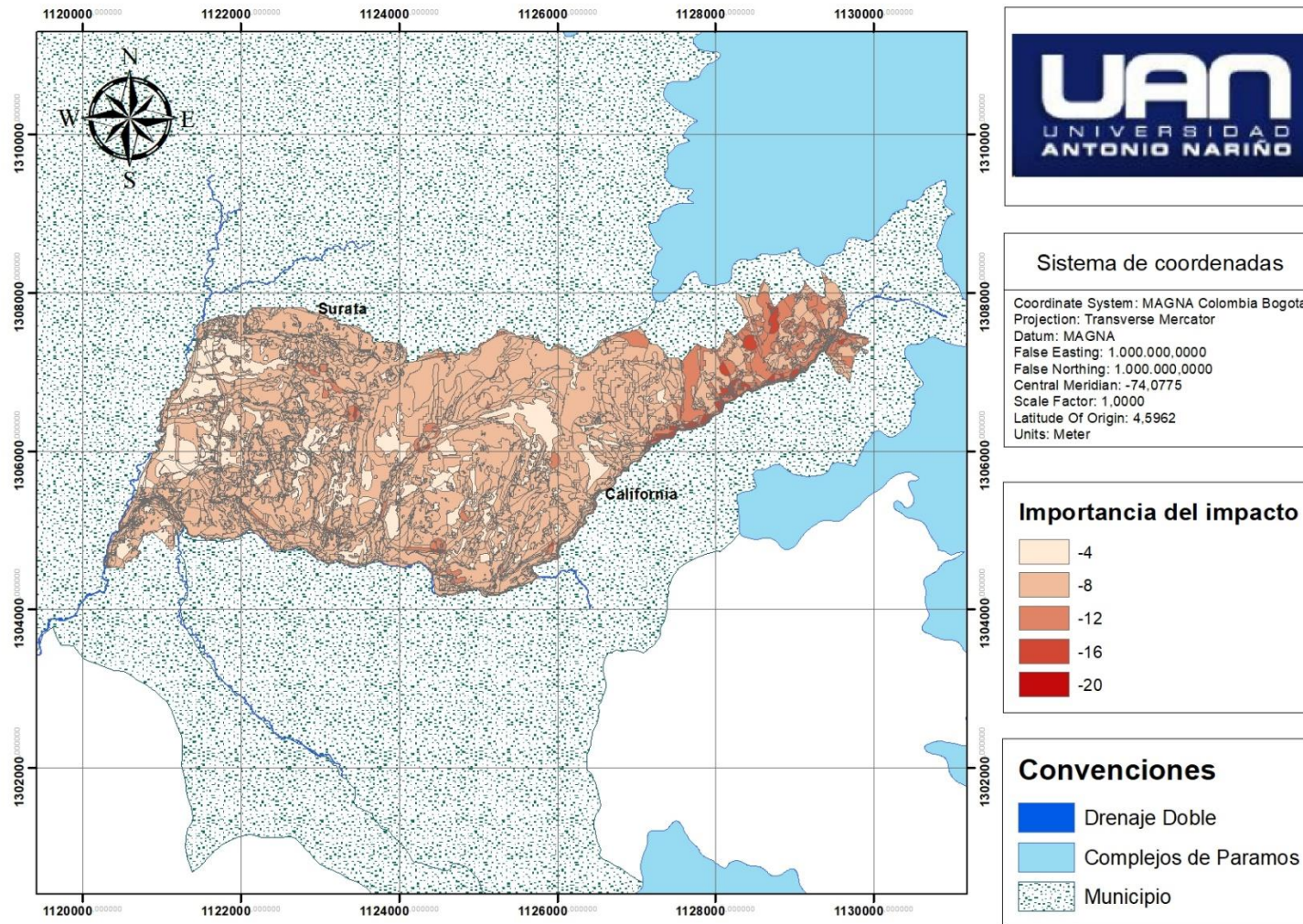


Figura 25 Mapa impacto Traslado involuntario de las unidades sociales
 FUENTE: Elaboración autor

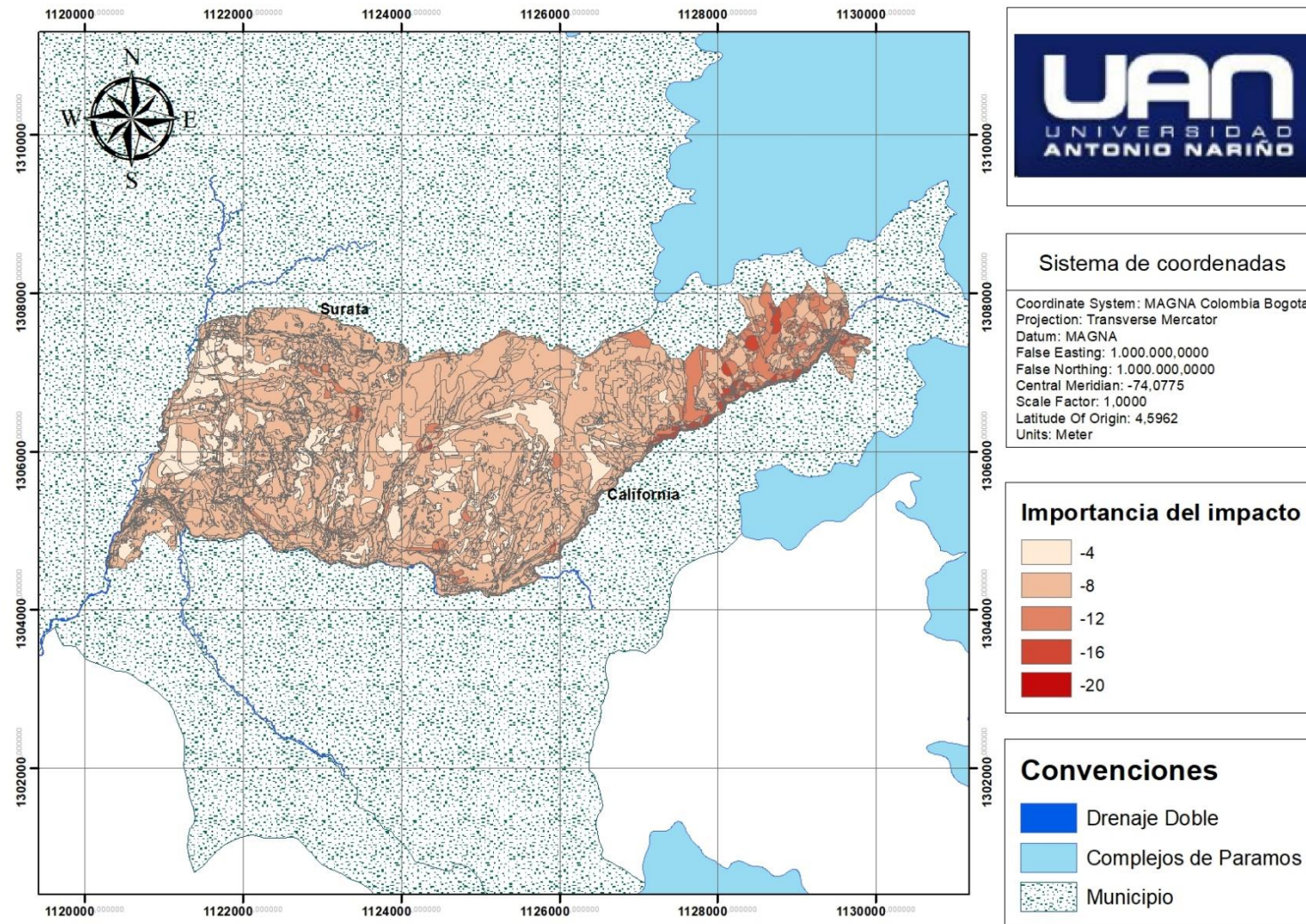


Figura 26 Mapa impacto Cambios en la dinámica poblacional y en la demanda de servicios públicos y sociales

FUENTE: Elaboración autor

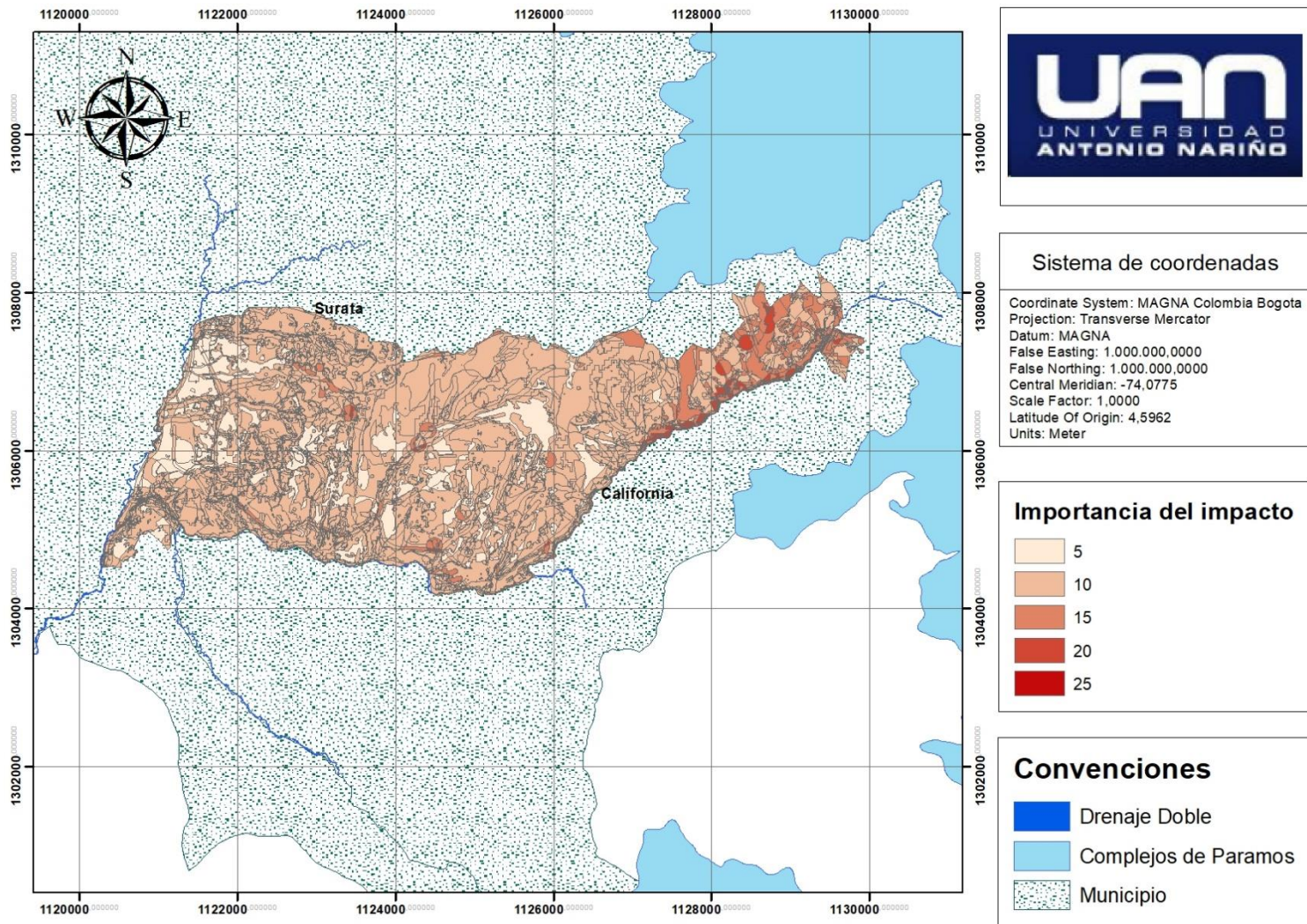


Figura 27 Mapa impacto Generación de Empleo
 FUENTE: Elaboración autor

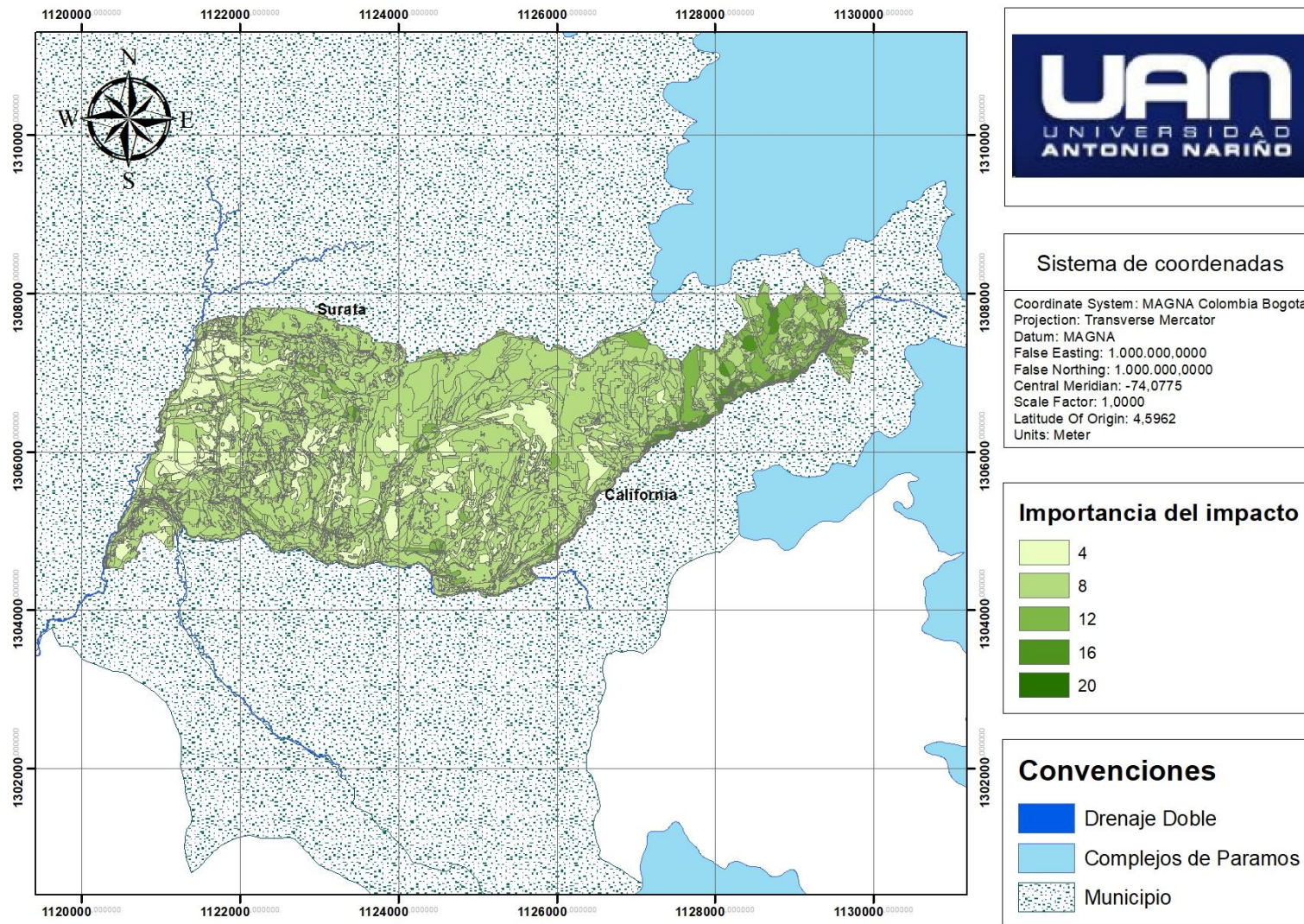


Figura 28 Mapa impacto Aumento en la demanda y oferta de bienes y servicios
 FUENTE: Elaboración autor

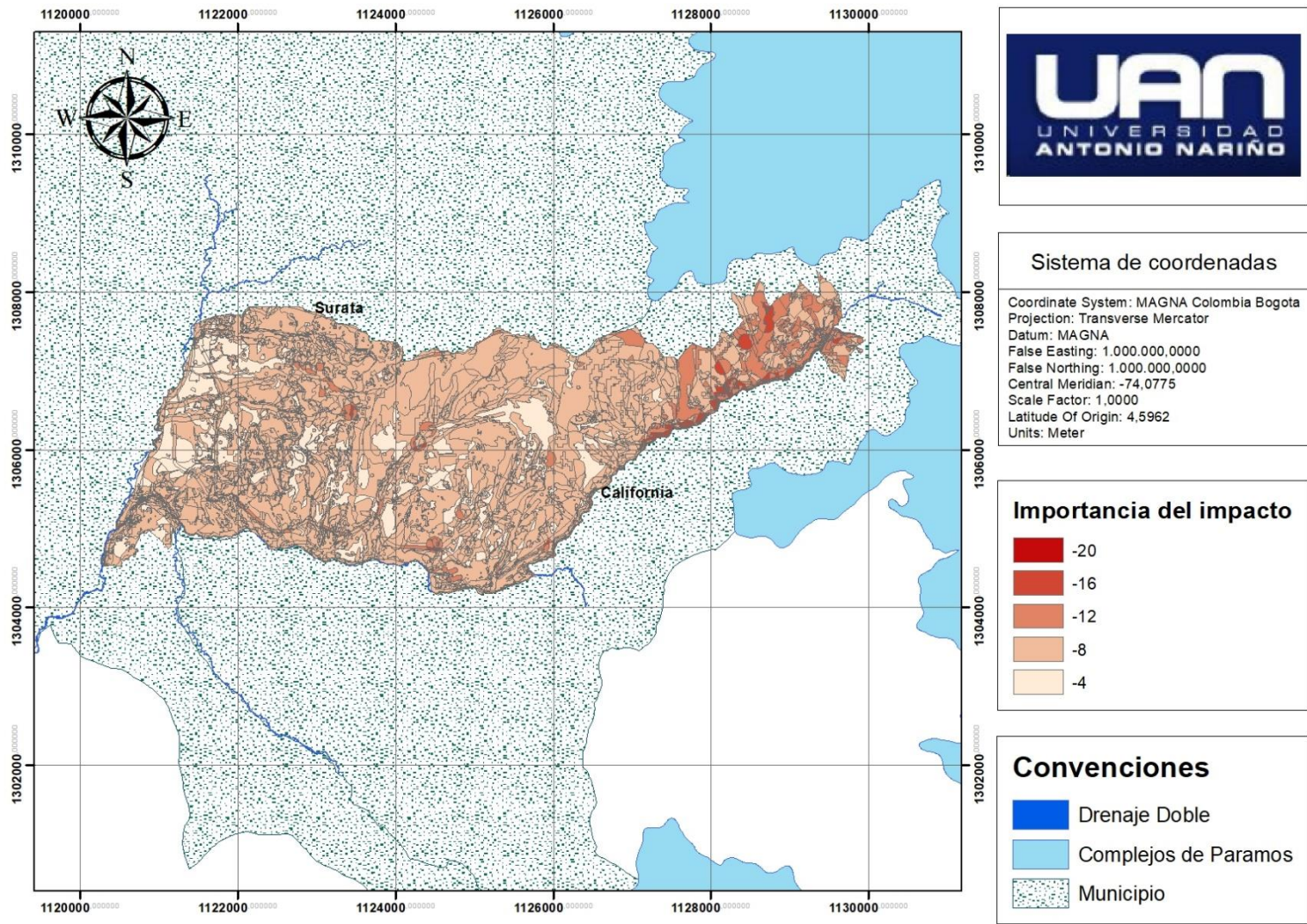


Figura 29 Mapa impacto Afectación a la movilidad local
 FUENTE: Elaboración autor

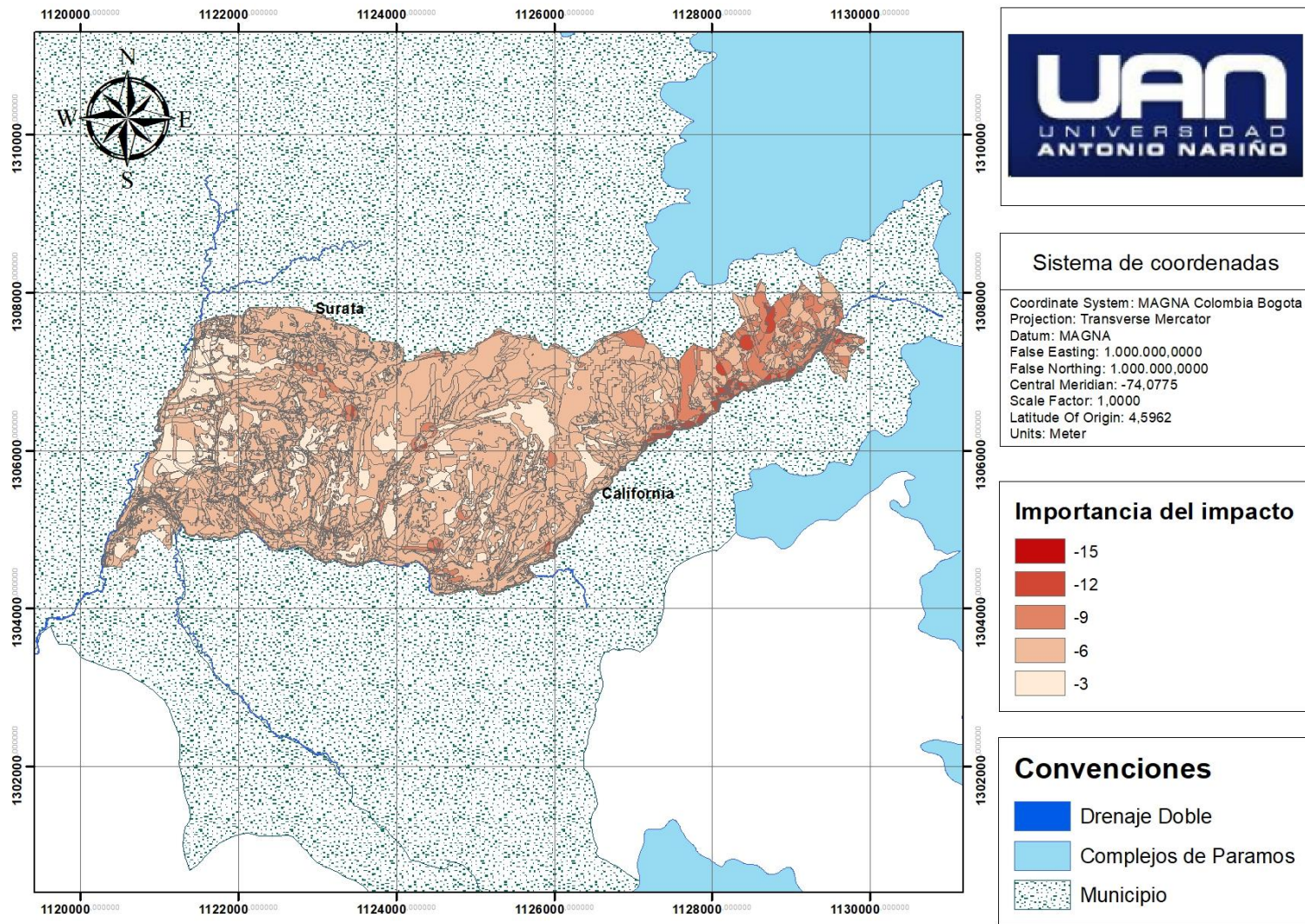


Figura 30 Mapa impacto afectación a la infraestructura de uso comunitario
FUENTE: Elaboración autor

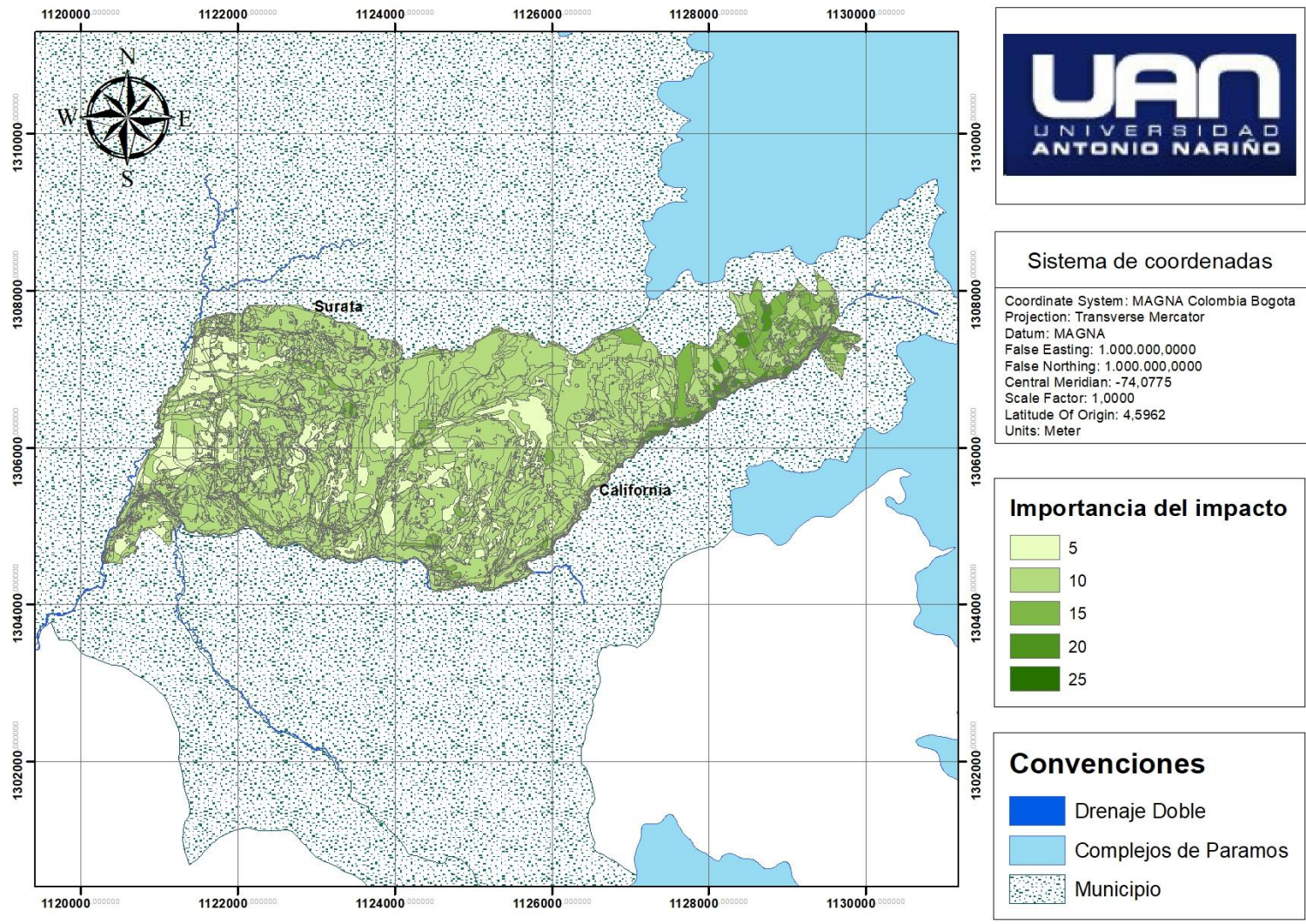


Figura 31 Mapa impacto Cambios en las dinámicas organizativas comunitarias
 FUENTE: Elaboración autor

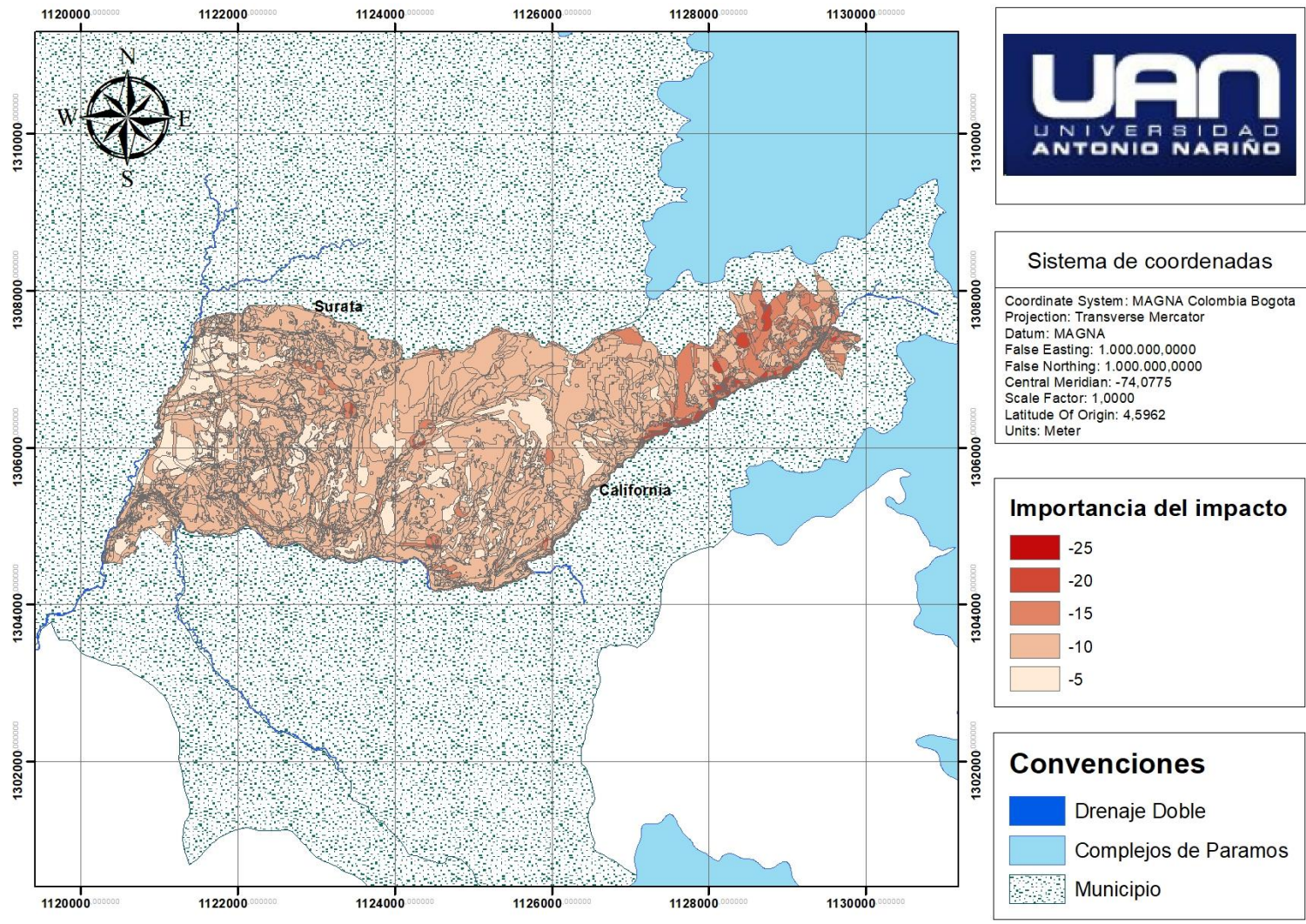


Figura 32 Mapa impacto Reconfiguración del relacionamiento con el territorio
 FUENTE: Elaboración autor

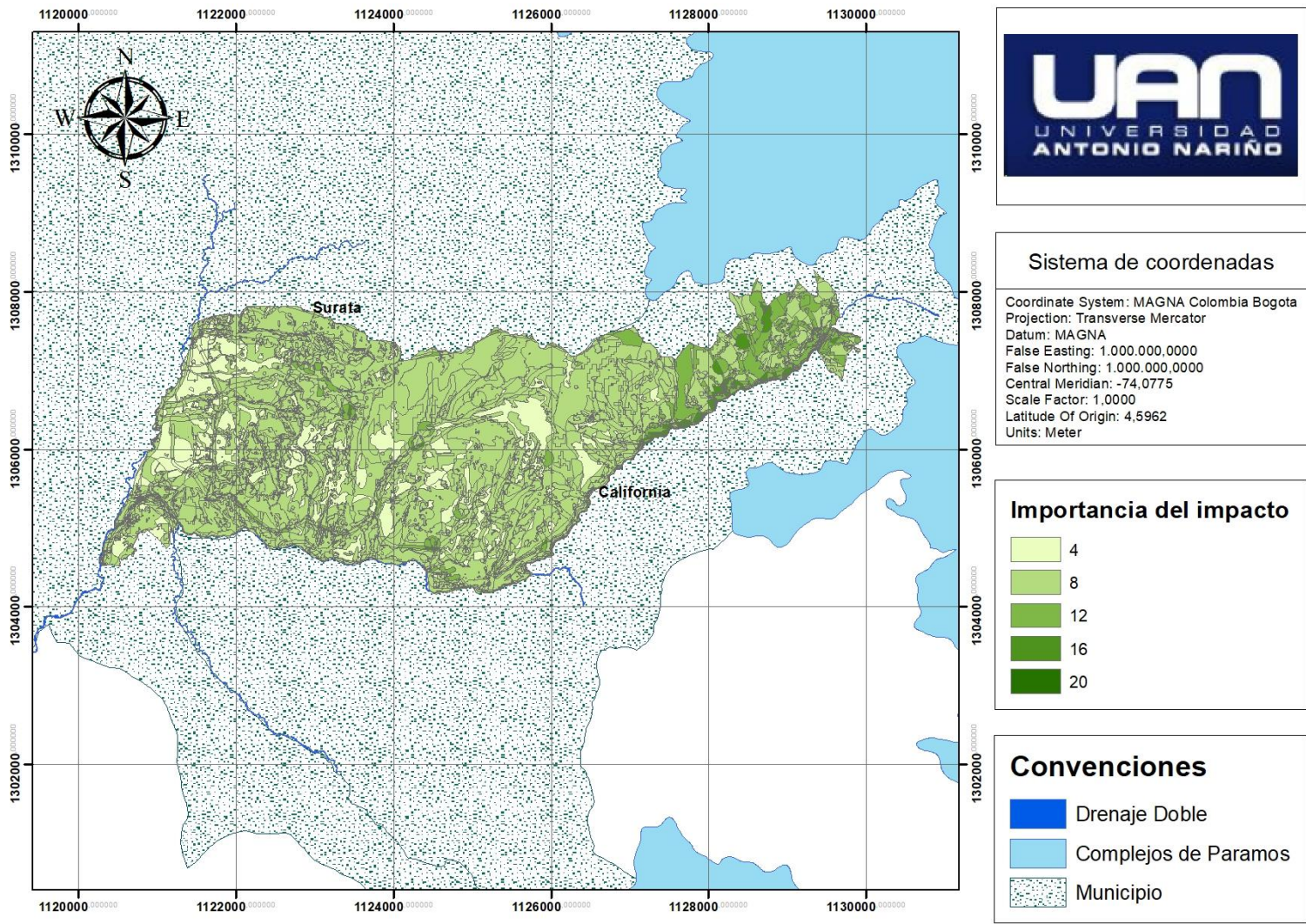


Figura 33 Mapa impacto Cambio en las dinámicas de las actividades turísticas
 FUENTE: Elaboración autor

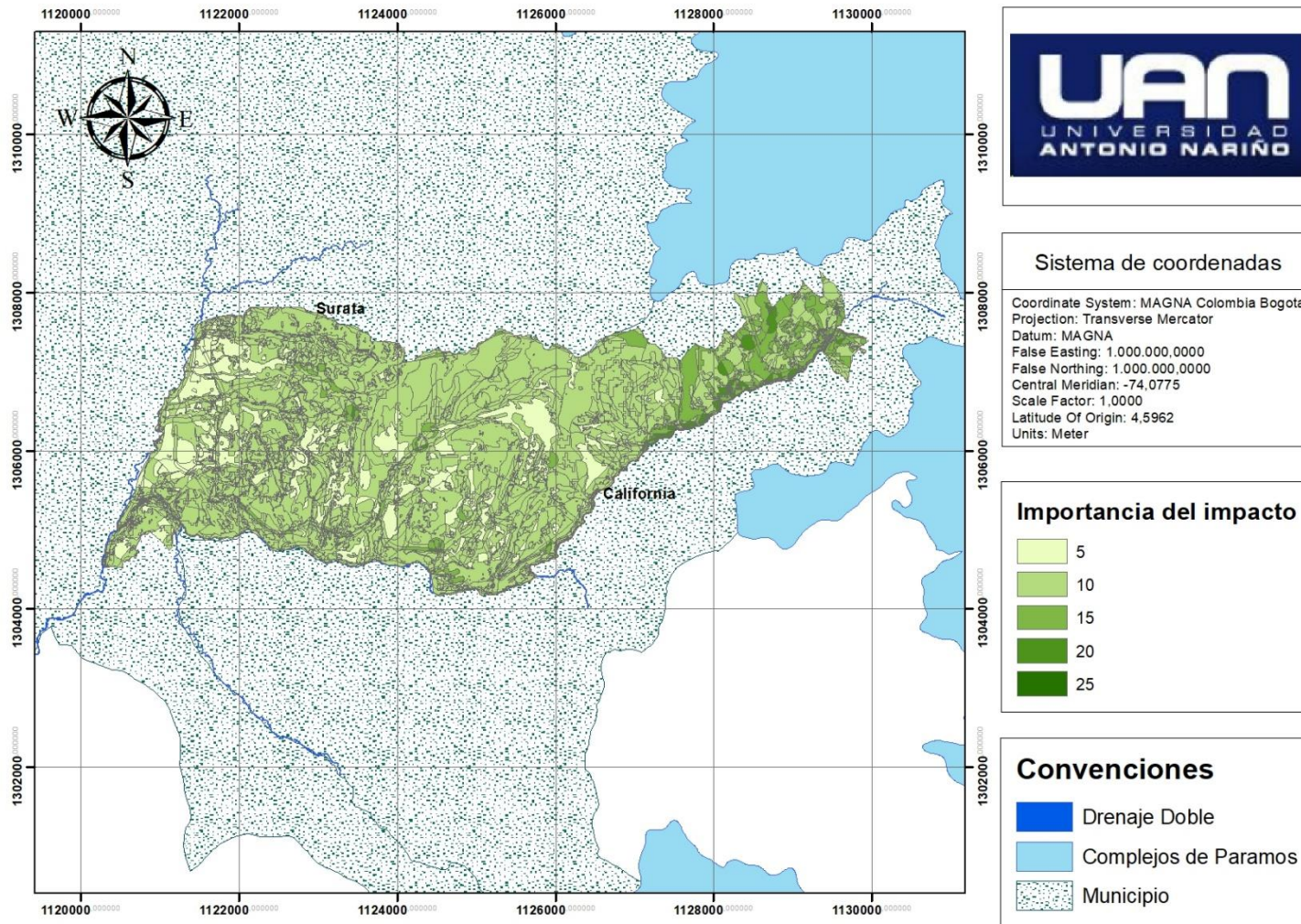


Figura 34 Mapa impacto Cambio en las dinámicas de la minería local

FUENTE: Elaboración autor

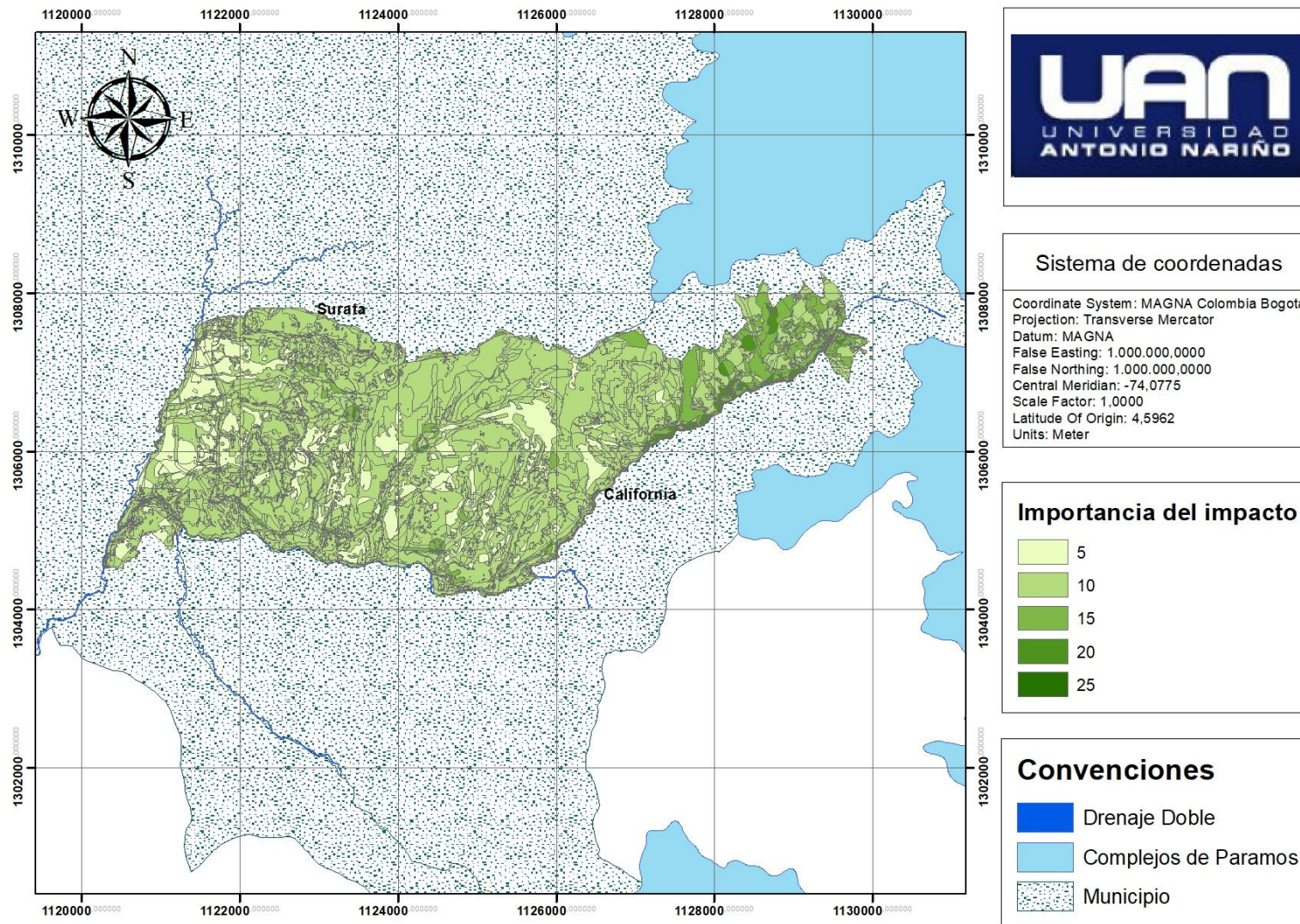


Figura 35 Mapa impacto Cambios en la gestión institucional y capacidad financiera

FUENTE: Elaboración autor

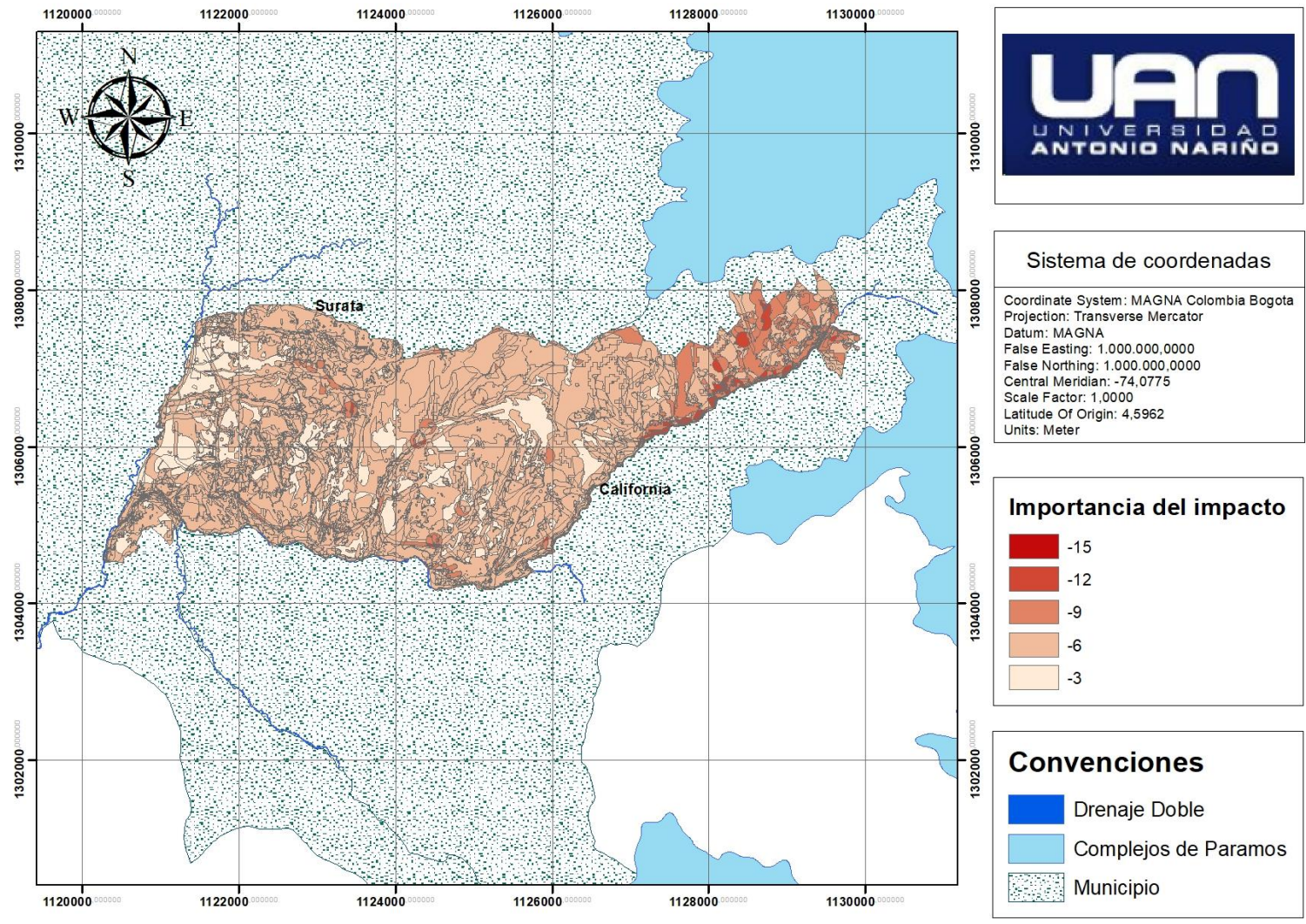


Figura 36 Mapa impacto Afectación al sitio de interés cultural Santuario de San Antonio
 FUENTE: Elaboración autor

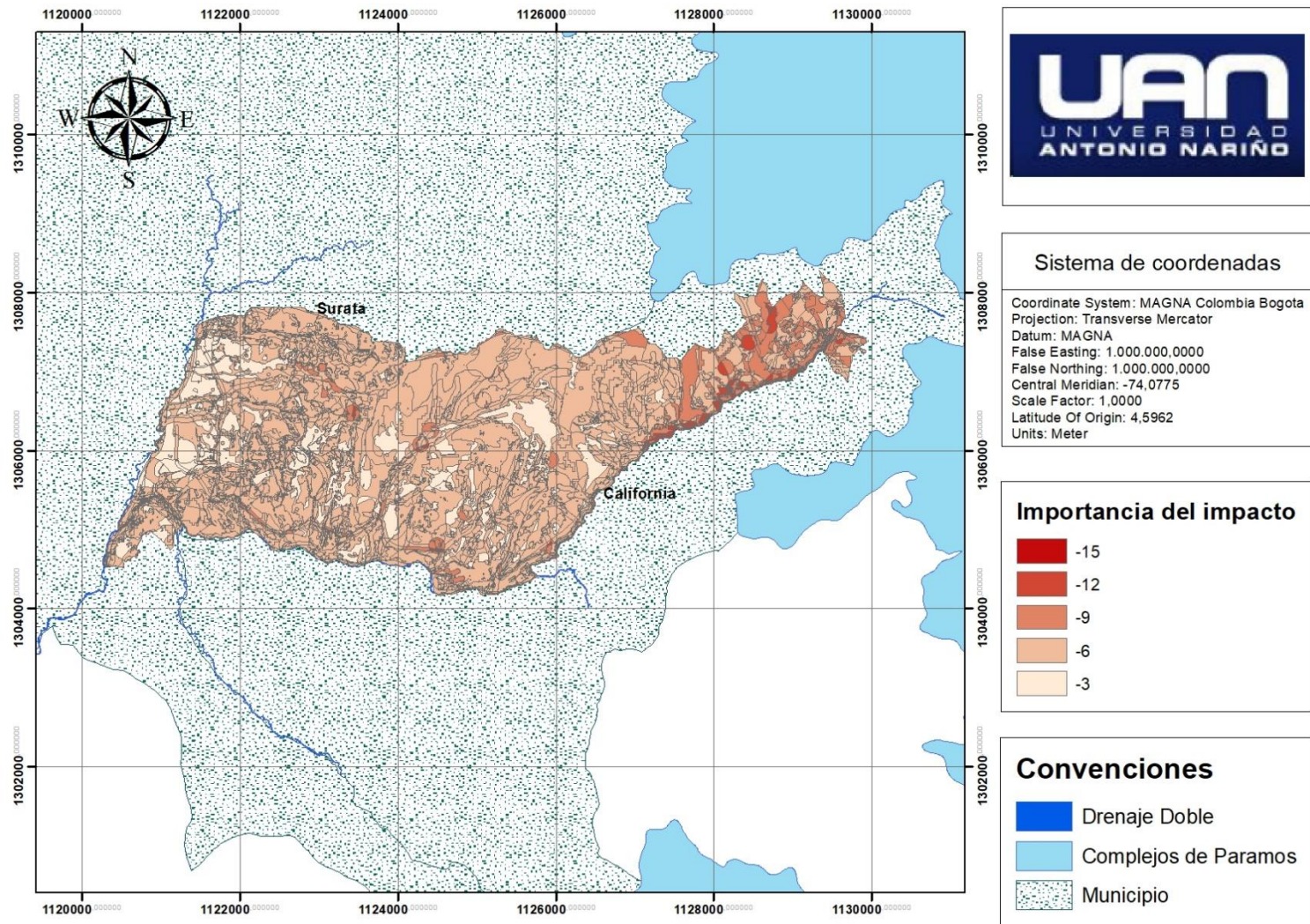


Figura 37 Mapa impacto Cambios en las dinámicas funcionales y conectividad de las unidades territoriales veredales por su fraccionamiento y traslado de población e infraestructura social

FUENTE: Elaboración autor

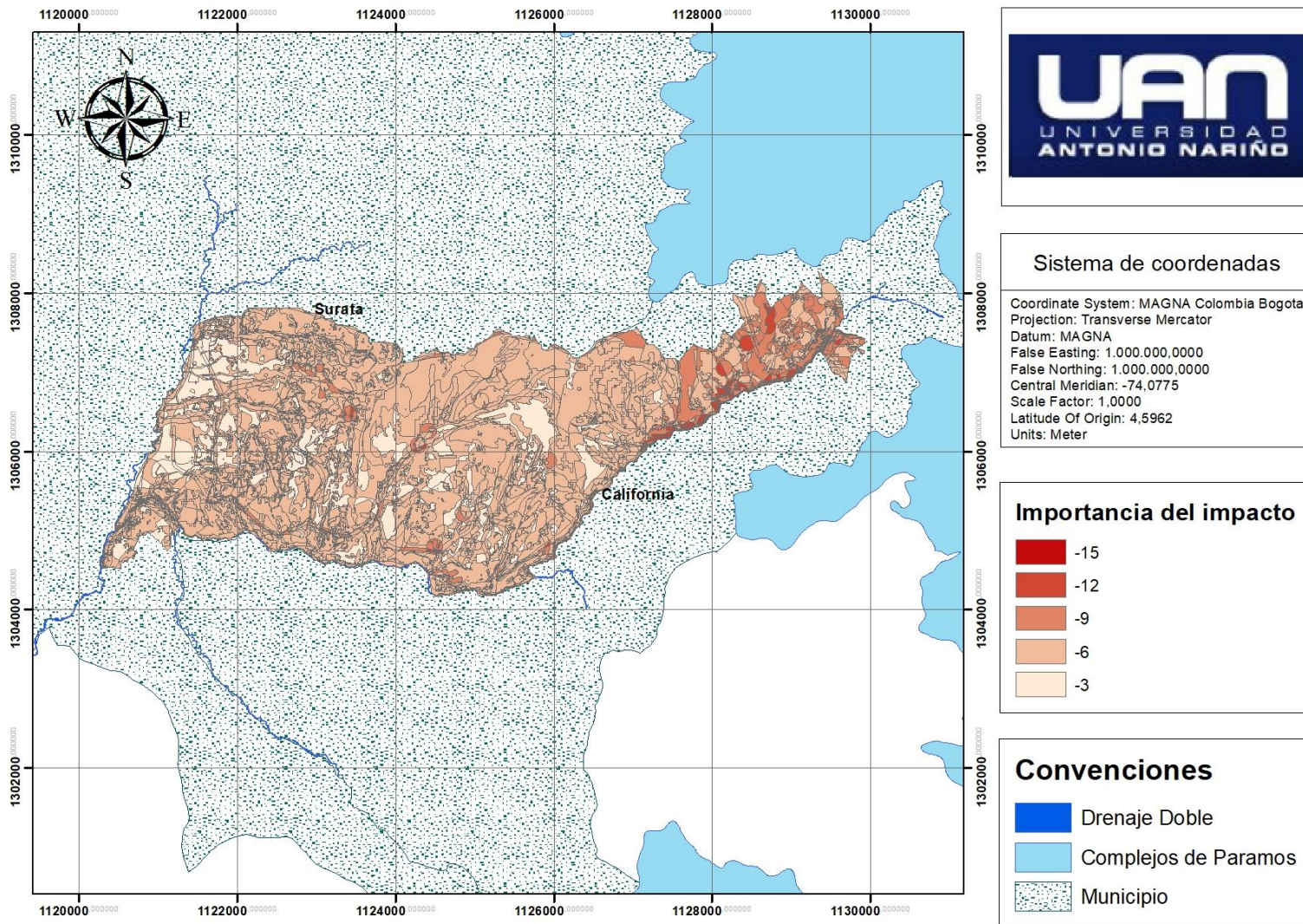


Figura 38 Mapa impacto Afectación a la producción agropecuaria tradicional
FUENTE: Elaboración autor

6 DISCUSIÓN

Se consigue obtener un cambio marcado en las valoraciones de los impactos, debido a que se consiguió que diez (10) impactos que eran considerados moderadamente significativos de forma negativa (Impacto 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13 en la tabla comparativa de metodologías (Tabla 11)) sean considerados significativos en forma negativa (Severo, de acuerdo a la metodología propuesta), un (1) impacto significativo en negativo (Impacto 26 en la tabla comparativa de metodologías (Tabla 11)) pase a ser un impacto muy significativo en negativo (critico en la metodología propuesta), un (1) impacto que era significativo negativo (Impacto 18 en la tabla comparativa de metodologías (Tabla 11)) pase a ser moderadamente significativo en negativo (Moderado en metodología propuesta) y un (1) impacto moderadamente significativo en positivo (Impacto 28 en la tabla comparativa de metodologías (Tabla 11)) pase a ser significativo en positivo.

Un gran ejemplo de los cambios que se pueden conseguir con la implementación de esta metodología se ve en el cambio que sufre el impacto 4 (**Tabla 11**), el mismo dentro de la metodología Ad Hoc propia para el proyecto lo ubica con un valor de impacto de 5,9 por lo cual de acuerdo con el intervalo $2,8 < \text{Moderadamente significativo} \leq 6$ él se ubica en el mismo, pero muy cerca de la siguiente etiqueta definida por el intervalo $6 < \text{significativo} \leq 8,5$ denotando que la posibilidad de existencia dentro del siguiente intervalo es posible, y es confirmado mediante la aplicación de matemática difusa la cual le da una pertenencia al siguiente conjunto del 100% siendo muy posible su pertenencia, dándole mayor relevancia al impacto, siendo necesarias implementaciones más eficaces para contrarrestar la influencia del impacto en el medio, a su vez, la implementación del SIG permite evidenciar los puntos más sensibles a dicho impacto.

Tabla 11 Comparación metodología propuesta versus metodología AD HOC

Impacto	Impacto Ambiental	Valoración difusa del impacto	Valoración con metodología original
1	Cambio en la Calidad del Aire	severo	Impacto Moderadamente Significativo
2	Cambios en los niveles de presión sonora	moderado	Impacto Moderadamente Significativo
3	Alteración en el régimen de flujo del agua superficial	severo	Impacto Moderadamente Significativo
4	Cambio en la disponibilidad del recurso hídrico superficial (caudal de	severo	Impacto Moderadamente Significativo

	pérdida) y subterráneo por el abatimiento de los niveles		
5	Abatimiento del nivel freático	severo	Impacto Moderadamente Significativo
6	Cambio en la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo	severo	Impacto Moderadamente Significativo
7	Cambio en la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua superficial	severo	Impacto Moderadamente Significativo
8	Alteración de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo	severo	Impacto Moderadamente Significativo
9	Cambio en el uso del suelo	severo	Impacto Moderadamente Significativo
10	Variación en el nivel de vibraciones	moderado	Impacto Moderadamente Significativo
11	Inestabilidad geotécnica	moderado	Impacto Moderadamente Significativo
12	Pérdida de cobertura vegetal y hábitats terrestres	severo	Impacto Moderadamente Significativo
13	Alteración de flora endémica y con estatus especial de conservación	severo	Impacto Moderadamente Significativo
14	alteración de la Fauna silvestre	moderado	Impacto Moderadamente Significativo
15	alteración de la fauna silvestre endémica y con estatus especial de conservación	moderado	Impacto Moderadamente Significativo
16	alteración de las comunidades hidrobiológicas	severo	Impacto Significativo
17	Cambios en la fragmentación y alteración en la conectividad de ecosistemas	severo	Impacto Significativo
18	Alteración de la calidad visual del paisaje	moderado	Impacto Significativo
19	Generación de expectativas y potenciación de conflictos	moderado	Impacto Moderadamente Significativo
20	Traslado involuntario de las unidades sociales	severo	Impacto Muy Significativo
21	Cambios en la dinámica poblacional y en la demanda de servicios públicos y sociales	severo	Impacto Significativo
22	Generación de Empleo.	Muy significativo	Impacto Muy Significativo

23	Aumento en la demanda y oferta de bienes y servicios	significativo	Impacto Significativo
24	Afectación a la movilidad local	severo	Impacto Significativo
25	afectación a la infraestructura de uso comunitario	moderado	Impacto Moderadamente Significativo
26	Cambios en las dinámicas organizativas comunitarias	muy significativo	Impacto Significativo
27	Reconfiguración del relacionamiento con el territorio	critico	Impacto Significativo
28	Cambio en las dinámicas de las actividades turísticas	significativo	Impacto Moderadamente Significativo
29	Cambio en las dinámicas de la minería local	muy significativo	Impacto Muy Significativo
30	Cambios en la gestión institucional y capacidad financiera	muy significativo	Impacto Muy Significativo
31	Afectación al sitio de interés cultural Santuario de San Antonio	moderado	Impacto Moderadamente Significativo
32	Cambios en las dinámicas funcionales y conectividad de las unidades territoriales veredales por su fraccionamiento y traslado de población e infraestructura social	moderado	Impacto Moderadamente Significativo
33	Afectación a la producción agropecuaria tradicional	moderado	Impacto Moderadamente Significativo

FUENTE:AUTOR

7 CONCLUSIONES

- La metodología propuesta muestra las debilidades que presenta la metodología convencional debido a la subjetividad involucrada a la hora de realizar la calificación o asumir el valor de las variables de entrada, por otra parte en la metodología convencional estos números son escogidos por el usuario o por la metodología utilizada, la metodología difusa se mantiene variante únicamente al número de etiquetas del conjunto de partida que a su vez, mantienen un rango de pertenencia para cualquier valor en el universo evaluado..
- La metodología de evaluación mediante Técnicas Difusas permite la incorporación de nuevas variables o conjuntos que se pueden transformar a conjuntos difusos. dándole mayor relevancia al impacto, siendo necesarias implementaciones más eficaces para contrarrestar la influencia del impacto en el medio. Esto evita que la afectación del medio sea lo menor posible y que esta valoración de como cambiaría el medio ambiente en el tiempo con respecto a la posible o no implementación del proyecto sería más cercana a la realidad.
- Las técnicas difusas en conjunto con las metodologías SIG mediante el uso de una zonificación de manejo ambiental permite modelar o predecir la manera en la que interactuará el proyecto y el ambiente con una mayor exactitud, permitiendo establecer no solo una medida por impacto, sino medidas de acuerdo a como el impacto influirá de acuerdo a la sensibilidad de la zona, enfocando y optimizando recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- ARBOLEDA, J. A. (2008). *Manual para la evaluación ambiental de proyectos, obras o actividades*. Medellín.
- CASTILLO, A. M. (2014). *EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA EN LA ABIOTA DE COLOMBIA*. BOGOTÁ, COLOMBIA: PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES.
- DUARTE, O. (MAYO de 2000). *TÉCNICAS DIFUSAS EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL*. GRANADA: PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA.
- DUTTA, P., BORUAH, H., & ALI, T. (2011). Fuzzy Arithmetic with and without using α -cut method: A comparative Study. *International Journal of Latest Trends in Computing (E-ISSN: 2045-5364)*, 99-107.
- ENERBUILDING. (2009). *El uso racional de la energía en los edificios públicos*. Colombia.
- MALLO, P. E. (2001). *LA DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR Y LOS NÚMEROS BORROSOS TRIANGULARES*. MAR DEL PLATA: FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA.
- MAZA, C. L. (2007). *MANEJO Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS FORESTALES*. Colombia: Editorial Universitaria pp. 579-609.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). *INDICADORES DE FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS CAUSADA POR INFRAESTRUCTURAS LINEALES DE TRANSPORTE*. Recuperado el 16 de Abril de 2016, de INDICADORES DE FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS CAUSADA POR INFRAESTRUCTURAS LINEALES DE TRANSPORTE: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/sec_Copia_de_Libro_Parques_Nacionales_tcm7-165477.pdf
- NETWORK, E. a. (2000). *Guía Práctica sobre Ahorro y Eficiencia Energética en Edificios*. España: Enforce.
- REVELO, D. C. (2007). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE LA FASE 1 PARA LA RUTA DE RECOLECCIÓN SELECTIVA Y LA OPERACIÓN DEL CENTRO DE RECICLAJE LA ALQUERÍA EN BOGOTÁ D.C.* BOGOTÁ D.C.: FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA.

- SÁNCHEZ, L. E. (2001). EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL. En L. E. Sánchez, *II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental* (pág. Capitulo 3). Sao Paulo: Escola Politecnica.
- UNAD, U. N. (2000). *Problemas ambientales asociados al consumo de energía*. Colombia : Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 2.5 License.
- Vicente CRUZ MÍNGUEZ, E. G. (2008-2009). *SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL*. España: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.
- ZADEH, L. A. (1975). The concept of linguistic variable and its applications to approximate reasoning, part I. En L. A. Zadeh, *The concept of linguistic variable and its applications to approximate reasoning, part I* (págs. 199-249). California: Information science 8.