

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 0205 DE 2017  
CVC – UNIVALLE  
MUNICIPIOS DE BOLIVAR, ROLDANILLO Y VERSALLES**



Sistemas de Información Geográfica -SIG- para la zonificación de amenaza por inundación y movimientos en masa Municipio de Roldanillo

**INFORME TÉCNICO**



**Santiago de Cali, octubre de 2018**



CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N°0205  
CVC – UNIVALLE  
MUNICIPIOS DE BOLIVAR, ROLDANILLO Y VERSALLES



## PRESENTACIÓN

Para la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, es una gran satisfacción aportar a los municipios de Bolívar, Roldanillo y Versalles, la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y escenarios de afectación o daño en el componente urbano municipal, en cumplimiento de la función dada por la Ley 1523 de 2012 sobre el apoyo a los municipios en el conocimiento del riesgo.

Conocedores de la importancia y responsabilidad que reviste abordar el tema del conocimiento de las amenazas y los riesgos, la CVC llevó a cabo una alianza con el Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente, OSSO, adscrito a la Universidad del Valle, con el fin de obtener los mejores resultados en estas evaluaciones. De igual forma, es necesario reconocer el aporte, contribución y compromiso de las administraciones municipales y sus propios habitantes, a lo largo de la ejecución de este estudio. Otro objetivo es fortalecer el conocimiento que tenemos de nuestro entorno para tener certeza y articular una adecuada planificación y ocupación de nuestros territorios.

Los estudios entregados son parte fundamental de la información que se requiere para que cada municipio formule su Ordenamiento Territorial de segunda generación y son evaluaciones que dan soporte para la reducción y la elaboración de planes de emergencia y contingencia.

La presente evaluación de las amenazas y riesgos deben estructuralmente permitirle al municipio reglamentar el uso del suelo en el componente urbano, de tal manera que, como lo define la política de gestión del riesgo y en esencia la constitución colombiana, se logre avanzar hacia un desarrollo sostenible, que ofrezca seguridad para la vida de los habitantes, sus bienes y medios de subsistencia, así como a toda la infraestructura del municipio.

Finalmente, la CVC con estas evaluaciones, a través de la Universidad, espera contribuir en la formación y fortalecimiento de la capacidad profesional de la región en este tipo de estudios.

**Rubén Darío Materon Muñoz**  
Director General  
CVC

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y la Dirección Ambiental Regional BRUT, a la Secretaria de Planeación e infraestructura física de la Administración Municipal por la información suministrada. De igual manera se agradece al Instituto Geográfico Agustín Codazzi por la liberación de la información catastral que fue de gran utilidad en el estudio, a Gases de Occidente S.A por la información suministrada y todas las entidades que de una u otra manera puso a disposición la información necesaria para adelantar los estudios de inundación y movimientos en masa de la zona urbana del municipio de Roldanillo en el marco del Convenio Interadministrativo N°0205 de 2017 entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC y La Universidad de Valle, el cual tiene como objeto “*Aunar Esfuerzos Técnicos y Recursos Económicos para la Elaboración de los Estudios de Zonificación de Amenaza y Vulnerabilidad y Escenarios de Afectación para las Áreas Urbanas de los Municipios de Bolívar, Versalles y Roldanillo en el Valle del Cauca*”.

## **CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – CVC**

### **DIRECTIVOS**

**RUBÉN DARÍO MATERÓN MUÑOZ**

Director General

**MARÍA CRISTINA VALENCIA RODRÍGUEZ**

Secretaria General (C)

**HÉCTOR FABIO ARISTIZABAL RODRIGUEZ**

Director Técnico Ambiental (C)

**PAULA ANDREA SOTO QUINTERO**

Directora Territorial – Dirección Ambiental Regional BRUT

### **SUPERVISIÓN**

**YUNCELY GIMENA BASTIDAS B**

Ingeniería Civil

Especialista en Diseño Estructural

Líder del proyecto 5001

**ARELIX ANDREA ORDOÑEZ FRANCO**

Ingeniería Ambiental

Supervisora del Convenio Interadministrativo N° 0205 de 2017 CVC-Univalle

### **EQUIPO TÉCNICO**

**OMAR ALBERTO CHAVES M**

Ingeniero Civil

**ALEJANDRA MARÍA GÓMEZ**

Ingeniera Civil

Doctora (Ph. D.) en Geotecnia

**MARÍA VICTORIA CROSS GARCÉS**

Ingeniera Agrónoma

Especialización en Educación Ambiental

## **UNIVERSIDAD DEL VALLE**

### **DIRECTIVOS**

#### **EDAGAR VARELA BARRIOS**

Rector

#### **LILIANA ARIAS CASTILLO**

Vicerrectora Académica

#### **INÉS MARÍA ULLOA VILLEGAS**

Vicerrectora Administrativa

#### **CLAUDIA SANTAMARÍA GAITÁN**

Vicerrector de Bienestar Universitario

#### **JAIME RICARDO CANTERA KINTZ**

Vicerrector de Investigación

#### **ANTONIO JOSÉ ECHEVERRY PÉREZ**

Secretario General

#### **GLADYS STELLA LÓPEZ JIMÉNEZ**

Decana - Facultad de Humanidades

### **EQUIPO TÉCNICO**

#### **ELKIN DE JESÚS SALCEDO HURTADO**

Director - Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano - OSSO

Doctor (Ph. D.) en Física-Matemáticas

### **GRUPO DE CARTOGRAFÍA Y SIG**

#### **Jhon Jairo Barona**

Doctor en Ing Geográfica

Coordinador

#### **Danny Alexander Cocuñame Ricardo**

Geógrafo

#### **Vanessa García Cardona**

Ing. Topográfica

#### **Carlos Mauricio Mosquera Pérez**

Est. Ingeniería Topográfica

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
1. ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN ESPACIAL DE LA METODOLOGÍA.....	14
1.1. LISTADO DE INSUMOS O DATOS DE ENTRADA .....	14
1.2. LISTADO DE ESPECIFICACIONES PARA LOS INSUMOS.....	14
2. PLANTEAMIENTO DE PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS SU TRATAMIENTO MEDIANTE HERRAMIENTAS DE SIG.....	15
2.1. OPERACIONES DE DIGITALIZACIÓN .....	16
2.2. OPERACIONES ENTRE MAPAS .....	16
2.2.1. CLASIFICACIÓN DE VARIABLES .....	17
2.2.2. INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN .....	18
2.2.3. ANÁLISIS ESPACIAL .....	18
3. DESARROLLO DE PRODUCTOS.....	24
3.1. CARTOGRAFÍA BASE DIGITAL DE LA ZONA URBANA DE ROLDANILLO .....	24
3.2. MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL .....	26
3.3. INVENTARIO Y ESPACIALIZACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA E INUNDACIONES.....	27
3.4. CARTOGRAFÍA TEMÁTICA .....	36
3.4.1. HIDROLOGÍA.....	36
3.4.2. GEOLOGÍA .....	37
3.4.3. GEOMORFOLOGÍA.....	41
3.4.4. COBERTURA DE LA TIERRA .....	43
3.4.5. TAXONOMÍA .....	44
3.4.6. TEXTURA .....	45
3.4.7. PENDIENTE .....	46
3.4.8. ORIENTACIÓN DE LADERAS .....	47
3.4.9. EROSIÓN.....	48
3.5. CALCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	49
3.5.1. MÉTODO HEURÍSTICO .....	49
3.6. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	62
3.7. AMENAZA POR INUNDACIÓN .....	64
3.8. VULNERABILIDAD.....	69
3.8.1. MOVIMIENTOS EN MASA.....	69
3.8.2. INUNDACIÓN.....	71
3.9. ÁREAS DE AFECTACIÓN.....	75
3.9.1. MOVIMIENTOS EN MASA.....	75
3.9.2. INUNDACIÓN.....	77
CONCLUSIONES .....	80
REFERENCIAS .....	84

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1.1.</b> ESCALA DE TRABAJO PARA ESTUDIOS .....	14
<b>TABLA 3.1.</b> CLASIFICACIÓN DE LA VARIABLE PENDIENTE.....	46
<b>TABLA 3.2.</b> CLASIFICACIÓN Y PESOS VARIABLES GEOMORFOLOGÍA .....	49
<b>TABLA 3.3.</b> CLASIFICACIÓN VARIABLES Y PESOS UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES .....	49
<b>TABLA 3.4.</b> CLASIFICACIÓN VARIABLES Y PESOS SUELOS .....	50
<b>TABLA 3.5.</b> CLASIFICACIÓN VARIABLES Y PESOS COBERTURA DE LA TIERRA.....	50
<b>TABLA 3.6.</b> PORCENTAJE DE ÁREAS A PARTIR DE LOS GRADOS DE VULNERABILIDAD CORPORAL Y ESTRUCTURAL.....	69
<b>TABLA 3.7.</b> PORCENTAJE DE PREDIOS A PARTIR DE LOS GRADOS DE VULNERABILIDAD CORPORAL Y ESTRUCTURAL.....	70
<b>TABLA 3.8.</b> PORCENTAJE DE ÁREAS A PARTIR DE LOS GRADOS DE VULNERABILIDAD CORPORAL .	72
<b>TABLA 3.9.</b> PORCENTAJE DE ÁREAS A PARTIR DE LOS GRADOS DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL .....	72
<b>TABLA 3.10.</b> PORCENTAJE DE PREDIOS A PARTIR DE LOS GRADOS DE VULNERABILIDAD CORPORAL .....	72
<b>TABLA 3.11.</b> PORCENTAJE DE PREDIOS A PARTIR DE LOS GRADOS DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL.....	72
<b>TABLA 3.12.</b> PORCENTAJE DE ÁREAS A PARTIR DE LOS GRADOS DE AFECTACIÓN .....	76
<b>TABLA 3.13.</b> PORCENTAJE DE PREDIOS A PARTIR DE LOS GRADOS DE AFECTACIÓN .....	76
<b>TABLA 3.14.</b> PORCENTAJE DE ÁREAS A PARTIR DE LOS GRADOS DE AFECTACIÓN .....	77
<b>TABLA 3.15.</b> PORCENTAJE DE PREDIOS A PARTIR DE LOS GRADOS DE AFECTACIÓN .....	77



## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 2.1.</b> CLASIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS .....	15
<b>FIGURA 2.2.</b> SUMATORIA CAPAS .....	16
<b>FIGURA 2.3.</b> UNIÓN CAPAS .....	17
<b>FIGURA 2.4.</b> INTERSECCIÓN .....	17
<b>FIGURA 2.5.</b> RECLASIFICACIÓN.....	17
<b>FIGURA 2.6.</b> AGRUPACIÓN.....	18
<b>FIGURA 2.7.</b> FUNCIÓN DE DENSIDAD KERNEL A DIFERENTES ANCHOS DE BANDA .....	19
<b>FIGURA 2.8.</b> CLASIFICACIÓN DENSIDAD DE KERNEL.....	21
<b>FIGURA 2.9.</b> DISTANCIA EUCLIDIANA.....	22
<b>FIGURA 2.10.</b> INTERPOLACIÓN.....	23
<b>FIGURA 2.11.</b> SUPERPOSICIÓN PONDERADA .....	24
<b>FIGURA 3.1.</b> MAPA DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	25
<b>FIGURA 3.2.</b> MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO ....	26
<b>FIGURA 3.3.</b> ESQUEMA METODOLÓGICO DE LA ESPACIALIZACIÓN DE LOS EVENTOS HISTÓRICOS....	27
<b>FIGURA 3.4.</b> MAPA DE HISTORICIDAD POR EVENTOS PUNTUALES DE INUNDACIÓN ZONA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO.....	28
<b>FIGURA 3.5.</b> MAPA DE DENSIDAD DE KERNEL POR EVENTOS PUNTUALES DE INUNDACIÓN ZONA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO.....	29
<b>FIGURA 3.6.</b> MAPA DE HISTORICIDAD POR BARRIOS CON REPORTES DE EVENTOS DE INUNDACIÓN ZONA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	30
<b>FIGURA 3.7.</b> EXTRACCIÓN DE COTAS EVENTOS HISTÓRICOS PUNTUALES DE INUNDACIÓN .....	31
<b>FIGURA 3.8.</b> MAPA DE HISTORICIDAD DE SECTORES POSIBLEMENTE AFECTADOS POR EVENTOS DE INUNDACIÓN SEGÚN ANÁLISIS DE LA TOPOGRAFÍA DEL TERRENO .....	32
<b>FIGURA 3.9.</b> MAPA DE CARTOGRAFÍA SOCIAL PARA LA VALIDACIÓN DE RESULTADOS DE HISTORICIDAD DE EVENTOS DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO PERIODO 1970-2018.....	33
<b>FIGURA 3.10.</b> MAPA DE EVENTOS HISTÓRICOS DE INUNDACIÓN ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO PERIODO 1970-2018.....	34
<b>FIGURA 3.11.</b> MAPA CARTOGRAFÍA SOCIAL PARA LA VALIDACIÓN DE RESULTADOS DE HISTORICIDAD DE EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO PERIODO 1970-2018.....	35
<b>FIGURA 3.12.</b> MAPA DE HIDROLOGÍA ZONA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO.....	37
<b>FIGURA 3.13.</b> MAPA GEOLÓGICO ZONA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	38
<b>FIGURA 3.14.</b> MAPA FOTOGEOLOGICO ZONA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO AÑO 1987 .....	39
<b>FIGURA 3.15.</b> MAPA FOTOGEOLOGICO ZONA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO AÑO 2010 .....	40
<b>FIGURA 3.16.</b> MAPA DE FORMACIONES SUPERFICIALES ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	41

<b>FIGURA 3.17.</b> MAPA DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	42
<b>FIGURA 3.18.</b> MAPA DE COBERTURA DE LA TIERRA ZONA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO ....	43
<b>FIGURA 3.19.</b> MAPA TAXONOMÍA ÁREA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	44
<b>FIGURA 3.20.</b> MAPA DE TEXTURA ZONA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	45
<b>FIGURA 3.21.</b> MAPA DE PENDIENTES ZONA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	46
<b>FIGURA 3.22.</b> MAPA ORIENTACIÓN DE LADERAS ZONA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	47
<b>FIGURA 3.23.</b> MAPA DE EROSIÓN ZONA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	48
<b>FIGURA 3.24.</b> MAPA GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA VARIABLE PENDIENTE POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	51
<b>FIGURA 3.25.</b> MAPA GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA VARIABLE ORIENTACIÓN DE LADERAS POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	52
<b>FIGURA 3.26.</b> MAPA GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA VARIABLE MORFODINÁMICA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	53
<b>FIGURA 3.27.</b> MAPA GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA VARIABLE GEOMORFOLOGÍA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	54
<b>FIGURA 3.28.</b> MAPA GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA VARIABLE TAXONOMÍA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	55
<b>FIGURA 3.29.</b> MAPA GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA VARIABLE EROSIÓN POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	56
<b>FIGURA 3.30.</b> MAPA GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA VARIABLE TEXTURA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	57
<b>FIGURA 3.31.</b> MAPA GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA VARIABLE COBERTURA DE LA TIERRA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	58
<b>FIGURA 3.32.</b> VARIABLES Y PONDERACIONES PARA CÁLCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA .....	59
<b>FIGURA 3.33.</b> MAPA GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA VARIABLE MORFOMETRÍA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	60
<b>FIGURA 3.34.</b> MAPA DE GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA VARIABLE SUELOS POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	61
<b>FIGURA 3.35.</b> MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	62
<b>FIGURA 3.36.</b> MAPA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	63
<b>FIGURA 3.37.</b> MAPA DE PRECIPITACIONES MENSUALES MULTIANUALES MUNICIPIO DE ROLDANILLO PERIODO 1983-2017 .....	64
<b>FIGURA 3.38.</b> MAPA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS MUNICIPIO DE ROLDANILLO ....	65
<b>FIGURA 3.39.</b> MAPA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 48 HORAS MUNICIPIO DE ROLDANILLO ....	66
<b>FIGURA 3.40.</b> MAPA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 72 HORAS MUNICIPIO DE ROLDANILLO ....	67
<b>FIGURA 3.41.</b> MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN ÁREA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO ..	68

<b>FIGURA 3.42.</b> MAPA DE VULNERABILIDAD CORPORAL POR MOVIMIENTOS EN MASA ÁREA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO.....	70
<b>FIGURA 3.43.</b> MAPA DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL POR MOVIMIENTOS EN MASA ÁREA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO.....	71
<b>FIGURA 3.44.</b> MAPA DE VULNERABILIDAD CORPORAL POR INUNDACIÓN ÁREA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	73
<b>FIGURA 3.45.</b> MAPA DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL POR INUNDACIÓN ÁREA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO.....	74
<b>FIGURA 3.46.</b> MAPA DE ÁREAS DE AFECTACIÓN POR MOVIMIENTOS EN MASA ÁREA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO.....	76
<b>FIGURA 3.47.</b> MAPA DE ÁREAS DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN ÁREA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	78
<b>FIGURA 3.48.</b> MAPA DE ÁREAS DE AFECTACIÓN ALTA (MITIGABLE Y NO MITIGABLE) POR INUNDACIÓN - ÁREA URBANA MUNICIPIO DE ROLDANILLO .....	79

## INTRODUCCIÓN

El presente informe es resultado del trabajo realizado por el grupo de Sistema de Información Geográficas, para el Municipio de Roldanillo, en el cual se plantea una propuesta de implementación de una metodología para la evaluación de la amenaza por inundaciones en el contexto urbano del municipio de Versalles, Valle del Cauca desde la perspectiva de la geomática, como respuesta al convenio interadministrativo 0205 de 2017 firmado entre la CVC y la Universidad del Valle, a través del Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente Colombiano (OSSO). En este trabajo se describen los procesos y técnicas necesarias para la obtención de los productos GIS correspondientes a los insumos para aplicar esta metodología, en los componentes de historicidad, Geología y Geomorfología local, hidrología e hidráulica de los afluentes, geotécnica, los insumos para la zonificación de amenaza inundación y movimientos en masa y la zonificación de la vulnerabilidad y los escenarios de afectación o riesgo por inundación y movimientos en masa.

El informe se estructura en tres (3) capítulos:

- En el capítulo 1 se realiza el análisis de los requerimientos de insumos geomáticos dentro de esta metodología.
- En el capítulo 2 se presenta el planteamiento de los procedimientos para la obtención de productos su tratamiento mediante herramientas de SIG
- En el capítulo 3 se presenta el desarrollo de cada uno de los productos de Cartografía del área de estudio, el modelo digital de elevación, la cartografía temática, el cálculo de la susceptibilidad, amenaza por movimientos en masa, amenaza por inundación, vulnerabilidad y áreas de afectación ante movimientos en masa e inundación.
- Se presentan conclusiones

## OBJETIVOS

- Definir los requerimientos de insumos geomáticos
- Definir los procedimientos a partir de Sistemas de Información Geográfica.
- Plasmar espacialmente la evaluación y modelamiento de la susceptibilidad por Movimientos en Masa e Inundación del municipio de Roldanillo, a partir de la información suministrada por los equipos multidisciplinarios.
- Identificar, clasificar y espacializar los grados de amenazas por el fenómeno de inundación y la susceptibilidad de movimiento en masa para el municipio de Roldanillo.
- Elaborar los mapas de amenaza por inundación y susceptibilidad por movimientos en masa en el municipio de Roldanillo, considerando los sismos como factores detonantes, a través de las operaciones espaciales mediante herramienta SIG.

## 1. ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN ESPACIAL DE LA METODOLOGÍA

En el presente informe se relaciona los insumos requeridos para suministrar la información espacial de del municipio de Roldanillo.

### 1.1. LISTADO DE INSUMOS O DATOS DE ENTRADA

Es necesario contar con información básica del área de estudio que permita identificar, localizar y caracterizar las condiciones del territorio. A continuación, se presenta un listado de los insumos necesarios para la aplicación de esta metodología:

- Cartografía base en formato digital que contenga coordenadas en proyecciones cartesianas (N, E) referidas al sistema Magna Sirgas, curvas de nivel, drenajes, red vial, infraestructura, equipamientos y asentamientos humanos.
- Modelo de elevación digital (MDE)
- Inventario de procesos morfodinámicos
- Fotografías aéreas del área de estudio
- Cartografía temática:
  - Hidrológica
  - Geológica
  - Geomorfológica
  - Uso de suelos
  - Cobertura de la tierra
  - Pendientes
  - Textura
  - Orientación de laderas
  - Historicidad por inundación
  - Historicidad por movimientos en masa

### 1.2. LISTADO DE ESPECIFICACIONES PARA LOS INSUMOS

De conformidad con lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, en el cual se dictan las especificaciones técnicas nacionales para la elaboración de los estudios, la escala de trabajo mínima requerida depende de la clase de suelo del área de estudio, como se puede observar en la Tabla 1.1

**Tabla 1.1.**Escala de trabajo para estudios

TIPO DE ESTUDIO	CLASE DE SUELO	ESCALA
Estudio Básico	Urbano	1:5.000
	Expansión urbana	1:5.000
	Rural	1:25.000
Estudio detallado	Urbano	1:2.000
	Expansión urbana	1:2.000
	Rural	1:5.000

**Fuente:** Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2014

Para el caso específico de este proyecto que es un estudio detallado, se utiliza la escala 1:2000. El valor de exactitud posicional de los datos espaciales es aceptado con un error medio cuadrático menor a 60 cm para todos los productos cartográficos generados.

Los productos cartográficos que se realicen en el marco de esta metodología deben estar referidos al sistema Magna Sirgas, además se debe hacer uso de proyecciones cartesianas (N, E). El plano de proyección se define de acuerdo con el origen cartográfico que corresponda al área de estudio, según la regionalización de los parámetros de transformación del IGAC.

Para este trabajo el modelo de elevación digital de entrada debe contar con un tamaño de celda o pixel mínimo de 2 m para trabajos a escala 1:2000 o 5 m para estudios a escala 1:5000, las fotografías aéreas deben tener resoluciones mayores de 10m.

Para el mapa de formaciones superficiales, la unidad mínima cartografiable está definida por la escala de trabajo; por tanto, la UGI mínima cartografiable en mapas a escala 1:2000 será de 400 m<sup>2</sup>, mientras que para mapas a escala 1:5000 será de 2500 m<sup>2</sup>.

## 2. PLANTEAMIENTO DE PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS SU TRATAMIENTO MEDIANTE HERRAMIENTAS DE SIG

A continuación, en la Figura 2.1 se muestran las operaciones básicas utilizadas en los procedimientos realizados para la obtención de los productos cartográficos obtenidos, a partir de estas o procedimientos compuestos por la combinación de una o más de ellas, se logran obtener los productos finalmente requeridos para la aplicación de la metodología de amenaza por movimientos en masas e inundaciones.



**Figura 2.1.** Clasificación de procedimientos

**Fuente:** elaboración propia

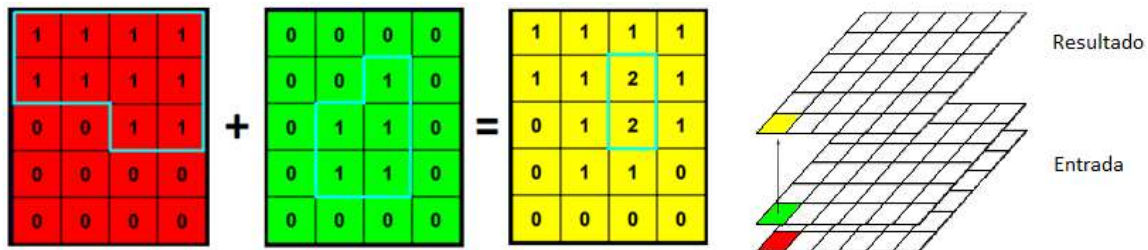
## 2.1. OPERACIONES DE DIGITALIZACIÓN

La digitalización es el proceso de crear datos en formato vectorial, sean puntos líneas o polígonos, para esta tarea se puede hacer uso de diferentes tipos de software GIS, en el caso de este trabajo se usó el software ArcGIS en su versión 10.2.2.

Existen diversas formas de digitalización, puede hacerse a partir de convertir las entidades o datos análogos a un formato digital o creando nuevos datos de entrada, un ejemplo de esto es la espacialización de eventos, consiste en realizar captura de elementos cartográficos del terreno o de sus atributos a través de diferentes dispositivos que permiten ubicarlos espacialmente asignándole coordenadas, luego esta información puede sincronizarse a través de computadores con el uso de software especializado y convertirse en un elemento vectorial. Entre las operaciones de digitalización se encuentran también la edición de mapas, la cual consiste en verificar la cartografía básica digital existente del área de estudio y compararla con fotografías o imágenes de satélite disponibles de fechas diferentes, con el fin de completar, verificar o eliminar información que ha cambiado o es inconsistente en la cartografía.

## 2.2. OPERACIONES ENTRE MAPAS

Sumatoria, la sumatoria es una operación de tipo local aritmética, las operaciones locales dependen únicamente del valor que se encuentra en cierta localización, no depende de las celdas vecinas, este operador genera una nueva capa resultado a partir de una o más capas de entrada, la capa resultado recibe valores en función de la suma de los valores de ese mismo pixel en las capas de entrada. Esta operación se puede realizar entre archivos en formato ráster, un ejemplo de aplicación de esta operación se puede observar en la Figura 2.2.

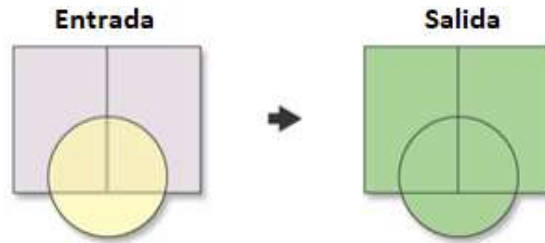


**Figura 2.2.** Sumatoria capas

**Fuente:** Modificado de Carvacho Bart, 2010

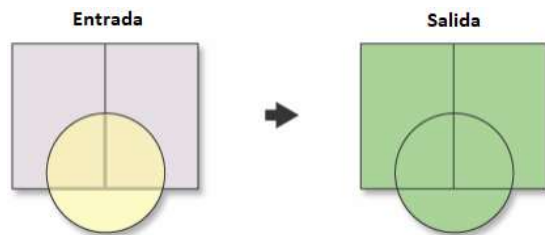
- **Unión:** este procedimiento realiza una unión geométrica de las capas de entrada, el resultado es una nueva que contiene todos los elementos de las capas de entrada, incluyendo los atributos, como se muestra en la Figura 2.3. Este procedimiento se puede hacer entre capas vectoriales, que tengan concordancia en su geometría.





**Figura 2.3.** Unión capas  
**Fuente:** ArcGIS Desktop

- **Intersección:** este procedimiento realiza una intersección geométrica entre las capas de entrada, el resultado es una nueva capa que contiene solo los elementos que se intersectan, incluyendo sus atributos, como se puede observar en la Figura 2.4. Este procedimiento se puede realizar entre capas vectoriales, sin importar su tipo de geometría.



**Figura 2.4.** Intersección  
**Fuente:** ArcGIS Desktop

### 2.2.1. Clasificación de variables

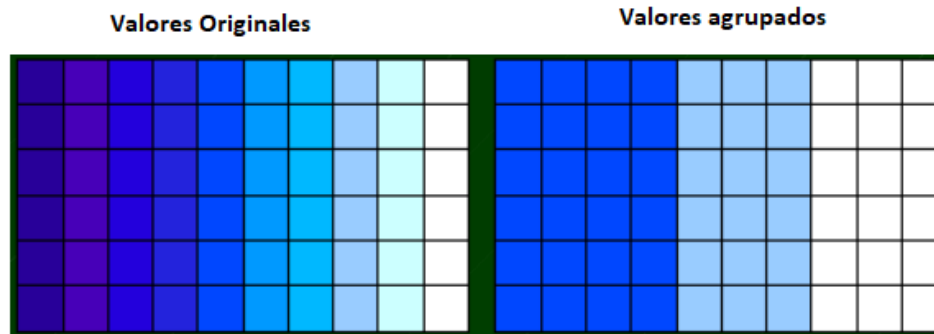
La clasificación es una operación de tipo local que se realiza a partir de una capa de entrada, consiste en asignar un valor nuevo a una celda en la capa resultado. Existen diferentes tipos de clasificación:

- **Reclasificación:** consiste en recodificar las clases de la capa de entrada, por ejemplo, para los casos de uso de suelo existen más de 20 clases, pero el experto las clasifica de 1 a 3 según el nivel de importancia para el modelo aplicado, una muestra de ello se puede observar en la Figura 2.5



**Figura 2.5.** Reclasificación  
**Fuente:** Modificado de Carvacho Bart, 2010

- **La ponderación:** consiste en asignar valores de pesos a ciertas capas o variables, es decir, se asigna mayor peso a las variables que tengan más influencia en el modelo, estos pesos son dados definidos por el experto.
- **Agrupación:** esta operación consiste en agrupar los valores de una variable de tipo cuantitativa de acuerdo a unos intervalos predefinidos por el usuario o calculados automáticamente por el software, un ejemplo de agrupación se puede observar en la Figura 2.6



**Figura 2.6.** Agrupación  
**Fuente:** Caloni, 2007

### 2.2.2. Integración de información

Los procedimientos de integración de información consisten en combinar información de diferentes fuentes, para generar productos cartográficos que sean requeridos, un ejemplo de esta integración es cargar la capa temática de hidrología para completar la cartografía base digital del área de estudio, o la creación de las curvas de nivel a partir del modelo digital de terreno. La integración de información puede ser de ráster –vector, de vector a ráster o vectorial-vectorial.

### 2.2.3. Análisis espacial

Los procedimientos de análisis espacial, permiten resolver problemas espaciales, evaluando componentes específicos de los datos de manera separada, estas técnicas permiten encontrar patrones geográficos en los datos y relaciones entre las características. La mayor parte de los análisis espaciales hacen uso de cálculos geométricos sencillos, a partir de los cuales se construyen algoritmos más complejos. A continuación se presenta la descripción de los procedimientos utilizados para la generación de los productos cartográficos de este proyecto:

- **Densidad de Kernel:** función de densidad que permite la visualización de patrones de concentración de densidad de eventos. La densidad de Kernel puede calcularse para las entidades de punto y de línea, el algoritmo que se usa para determinar el radio predeterminado de búsqueda, también conocido como ancho de banda, es el siguiente:
  1. Calcular el centro medio de los puntos de entrada. Si se ha seleccionado un campo población distinto de ninguno, este cálculo y los siguientes se ponderarán con los valores de ese campo.

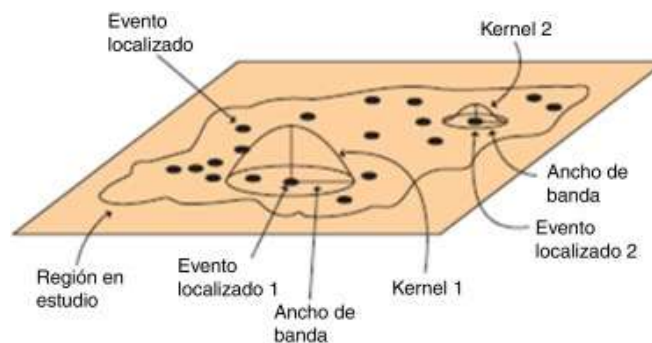
2. Calcular la distancia desde el centro medio (ponderado) para todos los puntos.
3. Calcular la distancia media (ponderada) de esas distancias,  $Dm$ .
4. Calcular el valor de la Distancia estándar (ponderada),  $SD$ .
5. Aplicar la fórmula siguiente para calcular el ancho de banda:

$$\text{Radio de búsqueda} = 0.9 \times \min \left( SD \sqrt{\frac{1}{\ln(2)}} \times Dm \right) \times n^{-0.2} \quad (1)$$

Donde,  $SD$  es la distancia estándar,  $Dm$  es la mediana de la distancia,  $n$  es el número de puntos cuando no se usa campo de población, o la suma de los valores del campo de población cuando se utiliza. El valor  $\min$  de la ecuación expresa que se utilizará cualquiera de las dos opciones de distancia que dé como resultado el valor menor.

Por lo general, esta forma de calcular un radio predeterminado evita el fenómeno de generar "anillos alrededor de puntos" que a menudo se produce con conjuntos de datos de puntos dispersos.

- Densidad kernel para entidades de puntos, calcula la densidad de las entidades de punto de alrededor de cada celda ráster de salida. Conceptualmente, se ajusta una superficie curva uniforme sobre cada punto. El valor de superficie es más alto en la ubicación del punto y disminuye a medida que aumenta la distancia desde el punto y alcanza cero en la distancia radio de búsqueda desde el punto. Sólo es posible un vecindario circular. El volumen bajo la superficie es igual al valor Campo de población para el punto, o 1 si se especifica "ninguno" gráficamente podemos observar esto en la Figura 2.7. Para calcular la densidad de cada celda ráster de salida, se agregan los valores de todas las superficies de kernel en donde se superponen con el centro de la celda. La función se basa en la función kernel de cuarto grado que se describió en Silverman (Silverman, 1986).



**Figura 2.7.** Función de densidad Kernel a diferentes anchos de banda

**Fuente:** Gómez, López, Llácer, Palmera, y Fernández, 2015

Si se utiliza una configuración de campo de población que no sea "ninguna", el valor de cada elemento determina la cantidad de veces que se va a contar el punto. Por ejemplo, un valor de 3 haría que el punto se cuente como tres puntos. Los valores pueden ser de tipo entero o punto flotante.

La estimación de la densidad del kernel de la función de densidad de probabilidad está basada en el método de estimación del kernel. La expresión que define la estimación de la densidad en un punto es la siguiente:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (2)$$

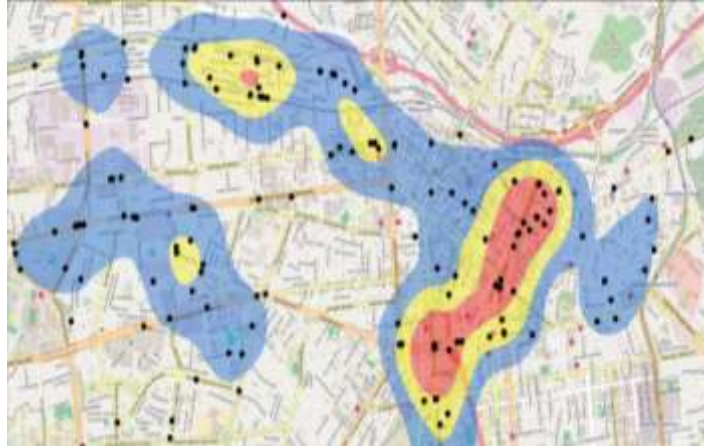
Donde,  $x$  representa la serie de longitud  $n$ ;  $K$  el kernel simétrico y  $h$  el rango o parámetro de ajuste. Solo se usará el kernel Gaussiano para las estimaciones de la densidad:

$$K(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}u^2} \quad (3)$$

A partir de la expresión anterior, la densidad en un punto  $X$  se calcula como la suma de los valores del kernel para las cantidades definidas por las diferencias entre los valores del punto  $X$  y la serie. Además, los puntos  $X$  utilizados para el cálculo de la densidad pueden no coincidir con los valores de la propia serie. Estos son algunos pasos básicos en la implementación del algoritmo de estimación de la densidad del kernel.

1. Evaluación del valor medio y de la desviación estándar de la serie de entrada.
2. Normalizar la serie de entrada. Deducir la media obtenida previamente de cada valor y dividir por la desviación estándar. Después de esta normalización, la serie original tendrá una media cero y una desviación estándar igual a uno. Dicha normalización no es necesaria para calcular la densidad, pero permite unificar los gráficos resultantes, ya que para cualquier serie en la escala  $X$  habrá valores expresados en unidades de la desviación estándar.
3. Hallar valores altos y bajos en la serie normalizada.
4. Crear dos matrices cuyos tamaños correspondan al número deseado de puntos representados en el gráfico obtenido. Por ejemplo, si debe construirse el gráfico usando 200 puntos, el tamaño de las matrices debe ser de 200 valores cada una, aproximadamente.
5. Reservar una de las matrices creadas para almacenar el resultado. El segundo se utiliza para formar los valores de los puntos, para los que se ha realizado la estimación de la densidad. Para hacer esto se deben crear 200 valores (en este caso) igualmente espaciados entre los valores altos y bajos previamente preparados y guardarlos en la matriz que se ha preparado.

Una vez obtenida la densidad kernel para la nube de puntos que para el caso de este estudio representa los eventos de inundación, se obtiene un resultado similar al observado en la Figura 2.8, donde se muestran valores de densidad, se clasifican de mayor densidad a densidad nula, la densidad nula indica los sitios donde no se presentan antecedentes del evento estudiado y la densidad alta da una idea inicial de las zonas susceptibles a dicha amenaza. Posteriormente estas zonas preliminares se pueden convertir a polígonos para un tratamiento vectorial posterior si se desea.



**Figura 2.8.** Clasificación densidad de Kernel

**Fuente:** Hernández , Azañedo, Bendezú Quispe, Pacheco Mendoza y Martín Chaparro, 2016

- **Cálculo de pendientes:** la pendiente refleja la variación máxima de la elevación y se define en función del gradiente como.

$$s = \arctan(|\nabla \bar{Z}|) \quad (4)$$

En un ráster la pendiente está definida como la tasa máxima de cambio del valor de esa celda a sus vecinas. Básicamente, el cambio máximo en la elevación sobre la distancia entre la celda y sus ocho vecinas, identifica el descenso cuesta abajo más empinado desde la celda. El algoritmo básico utilizado para calcular la pendiente es:

$$pendiente_{radianes} = \arctan\left(\sqrt{\left[\frac{dz}{dx}\right]^2 + \left[\frac{dz}{dy}\right]^2}\right) \quad (5)$$

Este valor representa el ángulo entre el plano horizontal y el tangencial a la superficie en el punto considerado. Este último queda definido por el gradiente, que es normal al mismo. El horizontal es, a su vez, normal a la curva de nivel que pasa por el punto. La pendiente obtenida de la expresión anterior viene expresada en unidades de grados para la ecuación 4, y de radianes para la ecuación 5, en el software la pendiente en unidades angulares se calcula con el algoritmo.

$$pendiente_{grados} = \arctan\left(\sqrt{\left[\frac{dz}{dx}\right]^2 + \left[\frac{dz}{dy}\right]^2}\right) \times 57.29578 \quad (6)$$

El valor 57,29578 que se muestra en la ecuación 6, es una versión truncada del resultado de  $180/\pi$ . También es habitual dar los valores de pendiente en porcentaje. Para ello, utilizamos la expresión.

$$s = \tan(s) \times 100 \quad (7)$$

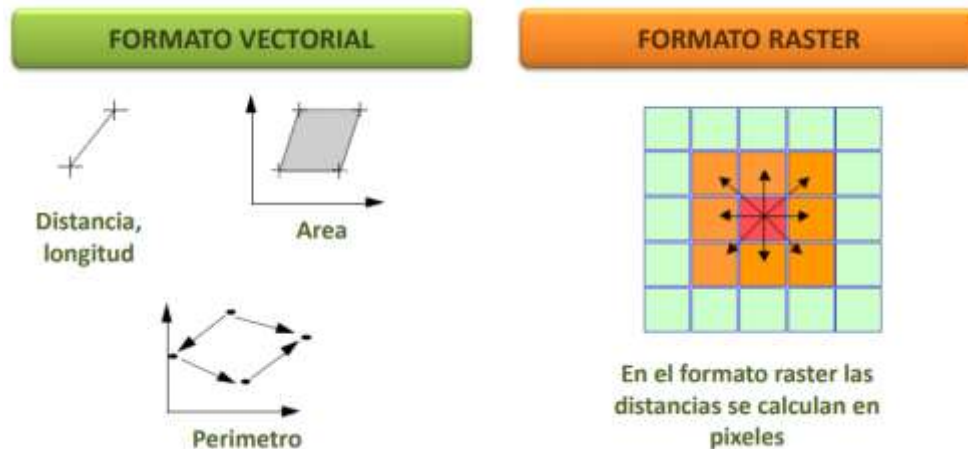
- **Distancia euclidiana:** el cálculo de una distancia Euclidiana se realiza a partir del conocimiento de las coordenadas geográficas de los elementos o píxeles, la Figura 2.9, muestra un ejemplo gráfico del cálculo de la distancia Euclidiana, la ecuación 8, muestra la

fórmula aplicada para este procedimiento. Este es un operador de gran importancia, de una forma u otra este concepto aparece en gran multitud de procedimientos analíticos.

$$D_{1,2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (8)$$

- **Orientación de laderas:** junto con la pendiente, la orientación es el otro parámetro básico que calculamos a partir del gradiente. La Orientación identifica la dirección de la pendiente descendente de la tasa de cambio máxima en un valor desde cada celda hacia sus vecinas. El algoritmo para cálculo de la pendiente está definido como.

$$\text{orientación} = 57.29578 \times \text{atan2} \left( \left[ \frac{dz}{dx} \right], - \left[ \frac{dz}{dx} \right] \right) \quad (9)$$



**Figura 2.9.** Distancia Euclidiana

**Fuente:** Olaya, 2014

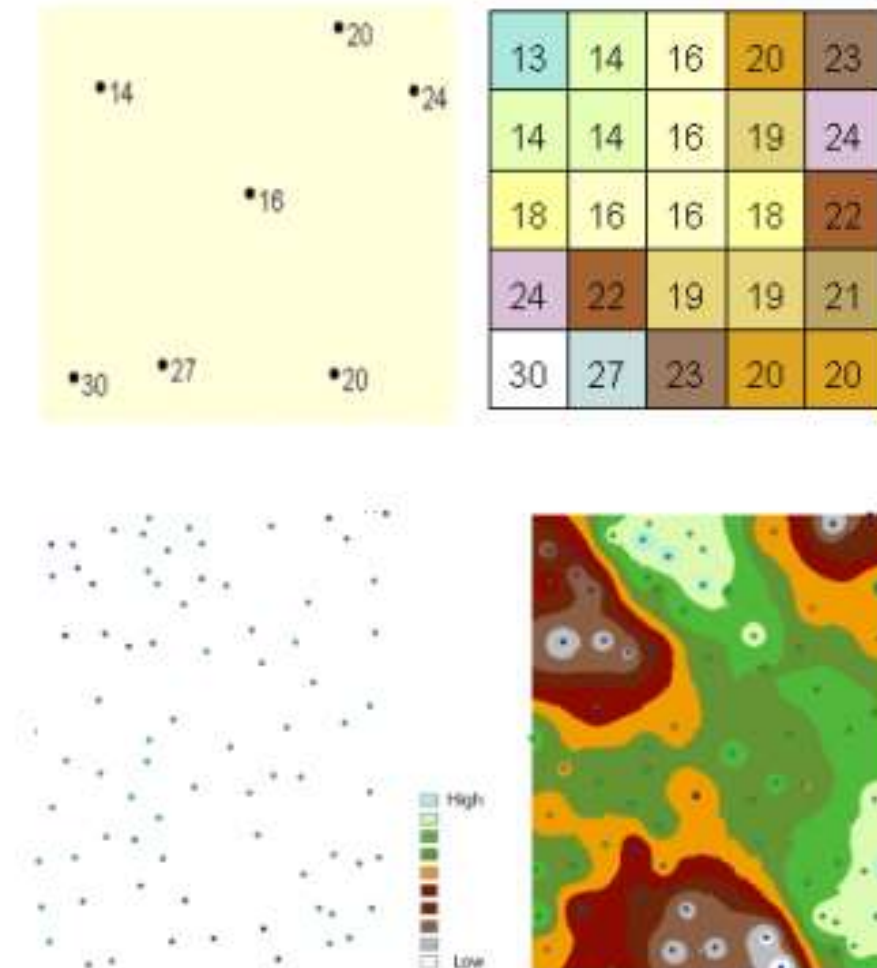
Los valores de cada celda del ráster de salida indican la dirección de brújula a la que apunta la superficie en esa ubicación. Se mide en el sentido de las agujas del reloj en grados de 0 (hacia el norte) a 360 (hacia el norte nuevamente), formando un círculo completo. Las áreas planas que no tienen dirección de pendiente descendente tienen un valor de -1. El algoritmo convierte a valores de dirección de brújula (0 a 360 grados), de acuerdo a las siguientes reglas:

si,  $\text{orientación} < 0$   $\text{celda} = 90 - \text{orientación}$   
 si,  $\text{orientación} > 90$   $\text{celda} = 360 - \text{orientación} + 90$   
 de otra manera,  $\text{cel} = 90 - \text{orientación}$

El resultado es un ráster donde el valor de cada celda indica la dirección a la que apunta la pendiente de la celda.

- **Extracción de información:** la operación de extracción extrae los valores contenidos en las celdas según una consulta lógica, existen diferentes variaciones de del procedimiento de extracción según la geometría de la consulta de entrada, los utilizados para el desarrollo de los productos cartográficos requeridos son, extracción por puntos, extracción por polígonos, extracción por mascarar.

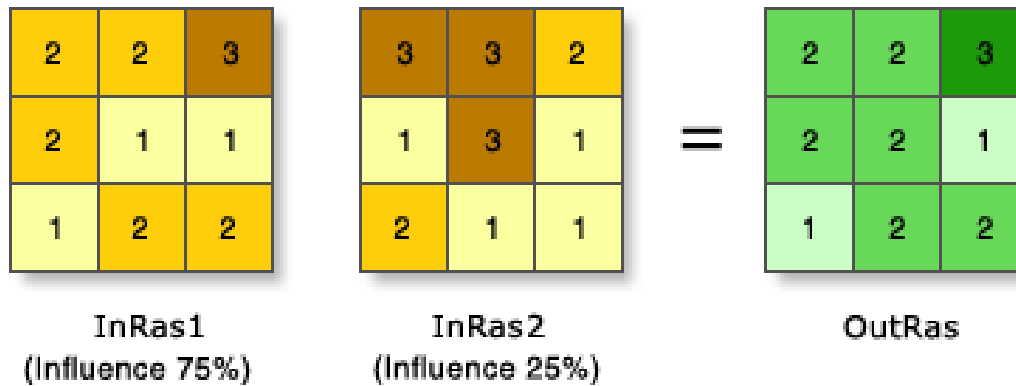
- **Interpolación:** un método de interpolación que permite el cálculo de valores en puntos no muestreados, es decir se puede crear una superficie continua a partir de una predicción realizada a partir de los valores recogidos o muestreados, un ejemplo gráfico de interpolación se puede observar en la Figura 2.10.



**Figura 2.10.** Interpolación  
Fuente: [www.ingemmet.gob.pe](http://www.ingemmet.gob.pe)

Las herramientas de interpolación se dividen en dos, los métodos determinísticos y de estadísticas geográficas. Los métodos determinísticos de interpolación asignan valores a las ubicaciones basándose en los valores medidos circundantes y en fórmulas matemáticas específicas que determinan la suavidad de la superficie resultante. Los métodos determinísticos incluyen IDW (ponderación de distancia inversa), Vecino natural, Tendencia y Spline. Los métodos de estadísticas geográficas están basados en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación (la relación estadística entre los puntos medidos). Gracias a esto, las técnicas de estadística geográfica no sólo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción, sino que también proporcionan alguna medida de certeza o exactitud de las predicciones. *Kriging* es un método de interpolación de estadísticas geográficas.

- **Superposición ponderada:** esta herramienta superpone numerosos ráster con una escala de medición común y pondera cada uno según su importancia, un ejemplo grafico de esta operación puede observarse en la Figura 2.11.



**Figura 2.11.** Superposición ponderada  
**Fuente:** ArcGIS Desktop

### 3. DESARROLLO DE PRODUCTOS

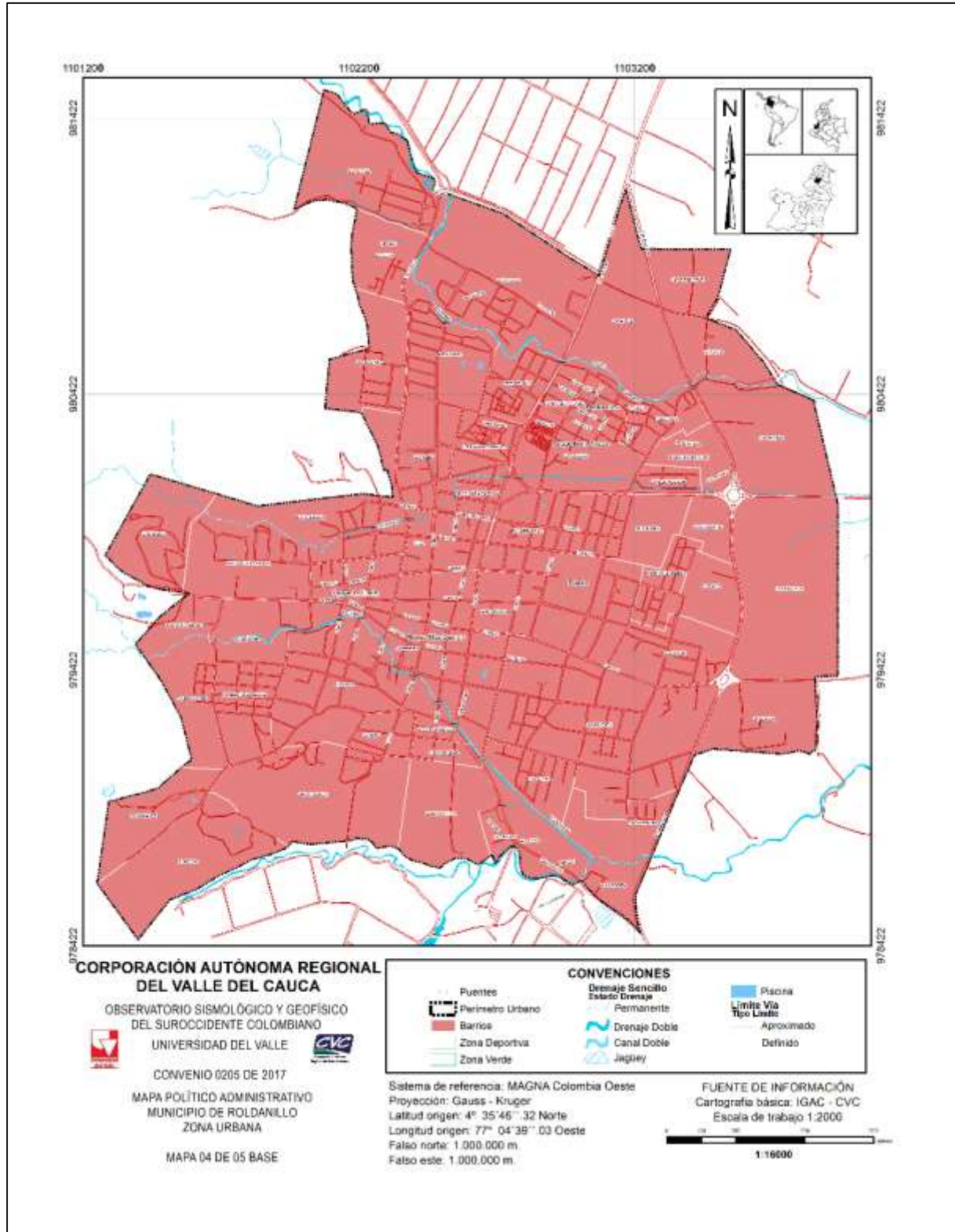
A continuación, se describen los productos cartográficos obtenidos aplicando los diferentes procedimientos descritos, para el desarrollo de estos se realiza un procedimiento simple o un procedimiento compuesto, es decir una combinación de varios procedimientos, esto según los requerimientos del mismo.

#### 3.1. CARTOGRAFÍA BASE DIGITAL DE LA ZONA URBANA DE ROLDANILLO

La cartografía base digital del área de estudio, es un producto cartográfico fundamental para la aplicación de las diferentes metodologías tanto de amenaza por inundación como de susceptibilidad por movimientos en masa, para la elaboración de este producto, se contó inicialmente con una base de datos geográfica brindada por la Corporación Autónoma Regional el Valle del Cauca CVC, las capas que conforman esta base de datos tienen coordenadas en proyecciones cartesianas (N, E), referidas al sistema Magna Sirgas origen Oeste, en ella se encuentran los drenajes principales, red vial, distribución de los barrios, equipamientos e información predial.

Para la elaboración de este producto cartográfico, fue necesario usar un procedimiento compuesto, donde se usan operaciones de digitalización e integración de información. Los procedimientos de integración fueron de tipo ráster – vectorial, donde se complementó y se ajustó la información de drenajes a partir de ortofotos brindadas por la CVC, en algunos casos fue necesario realizar procedimientos de digitalización con este mismo objetivo, la información predial detallada fue descargada de la página oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, la división político administrativa fue proporcionada por la Secretaria de Planeación del municipio de cada uno de los municipios, el producto final obtenido para el municipio de Roldanillo, se muestra en la Figura 3.1.



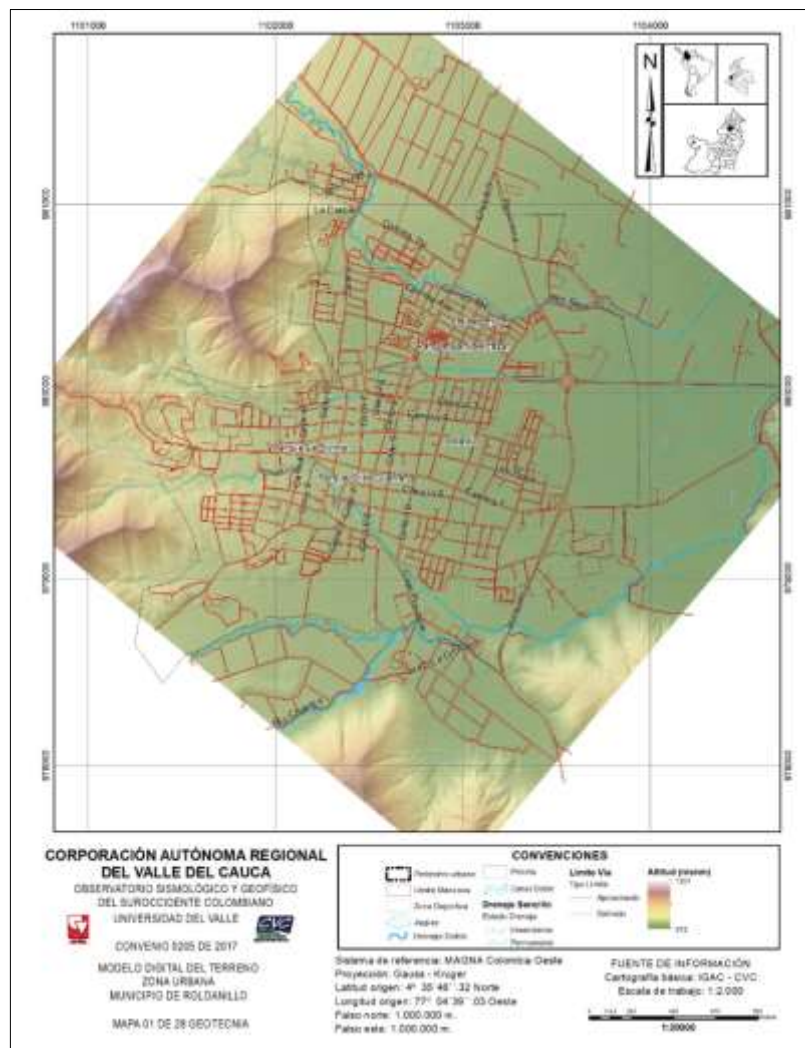


**Figura 3.1.** Mapa división político-administrativa del área urbana del municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia a partir de datos de la CVC

### 3.2. MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL

Un modelo de elevación digital DEM, es una representación espacial matemática simplificada de la superficie de un terreno, los DEM son creados en formatos de tipo ráster donde cada una de las celdas representa un valor de altitud de la superficie del terreno.

El modelo de elevación digital proporcionado para el análisis de la topografía y formas del relieve, es un archivo de tipo ráster, generado a partir de tecnología LiDAR con una resolución espacial de 1m, que cubre el área urbana del municipio de Roldanillo, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se puede observar la salida gráfica del modelo digital de elevación de la zona urbana del municipio de Roldanillo, la escala de colores representa la elevación de la zona, donde el verde representa las áreas con cotas más bajas, seguidas de las de color amarillo, las áreas en color blanco y las de tonalidad café, representan las zonas con altitud mayor, las cotas en el DEM van desde los 912 hasta los 1251 msnm.



**Figura 3.2.** Modelo de elevación digital zona urbana del municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia a partir de datos de la CVC

### 3.3. INVENTARIO Y ESPACIALIZACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA E INUNDACIONES

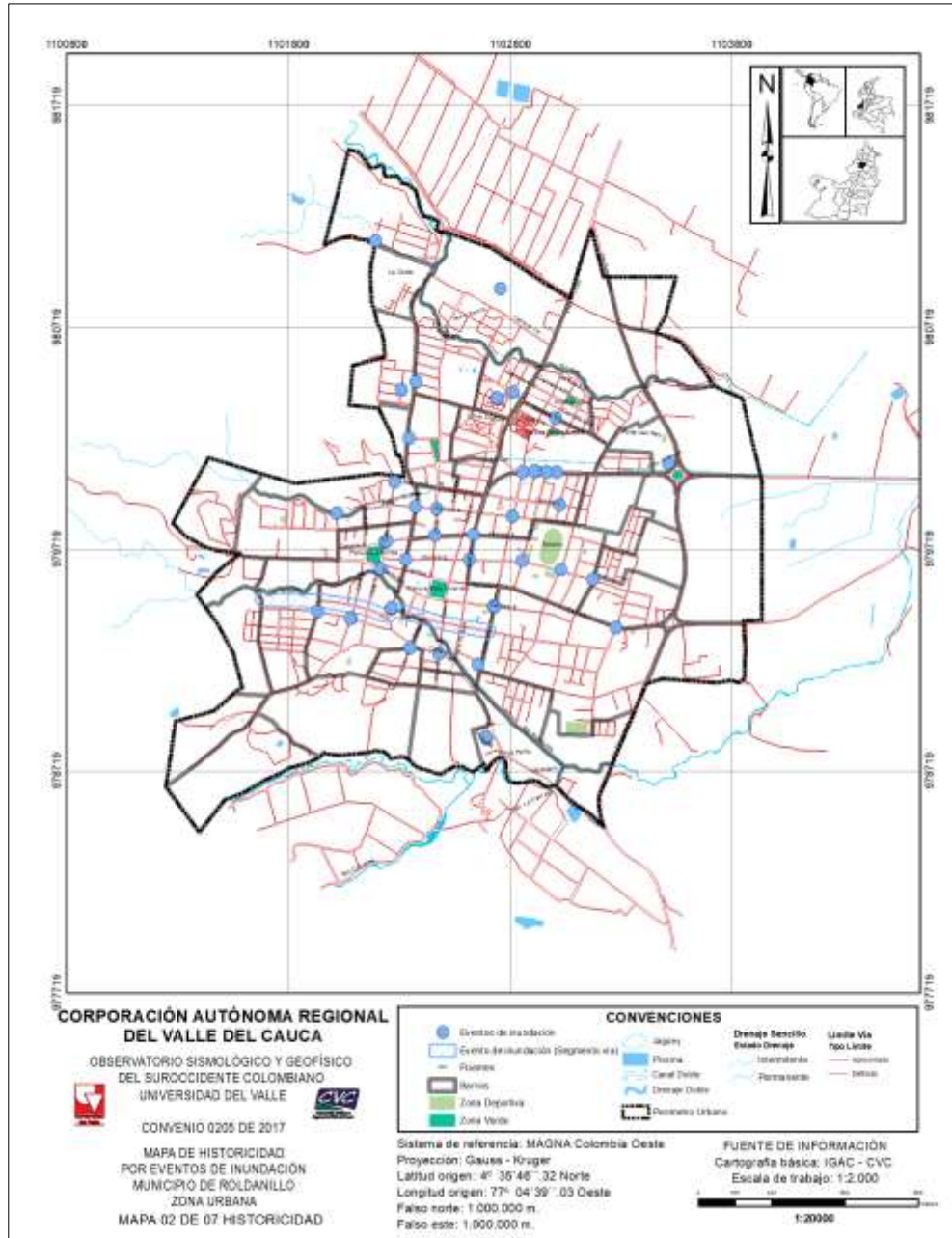
Para el procesamiento de los resultados obtenidos por el equipo de historicidad del proyecto, se hizo uso de un procedimiento compuesto, el cual incluye, espacialización de eventos, clasificación, extracción de información y análisis espacial con el método de densidad de Kernel, en la Figura 3.3 se describe el flujo metodológico para la espacialización de eventos históricos.



**Figura 3.3.** Esquema metodológico de la espacialización de los eventos históricos  
**Fuente:** Elaboración propia

Después de realizar el procedimiento de recopilación de la información histórica de eventos de inundación y movimientos en masa, es necesario georreferenciar estos datos, lo que quiere decir que se le asigna una coordenada  $(x,y)$  que le asigna una ubicación en el espacio, es aquí donde viene el primer reto de este procedimiento, ya que los eventos históricos reportados por las diferentes entidades, bases de datos, revistas, periódicos o catálogos no están estandarizados, con eso se hace referencia a que en algunas de las fuentes de información, los eventos se reportan de manera puntual y en otros se reporta el barrio donde ocurre el evento, sin asociar un lugar específico, es por ello que es necesario crear dos metodologías para la representación y espacialización cartográfica de esta información, una para eventos puntuales y otra para eventos reportados por barrios.

Los eventos puntuales se georreferencian a partir de la coordenada o dirección reportada, (Figura 3.4) donde los puntos azules representan los eventos históricos puntuales de inundación, cada punto representa un evento amenazante particular.

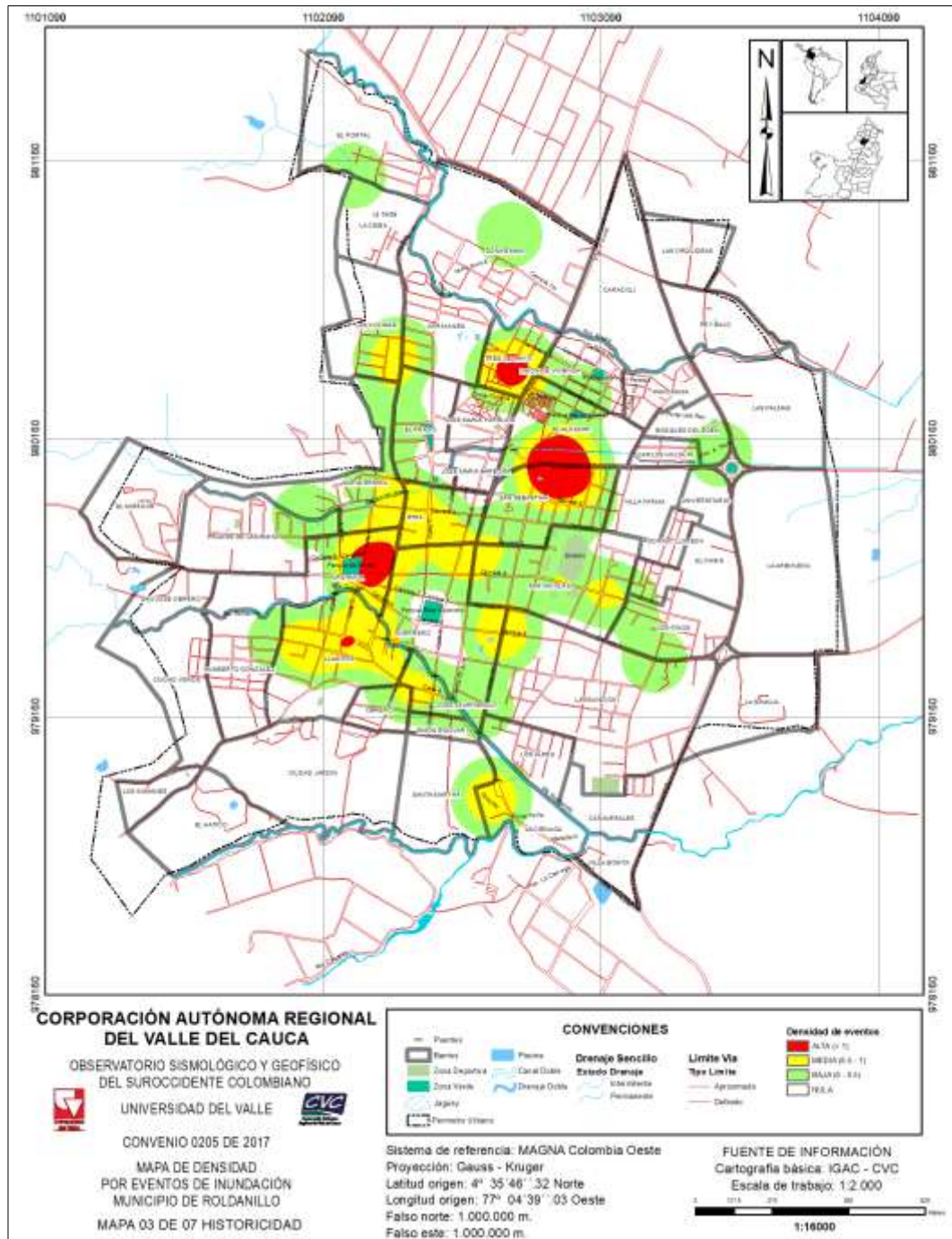


**Figura 3.4.** Mapa de historicidad por eventos puntuales de inundación zona urbana municipio de Roldanillo

**Fuente:** elaboración propia

Para iniciar el análisis de esta información, se parte de que es un hecho que no en toda la superficie de la zona se presenta amenaza de inundación, por lo cual no se puede utilizar el procedimiento de interpolación, pero existe la posibilidad de que haya amenaza en los puntos con mayor concentración de eventos, por lo cual se decide aplicar el método de densidad de Kernel, haciendo uso de la herramienta análisis espacial, esta herramienta como su nombre lo dice es una función de densidad que permite la visualización de patrones de concentración de densidad de eventos. Una vez realizado esto, se hace un procedimiento de clasificación de la densidad de eventos, (Figura

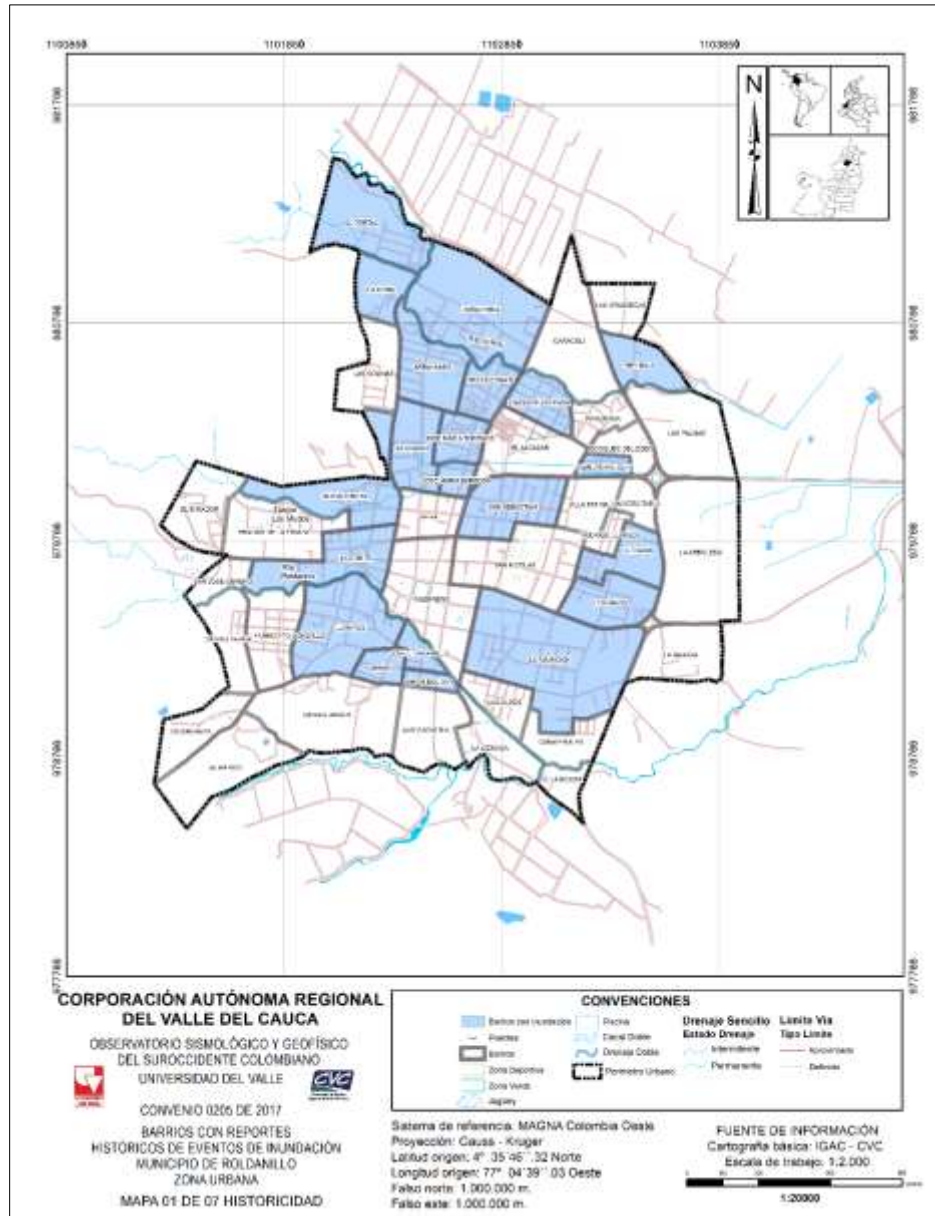
3.5), esta clasificación se hace en orden descendente, es decir desde mayor densidad a densidad nula, donde la densidad nula indica los sitios que no presentan antecedentes del evento estudiado y la densidad muestra las superficies de probables zonas susceptibles a amenaza por inundación.



**Figura 3.5.** Mapa de densidad de kernel por eventos puntuales de inundación zona urbana municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia

La clasificación de la densidad de eventos obtenida por el algoritmo de densidad de Kernel, esta es representada a través de una escala de color, donde el color rojo representa una densidad alta de eventos, el amarillo una densidad media, el verde una densidad baja y el blanco densidad nula. Los barrios San Sebastián, Tres de Mayo, La Ermita y Los Llanitos son los que presentan mayor densidad de eventos por inundación.

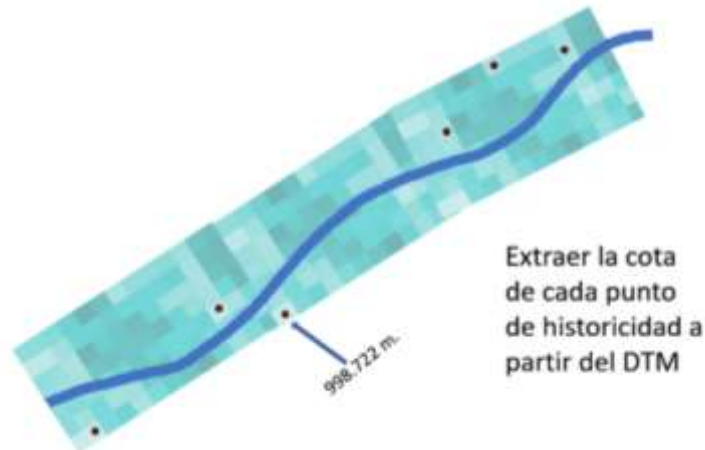
Para el caso de los eventos de inundación que son reportados por área, se realiza igualmente el proceso de georreferenciación de las áreas asociadas a estos eventos, como se muestra en la Figura 3.6 donde estas áreas están representadas por polígonos de color azul.



**Figura 3.6.** Mapa de historicidad por barrios con reportes de eventos de inundación zona urbana municipio de Roldanillo

**Fuente:** elaboración propia

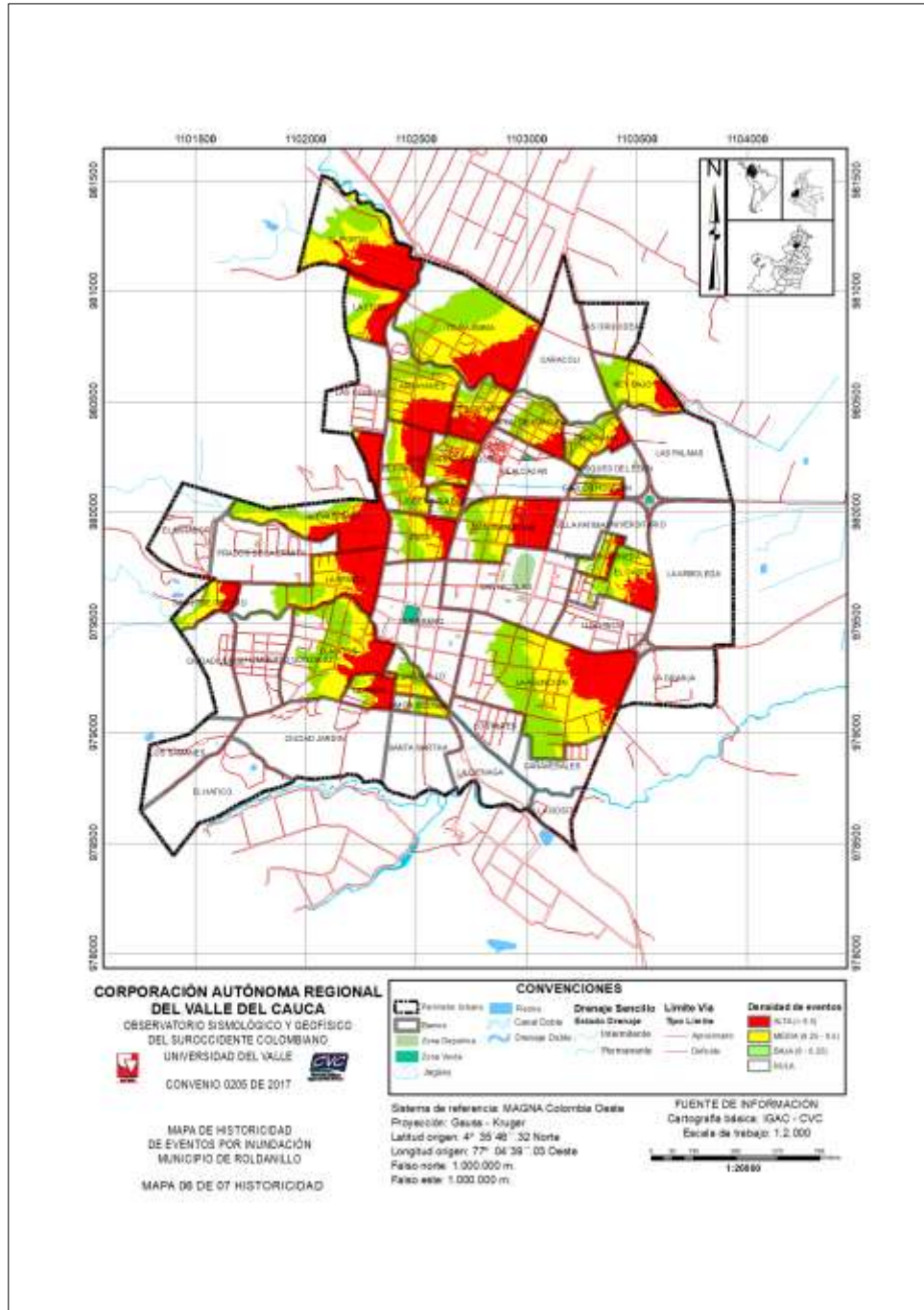
A continuación, se ejecuta un procedimiento de análisis espacial de la superficie del terreno, con el fin de sesgar la información que se reporta por barrio, basado en la hipótesis de que es poco probable que un barrio se inunde completamente, con base en ello, se realiza un proceso de extracción de información de alturas o cotas por barrio a partir del DEM, (Figura 3.7) de aquí se obtienen los valores máximos y mínimos de elevación para cada una de las áreas, en este procedimiento, es importante tener en cuenta, los cuerpos de agua más cercanos a los barrios y definir el rango de cotas de inundación que se presentan, ya sea basados en el sector o en los cuerpos de agua cercanos.



**Figura 3.7.** Extracción de cotas eventos históricos puntuales de inundación

**Fuente:** Elaboración propia

Una vez definidos los rangos de cotas históricas de inundación, según sea el caso por zona o por cuerpo de agua, se obtiene a partir del DEM los píxeles que se encuentren por debajo de la cota mínima de este rango. Esto, da como resultado la selección de un conjunto de píxeles que se interceptan con las áreas de barrios identificados en la información histórica como inundables, al realizar este proceso se reducen las áreas de los barrios de acuerdo a criterios de la topografía del terreno, lo que finalmente muestra las áreas dentro de los barrios con mayor susceptibilidad de ocurrencia de inundación según eventos históricos. Este resultado se puede observar en la Figura 3.8 donde las áreas en color rojo representan áreas con susceptibilidad alta ante eventos de inundación según la historicidad, estas áreas están localizadas topográficamente en las cotas mínimas para cada uno de los barrios, las áreas en amarillo son zonas que tienen una susceptibilidad media, estos sectores podrían ser afectados en caso de eventos de mayor intensidad, las áreas en color verde, tienen una baja susceptibilidad a eventos de inundación según la historicidad y las áreas con color blanco tienen susceptibilidad nula según historicidad por eventos de inundación. Estas áreas obtenidas, se deben analizar para su adición parcial o total a las áreas obtenidas por la función de densidad.



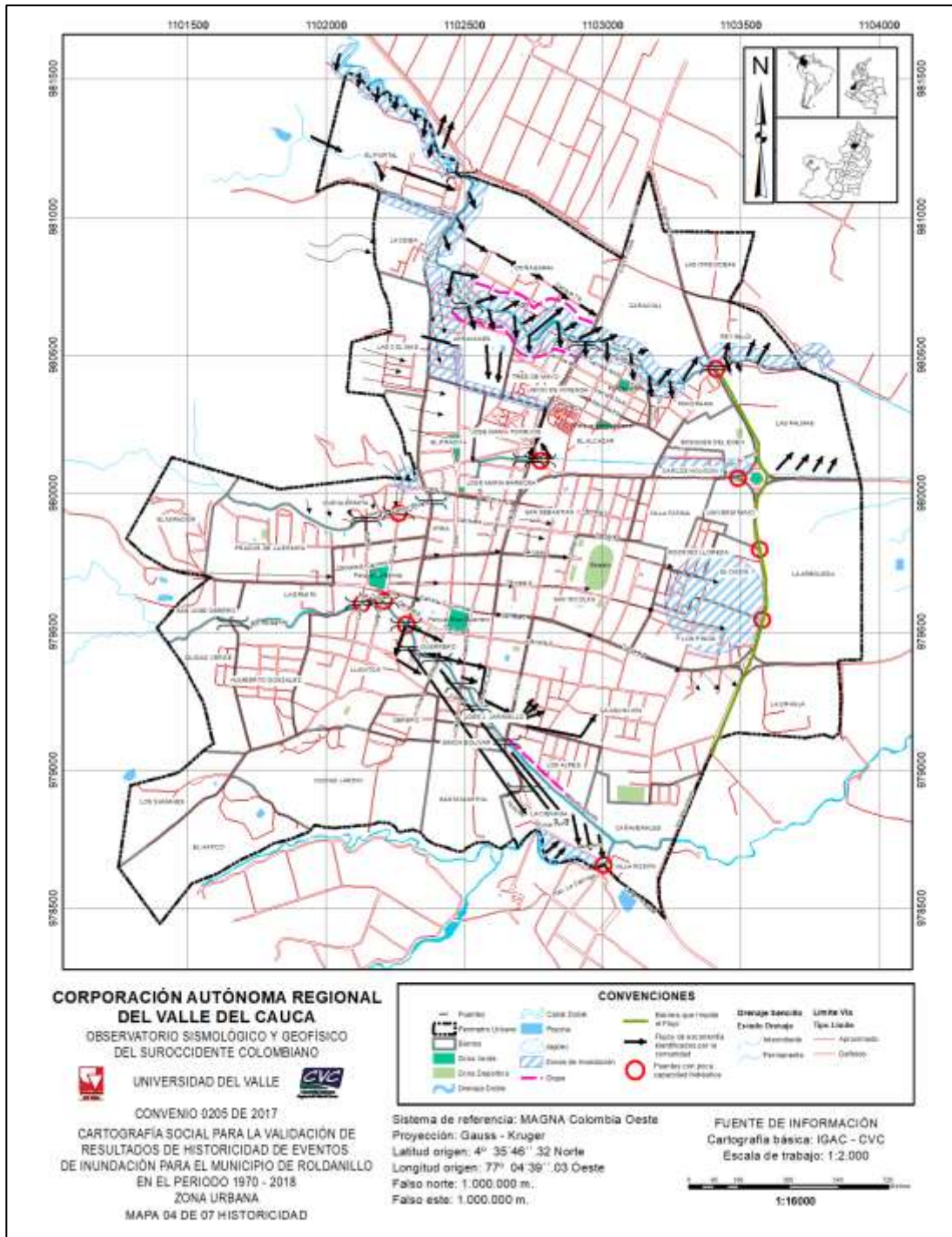
**Figura 3.8.** Mapa de historicidad de sectores posiblemente afectados por eventos de inundación según análisis de la topografía del terreno

**Fuente:** elaboración propia

Los resultados obtenidos por esta metodología fueron socializados y validados con delegados de la Administración municipal, el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre del municipio y la comunidad en un taller, donde se logró identificar y corroborar que los resultados obtenidos por la metodología planteada son coherentes con las zonas donde históricamente se han presentado afectaciones por inundaciones en el área urbana del municipio. Una vez realizada la socialización



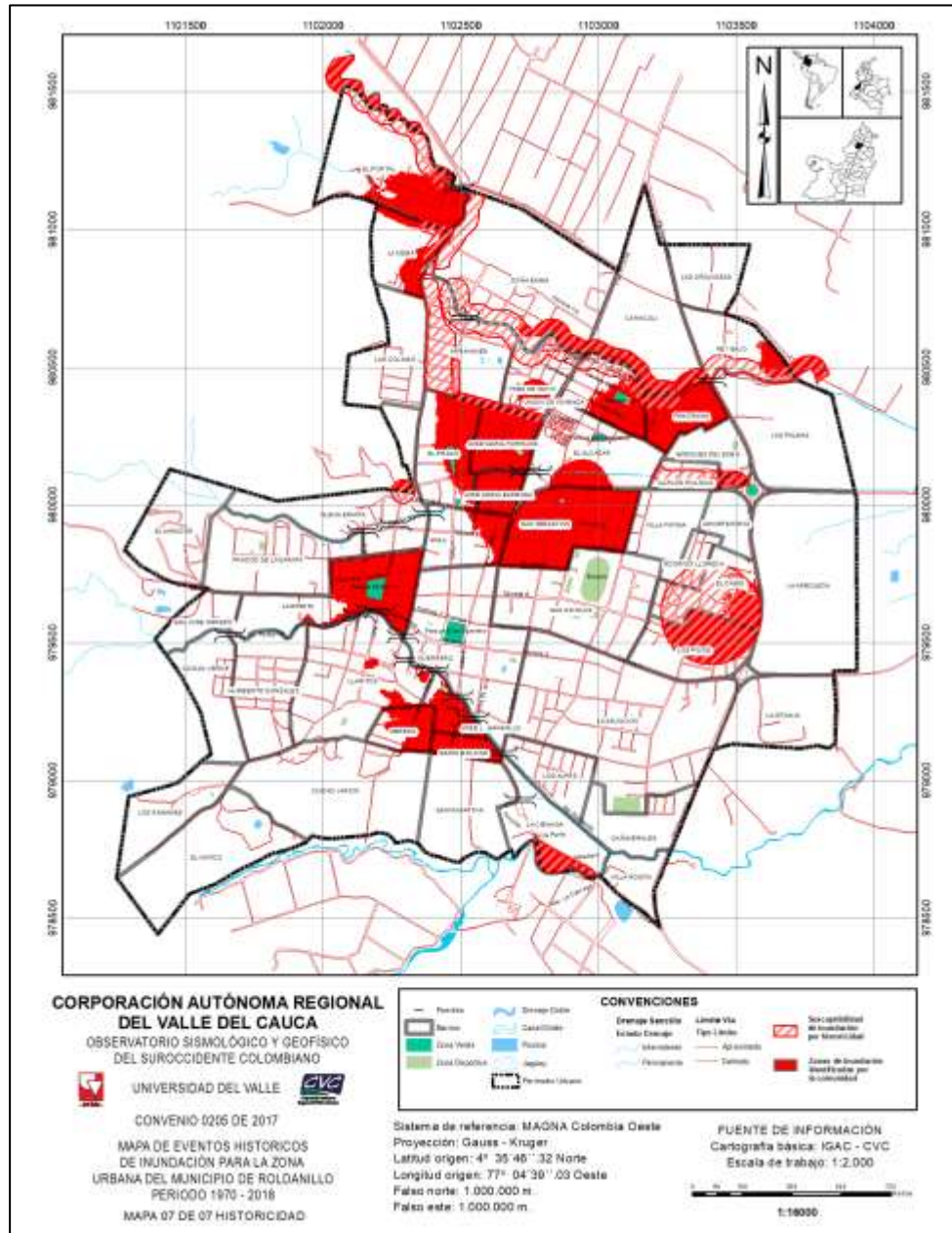
se realizó el producto cartográfico, en la Figura 3.9 se muestran los flujos de escorrentía, los puentes con capacidad hidráulica insuficiente, las zonas de inundación diques y barreras toda esta información es según la percepción de la comunidad.



**Figura 3.9.** Mapa de cartografía social para la validación de resultados de historicidad de eventos de inundación en la zona urbana del municipio de Roldanillo periodo 1970-2018

**Fuente:** elaboración propia

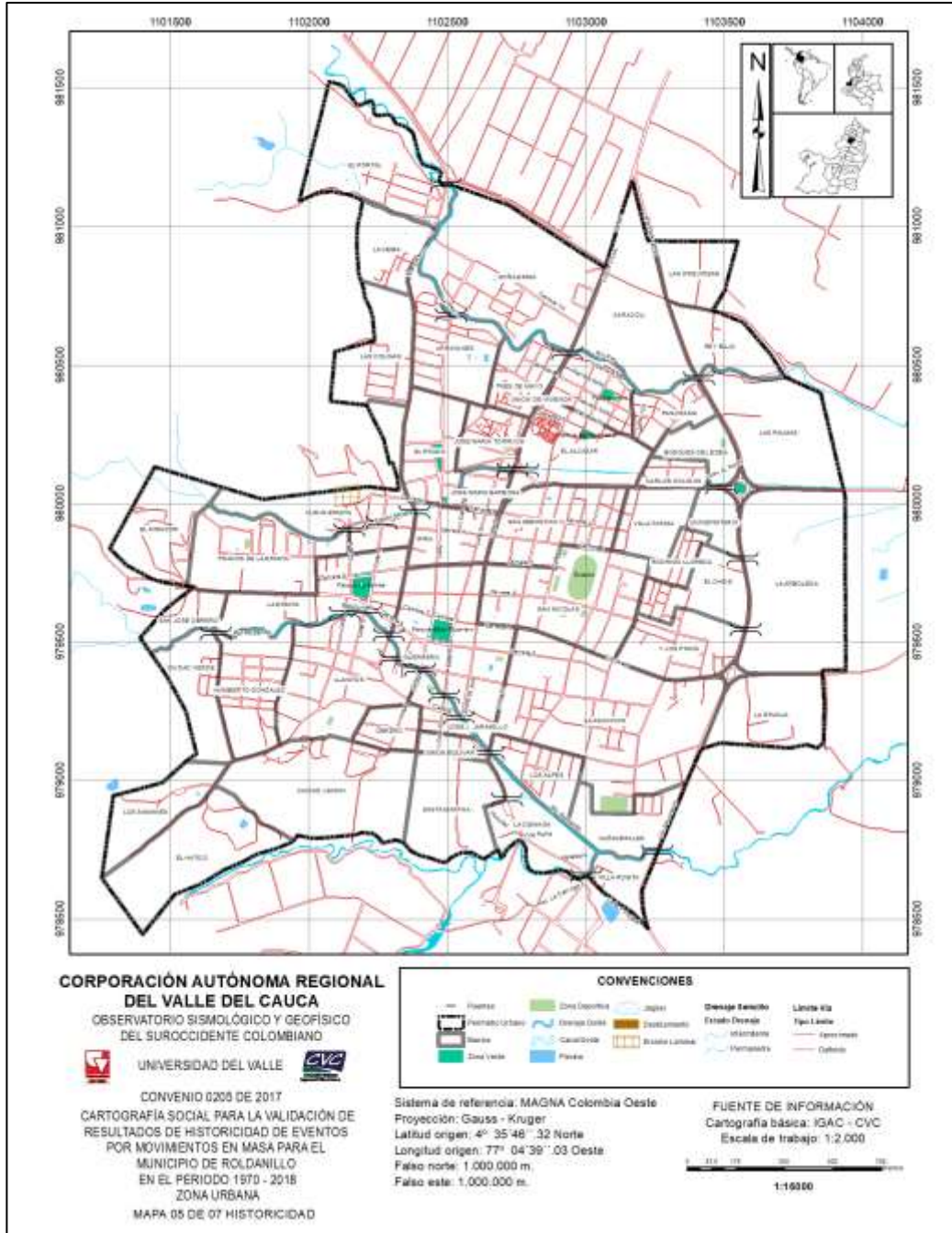
En la Figura 3.10 se muestran los resultados obtenidos del cruce de la información recolectada en el taller de socialización con los obtenidos a través de los métodos de análisis espacial de la superficie del terreno.



**Figura 3.10.** Mapa de eventos históricos de inundación zona urbana del municipio de Roldanillo periodo 1970-2018  
**Fuente:** elaboración propia

Cabe resaltar que, en el proceso de la interceptación de información de socialización con el análisis espacial, se crean algunas figuras geométricas muy definidas que pueden estar un poco alejadas de la realidad, pero no se quiso modificar la información suministrada por la comunidad, aun observando estos errores, ya que representa la percepción de ella sobre su territorio.

La Figura 3.11 muestra el mapa de cartografía social de historicidad por eventos de movimientos en masa, este mapa plasma la información recopilada por medio de los talleres de socialización realizados con la comunidad, donde la comunidad identifico una zona con erosión y otra zona con deslizamientos.



**Figura 3.11.** Mapa cartografía social para la validación de resultados de historicidad de eventos de movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo periodo 1970-2018  
**Fuente:** elaboración propia

El procedimiento de espacialización de eventos por movimiento en masa debe realizarse igual que el anteriormente descrito en el caso de eventos puntuales de inundación, pero para el caso de este proyecto no se encontraron registros históricos reportados en ningún tipo de revista, libro o base de datos, en lo que respecta a eventos por movimientos en masa, por lo que no se presentan resultados cartográficos de eventos de historicidad por eventos puntuales de movimientos en masa.

### **3.4. CARTOGRAFÍA TEMÁTICA**

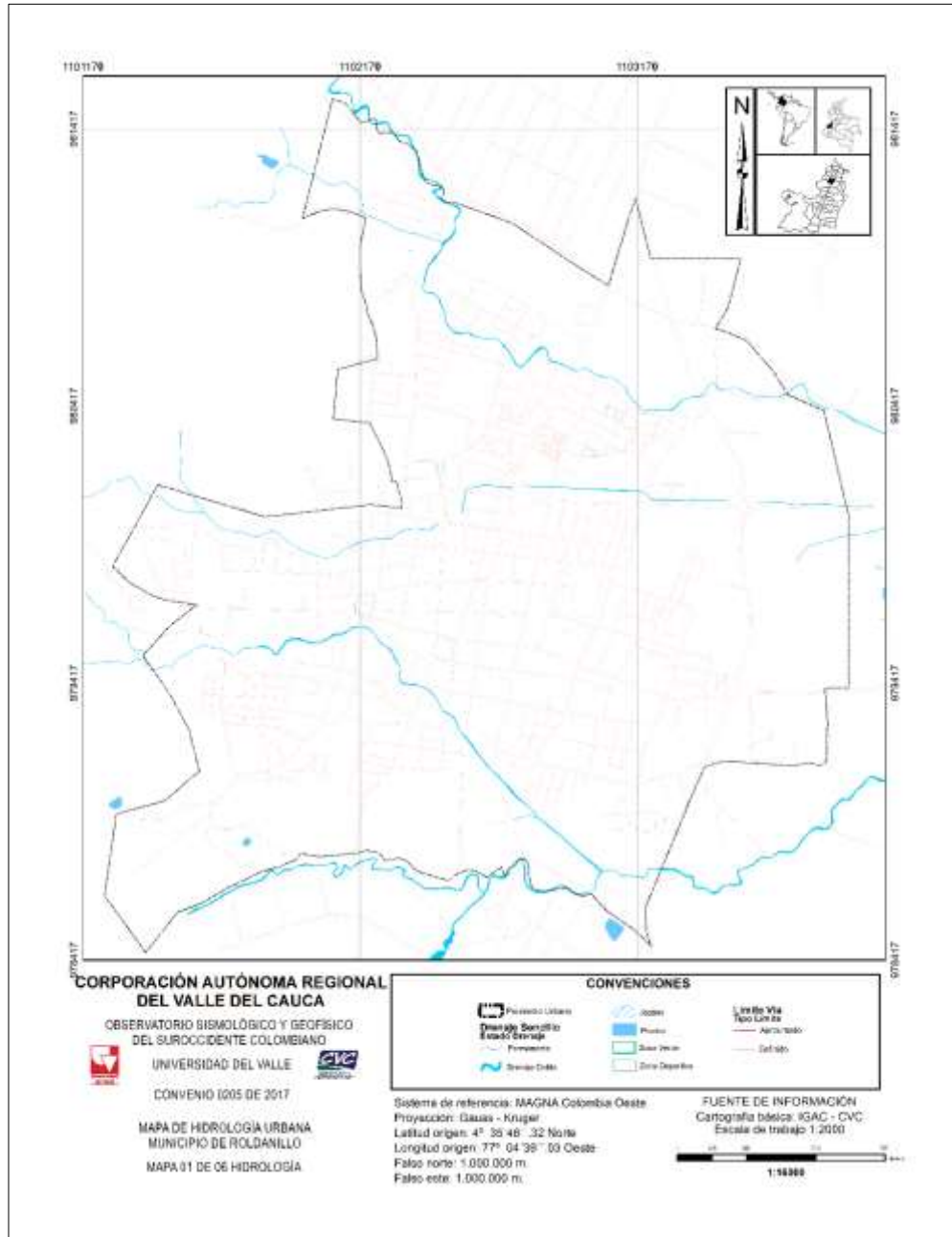
A continuación, se describen los productos de cartografía temática necesarios en el desarrollo de la metodología de determinación de la susceptibilidad por movimientos en masa y amenaza por inundación y se mencionan los procedimientos utilizados para la generación de cada uno de estos.

#### **3.4.1. Hidrología**

La cartografía hidrológica de la zona urbana del municipio de Roldanillo, se construyó a partir de la base de datos brindada por la CVC, para ello se realizó un procedimiento compuesto que combinó procesos de integración y edición de la información.

El procedimiento de integración se realizó a partir de las fotografías aéreas brindadas por la CVC, con el fin de corregir imprecisiones o agregar información adicional de los drenajes, además de esto el equipo de topografía capturó datos topográficos y batimétricos detallados de los tramos que corresponden a cauces analizados por amenaza de inundación, incluyendo estructuras y elementos que estén asociados de alguna forma con el origen de inundación. Esta información es indispensable para el modelamiento hidráulico de la amenaza por inundación.

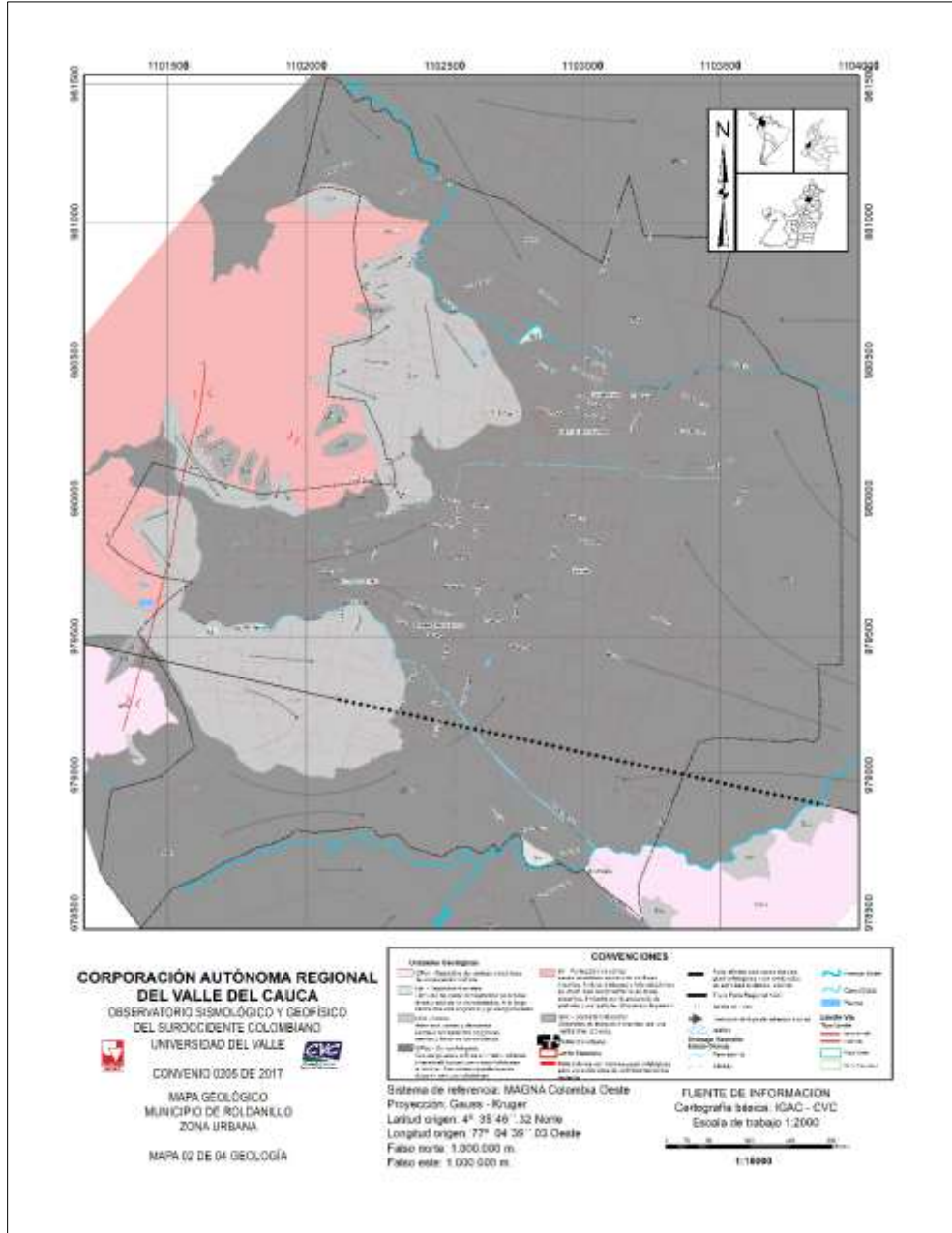
Como ejemplo de los resultados obtenidos se muestra el producto cartográfico obtenido para el municipio de Roldanillo, el cual se puede observar en la Figura 3.12 donde se encuentran los canales, lagos, jagueys, madre viejas y los principales afluentes que atraviesan la zona urbana del municipio, como lo son el Río Roldanillo y el Río Cáceres ubicados al sur del área urbana del municipio, el Río Rey ubicado al norte del perímetro urbano del municipio y el Zanjón Mudos ubicado en la zona céntrica del área urbana del municipio.



**Figura 3.12.** Mapa de hidrología zona urbana municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia

### 3.4.2. Geología

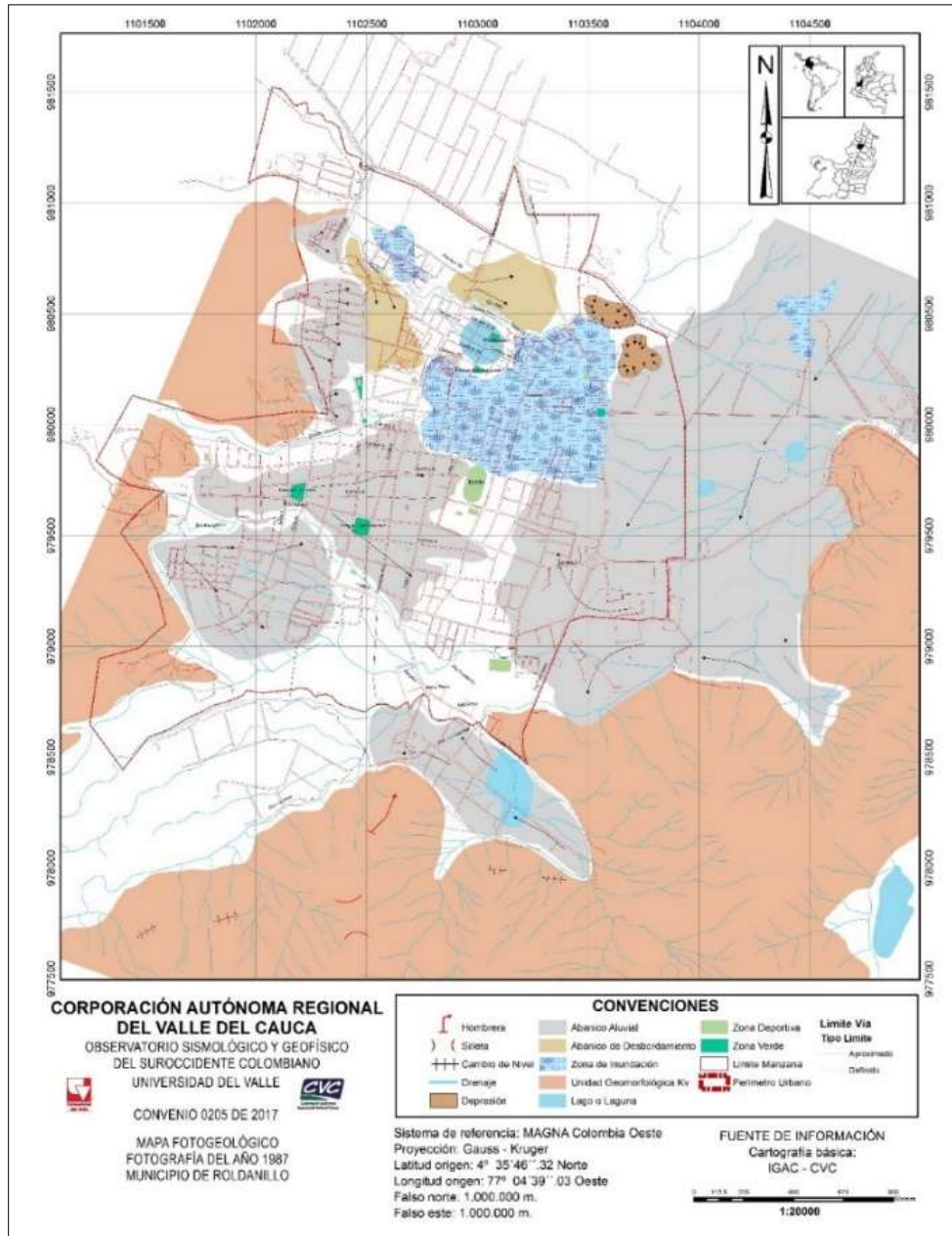
Para la generación del mapa geológico detallado de la zona urbana de los municipios, el equipo de geología, recopiló información en campo donde se determinó la geología local del área urbana para cada uno de los municipios, esta información se entregó en formato análogo dibujado sobre la cartografía base, posteriormente se realizó un procedimiento de digitalización haciendo uso del software ArcGIS, un ejemplo de los productos cartográficos resultantes se puede observar en la Figura 3.13.



**Figura 3.13.** Mapa geológico zona urbana municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia

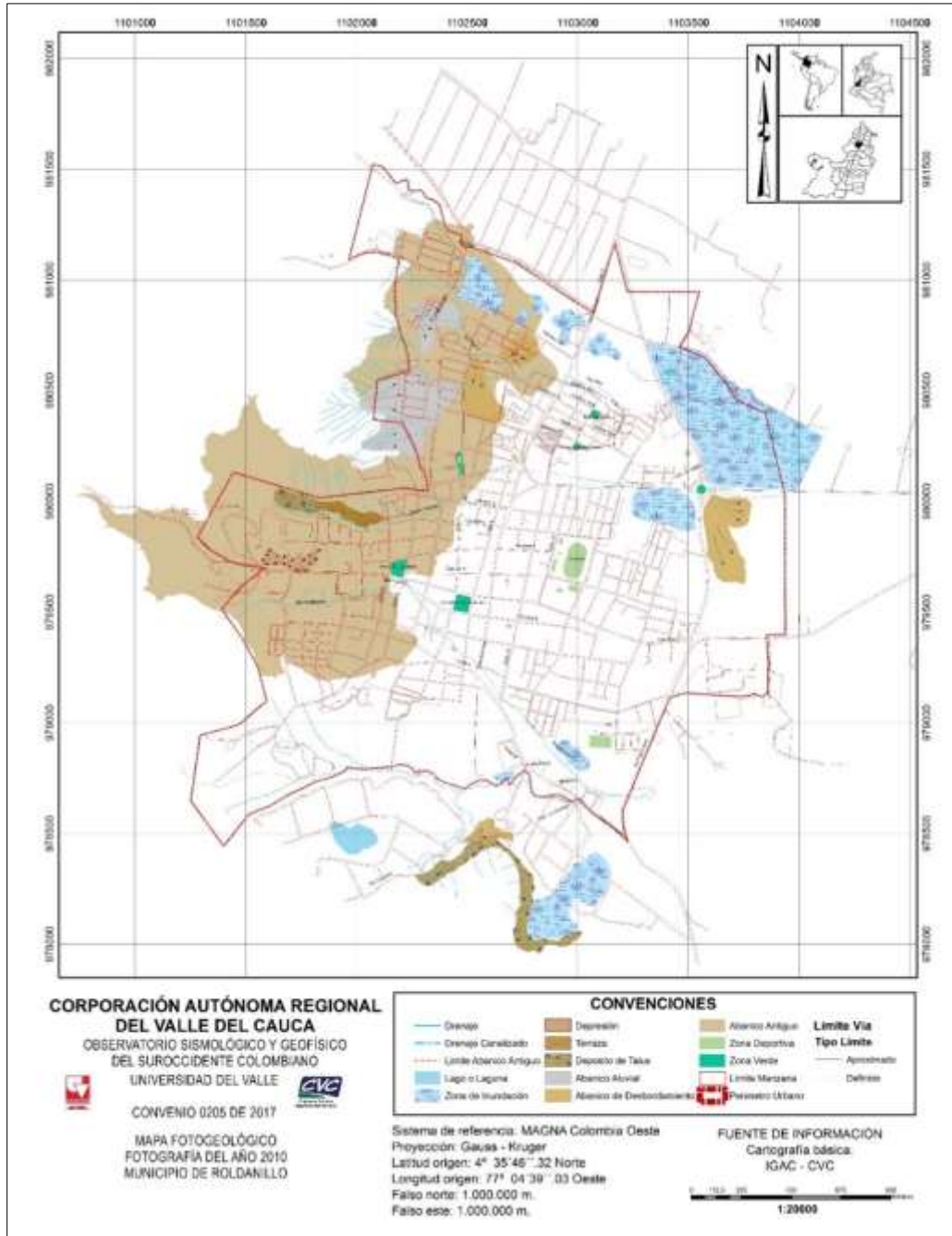
Esta capa refleja las características de los diferentes tipos de rocas y depósitos que se agrupan teniendo en cuenta el tipo de roca (ígneas, metamórficas y sedimentarias) así como sus características texturales y sus propiedades geomecánicas. Quizás es la base más importante para poder establecer las unidades a tener en cuenta en la distribución de los diferentes tipos de materiales a lo largo del territorio colombiano. Cada uno de estos materiales presenta propiedades intrínsecas y ofrece diferentes respuestas ante los agentes que actúan para su alteración y así determinar la susceptibilidad de cada uno de ellos a que se produzca un movimiento en masa (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2012).

Posteriormente se el equipo de geología realizó un proceso de fotointerpretación de fotografías aéreas adquiridas en el IGAC que cubren el área del perímetro urbano, para el caso específico de Roldanillo las fotografías obtenidas son de los años 1987 y 2010. La fotointerpretación fue entregada en formato digital, no vectorial, es decir información análoga escaneada, esta información fue georreferenciada y digitalizada para convertirla a formato vectorial tipo shape y a partir de ella se generaron los mapas fotogeológicos de las zonas urbanas para cada uno de los municipios, como ejemplo de los resultados cartográficos obtenidos en esta etapa en las Figura 3.14 y 3.15 respectivamente se pueden observar los mapas fotogeológicos del municipio de Roldanillo correspondientes a los años 1987 y 2010.



**Figura 3.14.** Mapa fotogeológico zona urbana municipio de Roldanillo año 1987

**Fuente:** elaboración propia

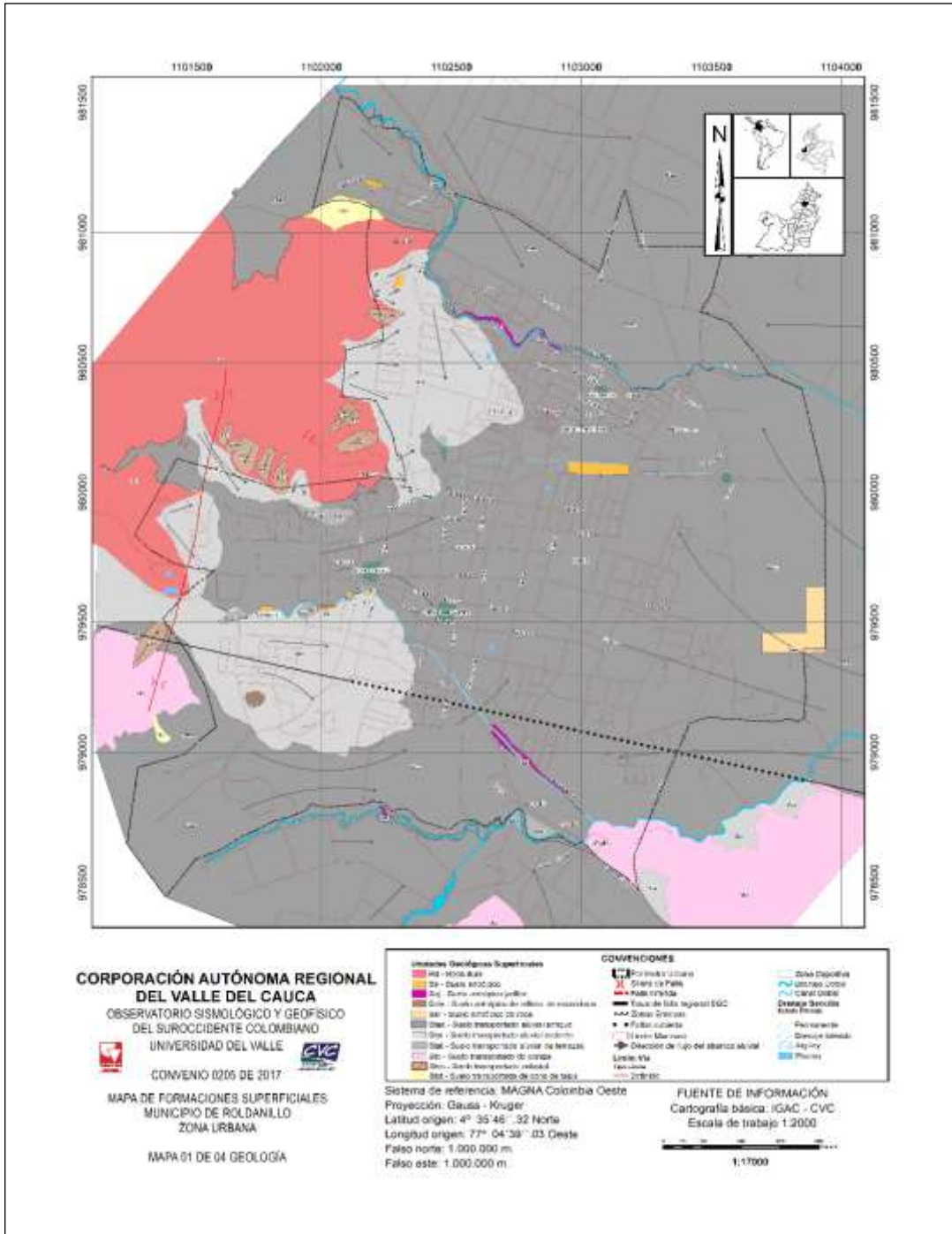


**Figura 3.15.** Mapa fotogeológico zona urbana municipio de Roldanillo año 2010

**Fuente:** elaboración propia

A partir de la fotointerpretación se generó el mapa de formaciones superficiales de la zona urbana para cada uno de los municipios, en la Figura 3.16 se puede observar el resultado cartográfico obtenido para el caso del municipio de Roldanillo, para generar este producto cartográfico se aplicaron operaciones de digitalización haciendo uso del software ArcGIS.



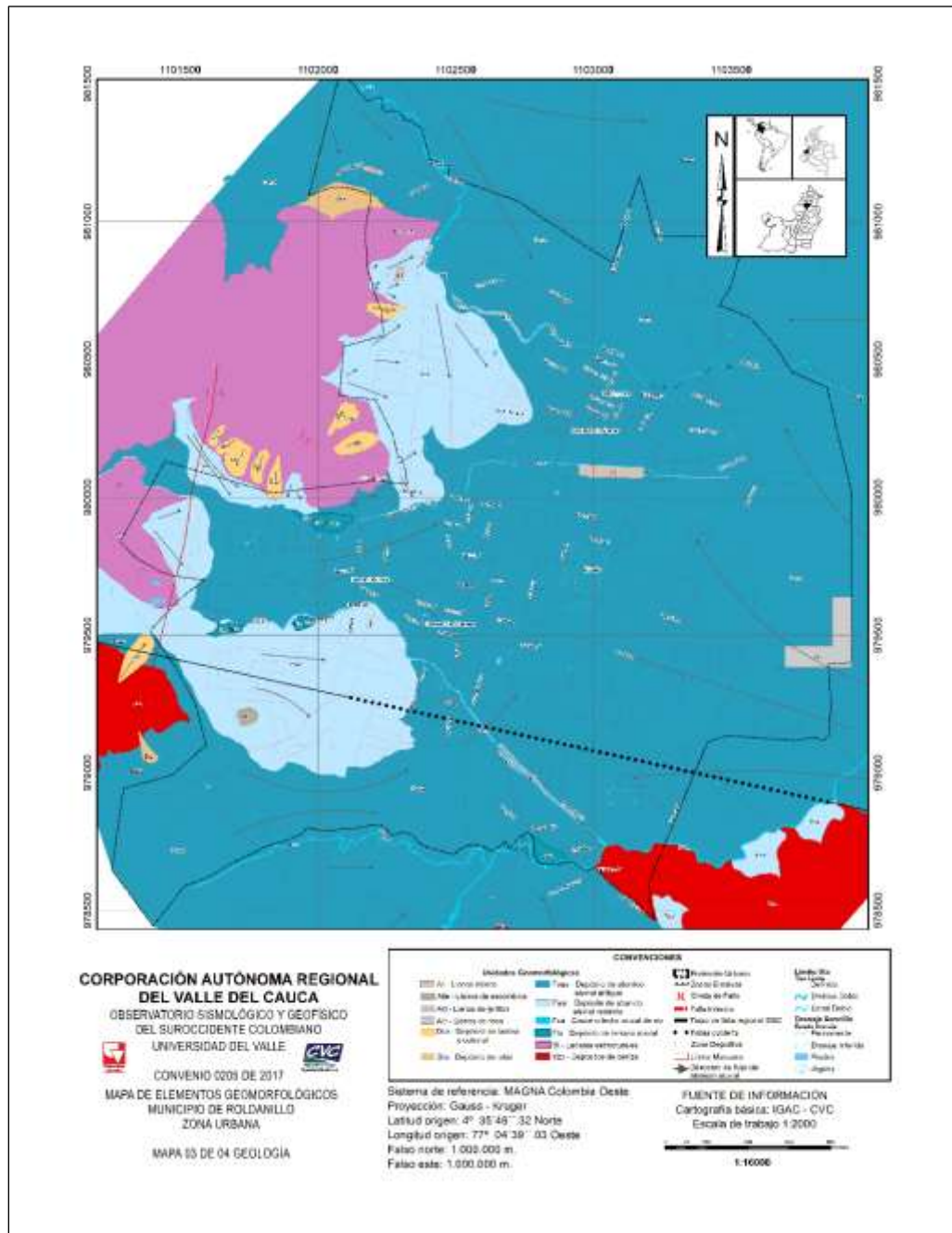


**Figura 3.16.** Mapa de formaciones superficiales zona urbana del municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia

### 3.4.3. Geomorfología

A partir de los aspectos geomorfológicos, se identifican las formas típicas de los depósitos como colinas de piedemonte, conos de deyección y barras, al igual que la presencia de antiguos canales

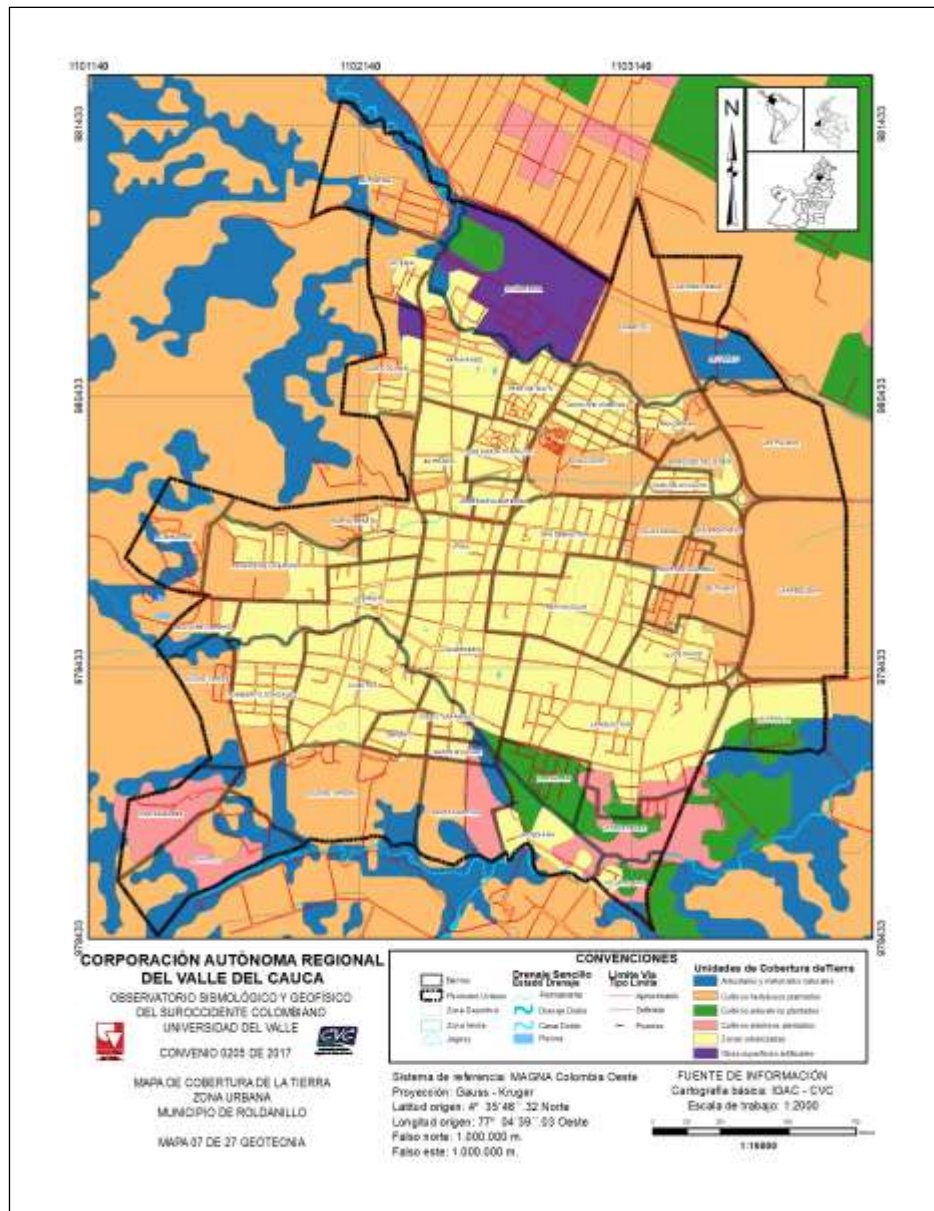
que definen las rutas de acceso de los materiales y las posibles zonas de afectación durante las avenidas torrenciales. De otra parte, se analiza la dinámica de las corrientes fluviales a través del tiempo mediante la interpretación de rasgos estructurales. En esta parte juega un papel muy importante la presencia de cauces abandonados y el comportamiento seguido por las demás corrientes de la región (IDEAM, 2012). Este producto se hace con base en la fotointerpretación y un estudio multitemporal del área de estudio. El mapa geomorfológico del municipio de Roldanillo se puede observar en la Figura 3.17.



**Figura 3.17.** Mapa de elementos geomorfológicos área urbana del municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia

### 3.4.4. Cobertura de la tierra

Representa la cobertura vegetal y urbana del área de estudio. Esta variable es de tipo cualitativo y se crea a partir del procedimiento de clasificación, específicamente se usa agrupación de clases a partir de la capa de unidades cartográficas proporcionada por la CVC, el tipo de agrupación fue sugerida por el experto del área de geotecnia. En la Figura 3.18 se muestra el mapa de cobertura de la tierra del municipio de Roldanillo agrupado en 6 clases, el color azul representa los arbustales y matorrales naturales, el color naranja representa cultivos herbáceos plantados, el color verde los cultivos arbustivos plantados, el rosado cultivos arbóreos plantados, el amarillo zonas urbanizadas y el morado representa otras superficies artificiales.

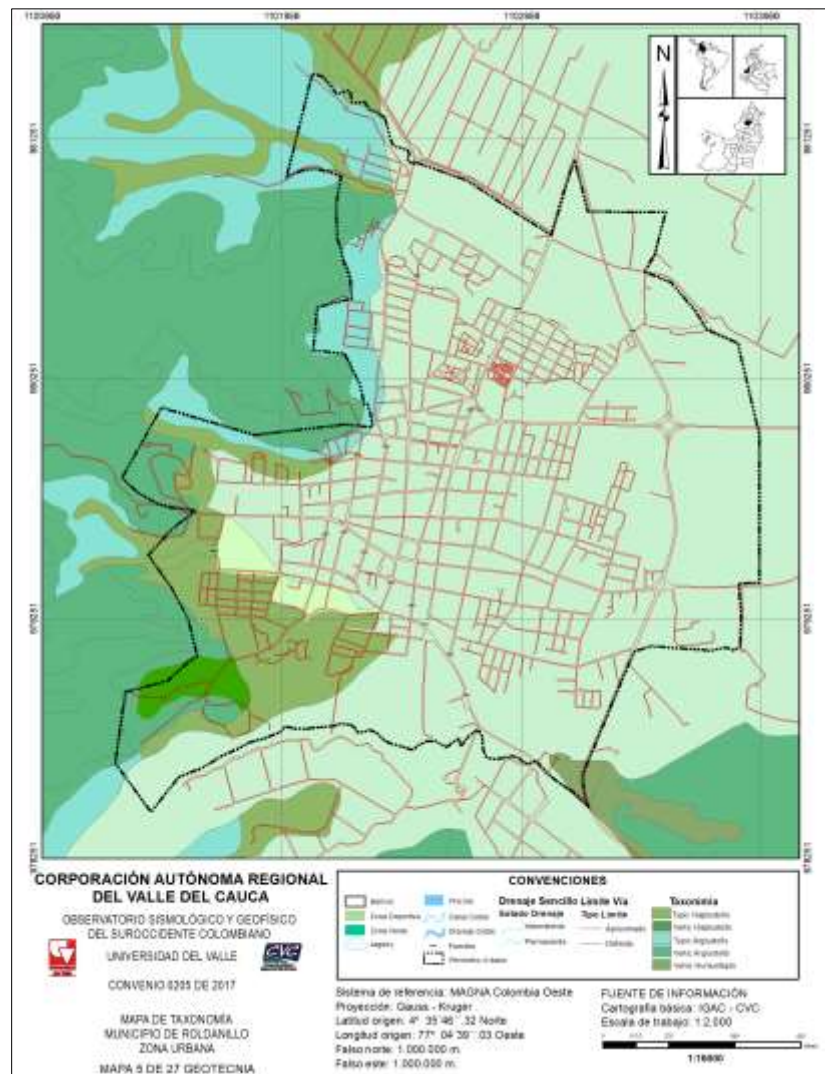


**Figura 3.18.** Mapa de cobertura de la tierra zona urbana municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia a partir de datos de la CVC

### 3.4.5. Taxonomía

Es la clasificación y/o agrupación de los suelos, de manera jerárquica (Orden Suborden, Grupo, Subgrupo, familia, y serie) a partir de sus propiedades químicas, físicas y morfológicas. Este mapa se generó a partir de la base de datos brindada por la CVC. Para generar este mapa se aplicó un procedimiento de clasificación, específicamente agrupación de clases a partir de la capa de cobertura brindada por la CVC, el tipo de agrupación fue sugerida por el experto del área de geotecnia.

En Figura 3.19, se observan la taxonomía del suelo para el caso del municipio de Roldanillo, clasificado en 5 categorías, representada por una escala gráfica de tonalidades verdes. Donde se pueden identificar los tipos de taxonomía que existen en la zona urbana del municipio de Roldanillo, los cuales son, vertic humustepts, vertic argiustolls, vertic haplustolls, typic haplustolls, typic argiustolls.

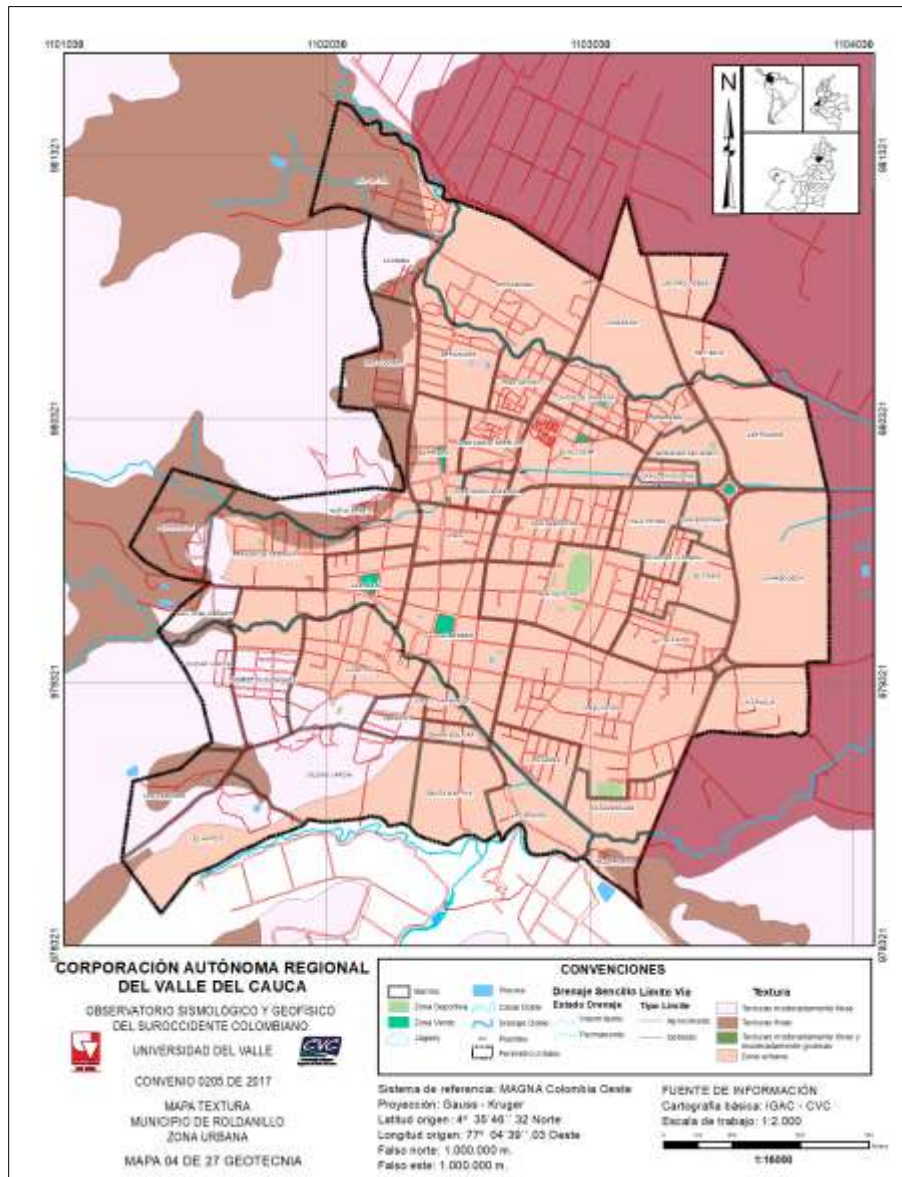


**Figura 3.19.** Mapa taxonomía área urbana municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia a partir de datos de la CVC.

### 3.4.6. Textura

Hace referencia la cantidad relativa de las diferentes partículas de suelo de tamaño menor de 2 mm de diámetro (arenas, limos y arcillas). Este mapa se generó a partir de la base de datos brindada por la CVC. Para generar este mapa se aplicó un procedimiento de clasificación, específicamente agrupación de clases a partir de la capa de cobertura brindada por la CVC, el tipo de agrupación fue sugerida por el experto del área de geotecnia.

En la Figura 3.20, se pueden observar las 4 categorías de texturas encontradas en el caso de la zona urbana del municipio de Roldanillo, entre las que se encuentran, textural moderadamente finas, texturas finas, zona urbana y por último texturas moderadamente finas y moderadamente gruesas.



**Figura 3.20.** Mapa de textura zona urbana municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia a partir de datos de la CVC

### 3.4.7. Pendiente

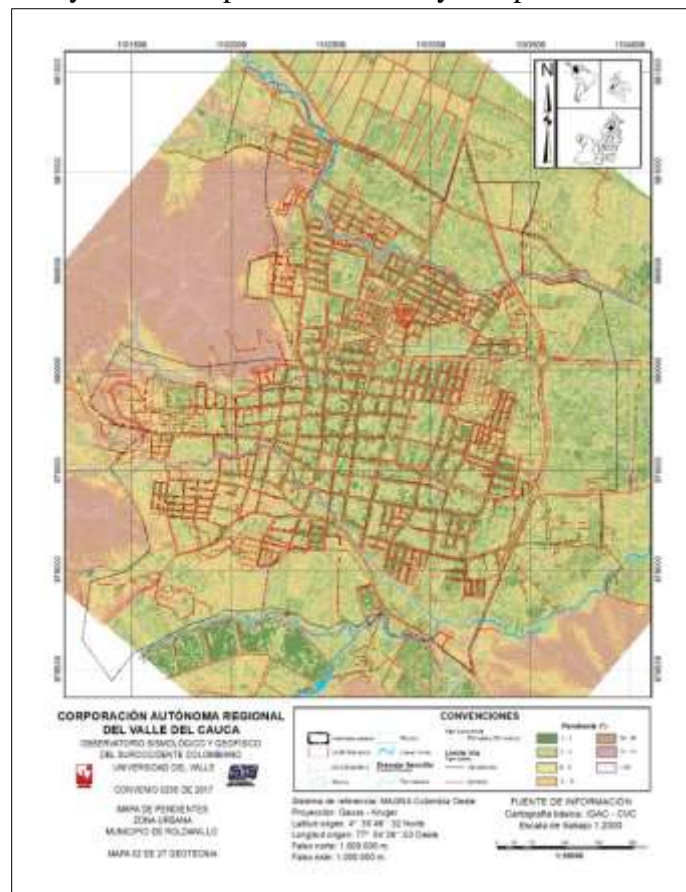
Variable geométrica continua, esta variable obtenida por procedimientos de análisis espacial, a partir del MDE, es definida como el ángulo formado por la superficie del terreno y la horizontal. Se expresa en grados, en un rango entre 0 y 90. Los rangos de pendientes propuestos por el experto se ilustran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Clasificación de la variable pendiente

CLASES	RANGO DE PENDIENTE
1	0-5°
2	5°-10°
3	10°-20°
4	20°-30°
5	30°-45°
6	45°-60°
7	> 60°

**Fuente:** Grupo geotécnica OSSO, 2018

En la Figura 3.21, se puede observar el mapa de pendientes clasificado, para la zona urbana del municipio de Roldanillo, donde los colores verdes y amarillos representan las menores pendientes mientras los colores cafés y blancos representan las mayores pendientes del terreno.



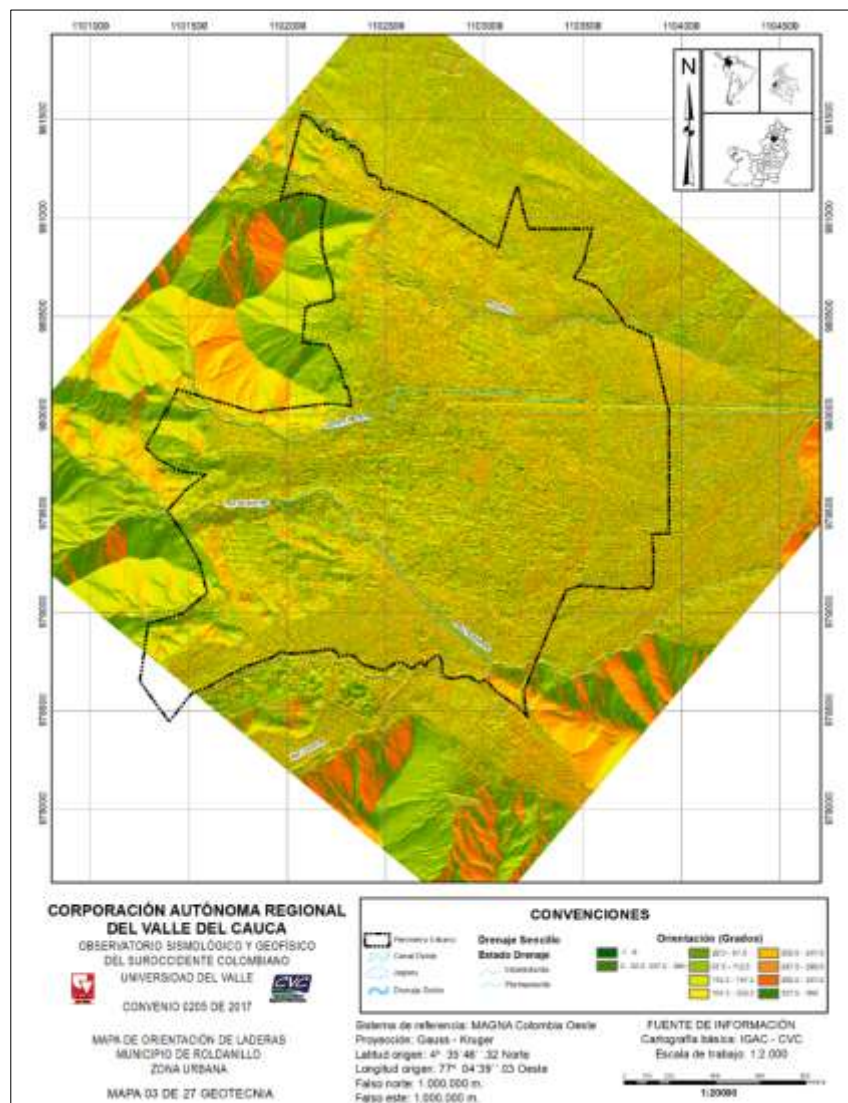
**Figura 3.21.** Mapa de pendientes zona urbana municipio de Roldanillo

**Fuente:** elaboración propia a partir de datos de la CVC.

### 3.4.8. Orientación de laderas

Ayuda a determinar el tiempo de exposición a la radiación solar que tienen las laderas y establecer las corrientes fluviales, para obtener esta variable es necesario aplicar procedimientos de análisis espacial, más específicamente el módulo orientación de laderas del software ArcGIS, este parámetro se calcula a partir del modelo digital de elevación MDE, esta variable se expresa en valores de 0 a 360 grados.

En la Figura 3.22 se puede observar el mapa de orientación de laderas del municipio de Roldanillo el cual está representado por una escala de colores que va de verde a rojo, donde los valores que están en verde representan orientaciones de 0° a 90° los amarillos de 90° a 180°, los naranjas de 180° a 270° los rojos de 270° a 360°. Se puede observar que la orientación de laderas en la zona urbana del municipio tiende a estar en su gran mayoría entre los valores de 0° a 180°.

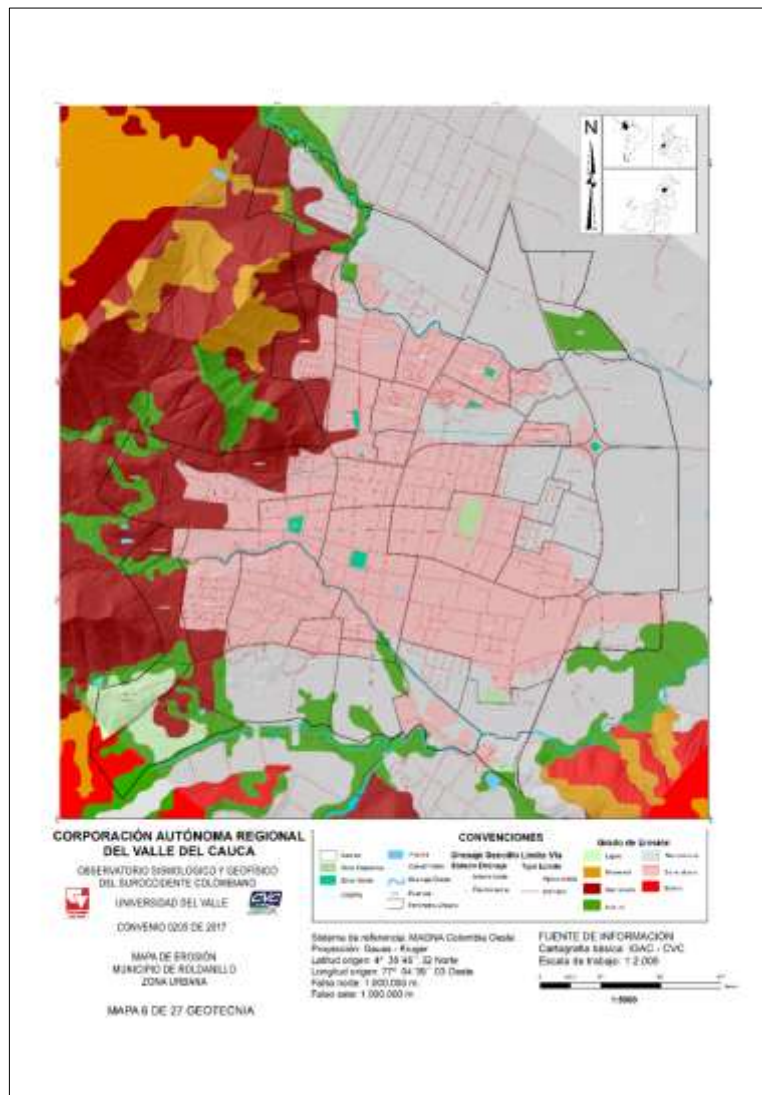


**Figura 3.22.** Mapa Orientación de laderas zona urbana municipio de Roldanillo

**Fuente:** elaboración propia

### 3.4.9. Erosión

Muestra el desprendimiento, transporte y depositación del material superficial por acción del agua, el viento, el hielo o el hombre. Esta variable es de tipo cualitativo y se crea a partir del procedimiento de clasificación, específicamente se usa agrupación de clases a partir de la capa de erosión proporcionada por la CVC, el tipo de agrupación fue sugerida por el experto del área de geotecnia. En la Figura 3.23 se puede observar el mapa de erosión del municipio de Roldanillo, el cual es clasificado en 7 categorías, donde el color verde claro representa erosión ligera, el amarillo erosión moderada, el vino tinto erosión muy severa, el verde natural, el azul representa lugares sin evidencia de erosión, el rosado representa la zona urbana y el rojo indica erosión severa, en la zona occidental del área urbana del municipio se puede observar gran concentración de suelos con erosión severa, se ven afectados por este tipo de erosión los barrios, El Mirador, Prados de La Ermita, Nueva Ermita, Las Colinas, San José Obrero, Ciudad Verde y El Hatico.



**Figura 3.23.** Mapa de erosión zona urbana municipio de Roldanillo

**Fuente:** Elaboración propia



### 3.5. CALCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE ROLDANILLO

La susceptibilidad por Movimientos en Masa zonifica las unidades de terreno que están propensas o tienen la posibilidad de sufrir deslizamientos con base en las condiciones físicas y ambientales existentes. Para el cálculo de la susceptibilidad se utilizó el método heurístico para el caso del municipio de Roldanillo. Para la generación de la zonificación de susceptibilidad por amenazas de movimientos en masa, es necesario disponer de los siguientes productos cartográficos de tipo temático: pendiente, orientación de laderas, geomorfológico, Unidades geológicas superficiales, textura, taxonomía, erosión cobertura de la tierra y también el modelo digital de elevación DEM, ya que todas estas coberturas son los insumos fundamentales para el cálculo de los factores que determinan la susceptibilidad.

#### 3.5.1. Método heurístico

Inicialmente las capas temáticas deben transformarse de formato vectorial a ráster, a continuación las capas deben clasificarse aplicando operaciones de reclasificación, estas son separadas en 3 clases que indican el grado de susceptibilidad de un rango determinado en una variable específica, los rangos y pesos de cada variable, son establecidos por el experto en geotécnica como se muestra en las Tabla 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5. Una vez clasificadas, se crea el mapa de susceptibilidad para cada una de las variables, donde la susceptibilidad baja está representada por color verde, la media por color amarillo y la alta por color rojo.

**Tabla 3.2.** Clasificación y pesos variables geomorfología

PENDIENTE		ORIENTACIÓN LADERAS		DEM		GEOMORFOLÓGICO	
RANGOS %		RANGOS		RANGOS		RANGOS	VALORACIÓN
0,00	16,85	0,00	112,50	912	1024		1
16,86	37,91	112,51	247,50	1025	1207		2
37,92	84,24	247,51	360,00	1207	1251		3
70%		30%		100%		100%	
<b>Morfometría 40%</b>				<b>Morfodinámica 40%</b>		<b>Morfogénesis 20%</b>	
<b>GEOMORFOLOGIA 36%</b>							

**Fuente:** Grupo geotécnia OSSO, (2018).

**Tabla 3.3.** Clasificación variables y pesos unidades geológicas superficiales

UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES	
Rangos	Valoración
Suelos transportados (por ceniza o agua)	2
Suelo antrópicos y relleno de escombros	3
100%	
UGI 100%	
<b>UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES 21%</b>	

**Fuente:** Grupo geotécnia OSSO, (2018).

**Tabla 3.4.** Clasificación variables y pesos suelos

TAXONOMIA		EROSION		TEXTURA	
RANGOS	VALORACIÓN	RANGOS	VALORACIÓN	RANGOS	VALORACIÓN
vertic humustolls, vertic argiustolls, zonas urbanas	1	Ligero, sin evidencia, natural, zona urbana	1	Textura gruesa	1
vertic haplustolls, typic haplustolls, typic argiustolls	2	Moderado	2	Textura Moderadament e fina	2
		Severo, muy severo	3	Textura fina	3
<b>29%</b>		<b>35%</b>		<b>36%</b>	
Suelos 100%					
<b>SUELOS 26%</b>					

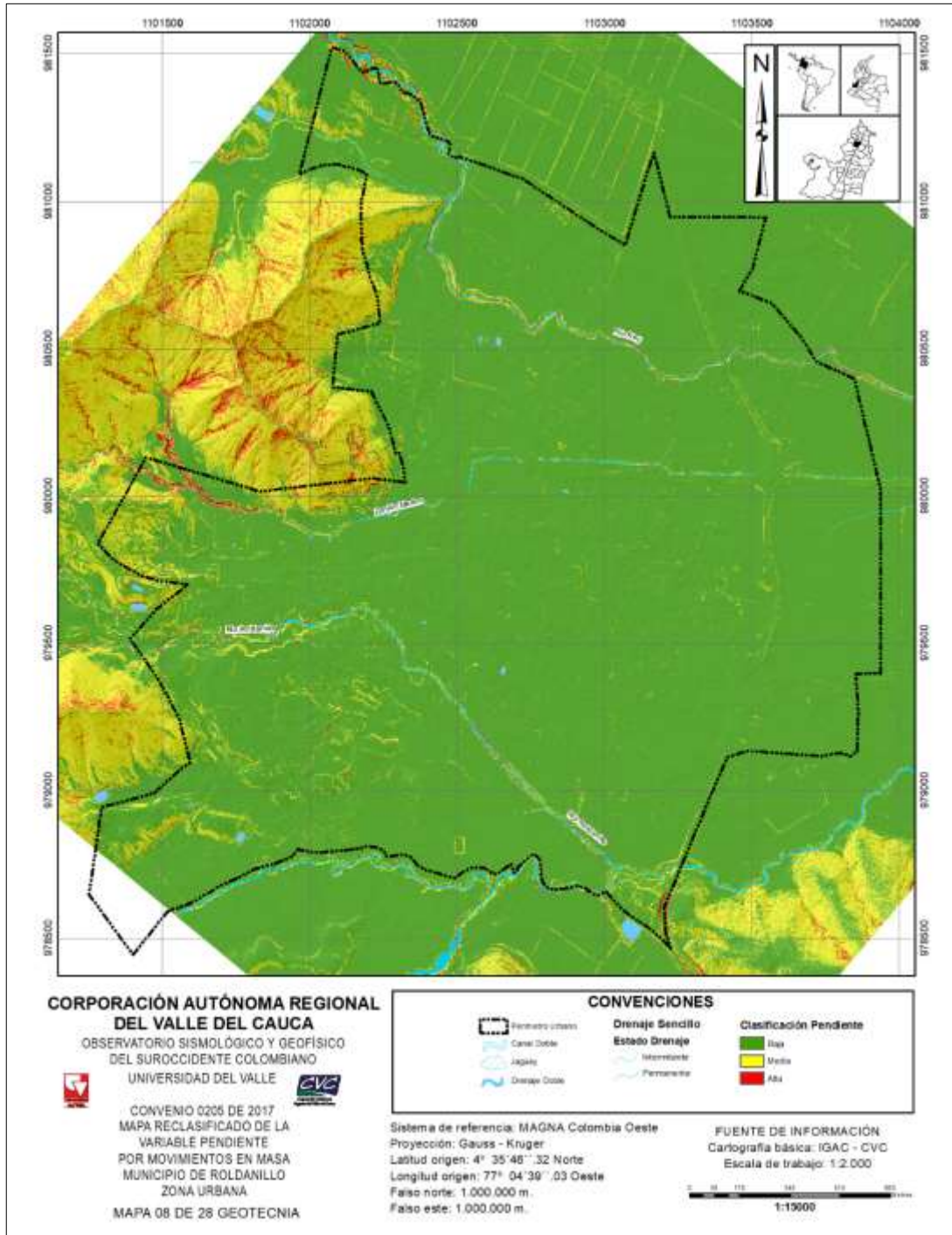
**Fuente:** Grupo geotécnia OSSO, (2018).

**Tabla 3.5.** Clasificación variables y pesos cobertura de la tierra

COBERTURA DE LA TIERRA	
RANGOS	VALORACIÓN
Zona Urbanas, arbustales y matorrales y naturales	1
Cultivos herbáceos plantados, cultivos arbustivos plantados, cultivos arbóreos plantados, otras superficies artificiales	2
100%	
Cobertura T. 100%	
<b>COBERTURA DE LA TIERRA 17%</b>	

**Fuente:** Grupo geotécnia OSSO, (2018)

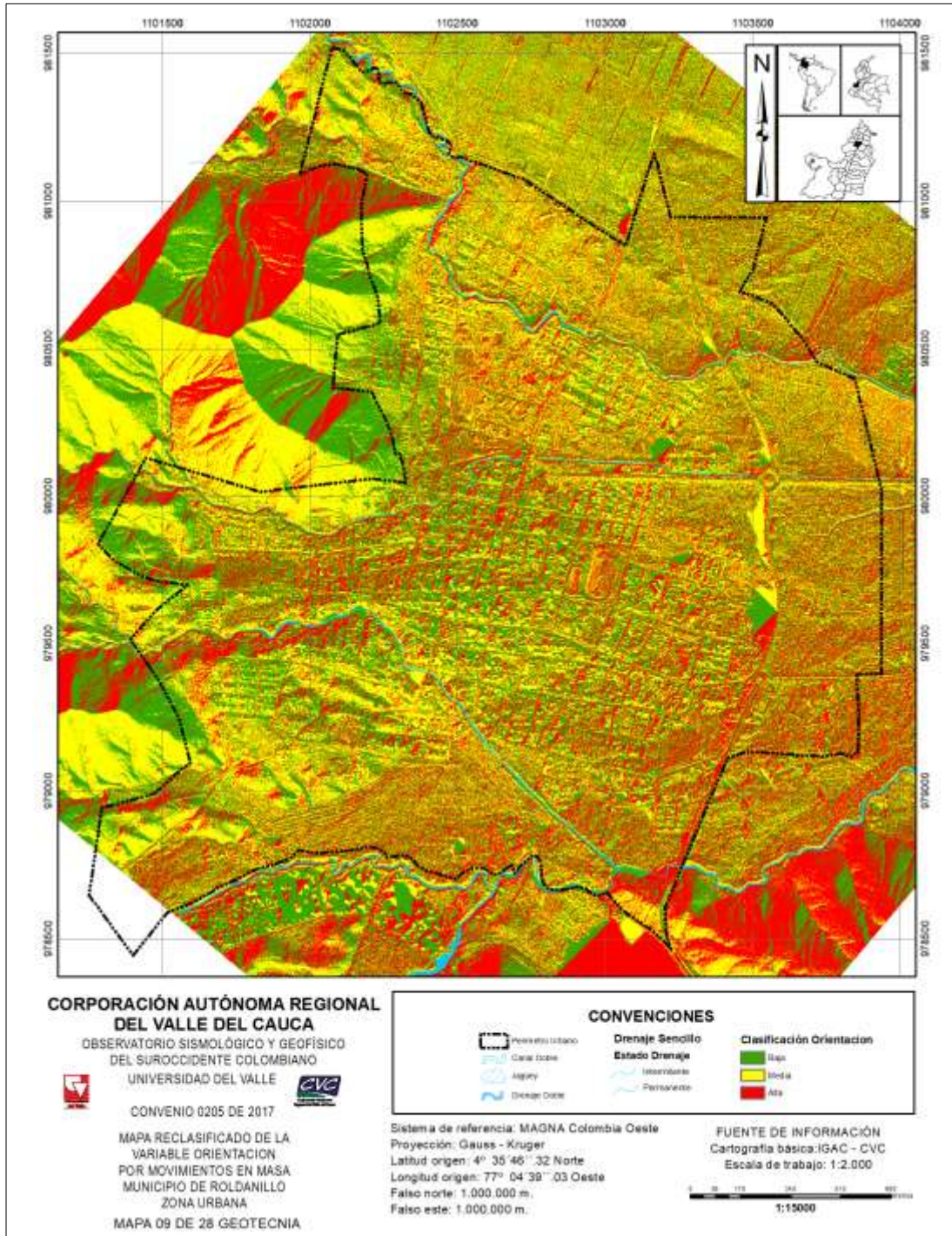
Los productos cartográficos de susceptibilidad se hacen para cada una de las variables, en la Figura 3.24 se muestra el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la variable pendiente para el área urbana del municipio de Roldanillo, donde predomina la susceptibilidad baja, en la mayor parte del área urbana del municipio, esta variable presenta mayor grado de susceptibilidad en el sector occidental justo en el límite del perímetro urbano del municipio.



**Figura 3.24.** Mapa grado de susceptibilidad de la variable pendiente por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo

**Fuente:** elaboración propia

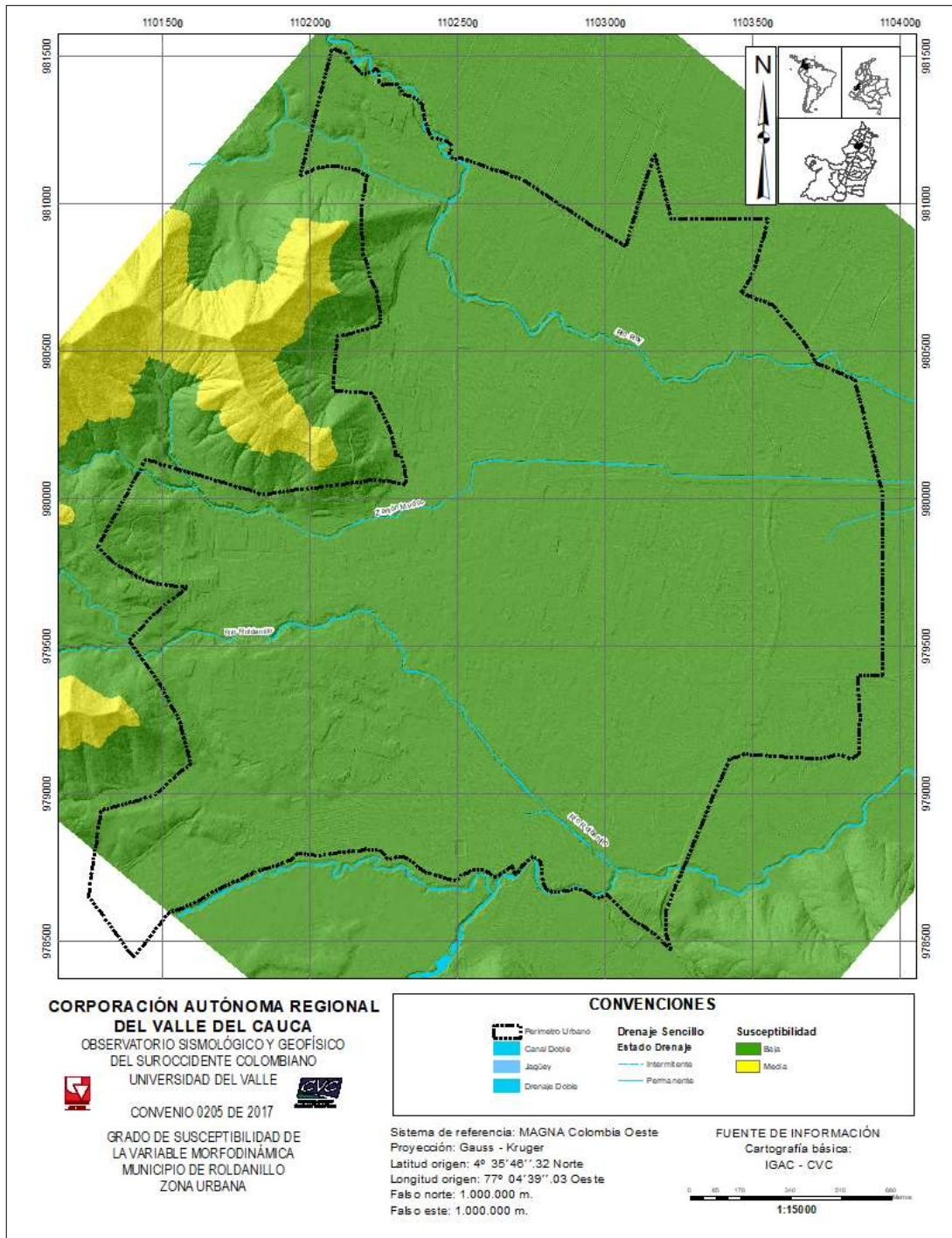
En la Figura 3.25 se puede observar el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la variable orientación de laderas el área urbana del municipio de Roldanillo, donde predomina la susceptibilidad baja, en alta y media en la mayor parte del área urbana del municipio.



**Figura 3.25.** Mapa grado de susceptibilidad de la variable orientación de laderas por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo

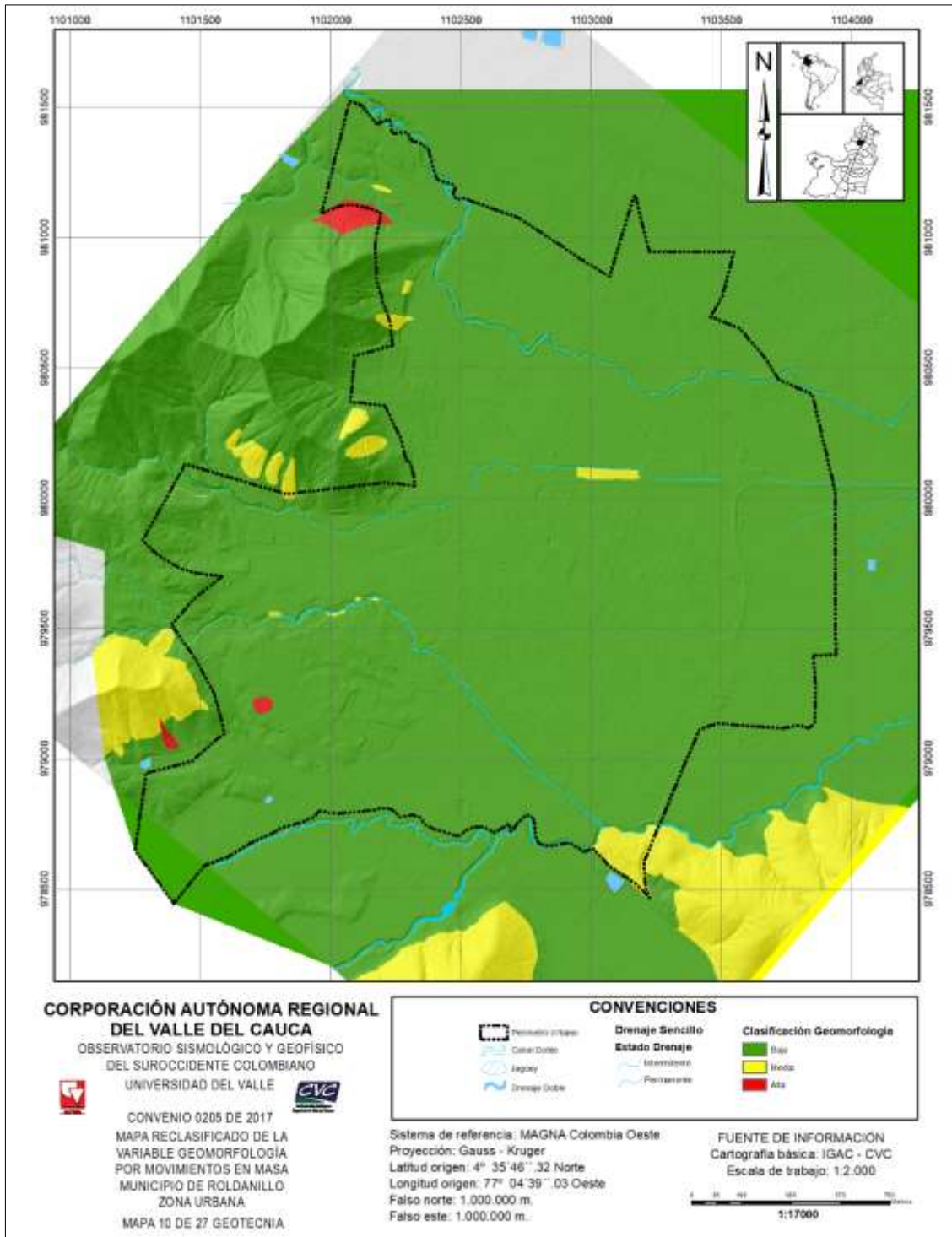
**Fuente:** elaboración propia

En la Figura 3.26 se muestra el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la variable morfodinámica para el área urbana del municipio de Roldanillo, donde solo se encuentra susceptibilidad media y baja en el área urbana del municipio.



**Figura 3.26.** Mapa grado de susceptibilidad de la variable morfodinámica por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia

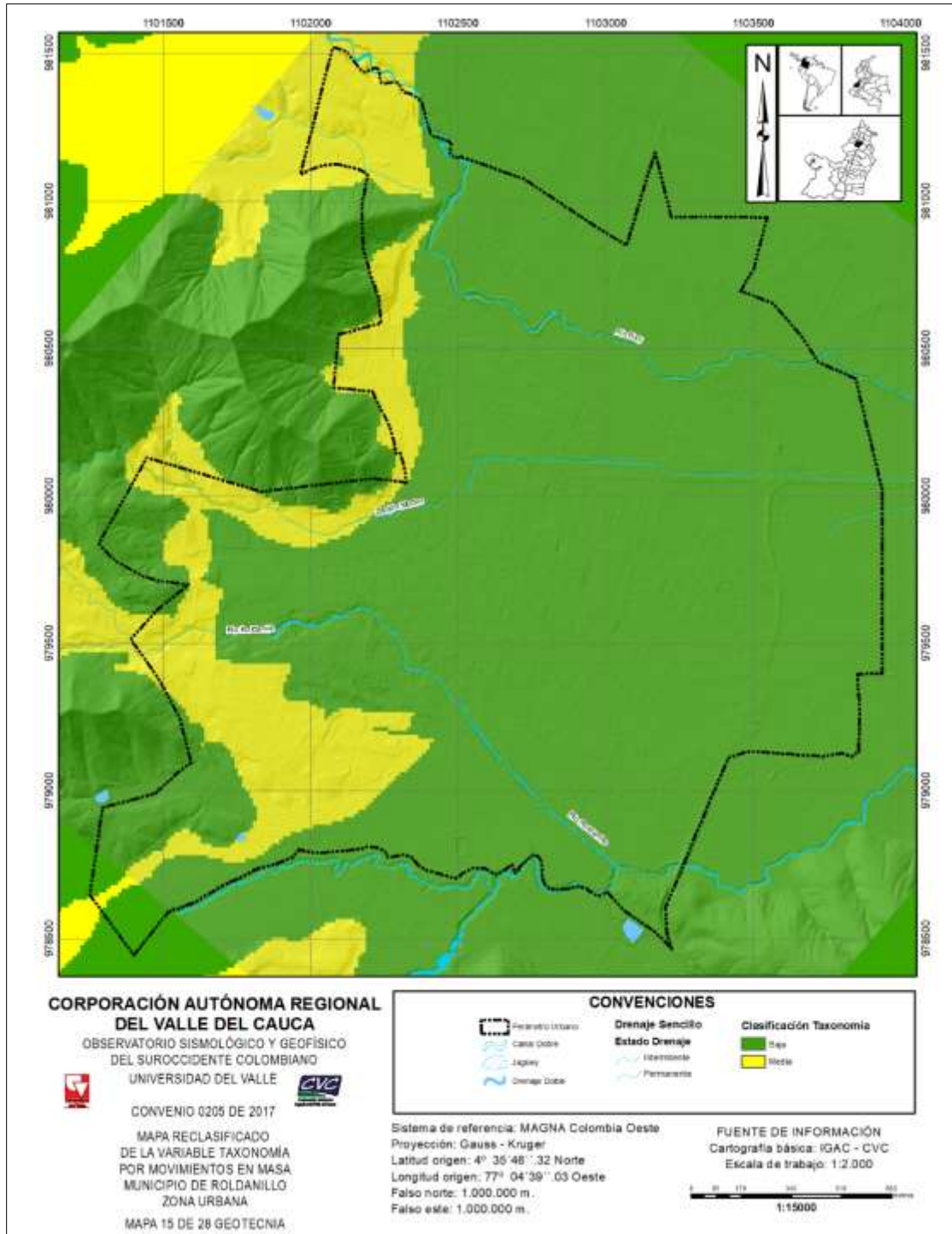
En la Figura 3.27 se puede observar el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la variable morfodinámica para el municipio de Roldanillo, donde solo se encuentra susceptibilidad media y baja en el área urbana del municipio.



**Figura 3.27.** Mapa grado de susceptibilidad de la variable geomorfología por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo

**Fuente:** elaboración propia.

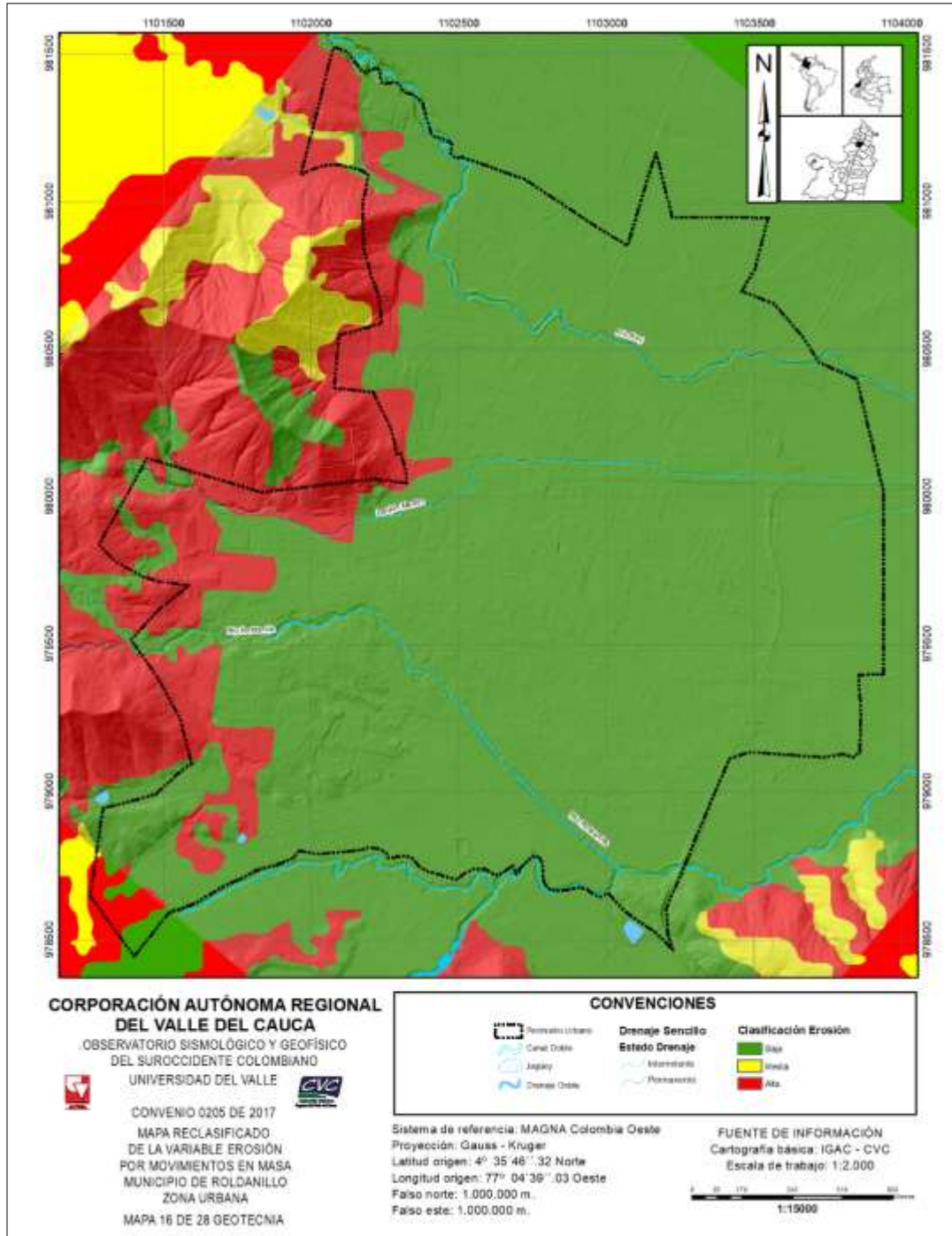
En la Figura 3.28 se muestra el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la variable taxonomía para el área urbana del municipio de Roldanillo, donde solo se encuentra susceptibilidad media y baja en el área urbana del municipio.



**Figura 3.28.** Mapa grado de susceptibilidad de la variable taxonomía por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo

**Fuente:** elaboración propia.

En la Figura 3.29 se puede observar el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la variable erosión para el área urbana del municipio de Roldanillo, donde la mayor parte del área urbana del municipio tiene susceptibilidad baja, se presentan grados altos de susceptibilidad al occidente del área urbana del municipio y en algunos sectores del sur justo después del límite del perímetro urbano.

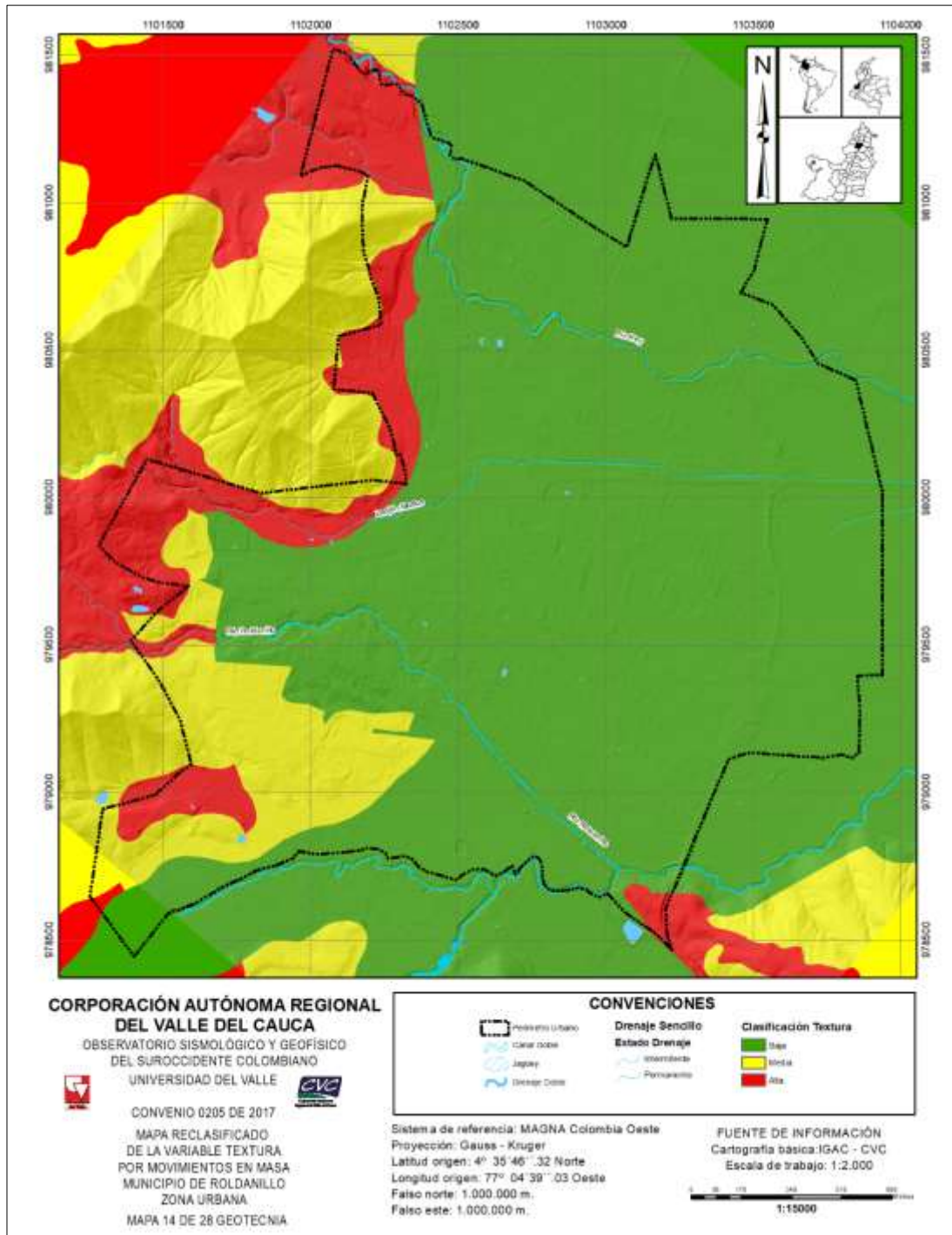


**Figura 3.29.** Mapa grado de susceptibilidad de la variable erosión por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo

**Fuente:** elaboración propia.



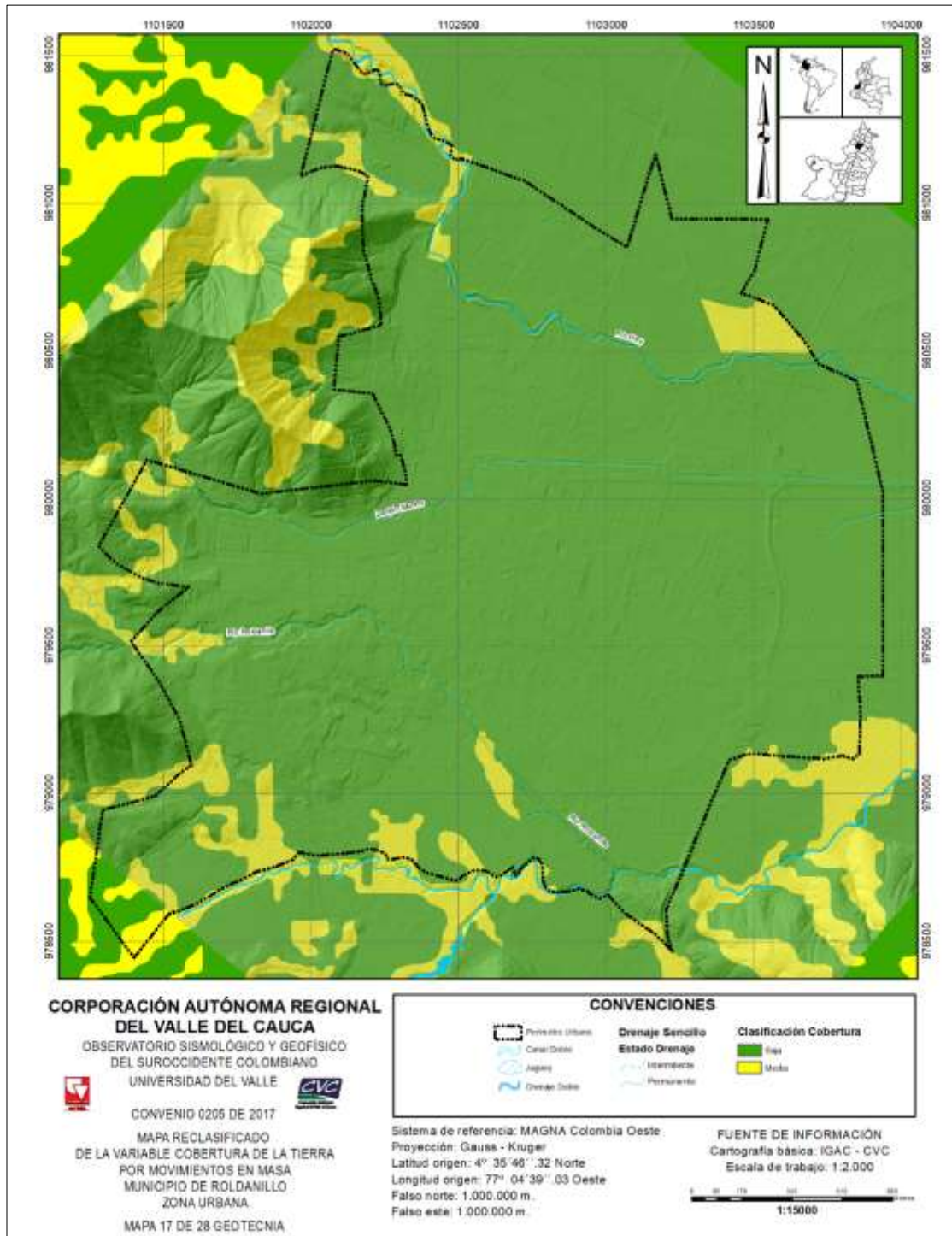
En la Figura 3.30 se muestra el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la variable textura para el área urbana del municipio de Roldanillo, donde se presenta susceptibilidad alta y media en el occidente del área urbana del municipio y en algunos sectores de sur.



**Figura 3.30.** Mapa grado de susceptibilidad de la variable textura por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo

**Fuente:** elaboración propia

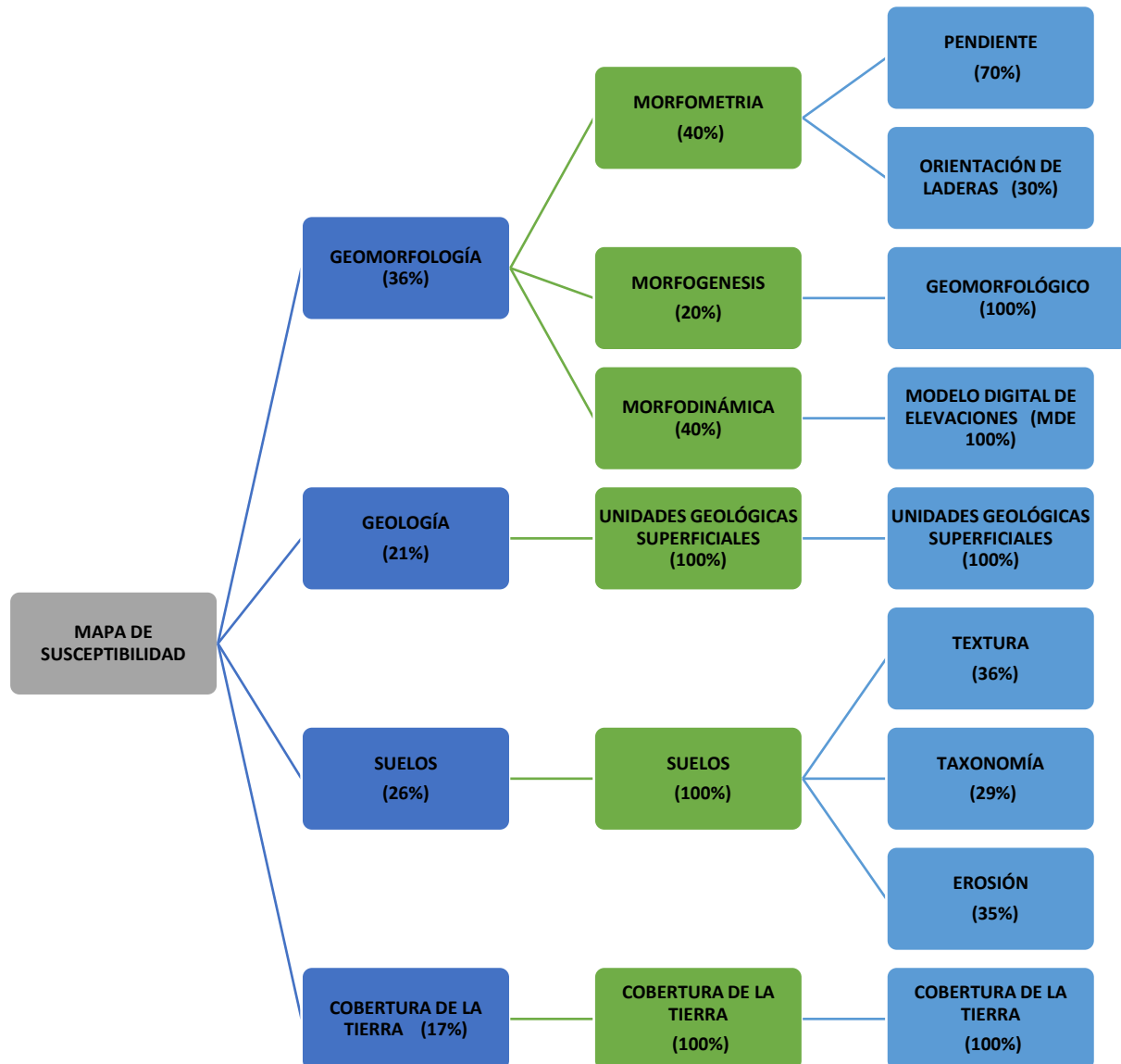
En la Figura 3.31 se puede observar el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la variable cobertura de la tierra para el área urbana del municipio de Roldanillo, donde solo se presenta susceptibilidad media y baja.



**Figura 3.31.** Mapa grado de susceptibilidad de la variable cobertura de la tierra por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo

**Fuente:** elaboración propia

Una vez realizados los mapas de susceptibilidad como se indicó anteriormente, a continuación, con las capas en formato ráster, se calculan los mapas de morfometría, morfogénesis y suelos. Aplicando operaciones entre mapas con la herramienta ráster calculador de ArcGIS, teniendo en cuenta las operaciones y pesos asignado por el experto como se muestra en la Figura 3.32.

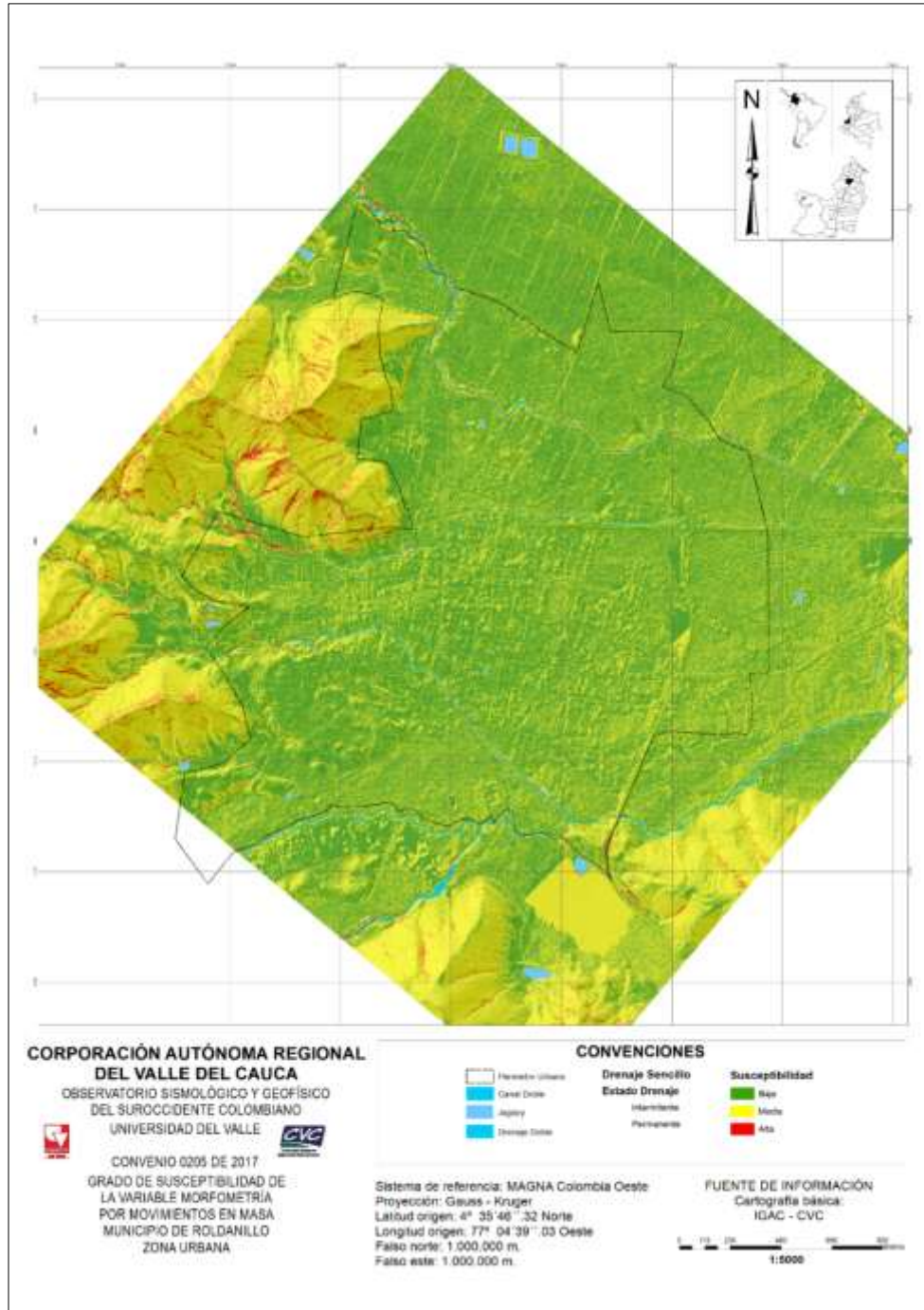


**Figura 3.32.** Variables y ponderaciones para cálculo de la susceptibilidad por movimientos en masa

**Fuente:** Grupo geotécnia OSSO, 2018

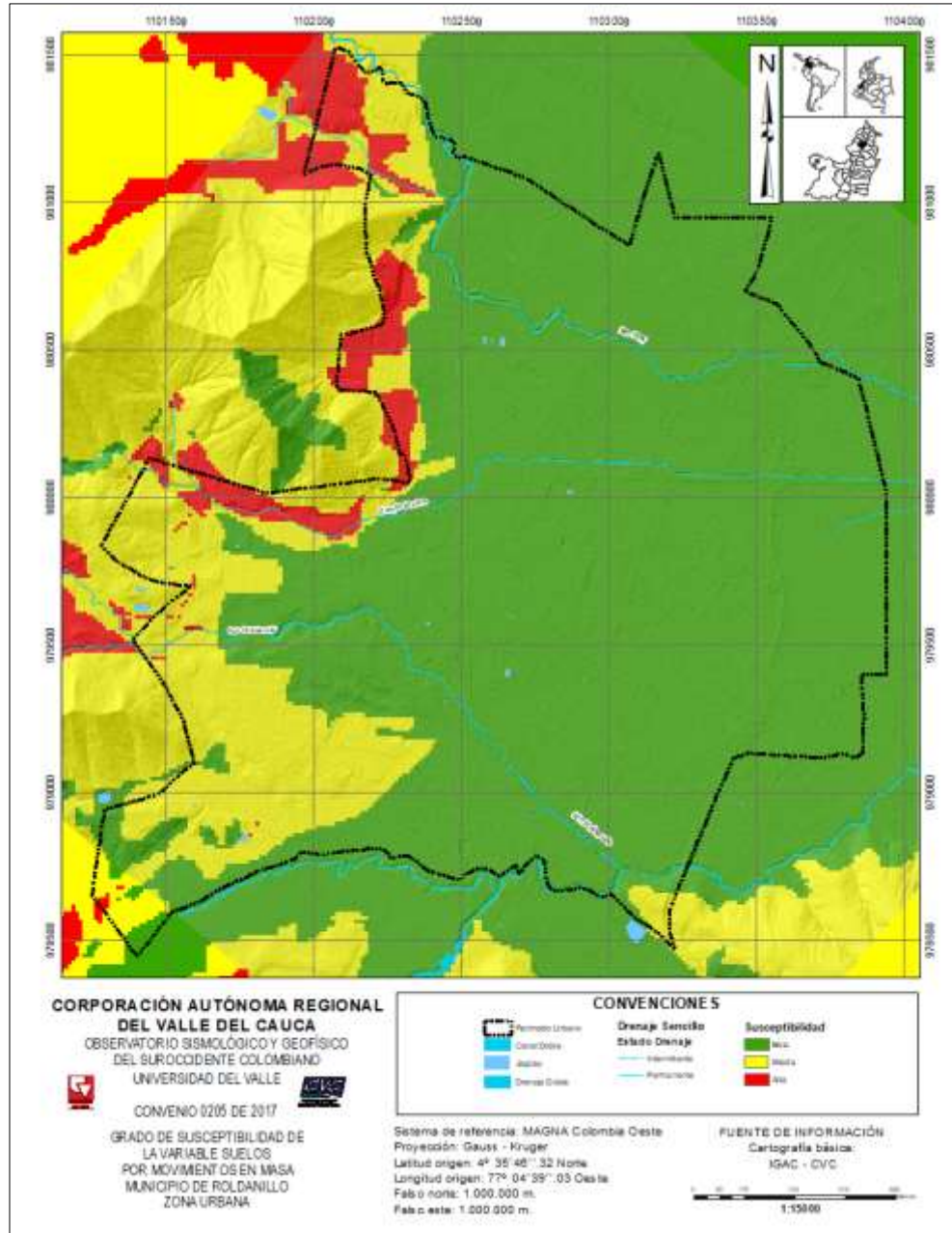
Para la elaboración del mapa de susceptibilidad de las variables morfometría y suelos, se hizo uso del procedimiento de análisis espacial superposición ponderada. El mapa de morfometría para el

área urbana del municipio de Roldanillo se puede observar en la Figura 3.33 donde se puede ver que el grado de susceptibilidad por esta variable es bajo en la mayor parte del municipio, el mapa de susceptibilidad por la variable suelos, se puede ver en la Figura 3.34, donde se evidencian grados de susceptibilidad medio y alto en la zona sur y occidente del municipio.



**Figura 3.33.** Mapa grado de susceptibilidad de la variable morfometría por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo

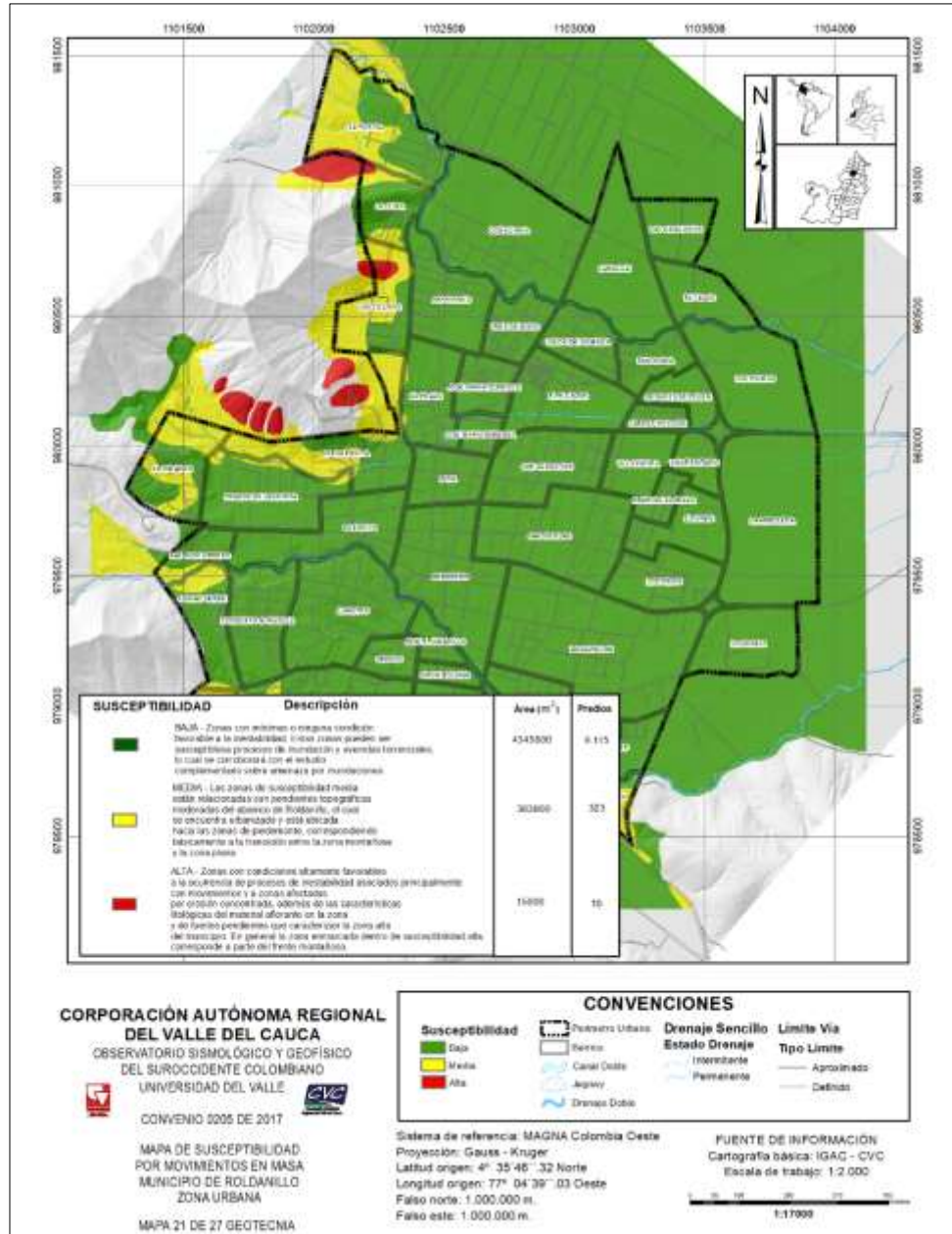
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 3.34.** Mapa de grado de susceptibilidad de la variable suelos por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo

**Fuente:** elaboración propia.

Como producto cartográfico final en esta etapa se obtiene el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la zona urbana del municipio de Roldanillo, el cual se puede observar en la Figura 3.35, este producto fue elaborado utilizando operaciones de la análisis a partir de la calculadora ráster del software ArcGIS, especial la mayor parte de la zona urbana del municipio presenta susceptibilidad baja, solo se presenta susceptibilidad media y alta en algunos sectores del occidente del área urbana del municipio, entre los que se encuentran los barrios, Las Colinas, Nueva Ermita, El Mirador, El Hatico, Los Samanes, El Portal, Ciudad Verde, San José Obrero y La Ceiba.



**Figura 3.35.** Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo

**Fuente:** elaboración propia

### 3.6. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

El equipo de Geotecnia llevó a cabo una serie de perforaciones, apiques y líneas sísmicas en campo, con los cuales genera los resultados de amenaza para movimientos en masa, partiendo de los valores de susceptibilidad como dato comparativo. La Figura 3.36 tiene por objeto mostrar el mapa de amenaza para la zona urbana del municipio de Roldanillo, donde se puede establecer que el municipio cuenta con una zona de amenaza media claramente identificable en el barrio Villa Rosita (Sur de la Ciudad).

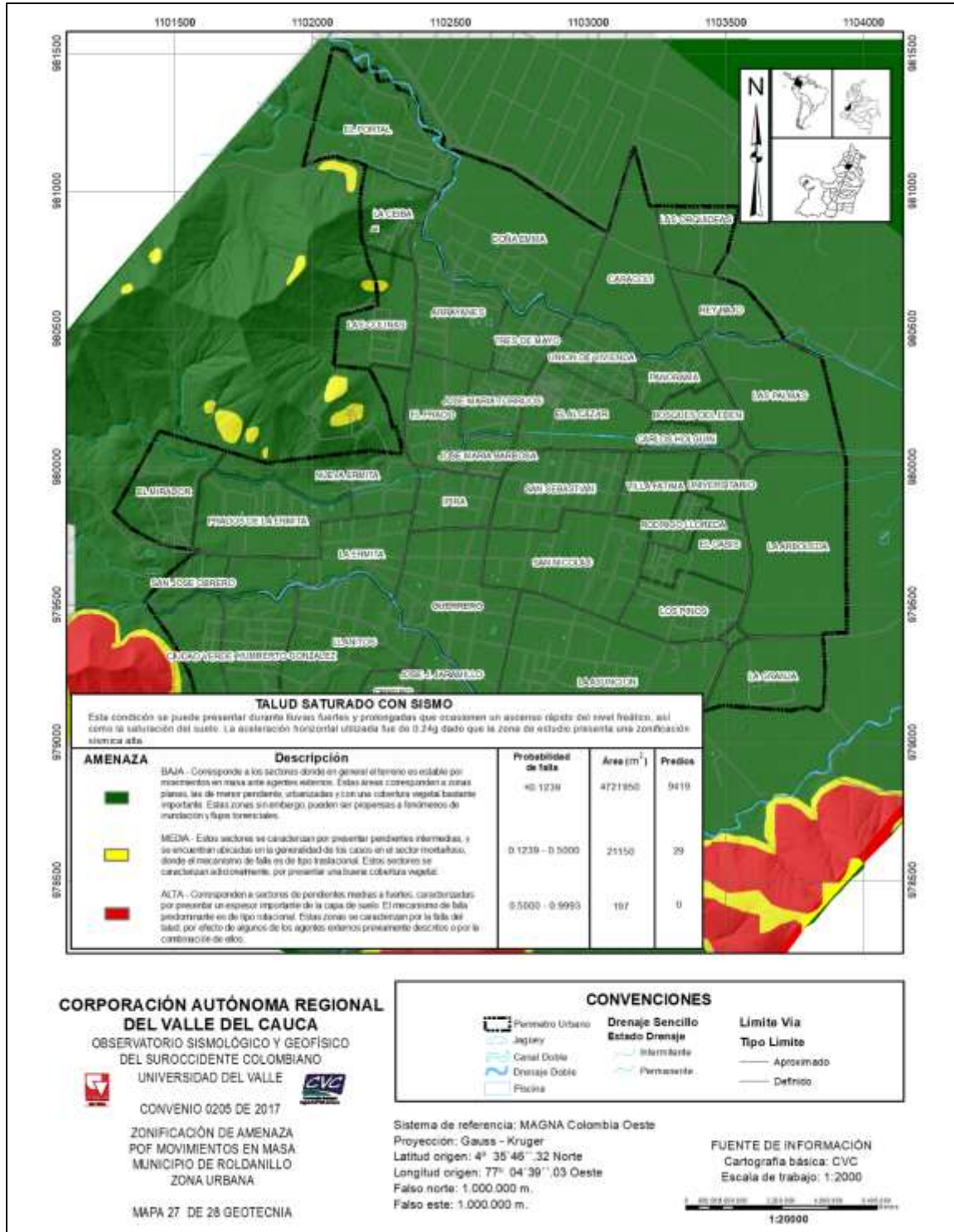
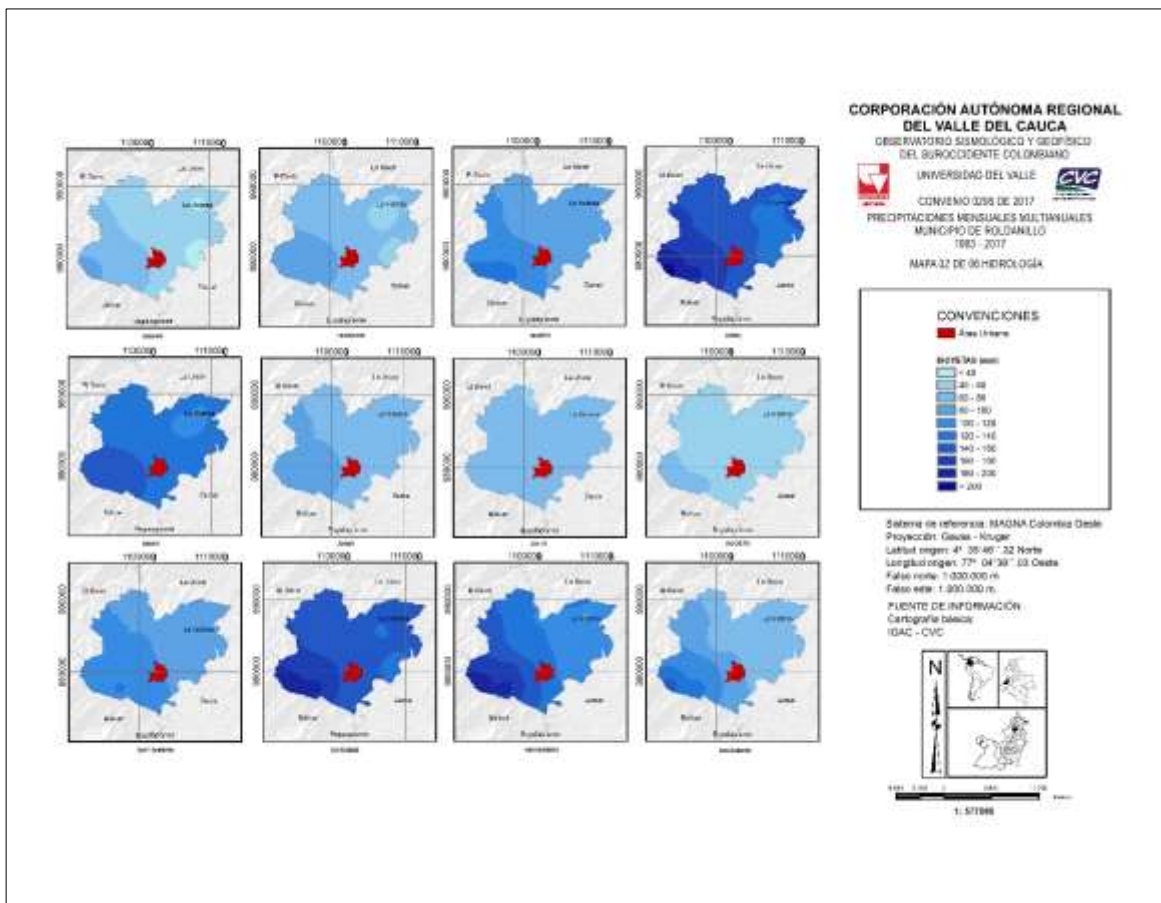


Figura 3.36. Mapa de amenaza por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo

Fuente: elaboración propia

### 3.7. AMENAZA POR INUNDACIÓN

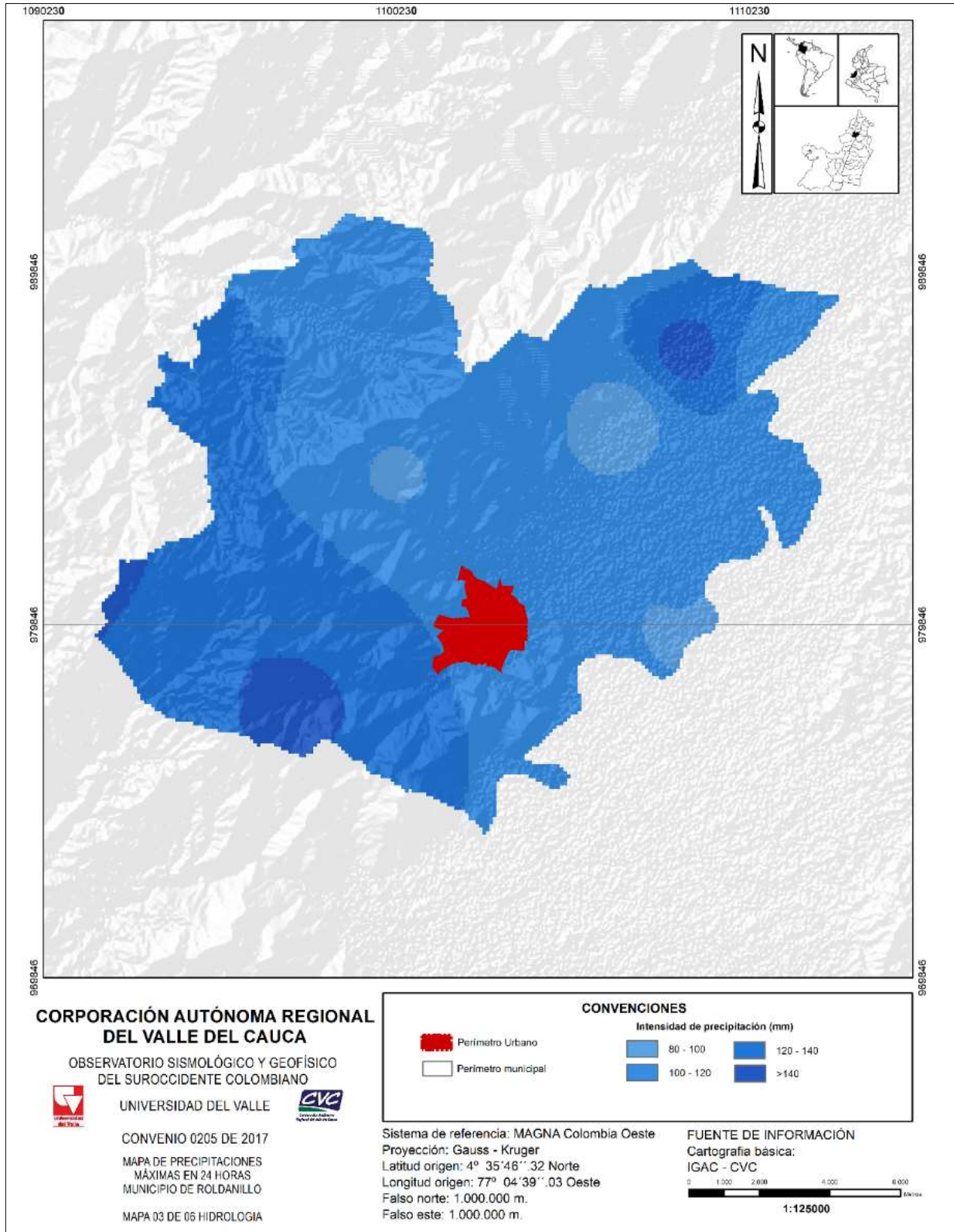
El objetivo del análisis espacial de precipitaciones consiste principalmente en determinar los factores de intensidad, frecuencia y duración, lo que se logra con las herramientas de SIG es analizar la distribución espacial de las precipitaciones, es decir se identifican las zonas donde más llueve, como se distribuyen esas lluvias en el espacio y con qué intensidad se presentan en ciertos periodos de tiempo. Los resultados cartográficos obtenidos son el mapa de precipitaciones mensuales multianuales para cada uno de los municipios en el periodo 1983-2017. Figura 3.7 se puede observar como ejemplo el resultado cartográfico obtenido para el municipio de Roldanillo, donde se muestra la distribución espacial de las precipitaciones a nivel mensual, además los mapas de precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 horas asociadas a cada periodo, las cuales se pueden observar en las Figura 3.8, 3.9 y 3.10, respectivamente. Estos resultados en conjunto con el mapa base y la topografía del terreno son insumo fundamental para la modelación hidrológica de cada uno de los causes realizada por el equipo de hidráulica, la cual se realiza usando el modelo HEC-HMS.



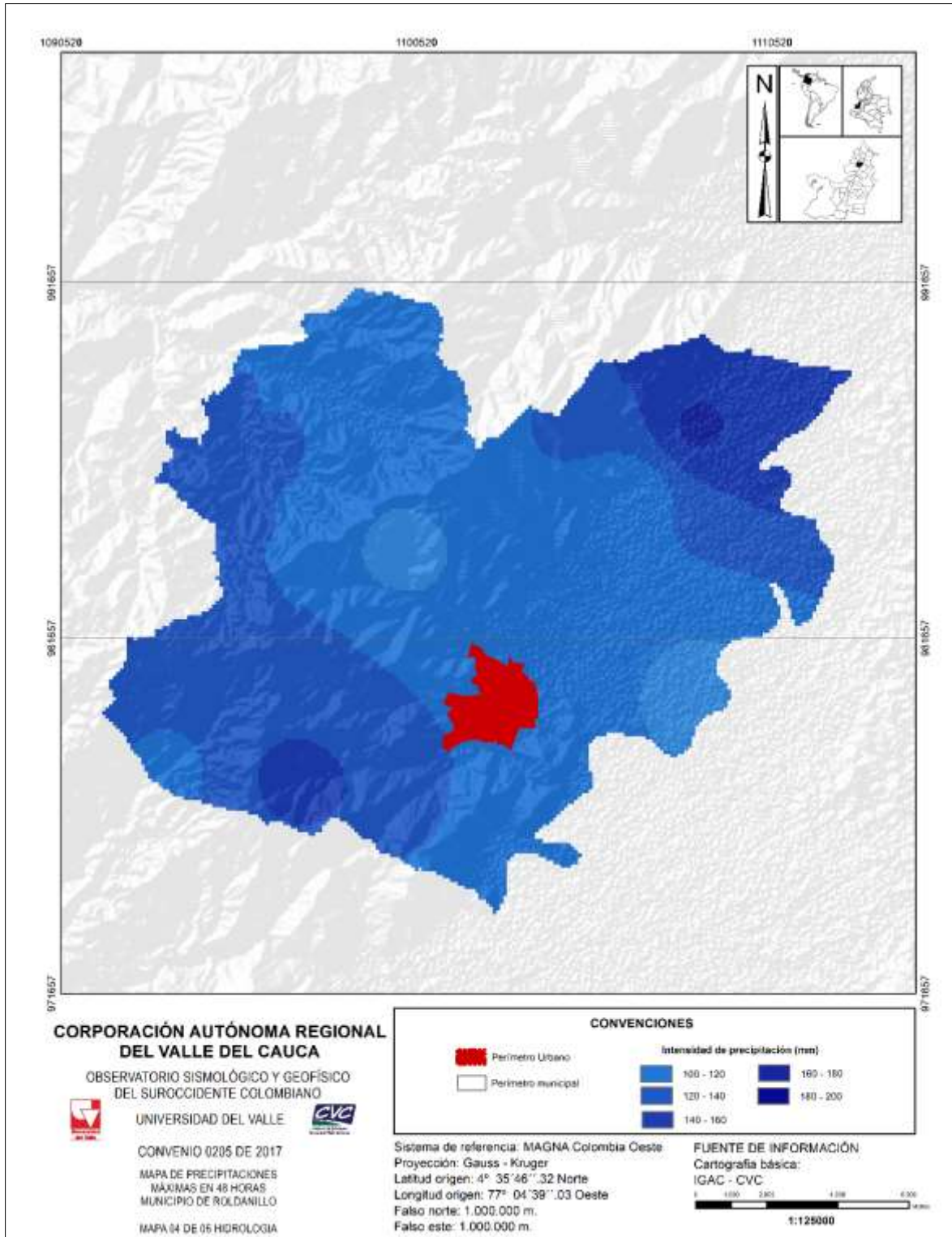
**Figura 3.37.** Mapa de precipitaciones mensuales multianuales municipio de Roldanillo periodo 1983-2017

**Fuente:** elaboración propia.

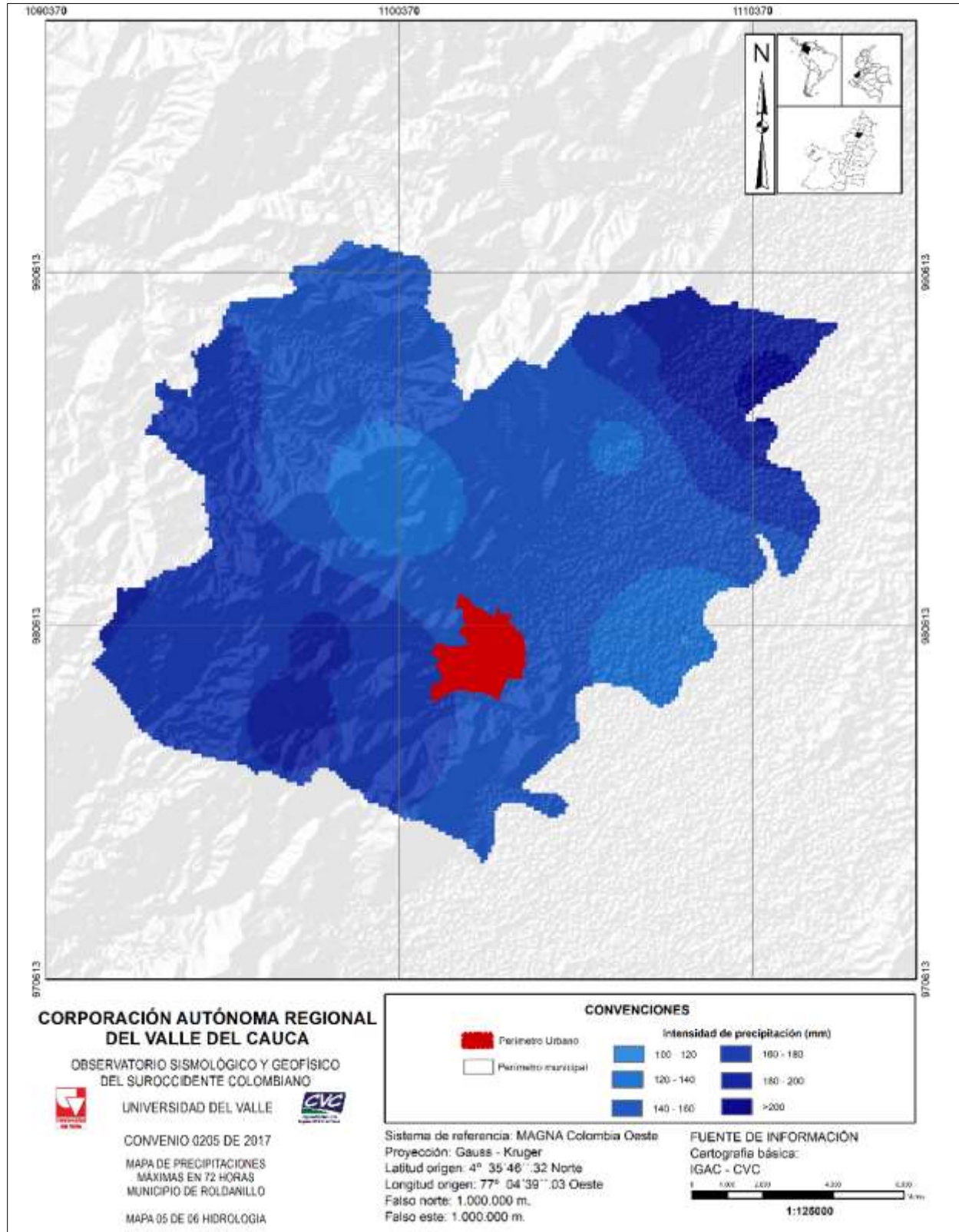




**Figura 3.38.** Mapa de precipitaciones máximas en 24 horas municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia

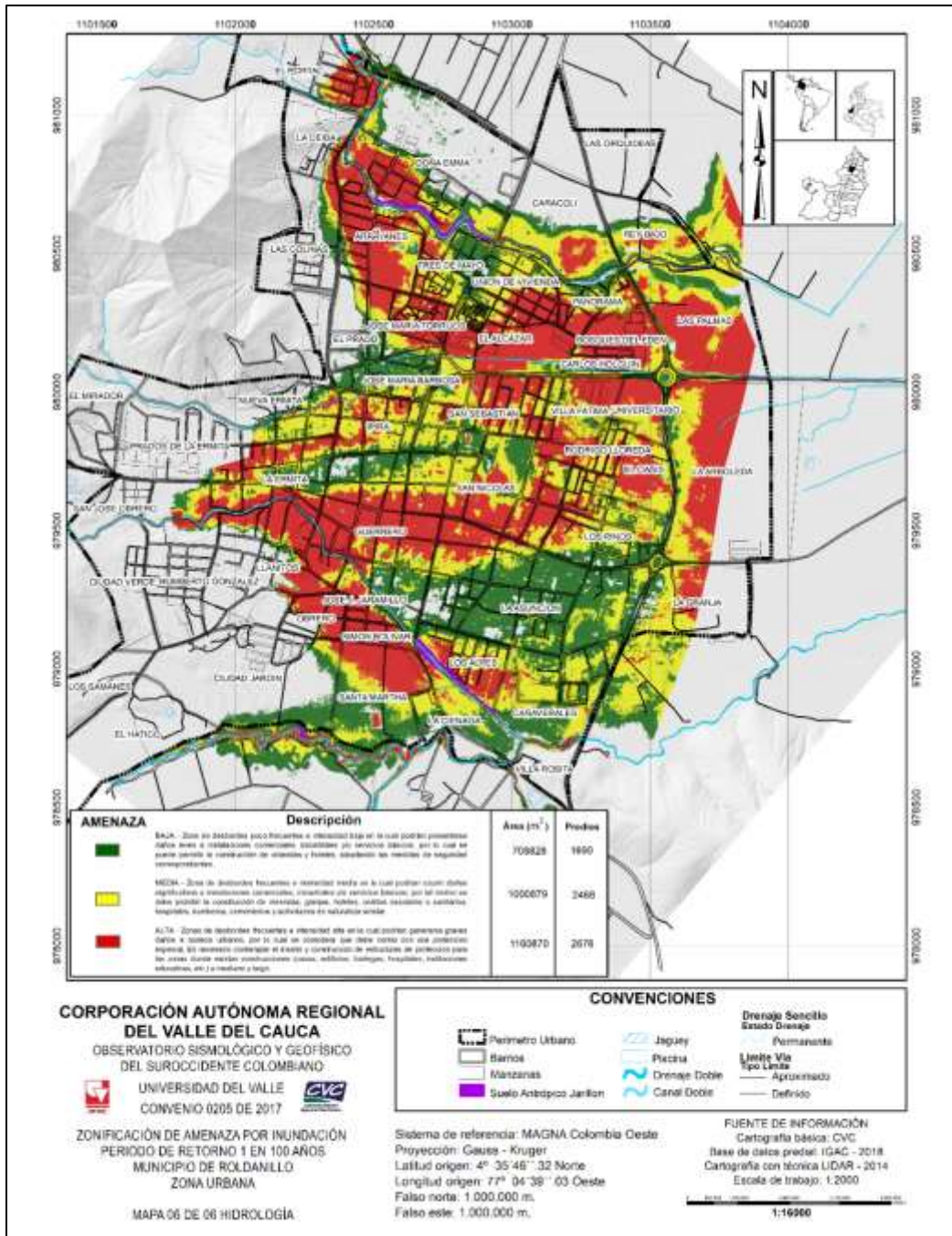


**Figura 3.39.** Mapa de precipitaciones máximas en 48 horas municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia



**Figura 3.40.** Mapa de precipitaciones máximas en 72 horas municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia

Finalmente, se obtiene el producto amenaza por inundación del área urbana del para cada municipio, en la Figura 51 se puede observar el producto cartográfico obtenido para el área urbana del municipio de Roldanillo, donde se puede evidenciar que gran parte del municipio se ve afectado por amenaza media y baja en cuanto a inundación se refiere. Después se determinan los niveles de intensidad o magnitud del evento, a cada escenario seleccionado de mapa de inundación se le debe realizar una clasificación cualitativa de acuerdo a su intensidad o magnitud.



**Figura 3.41.** Mapa de amenaza por inundación área urbana municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia

### 3.8. VULNERABILIDAD

El cálculo de la vulnerabilidad para cada uno de los fenómenos de estudio, se establece a partir del análisis las variables estructurales y corporales, terminando por fusionar sus respectivos resultados a través de una suma ponderada con valores normalizados, los cuales corresponden a la siguiente clasificación:

- Vulnerabilidad BAJA (0 – 0,15)

Los elementos expuestos en la zona se caracterizan por presentar en los centros poblados unos niveles de vulnerabilidad socioeconómica y estructural baja, cuyas condiciones de infraestructura son adecuadas.

- Vulnerabilidad MEDIA (0,15 – 0,5)

Los elementos expuestos en la zona se caracterizan por presentar en los centros poblados unos niveles de vulnerabilidad socioeconómica y estructural relativamente moderados.

- Vulnerabilidad ALTA (0,5 – 1)

Los elementos expuestos en la zona se caracterizan por presentar en los centros poblados mayor contacto con la amenaza, sus condiciones socioeconómicas y estructurales generalmente son precarias, acompañados de una nula capacidad de resistencia frente a situaciones adversas en este rango de vulnerabilidad

La metodología de análisis para dichas variables se adapta de la propuesta de Li *et al* (2010) a partir de los valores de intensidad del fenómeno (I) y la capacidad de resistencia de los elementos expuestos (S). Este marco metodológico se encuentra mejor abordado en el documento del equipo de Vulnerabilidad.

#### 3.8.1. Movimientos en masa

Para el casco urbano del municipio de Roldanillo, los valores de vulnerabilidad corporal y estructural por movimientos en masa se encuentran focalizados en el barrio Villa Rosita con 27 predios (Figura 3.42 y 3.43). La Tabla 3.6 establece los porcentajes de área de valores de vulnerabilidad con respecto al área del casco urbano, mientras que la Tabla 3.7 muestra el porcentaje de predios y la cantidad de estos encontrados en los diferentes grados de vulnerabilidad con respecto a la totalidad de predios en el casco.

**Tabla 3.6.** Porcentaje de áreas a partir de los grados de vulnerabilidad corporal y estructural

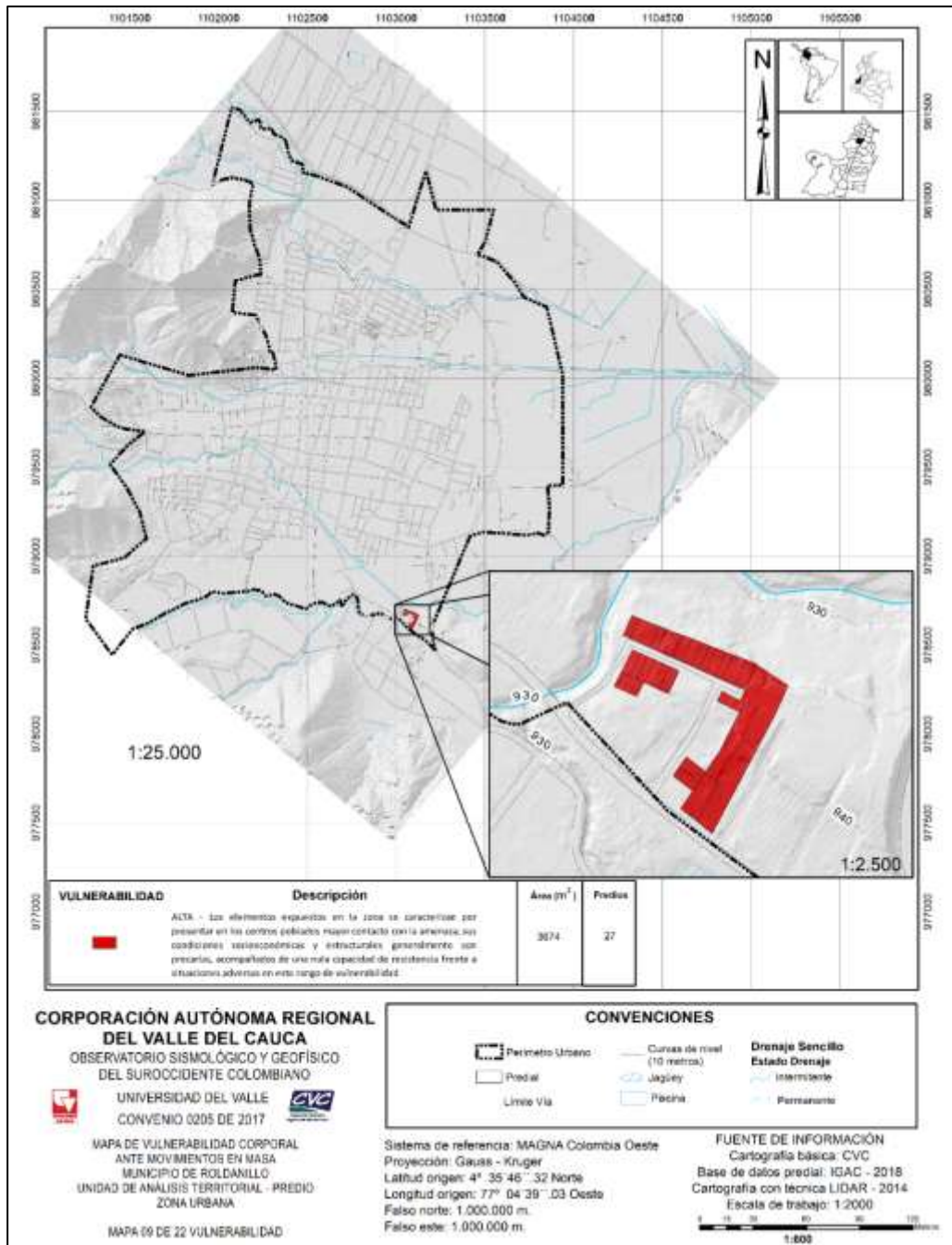
GRADO DE VULNERABILIDAD	ÁREA (METROS CUADRADOS)	PORCENTAJE (%)
ALTA	3674,2	0,08
NULA	4740115,6	99,92
<b>ÁREA TOTAL (CASCO URBANO)</b>	<b>4743789,8</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.7.** Porcentaje de predios a partir de los grados de vulnerabilidad corporal y estructural

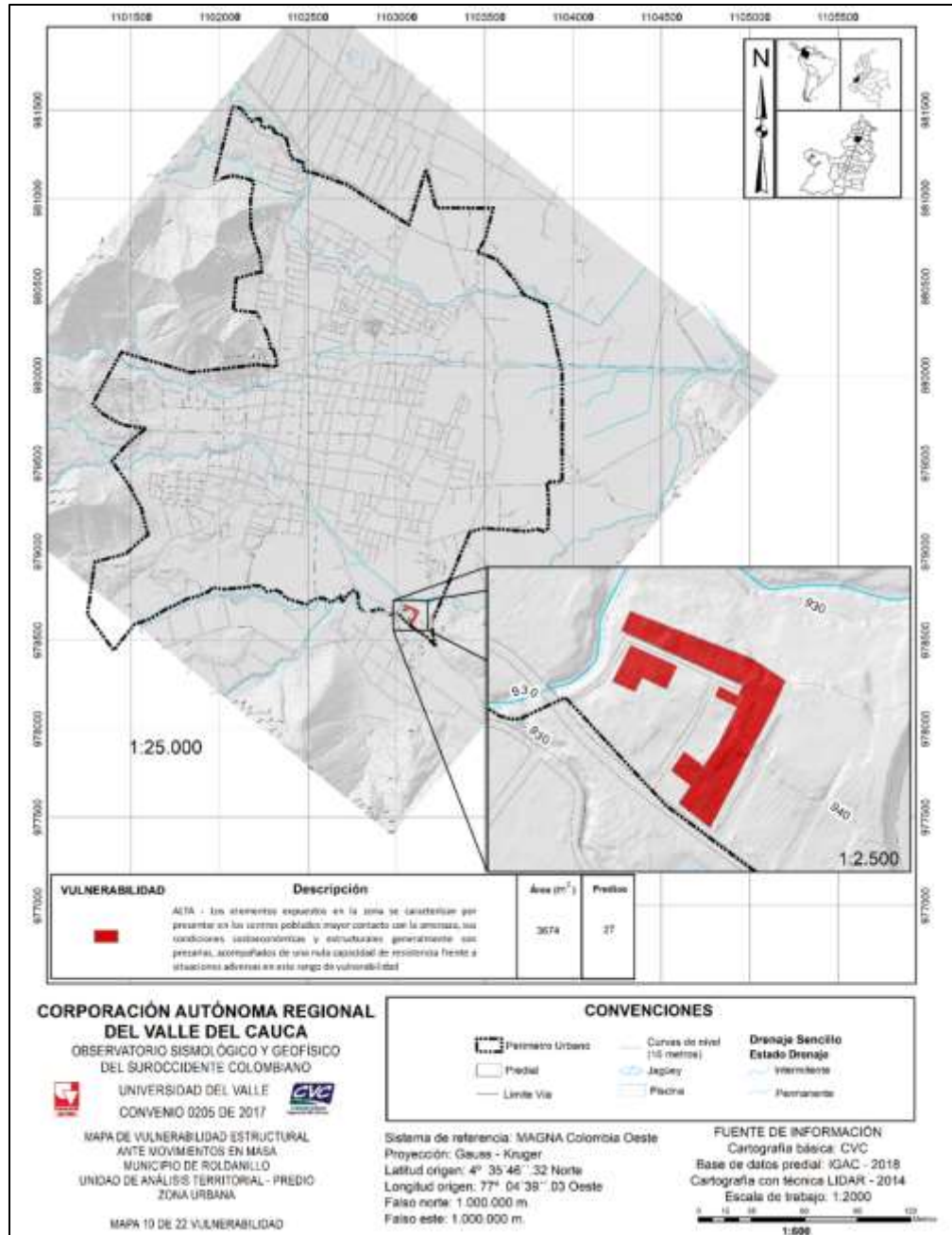
GRADO DE VULNERABILIDAD	NÚMERO DE PREDIOS	PORCENTAJE (%)
ALTA	27	0,28
NULA	9421	99,71
<b>PREDIAL (CASCO URBANO)</b>	<b>9448</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia.



**Figura 3.42.** Mapa de vulnerabilidad corporal por movimientos en masa área urbana municipio de Roldanillo

Fuente: elaboración propia



**Figura 3.43.** Mapa de vulnerabilidad estructural por movimientos en masa área urbana municipio de Roldanillo  
**Fuente:** elaboración propia

### 3.8.2. Inundación

Para el casco urbano del municipio de Roldanillo, los cálculos de vulnerabilidad corporal y estructural por inundación abarcan amplias zonas del área de estudio (Figura 3.44 y 3.45). Las Tabla 3.8 y 3.9 establecen los porcentajes de área de valores de vulnerabilidad con respecto al área del casco urbano, mientras que las Tabla 3.10 y 3.11 muestran el porcentaje de predios y la cantidad

de estos encontrados en los diferentes grados de vulnerabilidad con respecto a la totalidad de predios en el casco urbano.

**Tabla 3.8.** Porcentaje de áreas a partir de los grados de vulnerabilidad corporal

GRADO DE VULNERABILIDAD	ÁREA (METROS CUADRADOS)	PORCENTAJE (%)
ALTA	245591,6	5,18
MEDIA	307634,6	6,48
BAJA	345730,8	7,29
NULA	3844833	81,05
<b>ÁREA TOTAL (CASCO URBANO)</b>	<b>4743789,8</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.9.** Porcentaje de áreas a partir de los grados de vulnerabilidad estructural

GRADO DE VULNERABILIDAD	ÁREA (METROS CUADRADOS)	PORCENTAJE (%)
ALTA	359167,5	7,57
MEDIA	365891	7,71
BAJA	438843,9	9,25
NULA	3579887,4	75,46
<b>ÁREA TOTAL (CASCO URBANO)</b>	<b>4743789,8</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.10.** Porcentaje de predios a partir de los grados de vulnerabilidad corporal

GRADO DE VULNERABILIDAD	NÚMERO DE PREDIOS	PORCENTAJE (%)
ALTA	1273	13,47
MEDIA	1620	17,14
BAJA	1600	16,93
NULA	4955	52,44
<b>PREDIAL (CASCO URBANO)</b>	<b>9448</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.11.** Porcentaje de predios a partir de los grados de vulnerabilidad estructural

GRADO DE VULNERABILIDAD	NÚMERO DE PREDIOS	PORCENTAJE (%)
ALTA	1416	14,98
MEDIA	1761	18,63
BAJA	1721	18,21
NULA	4550	48,15
<b>PREDIAL (CASCO URBANO)</b>	<b>9448</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Elaboración propia.



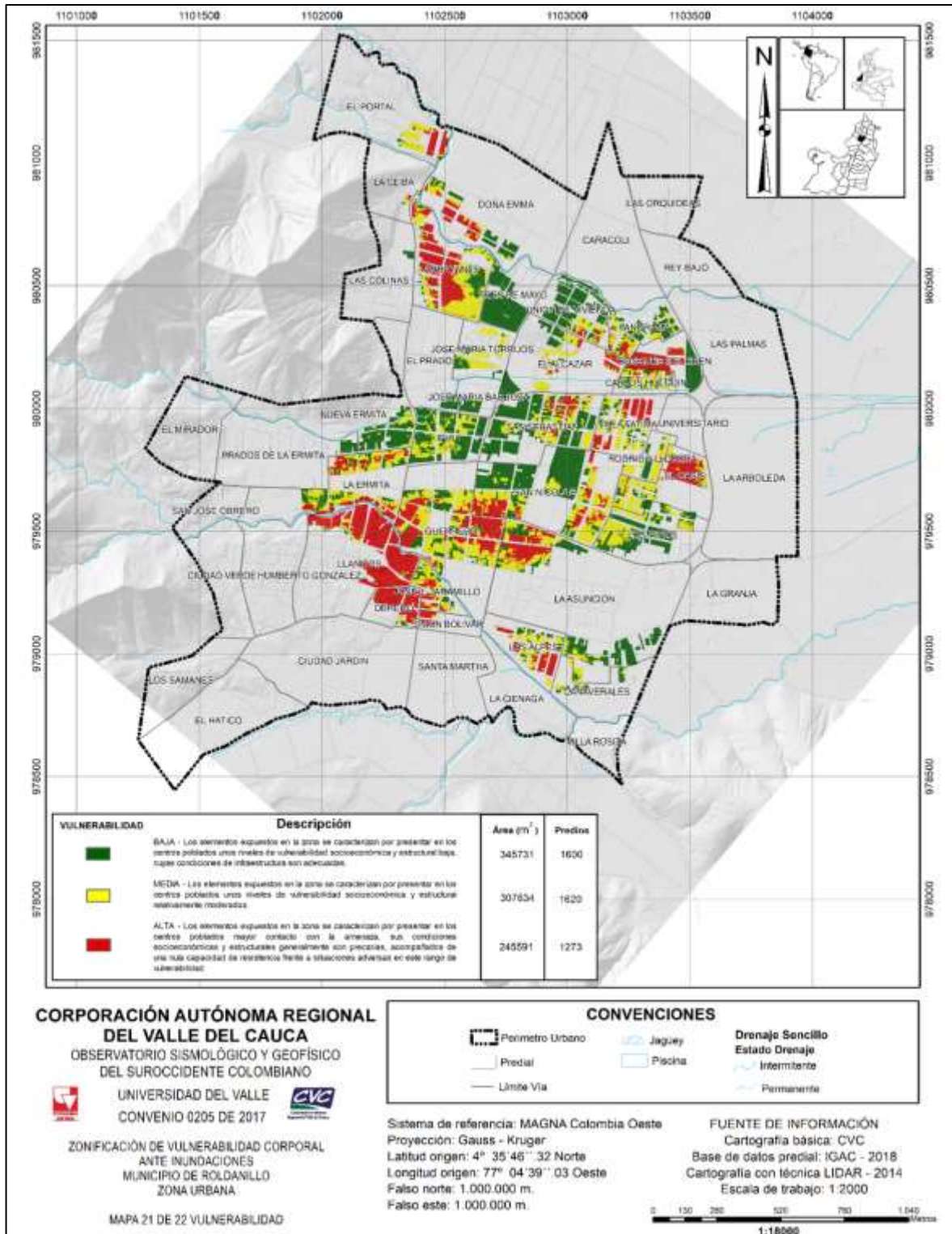


Figura 3.44. Mapa de vulnerabilidad corporal por inundación área urbana municipio de Roldanillo

Fuente: elaboración propia

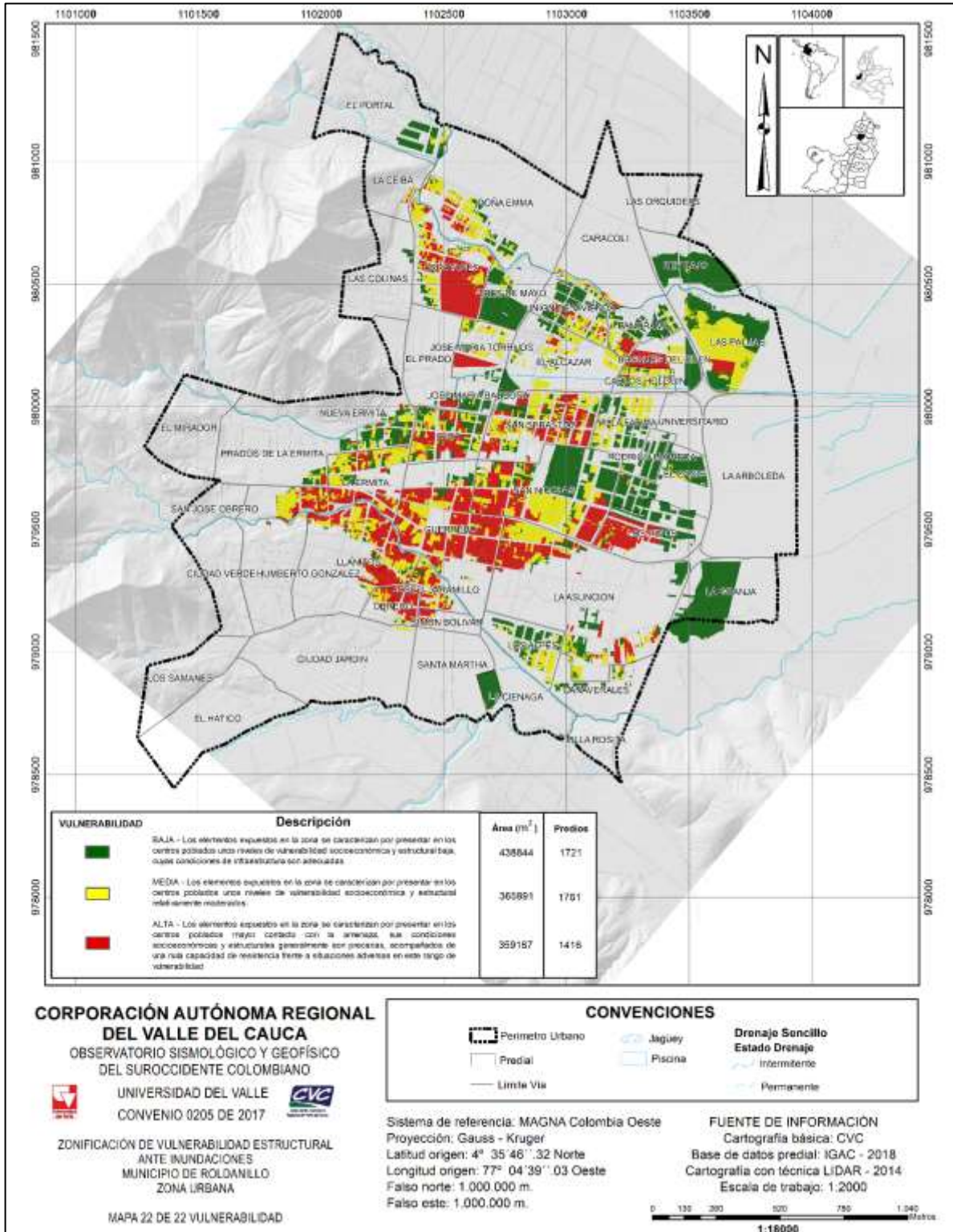


Figura 3.45. Mapa de vulnerabilidad estructural por inundación área urbana municipio de Roldanillo

Fuente: elaboración propia

### 3.9. ÁREAS DE AFECTACIÓN

Las áreas de afectación se obtienen a partir del producto de los resultados de vulnerabilidad con los resultados de amenaza, en un formato rasterizado de valores no normalizados entre 0 y 3, los cuales corresponden a la siguiente clasificación:

- Afectación BAJA (0 a 1)

La zona se caracteriza por presentar unos niveles de amenaza relativamente bajos al igual que unas condiciones de vulnerabilidad bajas. Los daños que pueden presentarse en las edificaciones son ligeros sin que se vea afectada la estabilidad de las estructuras.

- Afectación MEDIA (1 a 2)

La zona se caracteriza por presentar unos niveles de amenaza moderada, al igual que unos niveles de vulnerabilidad socioeconómica y estructural relativamente moderados.

- Afectación ALTA (2 a 3)

La zona se caracteriza por presentar unas condiciones complejas de exposición a la amenaza, además de valores de vulnerabilidad alta y media caracterizada por edificaciones precarias y en mal estado, además de una población con poca o nula capacidad de resistencia.

La afectación ALTA a su vez se subdivide en otras dos clasificaciones:

- Afectación ALTA Mitigable

Se define como aquellos sectores en donde por sus características de amenaza y vulnerabilidad, existe una probabilidad de que se presenten pérdidas de vidas humanas, bienes e infraestructura, pero es susceptible de disminuir su severidad con la implementación de medidas de mitigación estructurales y no estructurales.

- Afectación ALTA No Mitigable

Se definen como aquellos sectores en donde por sus características de amenaza y vulnerabilidad, existe una alta probabilidad de que se presenten pérdidas de vidas humanas, bienes e infraestructura. La mitigación no es viable por condiciones técnico-económicas, por lo cual se debe llevar a cabo un proceso de reubicación de las viviendas y equipamiento.

#### 3.9.1. Movimientos en masa

Para el casco urbano del municipio de Roldanillo, los valores de afectación por movimientos en masa se encuentran focalizados en el barrio Villa Rosita para 27 predios (Figura 3.46). La Tabla 3.12 establece los porcentajes de área de valores de afectación con respecto al área del casco urbano, mientras que la Tabla 3.13 muestra el porcentaje de predios y la cantidad de estos encontrados en los diferentes grados de afectación con respecto a la totalidad de predios en el casco.

**Tabla 3.12.** Porcentaje de áreas a partir de los grados de afectación

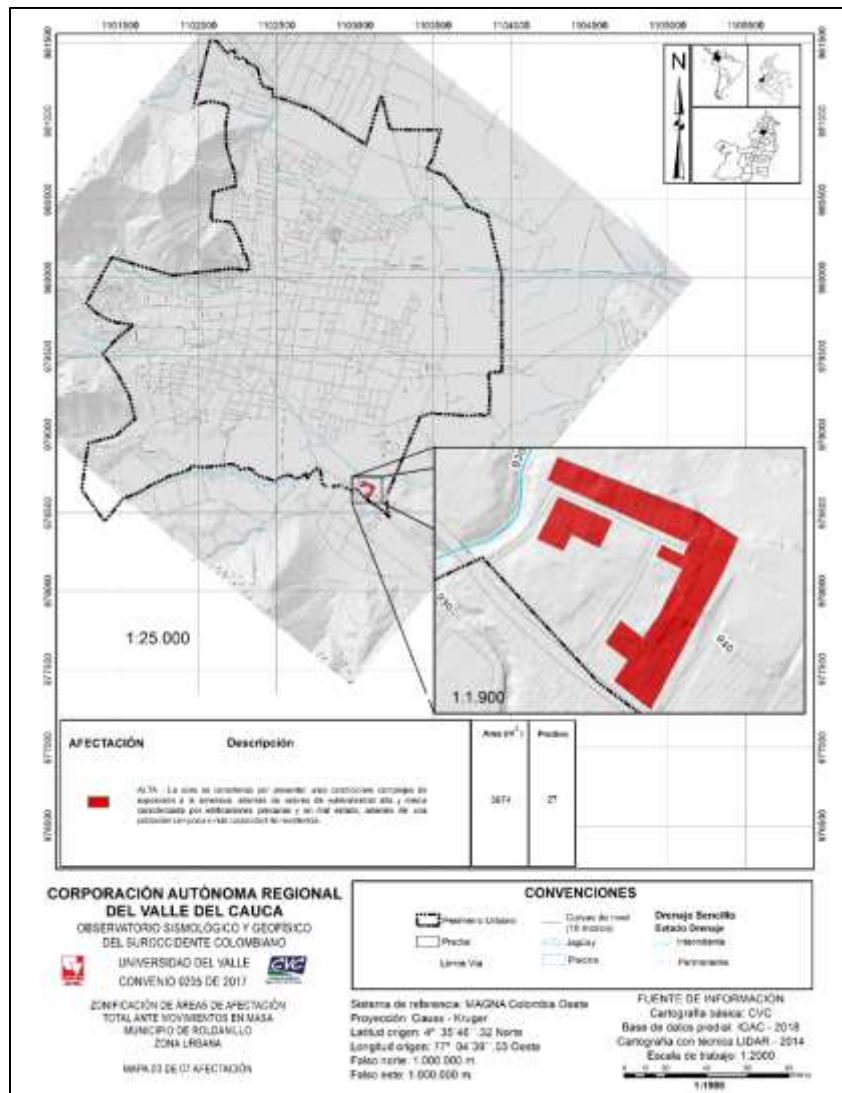
GRADO DE AFECTACIÓN	ÁREA (METROS CUADRADOS)	PORCENTAJE (%)
ALTA (Mitigable)	3674,2	0,08
NULA	4740115,6	99,92
<b>ÁREA TOTAL (CASCO URBANO)</b>	<b>4743789,8</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 3.13.** Porcentaje de predios a partir de los grados de afectación

GRADO DE AFECTACIÓN	NÚMERO DE PREDIOS	PORCENTAJE (%)
ALTA (Mitigable)	27	0,28
NULA	9421	99,71
<b>PREDIAL (CASCO URBANO)</b>	<b>9448</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.46.** Mapa de áreas de afectación por movimientos en masa área urbana municipio de Roldanillo

Fuente: elaboración propia.

### 3.9.2. Inundación

Para el casco urbano del municipio de Roldanillo, los cálculos de las áreas de afectación por inundación abarcan amplias zonas del área de estudio (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y 3.48). La Tabla 3.14 establece los porcentajes de área para los valores de afectación con respecto al área del casco urbano, mientras que la Tabla 3.15 muestra el porcentaje de predios y la cantidad de estos encontrados en los diferentes grados de las áreas de afectación con respecto a la totalidad de predios en el casco urbano.

**Tabla 3.14.** Porcentaje de áreas a partir de los grados de afectación

GRADO DE AFECTACIÓN	ÁREA (METROS CUADRADOS)	PORCENTAJE (%)
ALTA (No Mitigable)	36682,8	0,77
ALTA (Mitigable)	274972,2	5,80
MEDIA	340103,4	7,17
BAJA	347893,5	7,33
NULA	3744137,9	78,93
<b>ÁREA TOTAL (CASCO URBANO)</b>	<b>4743789,8</b>	<b>100</b>

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 3.15.** Porcentaje de predios a partir de los grados de afectación

GRADO DE VULNERABILIDAD	NÚMERO DE PREDIOS	PORCENTAJE (%)
ALTA (No Mitigable)	146	1,54
ALTA (Mitigable)	1283	13,57
MEDIA	1940	20,53
BAJA	1322	13,99
NULA	4757	50,35
<b>PREDIAL (CASCO URBANO)</b>	<b>9448</b>	<b>100</b>

**Fuente:** elaboración propia.

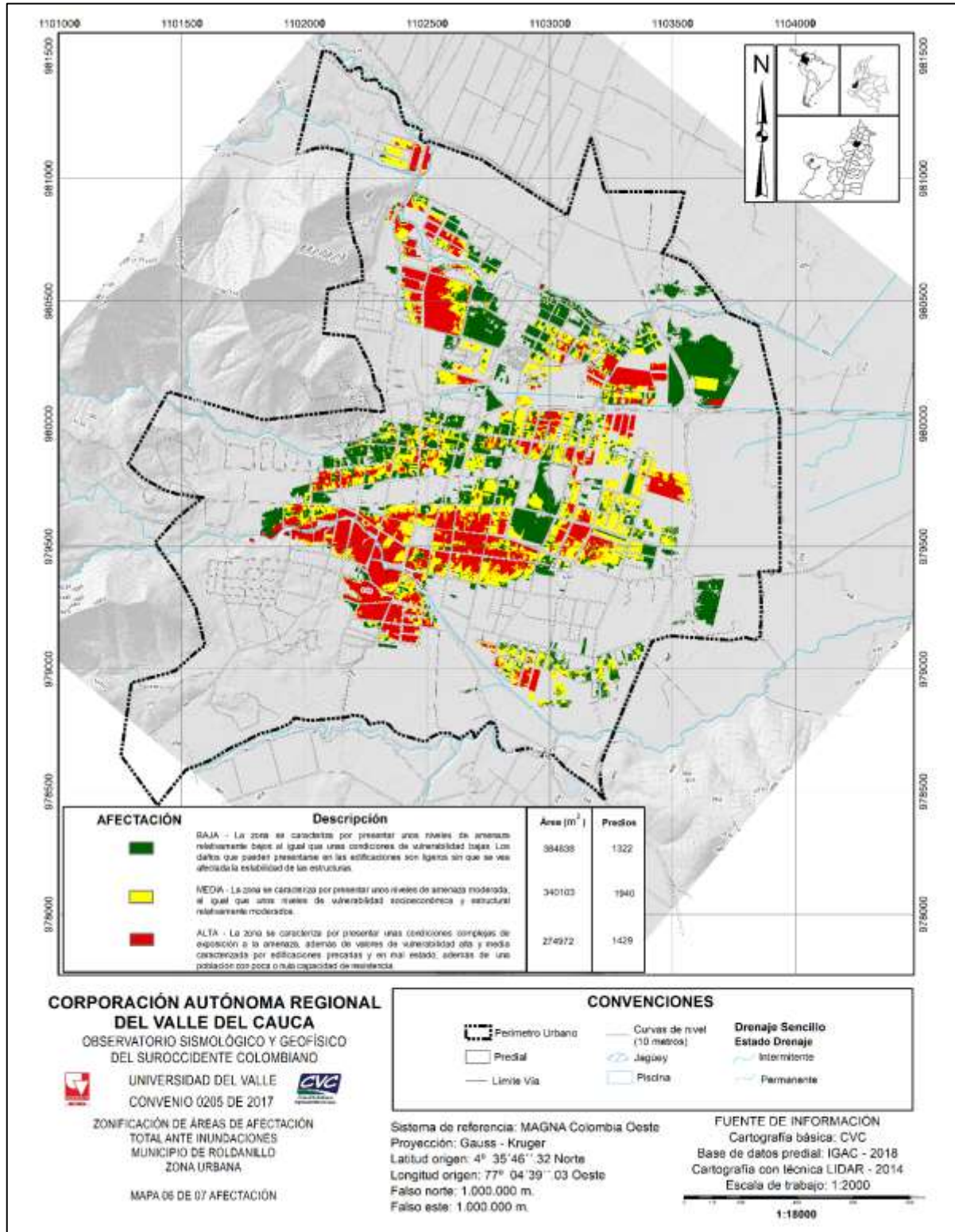
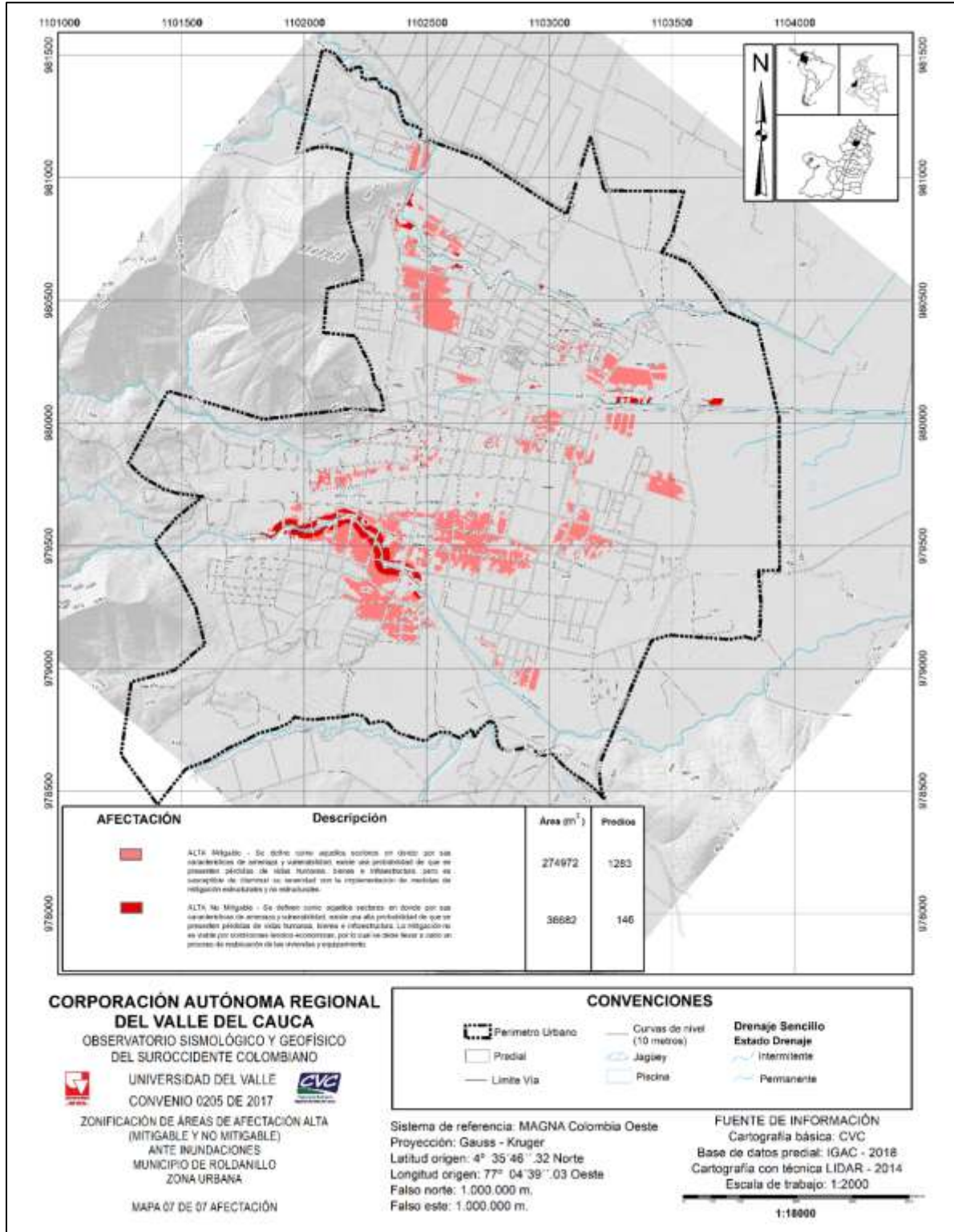


Figura 3.47. Mapa de áreas de afectación por inundación área urbana municipio de Roldanillo  
Fuente: elaboración propia



**Figura 3.48.** Mapa de áreas de afectación ALTA (Mitigable y no mitigable) por inundación - área urbana municipio de Roldanillo  
**Fuente:** Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Se caracterizaron las operaciones necesarias en el desarrollo de las metodologías para zonificación de susceptibilidad por movimientos de masa y amenaza por inundación en el área urbana del municipio de Roldanillo.

Se definieron las operaciones más relevantes dentro del procesamiento de datos para la aplicación de la metodología.

- Operaciones de digitalización
- Operaciones de clasificación de variables
- Operaciones entre mapas
- Integración de Información
- Operaciones de análisis espacial
- 

Se definieron los procedimientos espaciales más adecuados para la generación de los productos y se propusieron mejoras en dichos procedimientos mediante el uso de herramientas modernas que potencializan y optimizan los análisis de la información espacial. En particular, la metodología propuesta presenta mejoras importantes, a los métodos y procedimientos de estudio de historicidad convencionales, tales como la implementación de métodos de análisis espacial a partir de la densidad de kernel para el cálculo de zonas susceptibles a inundaciones según los datos de historicidad puntuales y el procedimiento de análisis espacial de los eventos de historicidad no puntuales a partir de la topografía del terreno para sesgar la información obtenida en estos casos, los resultados de estas metodologías fueron validados con la población y organismos municipales a partir de los talleres de socialización de resultados de historicidad, donde se pudo corroborar la coherencia de las hipótesis planteada y los resultados obtenidos aplicando esta metodología.

Los sistemas de información geográfica (SIG) se convierten en herramientas de apoyo a la toma de decisiones, de carácter preventivo no estructural, importante en el proceso de gestión de riesgos, dado que permiten hacer evaluaciones de las amenazas y luego permiten disminuir las condiciones de riesgo en los municipios.

Se construyó un total de 75 mapas entre sub productos y productos entregables dentro del proyecto para el cálculo de las variables necesarias en este tipo de estudio, aplicando el procedimiento metodológico del Servicio Geológico Nacional y CVC, los cuales son insumo fundamental para la incorporación de la gestión del riesgo en el Esquemas de Ordenamiento Territorial del municipio de Roldanillo, los productos cartográficos obtenidos son listados a continuación:

### LISTADO DE PRODUCTOS Y SUB PRODUCTOS

- 1 Mapa de localización del municipio de Roldanillo
- 2 Mapa división político-administrativa del área urbana del municipio de Roldanillo escala 1:120000
- 3 Mapa político administrativo municipio de Roldanillo Zona urbana 1:20000
- 4 Mapa base municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 5 Mapa base municipio de Roldanillo escala 1:5000



- 6 Mapa de historicidad por eventos puntuales de inundación zona urbana municipio de Roldanillo
- 7 Mapa de historicidad por eventos puntuales de inundación zona urbana municipio de Roldanillo
- 8 Mapa de densidad de kernel por eventos puntuales de inundación zona urbana municipio de Roldanillo
- 9 Mapa de historicidad por barrios con reportes de eventos de inundación zona urbana municipio de Roldanillo
- 10 Mapa de historicidad de sectores posiblemente afectados por eventos de inundación según análisis de la topografía del terreno
- 11 Mapa de cartografía social para la validación de resultados de historicidad de eventos de inundación en la zona urbana del municipio de Roldanillo periodo 1970-2018
- 12 Mapa de eventos históricos de inundación zona urbana del municipio de Roldanillo periodo 1970-2018
- 13 Mapa cartografía social para la validación de resultados de historicidad de eventos de movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo periodo 1970-2018
- 14 Mapa de hidrología zona urbana municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 15 Mapa de hidrología zona urbana municipio de Roldanillo escala 1:20.000
- 16 Ortofotomapa estaciones de campo equipo geología escala 1:5000
- 17 Ortofotomapa estaciones de campo equipo geología escala 1:20.000
- 18 Ortofotomapa anotaciones de campo equipo geotecnia escala 1:1500
- 19 Ortofotomapa anotaciones de campo equipo geotecnia escala 1:5000
- 20 Mapa geológico zona urbana municipio de Roldanillo
- 21 Mapa geológico zona urbana municipio de Roldanillo
- 22 Mapa fotogeológico zona urbana municipio de Roldanillo año 1987
- 23 Mapa fotogeológico zona urbana municipio de Roldanillo año 2010
- 24 Mapa de formaciones superficiales zona urbana del municipio de Roldanillo
- 25 Mapa de elementos geomorfológicos área urbana del municipio de Roldanillo
- 26 Mapa modelo digital de superficie escala 1:5000
- 27 Mapa modelo digital de superficie escala 1:20000
- 28 Mapa de cobertura de la tierra zona urbana municipio de Roldanillo
- 29 Mapa taxonomía área urbana municipio de Roldanillo
- 30 Mapa de textura zona urbana municipio de Roldanillo
- 31 Mapa de pendientes zona urbana municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 32 Mapa de pendientes zona urbana municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 33 Mapa Orientación de laderas zona urbana municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 34 Mapa Orientación de laderas zona urbana municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 35 Mapa de erosión zona urbana municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 36 Mapa de erosión zona urbana municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 37 Mapa grado de susceptibilidad de la variable pendiente por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 38 Mapa grado de susceptibilidad de la variable pendiente por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:20000

- 39 Mapa grado de susceptibilidad de la variable orientación de laderas por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 40 Mapa grado de susceptibilidad de la variable orientación de laderas por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 41 Mapa grado de susceptibilidad de la variable morfodinámica por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 42 Mapa grado de susceptibilidad de la variable morfodinámica por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 43 Mapa grado de susceptibilidad de la variable geomorfología por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 44 Mapa grado de susceptibilidad de la variable geomorfología por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 45 Mapa grado de susceptibilidad de la variable taxonomía por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 46 Mapa grado de susceptibilidad de la variable taxonomía por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 47 Mapa grado de susceptibilidad de la variable erosión por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 48 Mapa grado de susceptibilidad de la variable erosión por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 49 Mapa grado de susceptibilidad de la variable textura por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 50 Mapa grado de susceptibilidad de la variable textura por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 51 Mapa grado de susceptibilidad de la variable cobertura de la tierra por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 52 Mapa grado de susceptibilidad de la variable cobertura de la tierra por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 53 Mapa grado de susceptibilidad de la variable morfometría por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 54 Mapa grado de susceptibilidad de la variable morfometría por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 55 Mapa de grado de susceptibilidad de la variable suelos por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 56 Mapa de grado de susceptibilidad de la variable suelos por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 57 Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:5000
- 58 Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa zona urbana del municipio de Roldanillo escala 1:20000
- 59 Mapa de precipitaciones mensuales multianuales municipio de Roldanillo periodo 1983-2017 escala 1:150000
- 60 Mapa de precipitaciones mensuales multianuales municipio de Roldanillo periodo 1983-2017 escala 1:500000
- 61 Mapa de precipitaciones máximas en 24 horas municipio de Roldanillo escala 1:125000

- 62 Mapa de precipitaciones máximas en 48 horas municipio de Roldanillo escala 1:125000
- 63 Mapa de precipitaciones máximas en 72 horas municipio de Roldanillo escala 1:125000
- 64 Mapa de amenaza por movimientos en masa área urbana municipio de Roldanillo 1:5000
- 65 Mapa de amenaza por movimientos en masa área urbana municipio de Roldanillo 1:20000
- 66 Mapa de amenaza por inundación área urbana municipio de Roldanillo 1:5000
- 67 Mapa de amenaza por inundación área urbana municipio de Roldanillo 1:20000
- 68 Mapa de vulnerabilidad por movimientos en masa área urbana municipio de Roldanillo 1:5000
- 69 Mapa de vulnerabilidad por inundación área urbana municipio de Roldanillo 1:5000
- 70 Mapa de vulnerabilidad por inundación área urbana municipio de Roldanillo 1:20000
- 71 Mapa de áreas de afectación por movimientos en masa área urbana municipio de Roldanillo 1:5000
- 72 Mapa de áreas de afectación por inundación área urbana municipio de Roldanillo 1:5000
- 73 Mapa de áreas de afectación por inundación área urbana municipio de Roldanillo 1:20000
- 74 Mapa de áreas de afectación ALTA (Mitigable y no mitigable) por inundación área urbana municipio de Roldanillo 1:5000
- 75 Mapa de áreas de afectación ALTA (Mitigable y no mitigable) por inundación área urbana municipio de Roldanillo 1:20000

## REFERENCIAS

- Abarquez, I. y Murshed, Z. (2004). Field Practitioners' Handbook, Community-based Disaster Risk Management. Bangkok, Centro Asiático de Preparación para Casos de Desastre.
- Alcaldía Municipal de Roldanillo. (2000). Plan basico de ordenamiento territorial municipio de Roldanillo Valle del Cauca.
- Alvarado F., C., Medina B., E., Sandoval R., J., & García N., J. (2012). Zonificación de amenaza por movimientos en masa aplicando un método bivariado y un proceso heurístico. caso aplicado a la cuenca del Río Combeima, Ibagué-Tolima-Colombia
- Banco Mundial Colombia. (2012). Analisis de la gestión de riesgos de desastres en Colombia un aporte para la construcción de políticas públicas. Bogotá: Banco Mundial.
- Caloni, N. (2007). Análisis espacial con SIG ráster. Resistencia, Argentina.
- Calvello, M., Cascini, L., & Mastroianni, S. (2013). Landslide zoning over large areas from a sample inventory by means of scale-dependent terrain units. *Geomorphology*, 182, 33-48. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X12004904>
- Carvacho Bart, L. (2010). Geoprosesos utilizando sistemas de información geográfica. Taller regional sobre Cartografía censal con miras a la ronda de censos 2010 en Latinoamérica. Chile.
- Coral Chacón, F., & Chamorro Benavies, J. P. (2016). Zonificación de amenaza a incendios forestales en el departamento del Cauca. Manizales, Colombia.
- Coronado, J. A. (2006). Avaliação da suscetibilidade a deslizamentos por meio do uso de sistemas de informações geográficas: Aplicação em uma area do eixo cafeiteiro Colombiano. Trabajo de grado Master en Geotécnia. Brasília D.F.
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). Índice municipal de riesgo de desastres de Colombia. Bogotá: Gobierno de Colombia.
- Deshogues, A., & Gilliéron, P. (2009). Geomatics E-learning with Exomatic: Implementation and Assessment. Barcelona.
- Duckham, M., Kealy, A., & Wallace, J. (2009). International Encyclopedia of Human Geography. Elsevier.
- El congreso de Colombia. (24 de Abril de 2012). Ley 1523 de 2012. Colombia.
- Grupo de hidraulica e hidrología, OSSO. (2010). Zonificación de amenazas y escenarios de riesgo por movimientos en masa, inundaciones y crecientes torrenciales del área urbana y de expansión de los municipios de Buga, Riofrío, Dagua, El Cairo y La Unión.
- Grupo geotécnia OSSO. (2018). Evaluación y zonificación de la amenaza por movimientos en masa en zona urbana del municipio de versalles. Cali.
- Hernández Vásquez, A., Azañedo, D., Bendezú Quispe, G., Pacheco Mendoza, J., & Martín Chaparro, R. (2016). Sistemas de información geográfica: aplicación práctica para el estudio de atropellos en el Cercado de Lima, Perú. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*, 33, 725-731. Obtenido de <https://rpmesp.ins.gob.pe/index.php/rpmesp/article/view/2558>
- IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2012). Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa. Bogotá.
- Ingeominas. (2001). Guía metodológica para la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa - Método univariado- y escenarios de riesgo por avenidas torrenciales. Bogotá.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). Adopción del marco geocentrico nacional de referencia Magna-Sirgas como datum oficial de Colombia. Bogota D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Inter-Agency Standing Committee IASC. (2019). Inform global risk results 2018. Inter-Agency Standing Committee IASC. Obtenido de <http://www.inform-index.org/Subnational/Colombia#maps>
- La Red. (1993). Los desastres no son naturales. Bogotá: LA RED, Red de estudios sociales en prevención de desastres en América latina.
- Li, Z., Nadim, F., Huang, H., Uzielli, M., & Lacasse, S. (2010). Quantitative vulnerability estimation for scenario-based landslide hazards. *Landslides*, 7(2), 125-134.
- Maguire, D., (1991). An overview and definition of GIS. *Geographical information systems*, 9-20.
- Milanés Batista, C., Galbán Rodríguez, L., & Olaya Coronado, N. J. (2017). Amenazas, riesgos y desastres visión teórica-metodológica y experiencias relaes. Barranquilla: Corporación Universidad de la Costa, EDUCOSTA.
- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2014). Decreto Número1807 de 2014. Decreto. Colombia.
- Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano - OSSO. (2018). Informe Técnico de Historicidad de Eventos por Inundación y Movimientos en Masa en la Zona Urbana del Municipio de Roldanillo . Cali, Colombia.
- Olaya, V., (2014). Sistemas de información geográfica. Obtenido de [http://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Introduccion\\_fundamentos.html](http://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Introduccion_fundamentos.html)
- Rodriguez de la Torre, F. (1993). Lecturas sistemáticas de prensa periódica. Hacia una revisión de la sismicidad europea durante los siglos XVII y XVIII. *Historical investigation of European earthquakes*. Obtenido de [https://emidius.mi.ingv.it/RHISE/i\\_18del/i\\_18del.html](https://emidius.mi.ingv.it/RHISE/i_18del/i_18del.html)
- Rodríguez de la Torre, F. (1993). Lecturas sistemáticas de prensa periódica. Hacia una revisión de la sismicidad europea durante los siglos XVII y XVIII. Madrid.
- Salgado Montoya, R. A. (2005). Análisis integral del riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del Río Gila en Copán, Honduras. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Secretaria de Planeación Departamental Gobernación del Valle del Cauca. (2011). La gestión del riesgo en el ordenamiento territorial. Cali.
- Servicio Geológico Colombiano. (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogota, D.C.
- Silverman, B. W. (1986). *Density Estimation for Statistical and Data Analysis*. Bath.
- The world bank group. (2018). Colombia dashboard Natural hazards. Washington DC. Obtenido de [http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/countryprofile/home.cfm?page=country\\_profile&CCode=COL&ThisTab=NaturalHazards](http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/countryprofile/home.cfm?page=country_profile&CCode=COL&ThisTab=NaturalHazards)
- Vega Gutierrez, J. A. (2013). Estimación del riesgo por deslizamientos de laderas generados poreventos sismicos en la ciudad de Medellin usando herramientas de la geomática - Caso aplicado a edificaciones urbanas -. Tesis de Maestría. La plata, Argentina.
- Westen, C.J.. (2018). Análisis Estadístico de Riesgo de Deslizamiento.
- Zapata Balanqué, J. A. (2007). Empleo de herramientas de la geomática en la microzonificación sísmica de ciudades. Ejemplos de caso: Santiago de Cuba y Guantánamo como propuesta ed gestión del desarrollo. Obtenido de Biblioteca virtual en salud Honduras: <http://www.bvs.hn/cu-2007/ponencias/GEO/GEO-014.pdf>