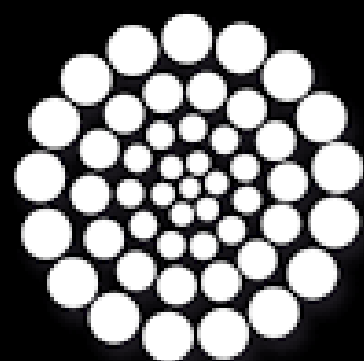




Análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundación: estudio de caso Santiago de Cali, Colombia

Dra. María Eugenia Sevillano Rodríguez



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

UACJ

DEU
DOCTORADO EN
ESTUDIOS
URBANOS

Introducción

Colombia



Los fenómenos hidrometeorológicos se configuran como uno de los peligros que más se presentan (UNGRD, 2018).

En Colombia la desigualdad se expresa en muchas condiciones que posibilitan la localización de asentamientos en valles inundables.

En tanto, es necesario gestionar el riesgo y reducirlo con el apoyo de instrumentos de ordenamiento territorial que propongan mejorar las condiciones de población y fortalecer estructuras físicas para evitar el peligro.

Estudiar ciudades en un contexto de amenaza y vulnerabilidad. **Cali**

Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial

Constitución Política de Colombia



Tratados Internacionales

Sendai 2015.
Agenda 2015.
Nueva Agenda Urbana 2017.



Políticas públicas

Ley 388 de 1997; Ley 1454 de 2011

Ley 1523 de 2012

Sistema Nacional de
Gestión de Riesgo.
**Plan Nacional de
Gestión de Riesgo.**

Instrumentos de planeamiento

PGAR, PAT, POMCA, Planes de Desarrollo, POT/PBOT/EOT, Planes de Gestión del Riesgo, EMRE.



POT (POT, PBOT, EOT)

Decisiones sobre el
territorio



Proceso de la gestión de riesgo

Procesos y subprocesos

1. Conocimiento de riesgo.

2. Reducción de riesgo.

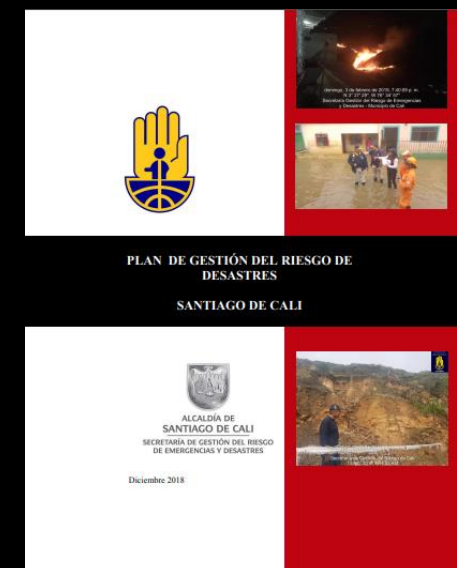
3. Manejo del desastre.

Alcalde

CMGRD

Comités
municipales por
proceso o
escenario de
riesgo.

Instrumentos municipales



El posicionamiento teórico de este trabajo

Conceptos operacionales

El desarrollo de este trabajo supone **una visión tanto física y social del fenómeno a estudiar**, por lo tanto, se seguirá un **método propio formulado a partir de cuatro** modelos que conciben ambas interpretaciones.

La gestión oportuna desde Planes de Ordenamiento Territorial y de Riesgo puede reducir las afectaciones por inundaciones. El territorio se convierte en una condición integradora de las manifestaciones físicas y sociales dadas en un tiempo y un espacio particular.

Amenaza. Valorada a partir de la probabilidad de inundación de la ciudad.

Vulnerabilidad. Estimada desde indicadores extremos de desigualdad social y accesibilidad.

Riesgo. Evaluada desde la combinación de las zonificaciones de amenaza y vulnerabilidad.

Elementos expuestos. Correspondiente a todos los elementos que se encuentren expuestos en condiciones de peligro, vulnerabilidad o riesgo.



El territorio que nos interesa estudiar corresponde a una de las ciudades más importantes de Colombia.

Santiago de Cali.

Objetivo

“Identificar las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a inundación en Santiago de Cali Colombia y su gestión dentro de los instrumentos de ordenamiento territorial que orientan el crecimiento urbano de la ciudad”



Área de estudio

Tiene una población municipal de 2 227 642 habitantes, de los cuales 2 172 527 residen en el área urbana (república de Colombia - DANE, 2018).

Geología y geomorfología

Montañosa – Valle aluvial.

Sistema hídrico

Cauca, Aguacatal, Lili, Cañaveralejo, Meléndez, Pancé, Cali
48 humedales. Pondaje y Charco Azul.

Aguas

Subterráneas
535 hasta el 2010

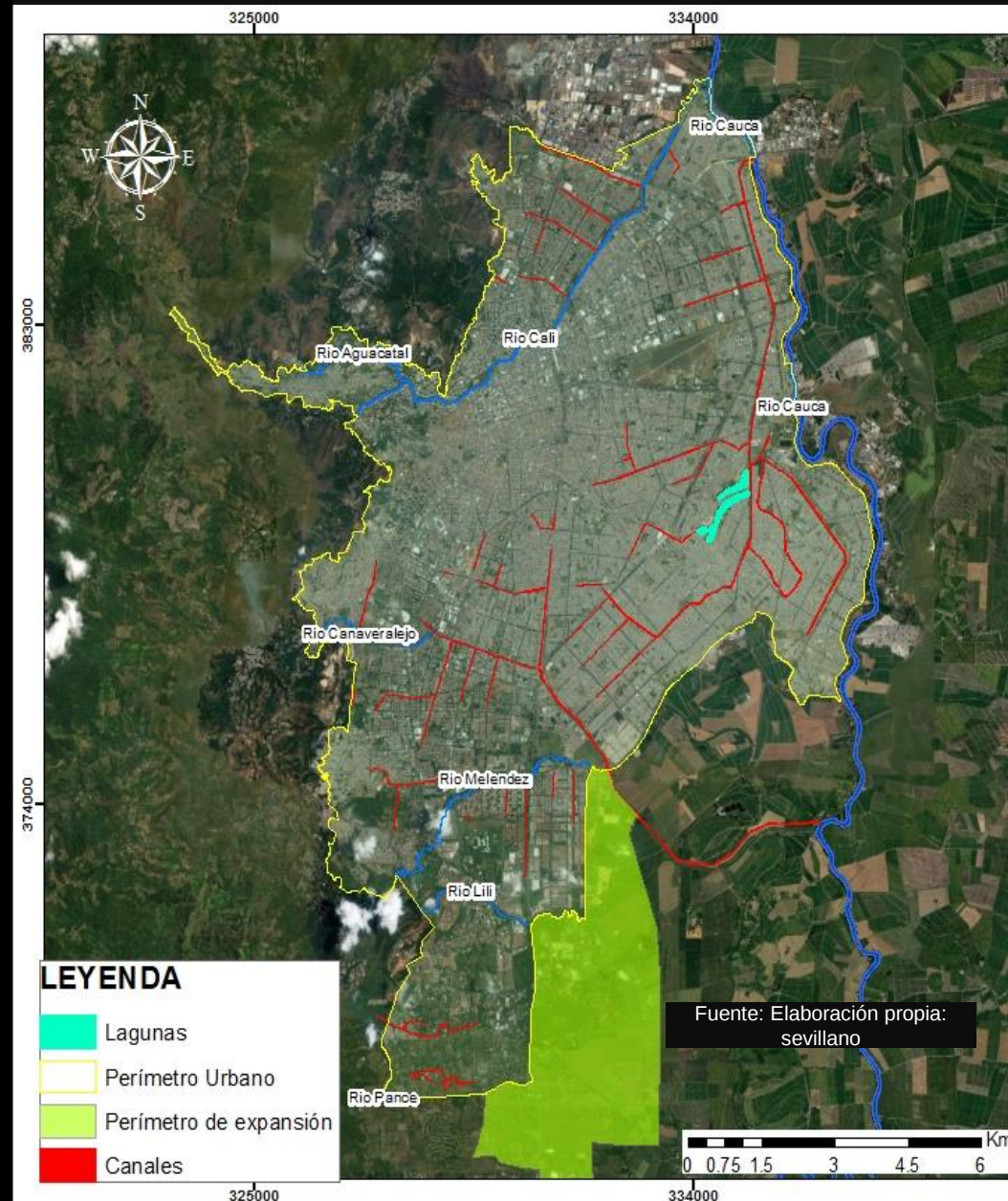
Régimen climático

1200 mm/año (zona urbana)

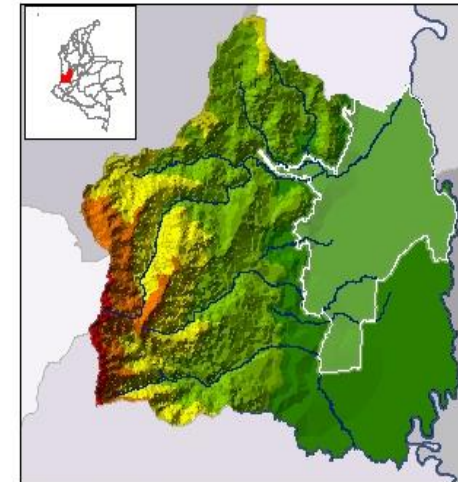
24° C Temperatura media anual.

Meses lluvia

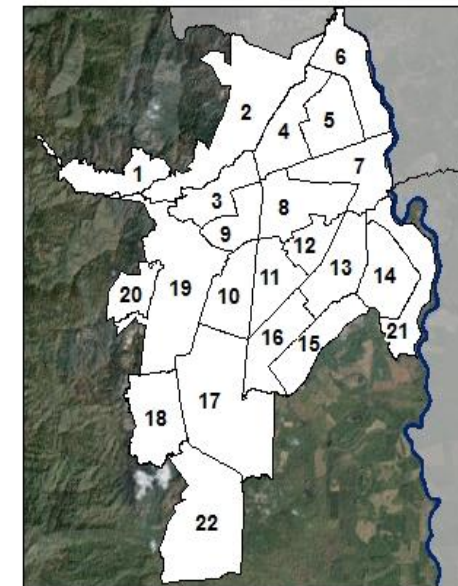
marzo – mayo
octubre – noviembre



CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI EN COLOMBIA Y EN LA ZONA MUNICIPAL



COMUNAS EN SANTIAGO DE CALI



Santiago de Cali en Colombia



Santiago de Cali en el Departamento del Valle del Cauca



Uso de Suelo: Urbano: 22 Comunas
Rural: 15 Corregimientos
Suelo de Expansión

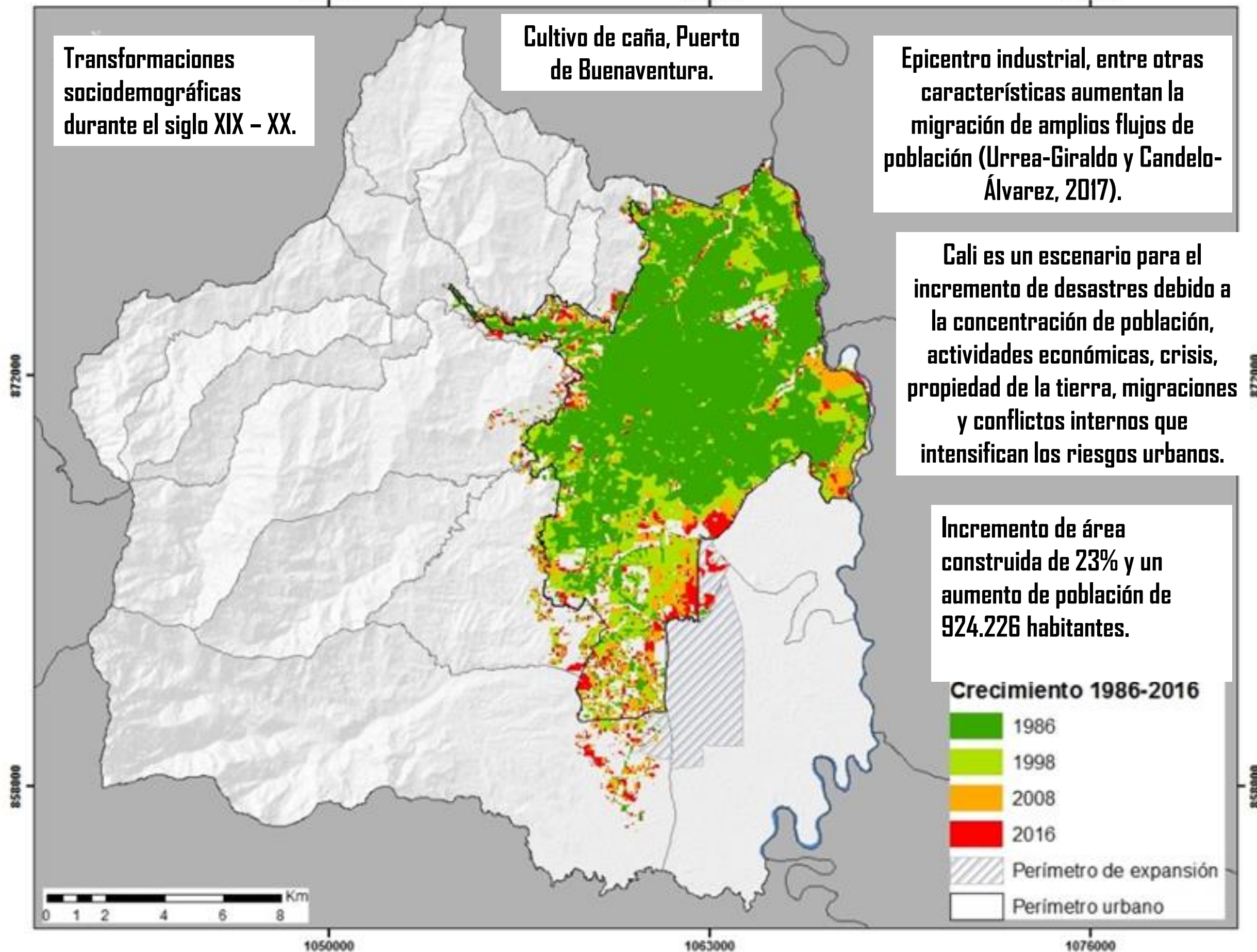
Transformaciones
sociodemográficas
durante el siglo XIX – XX.

Cultivo de caña, Puerto
de Buenaventura.

Epicentro industrial, entre otras
características aumentan la
migración de amplios flujos de
población (Urrea-Giraldo y Candeló-
Álvarez, 2017).

Cali es un escenario para el
incremento de desastres debido a
la concentración de población,
actividades económicas, crisis,
propiedad de la tierra, migraciones
y conflictos internos que
intensifican los riesgos urbanos.

Incremento de área
construida de 23% y un
aumento de población de
924.226 habitantes.

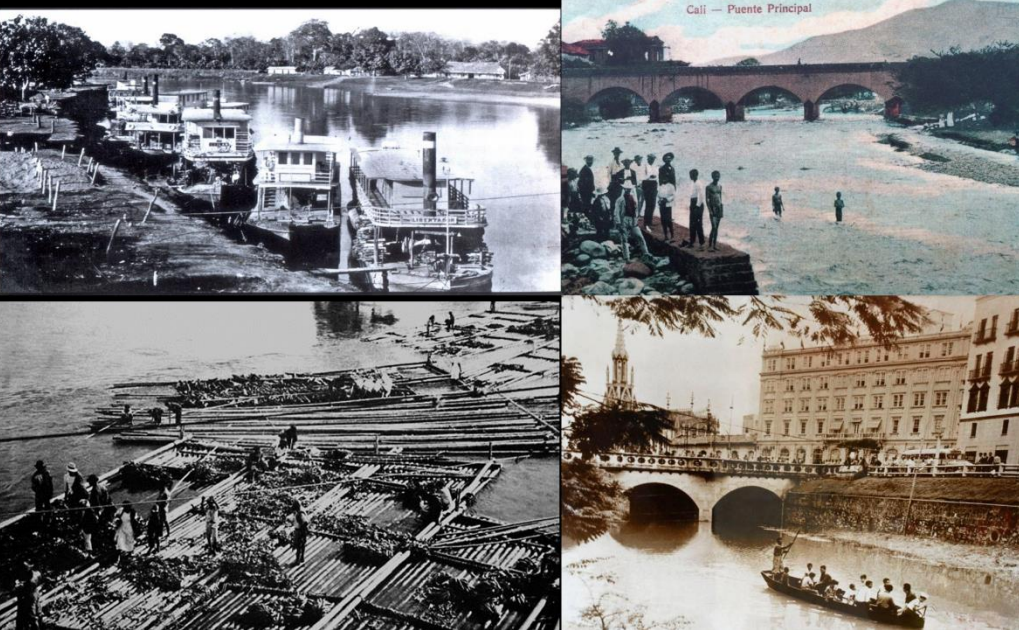


Crecimiento urbano y los ríos articuladores de muchas dinámicas

Crecimiento urbano, riesgos de desastres

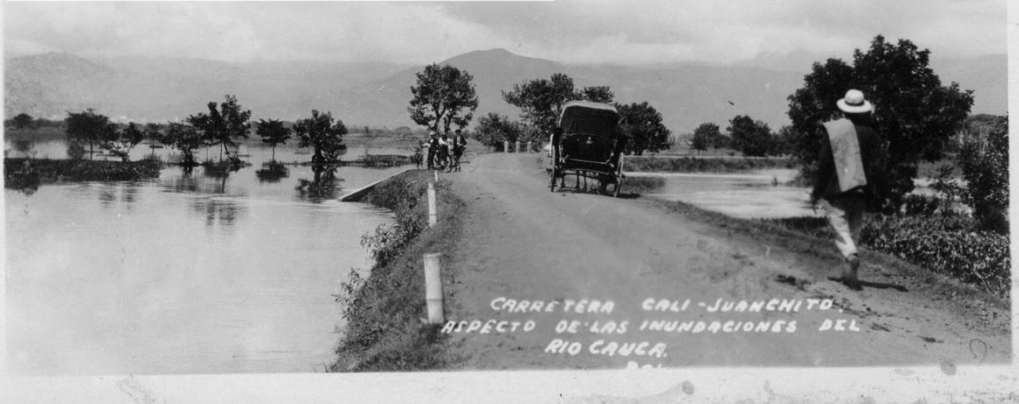
En los años 1960 se construyó el **sistema de diques, canales y estaciones de bombeo**, originalmente planteado para mitigar las inundaciones causadas por los desbordamientos del río Cauca (Jiménez, 2005). Estas obras para el control de inundaciones fueron **aprovechadas para la instalación de asentamientos informales y formales cerca de ríos y canales.**

Ausencia de acueducto en el barrio El Guabal y dotación en 1964. Las instalaciones consistían en pilas con grifos para recoger agua, lavaderos comunales construidos bajo techo de eternit, baños y sanitarios.



Los ríos de Cali. elementos de desarrollo comercial, social, laboral y habitacional antes y después

Camino a Puerto Mallarino, podemos observar las inundaciones del río Cauca a ambos lados del camino, por el cual transitaban tanto camiones como peatones que se dirigían al puerto. Santiago de Cali, 1935. Año:1935 Código: 0100005. Fuente : Registro fotográfico histórico de Cali



Fuente: Archivo de Cali, s.f



Alcaldía municipal, tomado de Jiménez, 2005, p.135

Problema caso de estudio

Cali ha crecido hacia las zonas de ladera y hacia las zonas inundables donde se ubica la población más pobre (Jiménez, 2005).

Las situaciones más graves se han presentado por el crecimiento desordenado del distrito de Agua Blanca, al oriente (Alcaldía Municipal, 2014).

Cali presenta dos modalidades de inundación; inundación fluvial por desbordamientos de ríos, pluvial por la insuficiencia de la red de drenaje y colectores (Santiago de Cali, 2014).

1293 inundaciones de 1950-2012, 38.893 personas afectadas, 28 muertes y 7728 viviendas dañadas (DESINVENTAR, 2018).

Crecimiento urbano al occidente y oriente de Cali



Fuente: Trabajo de campo (2018).

Cali al igual que otras ciudades en América Latina presenta un divorcio marcado entre el ordenamiento territorial y la gestión del riesgo de desastres, entendiendo que los estudios y consideraciones de orden político no expresan en realidad la reducción de vulnerabilidad. Siendo uno de los objetivos principales de la planificación urbana entorno a este fenómeno.



Inundación Cali,
Colombia
17 de Mayo de 2017



EN VIVO CALI

SOBREVUELO DE ZONAS AFECTADAS



#NoticiasCaracol



Fuente río Cauca: Colprensa



Desbordamiento del río Cali a la margen del zoológico



CORTESÍA EMCALI - NORORIENTE DE CALI

INUNDACIONES POR DESBORDAMIENTO DEL RÍO CAUCA



Identificando Amenaza, vulnerabilidad y riesgo a inundación

Importante

Sistemas de Información Geográfica



AMENAZA

Clasificación Supervisada

El procedimiento permite segmentar zonas de interés considerando pixeles similares entre sí, según las características de color, tamaño, forma, textura y del contexto que lo rodea (Chuvieco, 2008)

Radar de Apertura Sintética - SAR - Sentinel 1

(Su instrumento principal es el radar de apertura sintética)

El radar de apertura sintética (SAR - Synthetic Aperture Radar) es un sistema de radar de iluminación lateral que emite energía en el intervalo de frecuencias de microondas. En su trayectoria recibe las reflexiones de los objetos de la superficie en estudio dando lugar a una apertura sintética, la ventaja de un satélite SAR es que puede proveer imágenes durante el día y la noche en cualquier condición meteorológica (Zozaya, 2015)

Procesamiento de imágenes
(WRS/Row 9/58)
Sistema UTM 18 Norte con Datum WGS84
Obtención de Datos: USGS

Fuente	Satélite	Resolución	fecha
Alaska satellite facility	Sentinel 1	10m	/11/2017
Alaska satellite facility	Sentinel 1	10m	/07/2017

Fuente: <https://90minutos.co/desbordamiento-rio-pance-inundaciones-barrios-cali-intensas-lluvias-15-11-2017/>

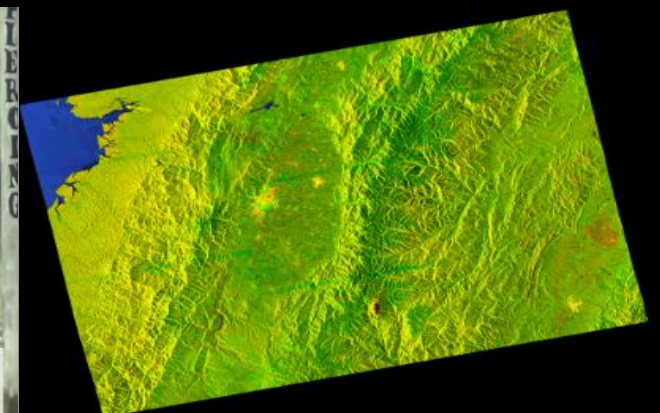
Revisión documental
Desinventar, UNGRD,
Noticias
Trabajo de campo

0000 - 1986

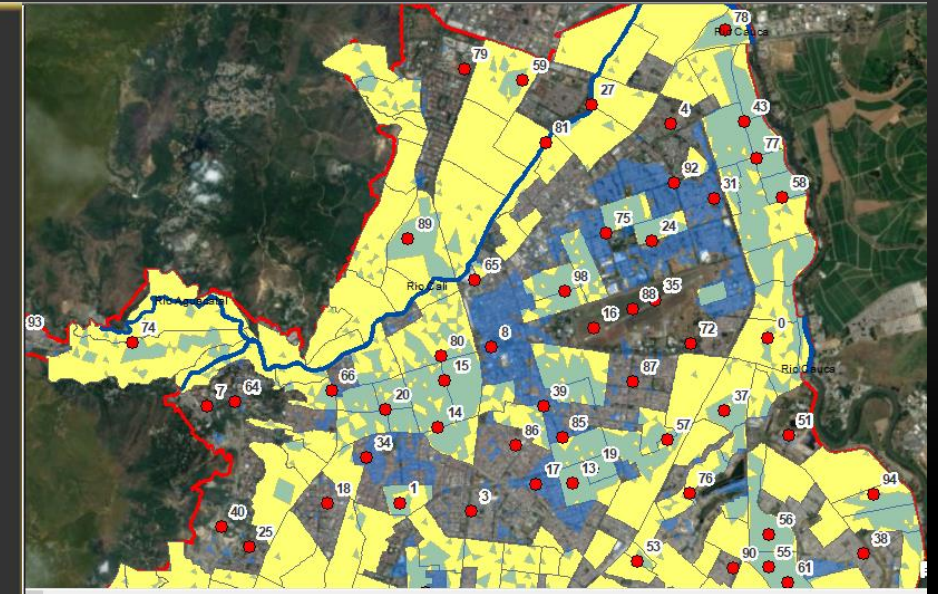
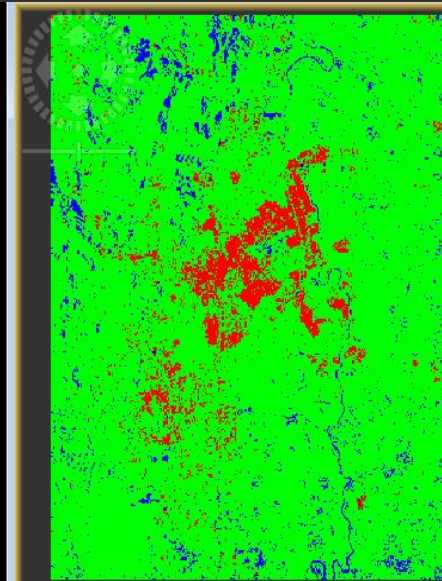
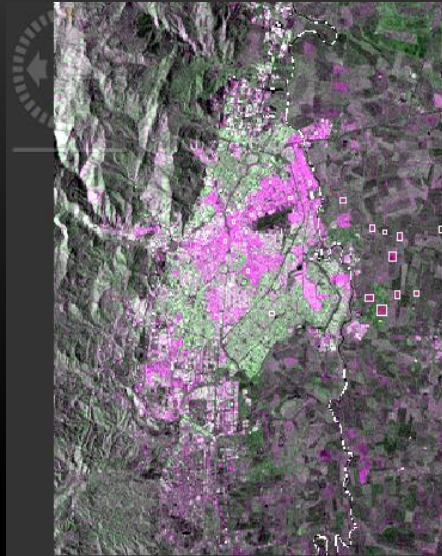
1987 - 1998

1999 - 2008

2009 - 2018



Calibración radiométrica y Geométrica



Agua perma...	Blue
áreas inund...	Red
áreas no inu...	Green

Fuente: Elaboración propia con base en distribución aleatoria

$$\text{Exactitud Global} = VP \div \text{TOTAL DE MUESTRA}$$

	Referencia				Total	Exactitud usuario	Error comisión
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n			
Clase 1	X_{11}				X_{1+}	X_{11}/X_{1+}	$1 - X_{11}/X_{1+}$
Clase 2		X_{22}			X_{2+}	X_{22}/X_{2+}	$1 - X_{22}/X_{2+}$
Clase 3			X_{33}		X_{3+}	X_{33}/X_{3+}	$1 - X_{33}/X_{3+}$
Clase n				X_{n+}	X_{n+}	X_{nn}/X_{n+}	$1 - X_{nn}/X_{n+}$
TOTAL	X_{+1}	X_{+2}	X_{+3}	X_{+n}	ΣX_{ij}		
Exactitud productor	X_{11}/X_{+1}	X_{22}/X_{+2}	X_{33}/X_{+3}	X_{nn}/X_{+n}			
Error omisión	$1 - X_{11}/X_{+1}$	$1 - X_{22}/X_{+2}$	$1 - X_{33}/X_{+3}$	$1 - X_{nn}/X_{+n}$			

Índice Kappa de Cohen

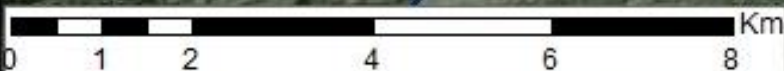
$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_{ii} - \sum_{i=1}^n X_{i+} X_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^n X_{i+} X_{+i}}$$

(Ladis & G.Koch, 1977)

Kappa (κ) Grado de acuerdo
 < 0,00 Sin acuerdo
 0,00-0,20 Insignificante
 0,21-0,40 Mediano
 0,41-0,60 Moderado
 0,61-0,80 Sustancial
 0,81-1,00 Casi perfecto



Resultados



Identificación

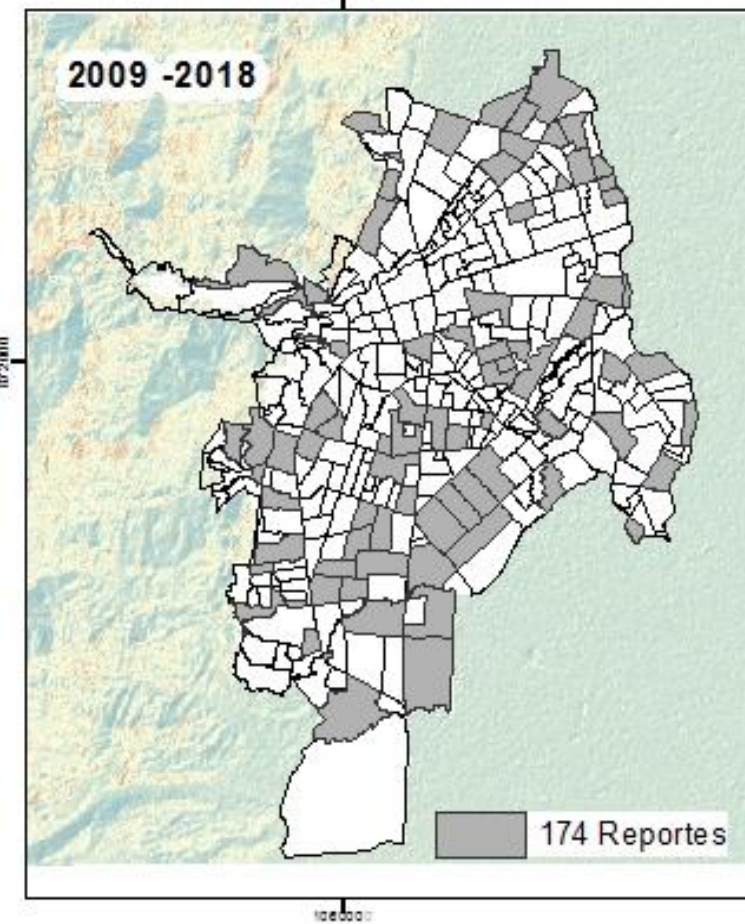
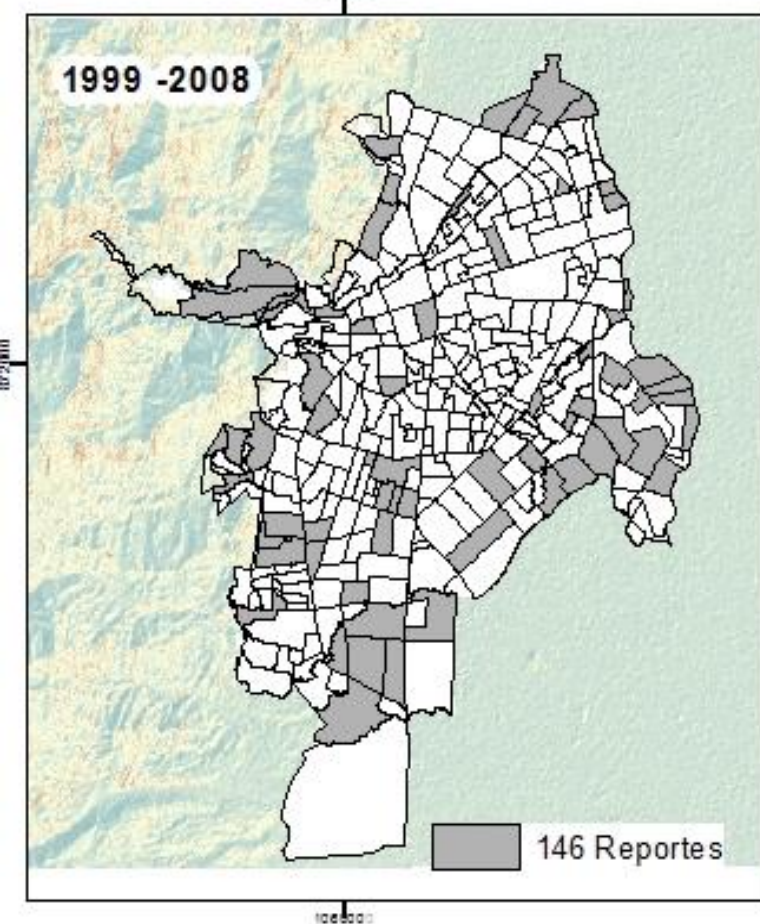
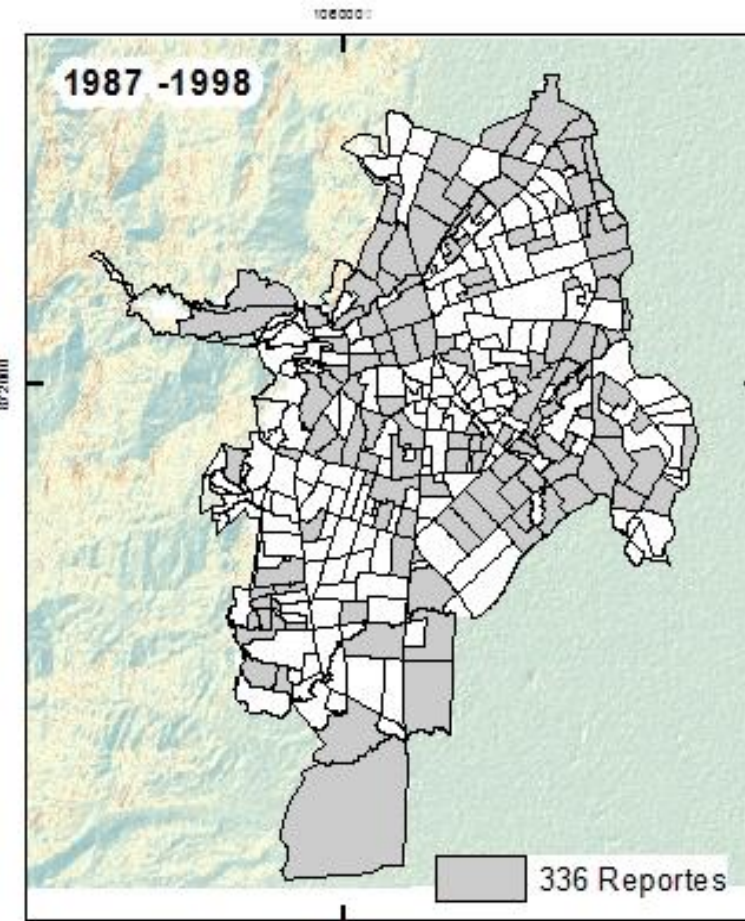
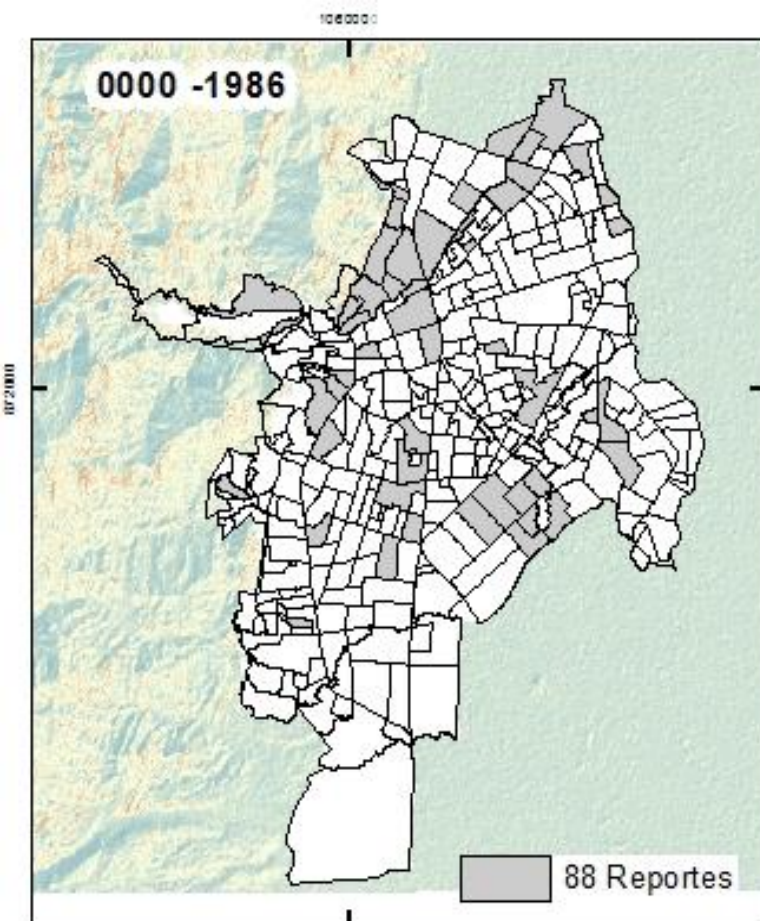
Placa de inundación
resultado de aplicación de
un método de
**Triangulación
metodológica**.

Información:
Información histórica
**Imágenes SAR
Sentinel 1**

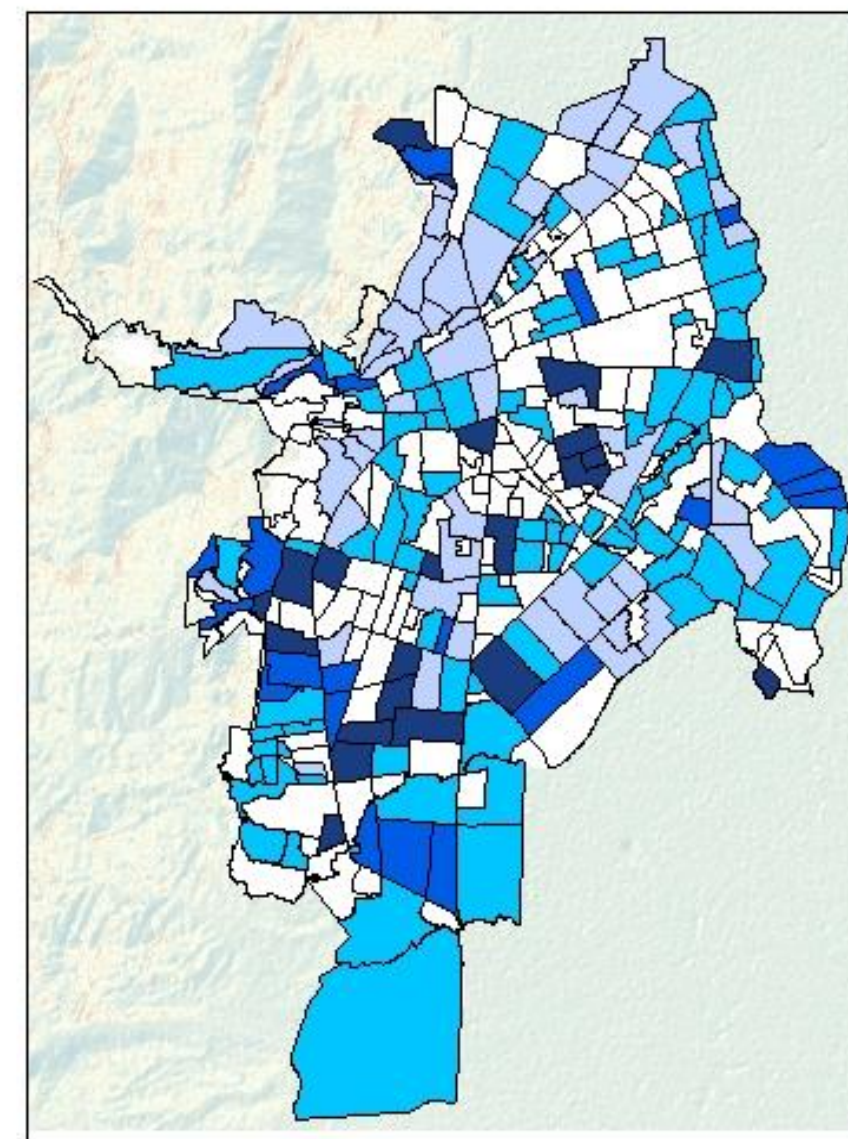
**Aplicación en Software
SNAP
ArcMap
Periodo de retorno 1.1**

LEYENDA

-  Rios
-  Canales
-  Área inundada Noviembre 2017



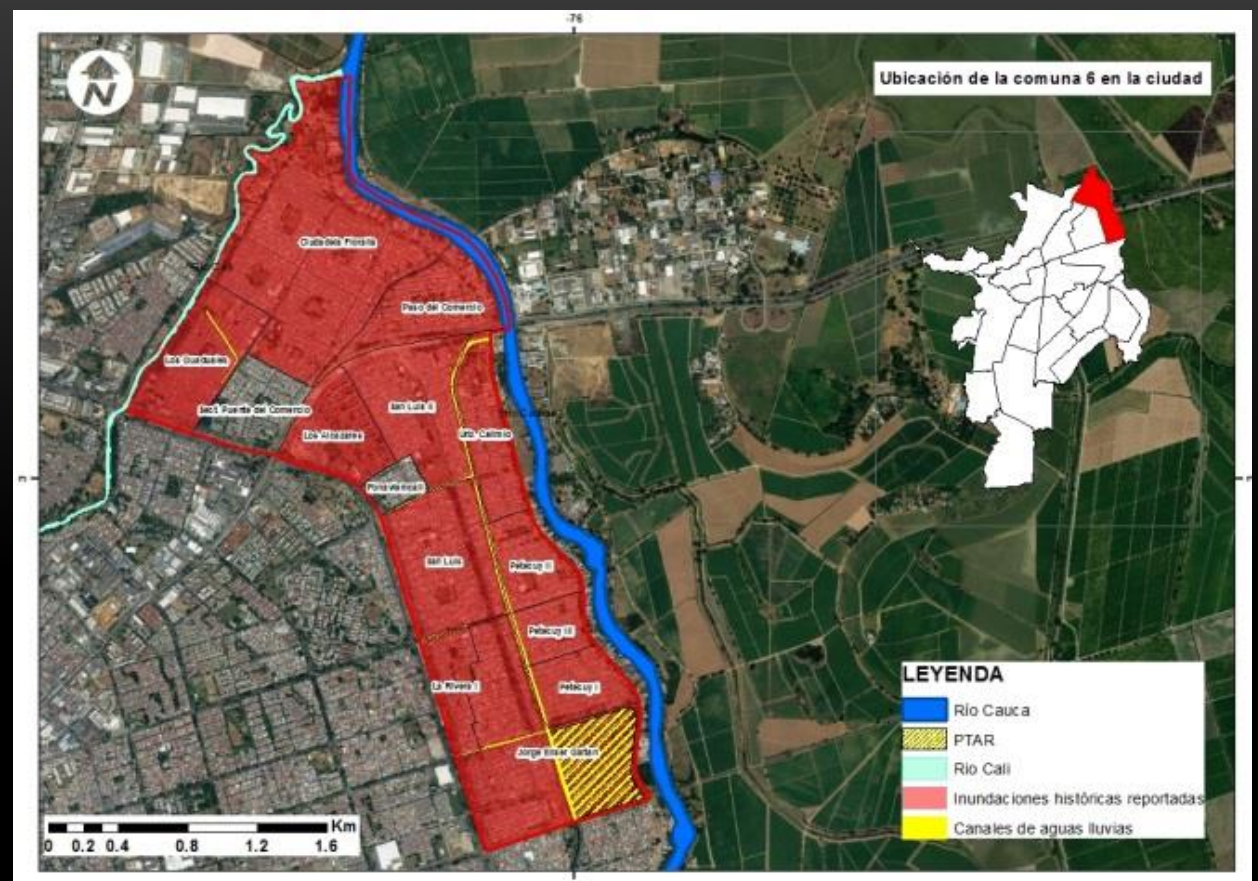
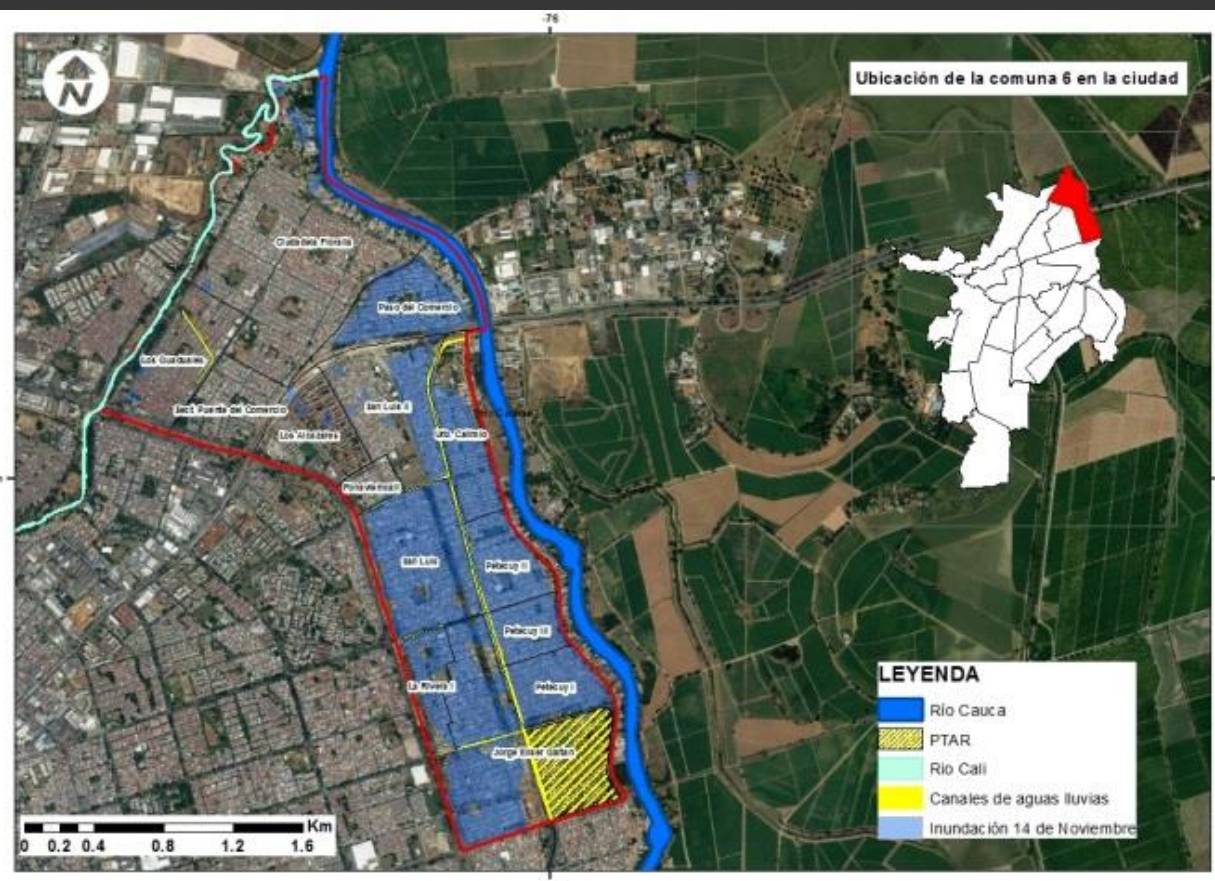
Reportes de Inundación 1986 - 2018



Reportes 1986 - 2018

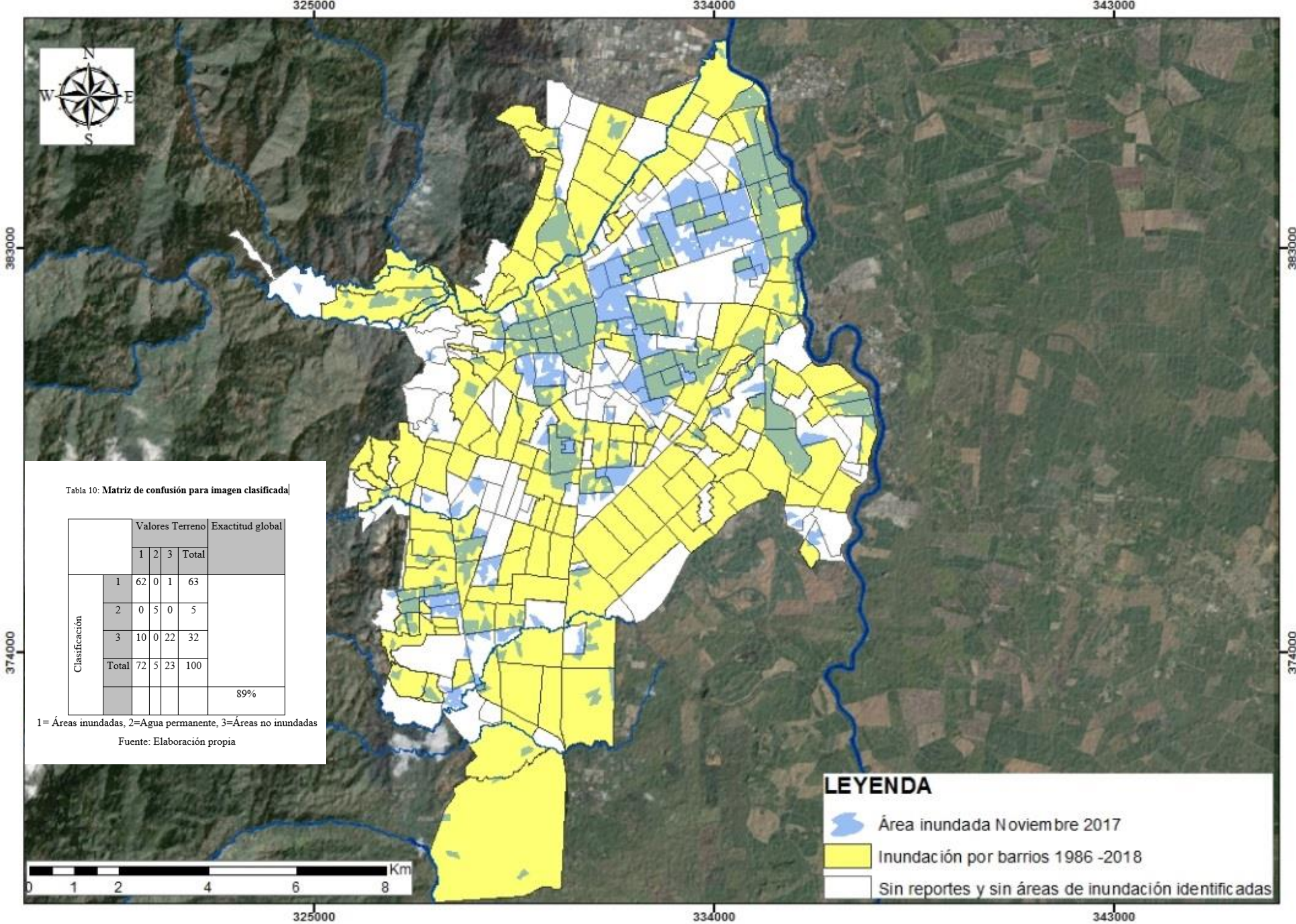


Fuente: Elaboración propia con base en reportes de DESINVENTAR, 2018; República de Colombia-UNGRD, 2018



Resultados

Fiabilidad global 89%



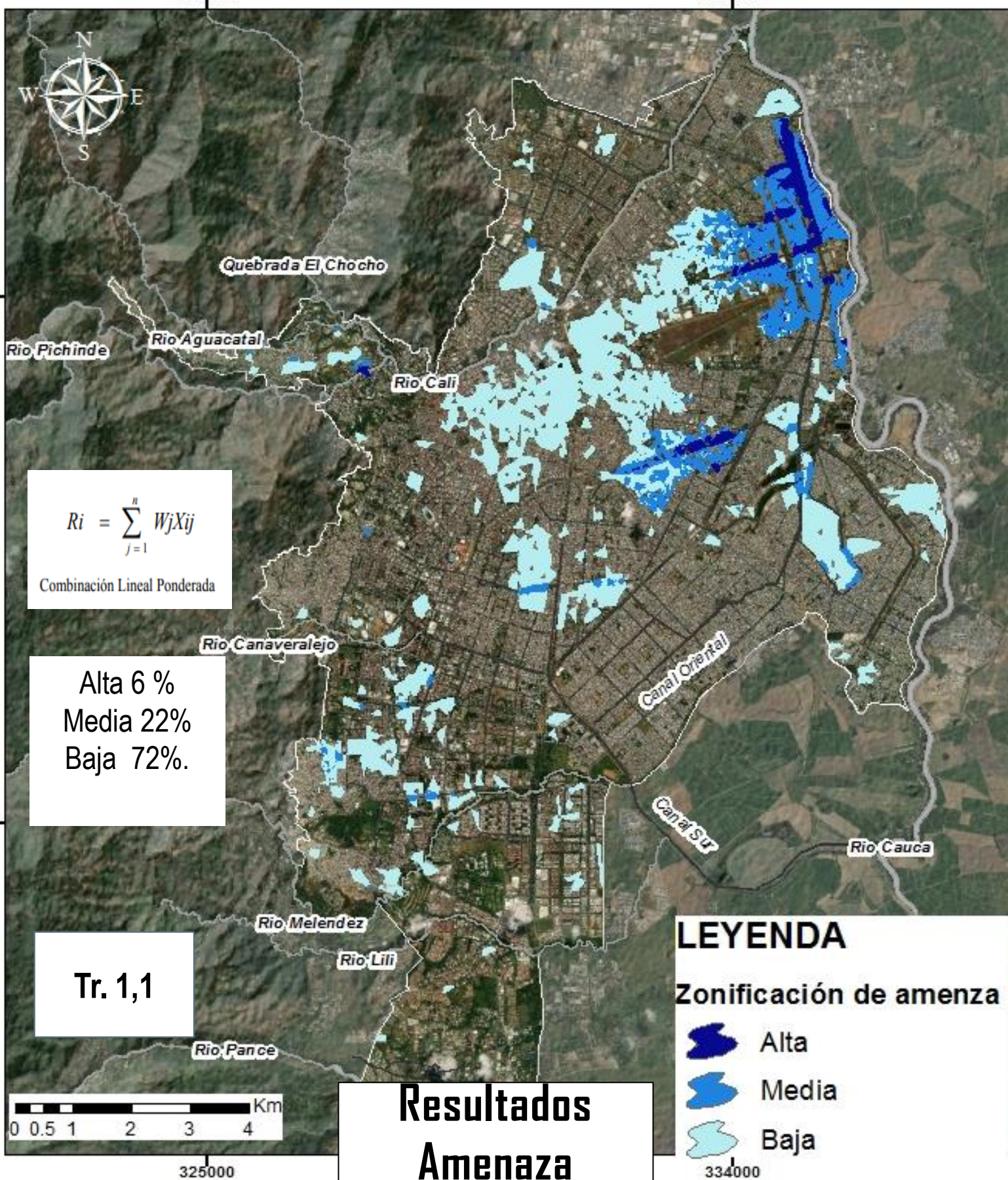
EVALUACIÓN MULTICRITERIO PARA ZONIFICAR

Clasificación de información zonificación de amenaza. todos asociados al contorno de inundación previamente identificado	Indicador	Parámetro de medida	Alto	Medio	Bajo	Autor
	Profundidad	Centímetros (altura promedio)	10,1 a Más de 30	5,1 a 10	Menos 286 a 5	Rodríguez-Gaviria, 2016
	Acumulación de flujo	Acumulación de flujo en cada celda (# de celdas que vierten a la próxima celda de abajo)	10,1 a Más de 30	5,1 a 10	0 a 5	Acosta y otros 2011
	Canales	Distancia Mts	menos de 30 a 60	60, 1 a 90	90,1 a más de 120	Normativa
	Ríos	Distancia Mts	menos de 30 a 60	60,1 a 90	90,1 a más de 120	Normativa
	Pendientes	Porcentaje	0 a 7%	7 ,1 a 14%	14,1 a mayor 70%	González Valencia, 2006
	Humedales	Distancia Mts	menos de 30 a 60	60,1 a 90	90,1 a más de 120	Normativa
	Quebradas	Distancia Mts	menos de 30 a 60	60.1 a 90	90,1 a más de 120	Normativa

	Profundidad	Acumulación de flujo	Canales	Ríos	Pendientes	Humedales	Quebrada	Total	Ponderación
Profundidad	Profundidad	Profundidad	Profundidad	Profundidad	Profundidad	Profundidad	Profundidad	7	0.30
Acumulación de flujo		Acumulación	Canales	Ríos	Acumulación	Humedales	Quebradas	2	0.09
Canales			Canales	Canales	Canales	Canales	Canales	5	0.22
Ríos				Ríos	Ríos	Ríos	Ríos	4	0.17
Pendientes					Pendientes	Humedales	Pendiente	2	0.09
Humedales						Humedales	Humedales	2	0.09
Quebradas							Quebradas	1	0.04
Total					24			23	24 1.00

325000

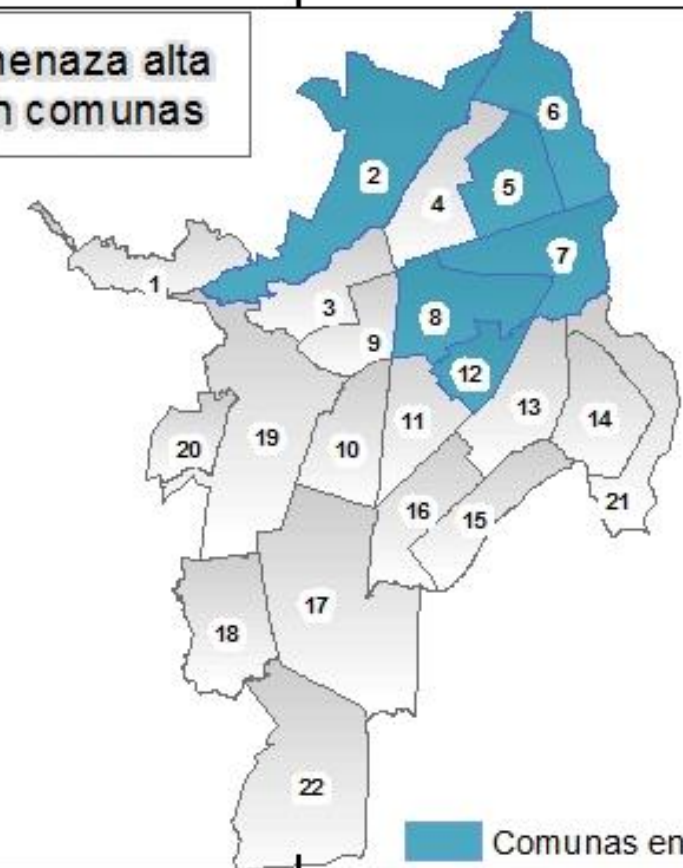
334000



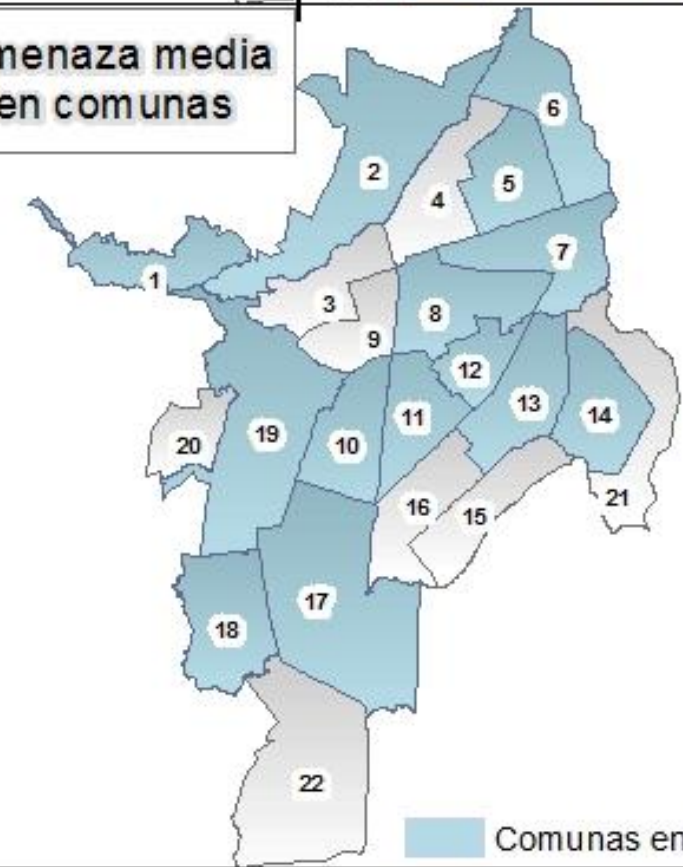
Resultados Amenaza

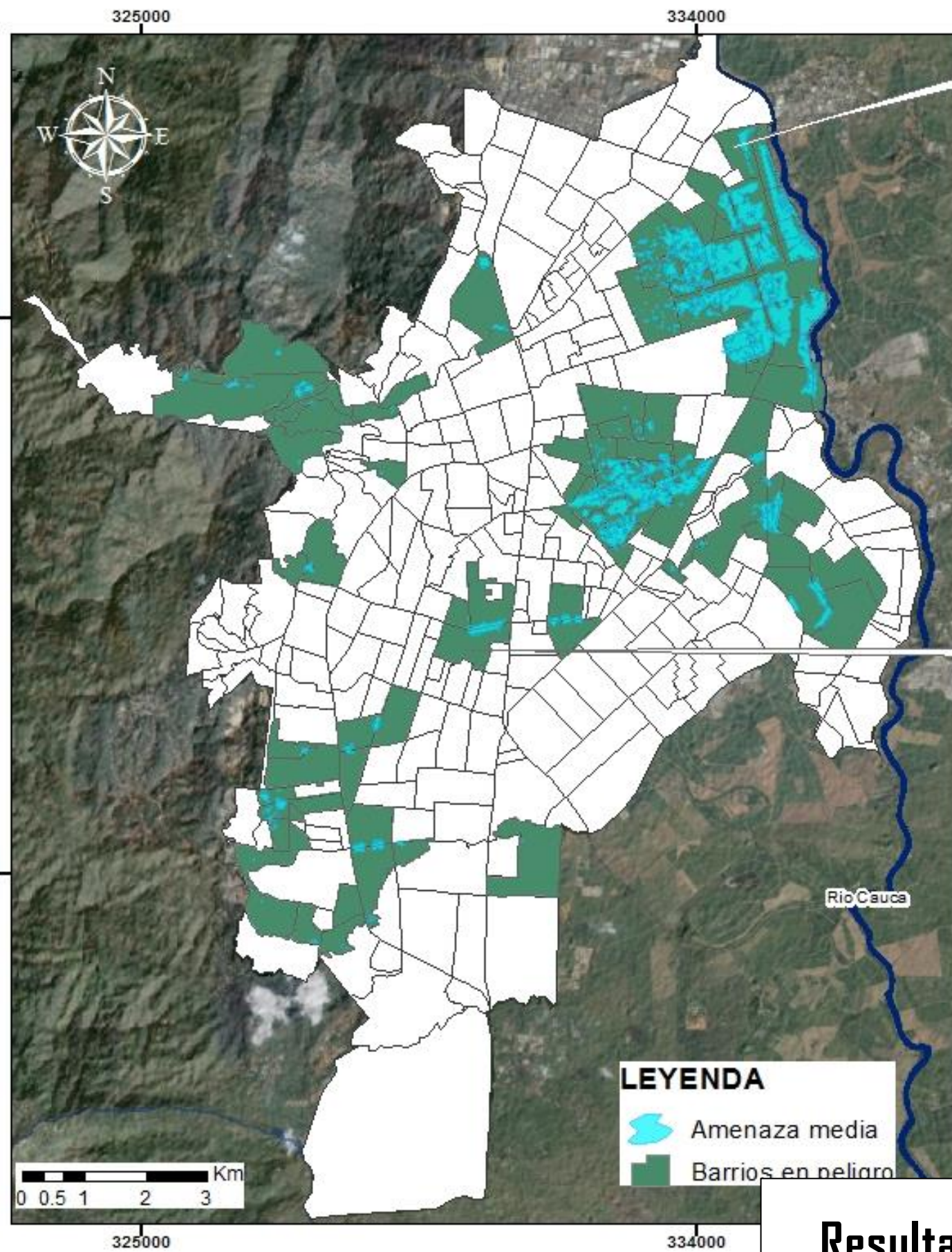
1060000

Amenaza alta
en comunas



Amenaza media
en comunas





Barrio San Luis II

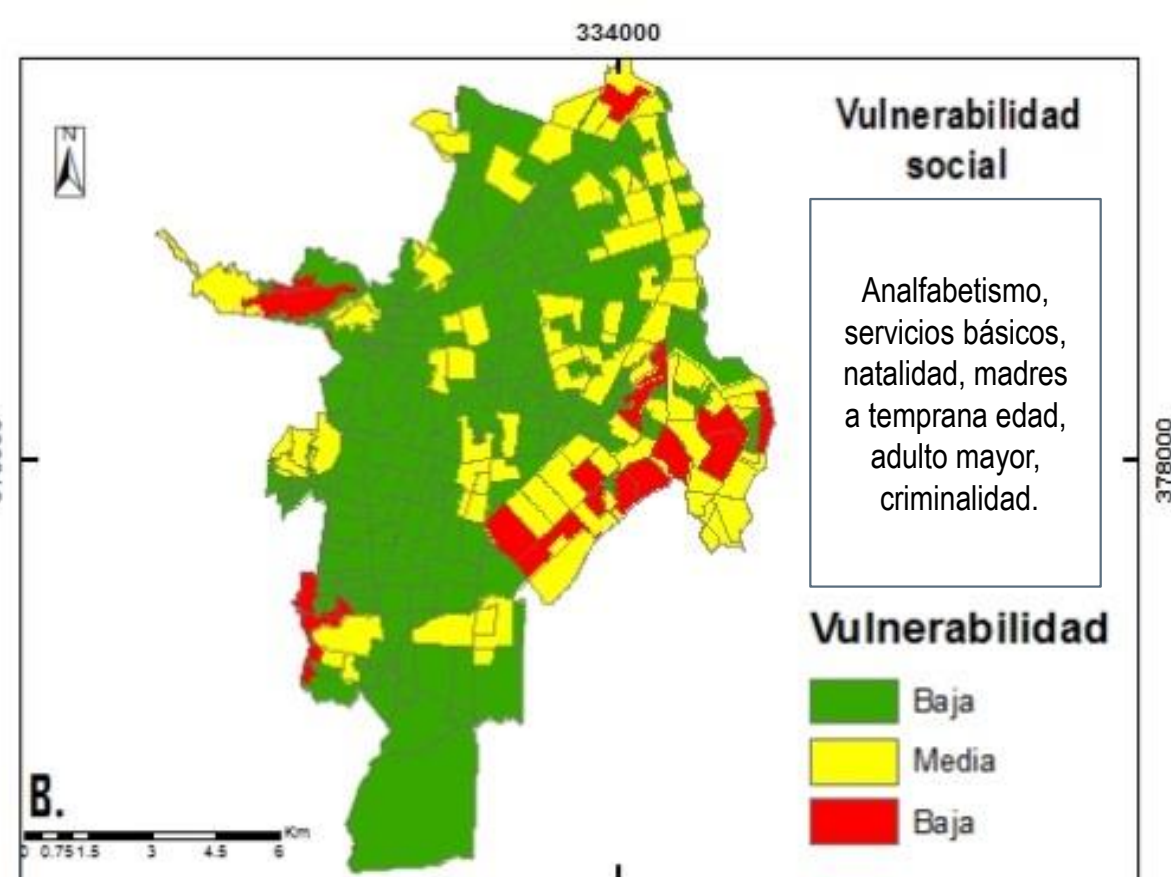
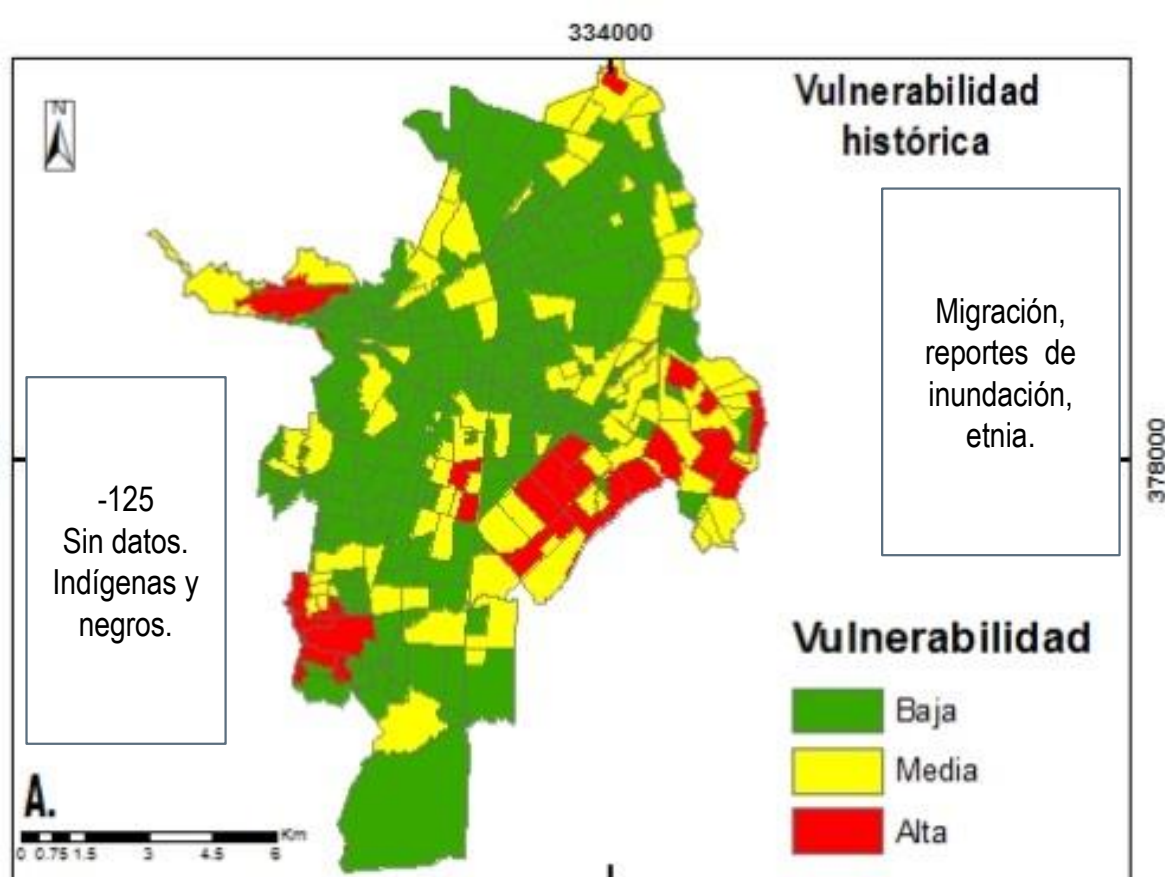


Barrio el Guabal

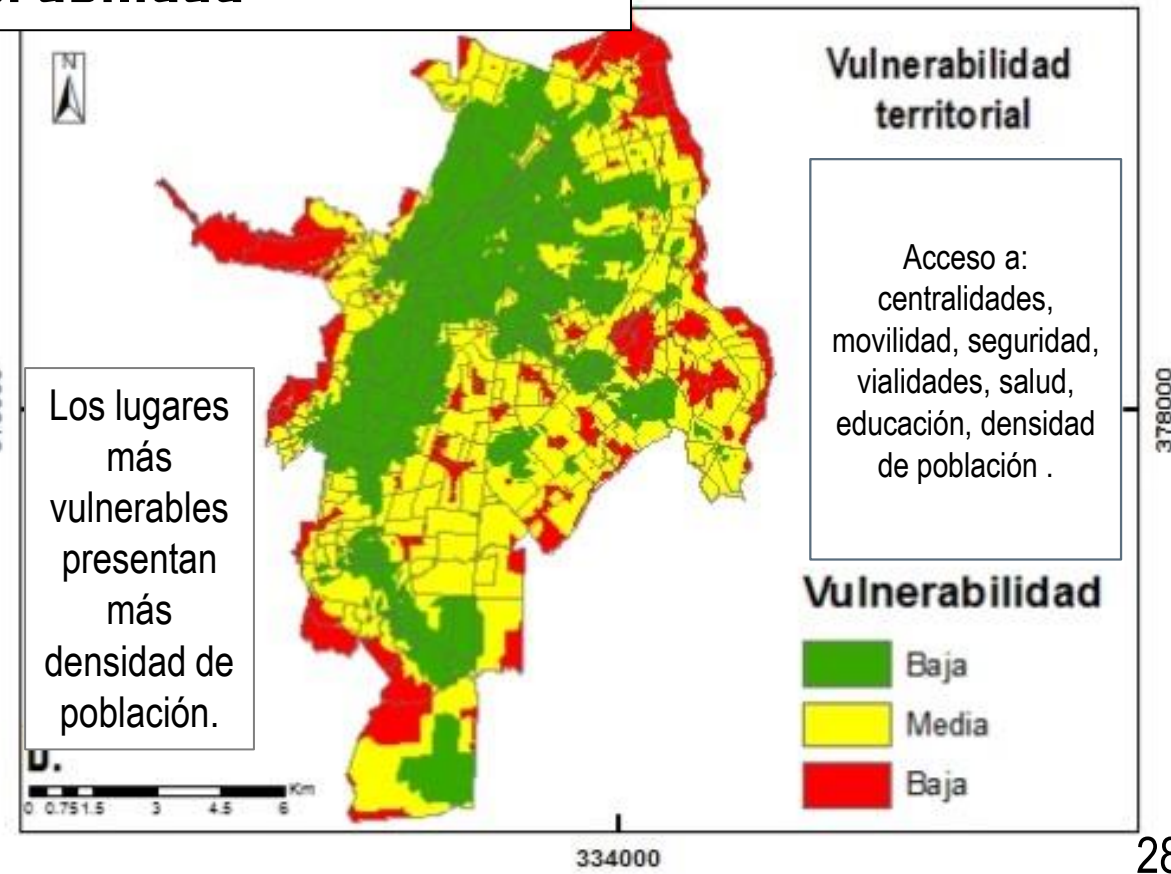
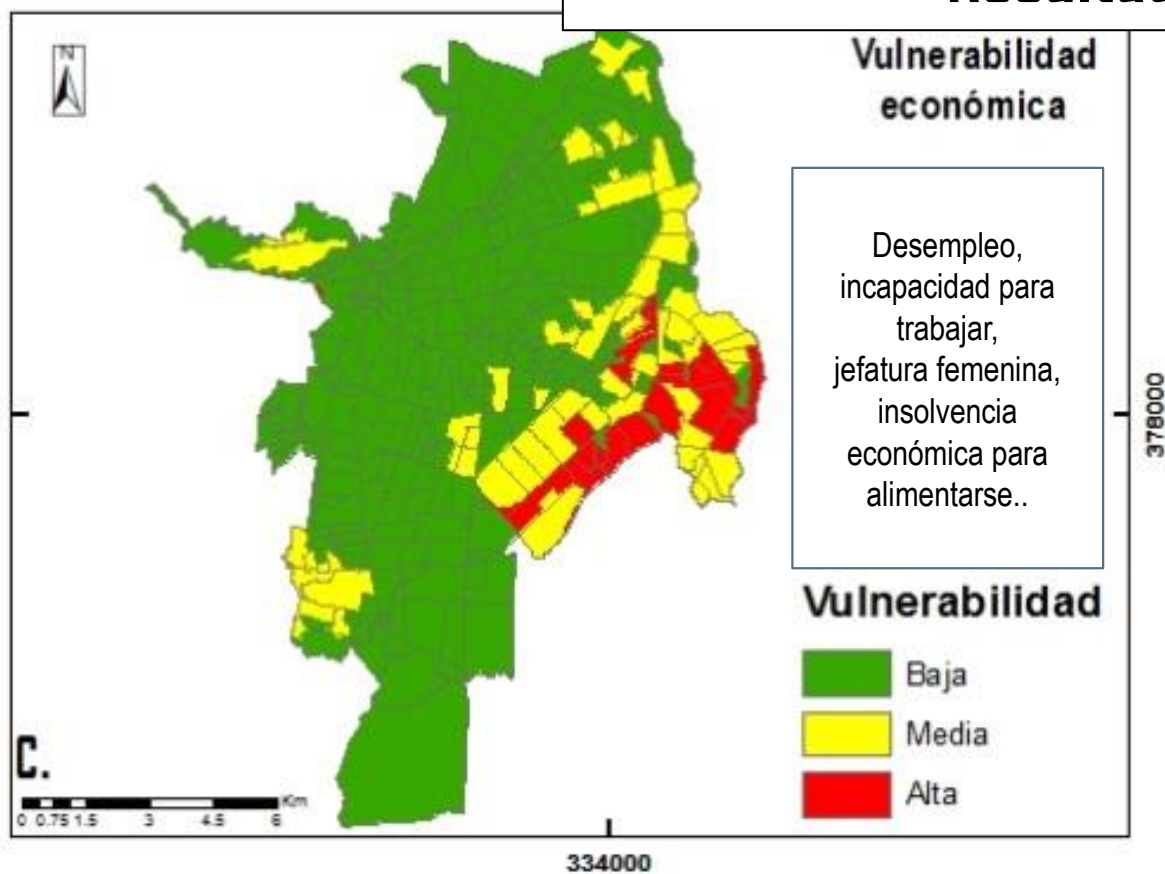


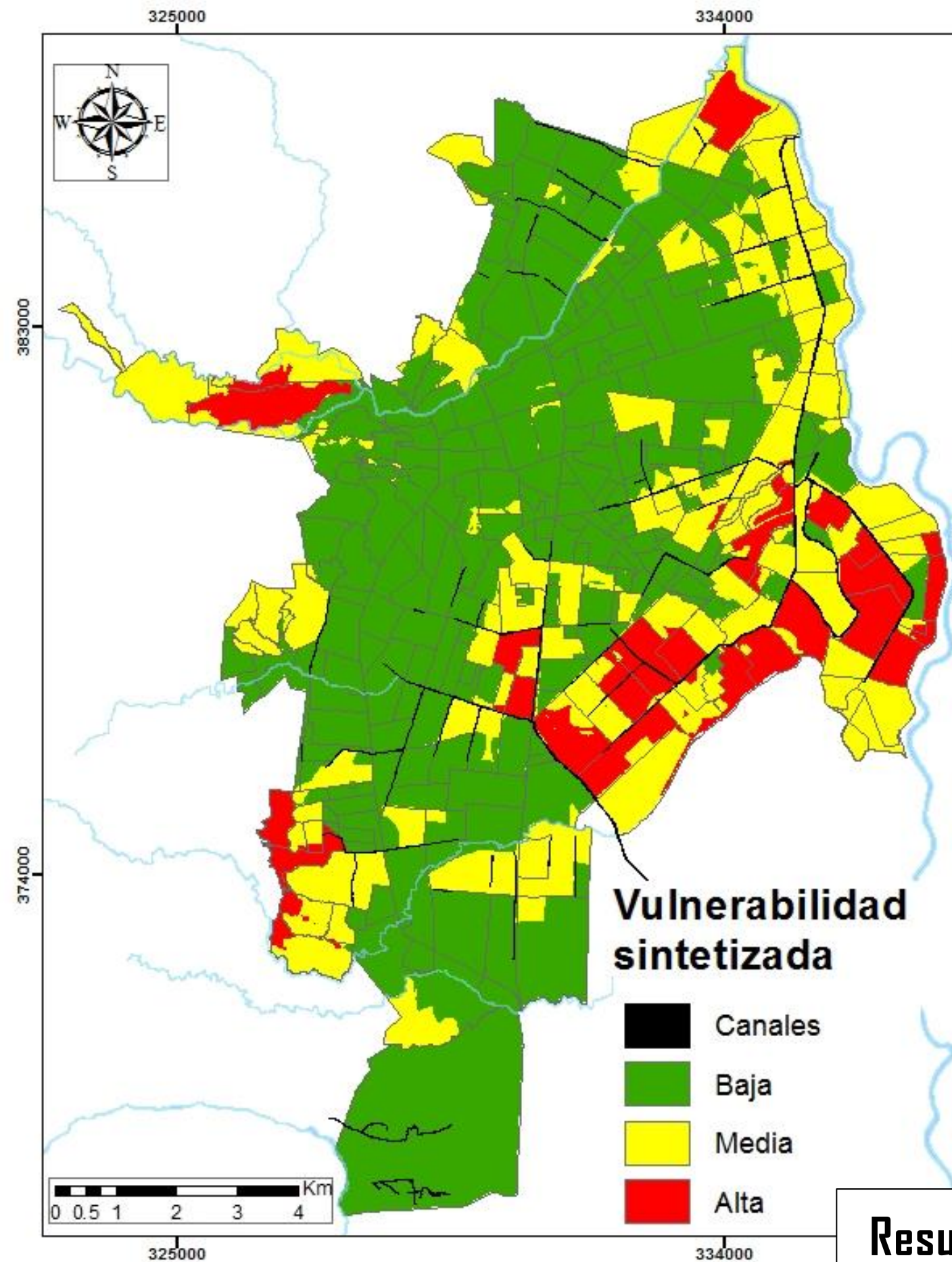
Resultados

VULNERABILIDAD

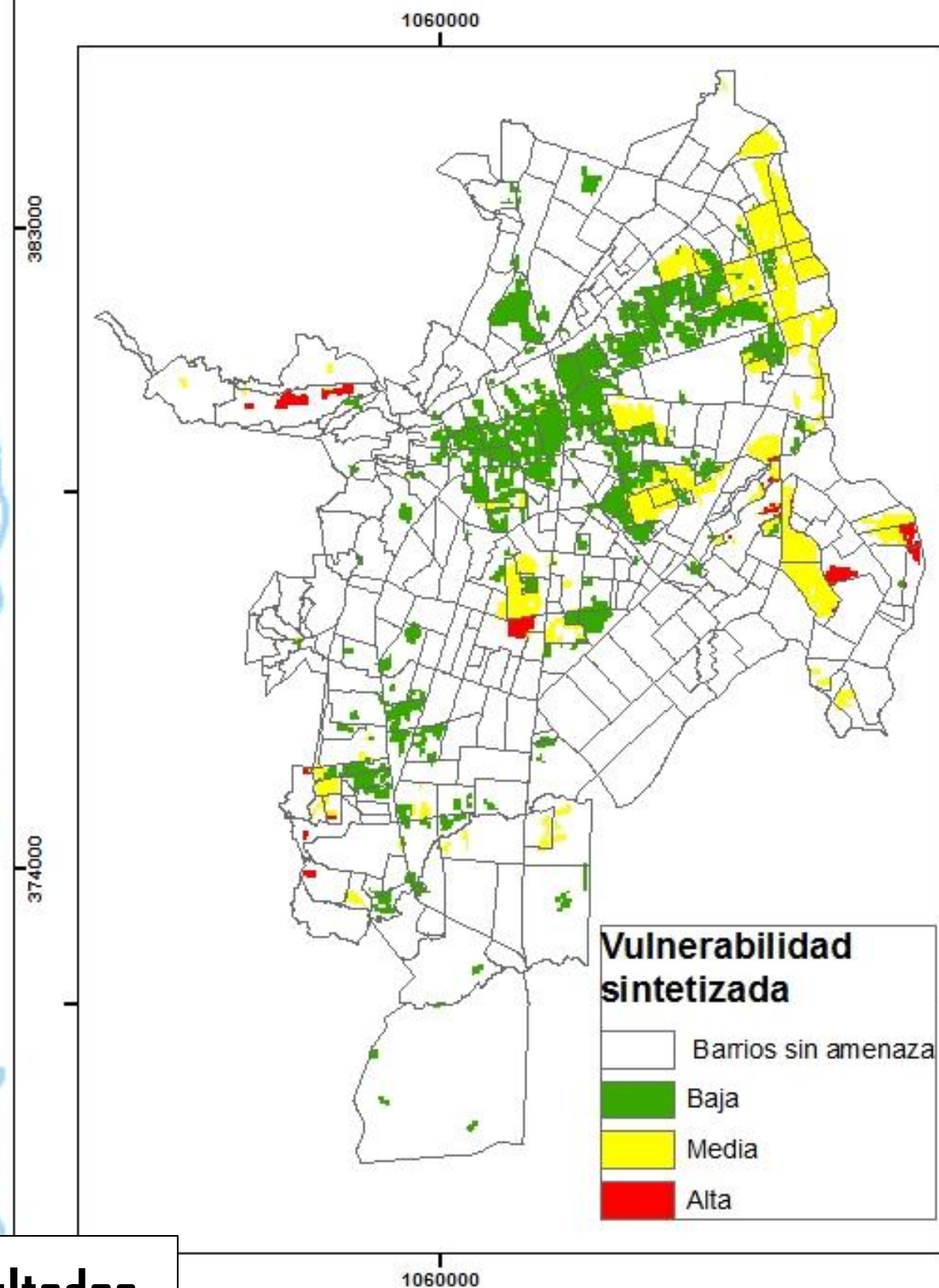


Resultados vulnerabilidad

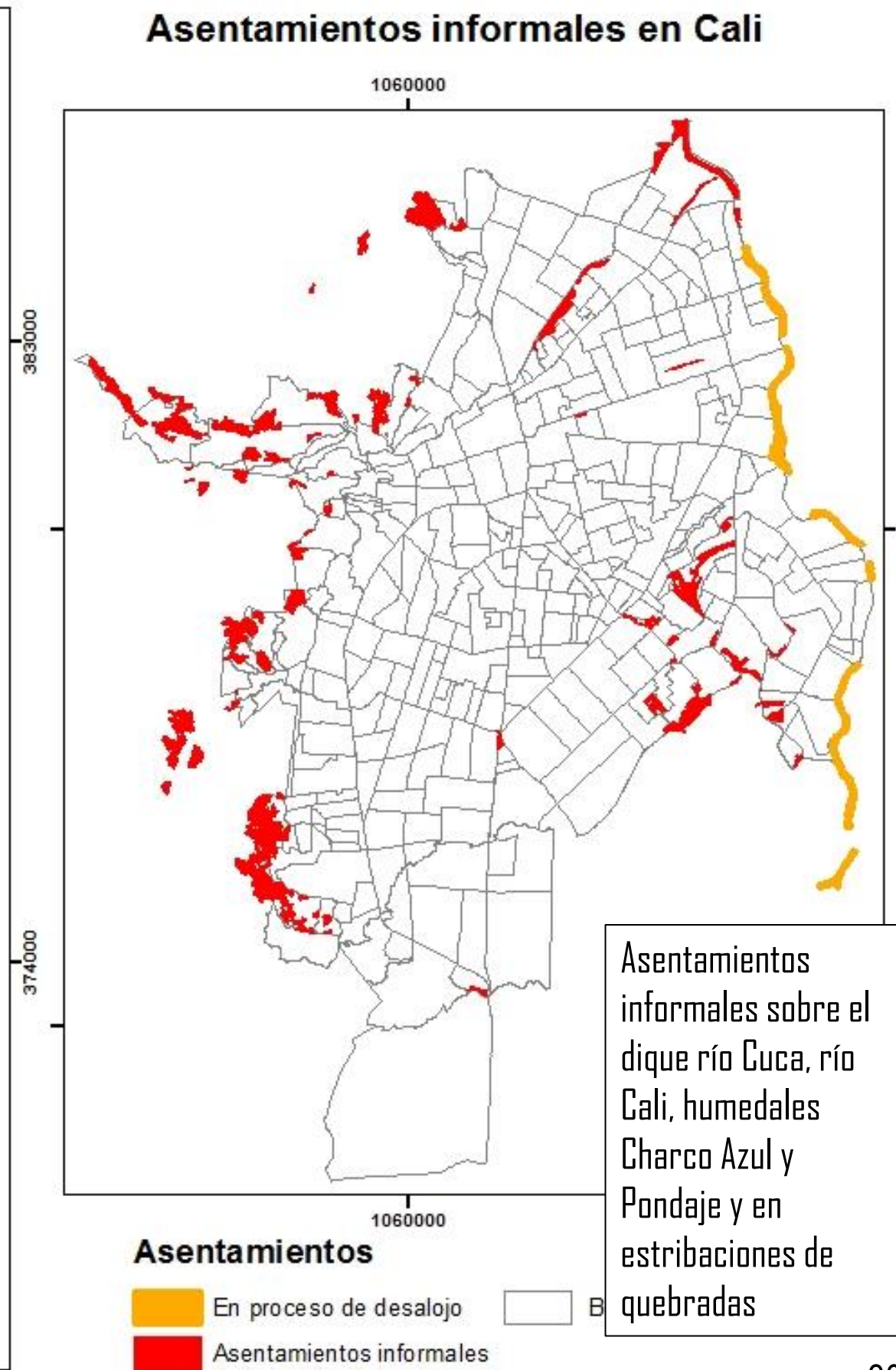
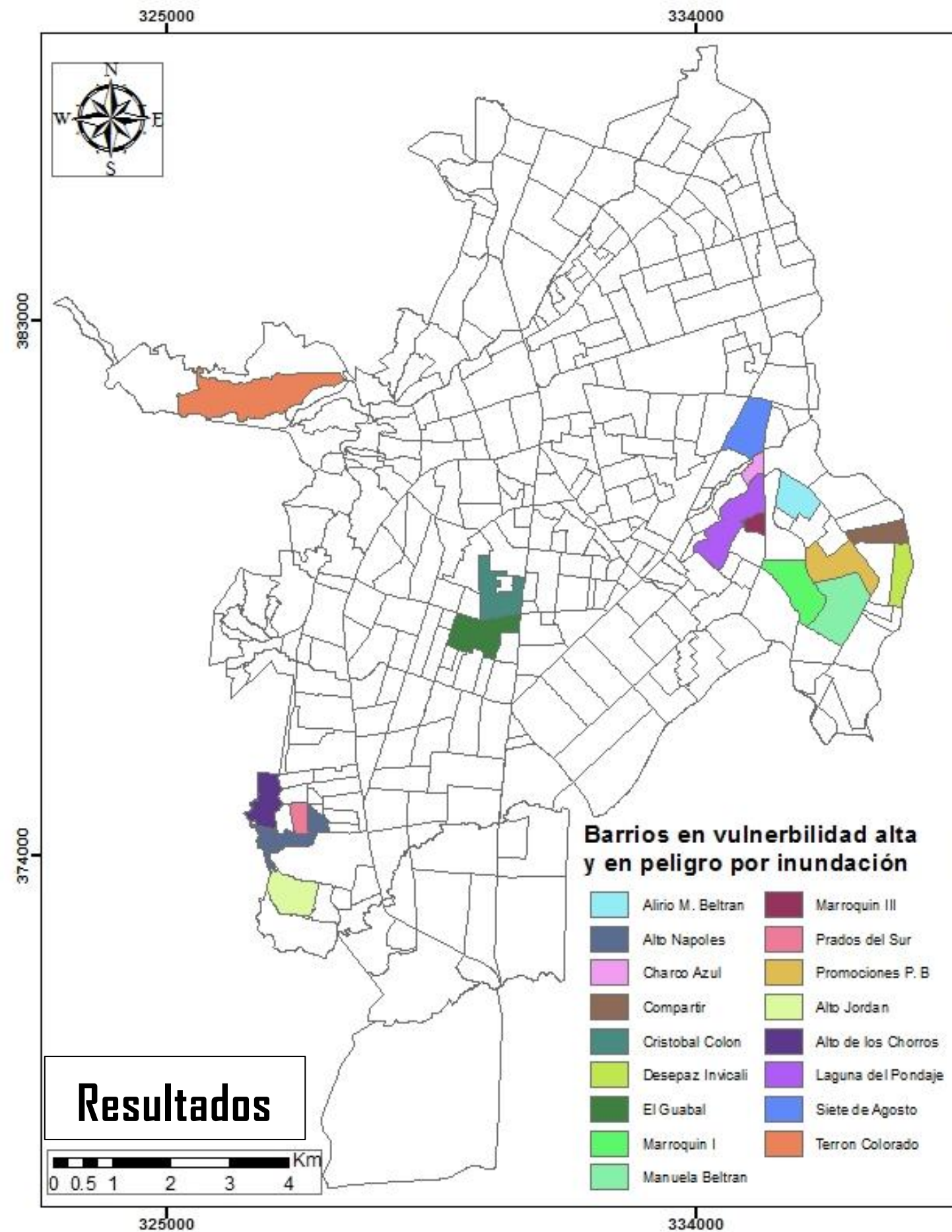




Vulnerabilidad sintetizada en barrios en amenaza por inundación



Resultados





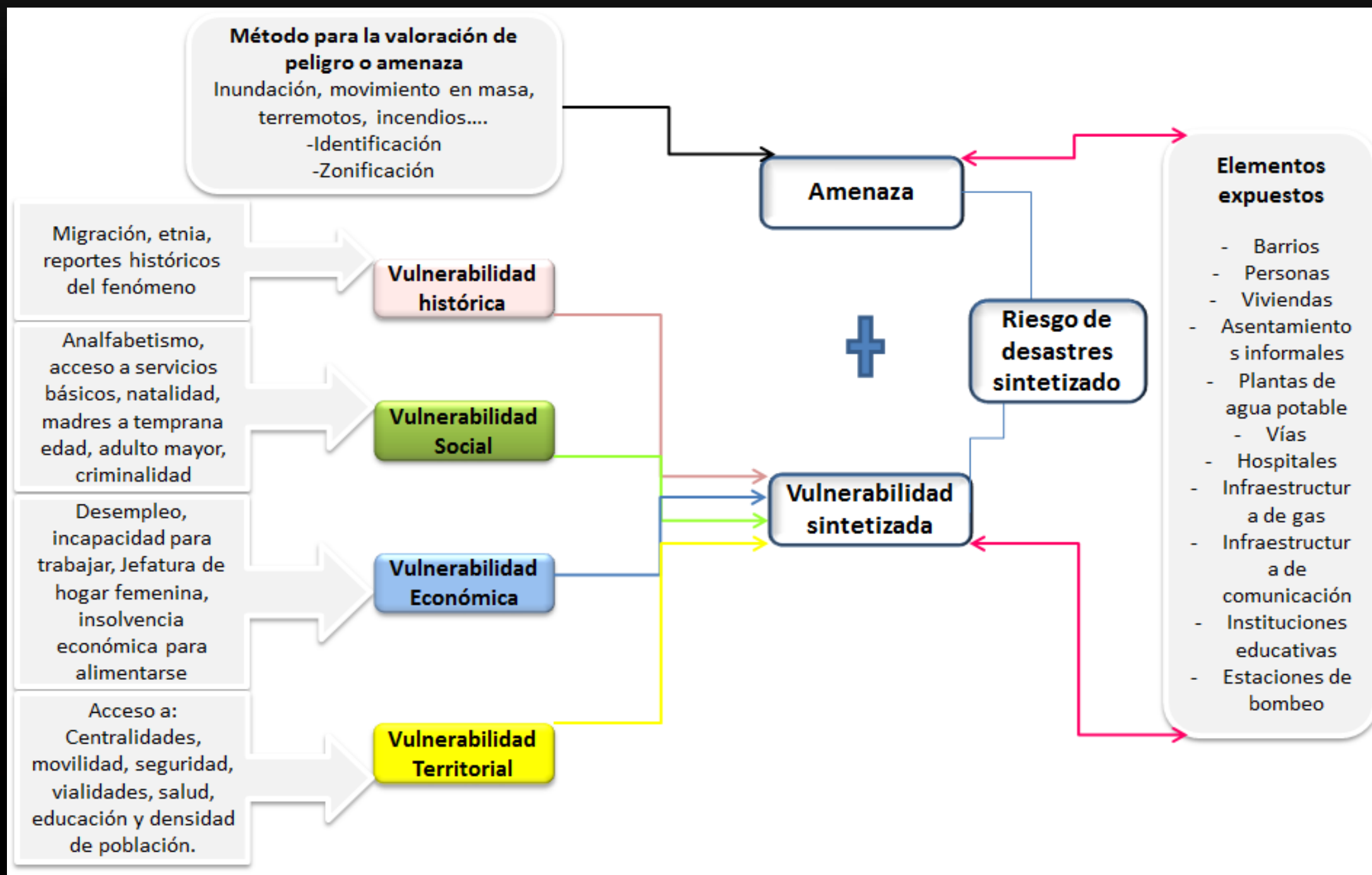


Titular: Más de 900 familias afectadas por inundación en Cali

Fuente: (Tvnotivas, 2017)

RIESGO

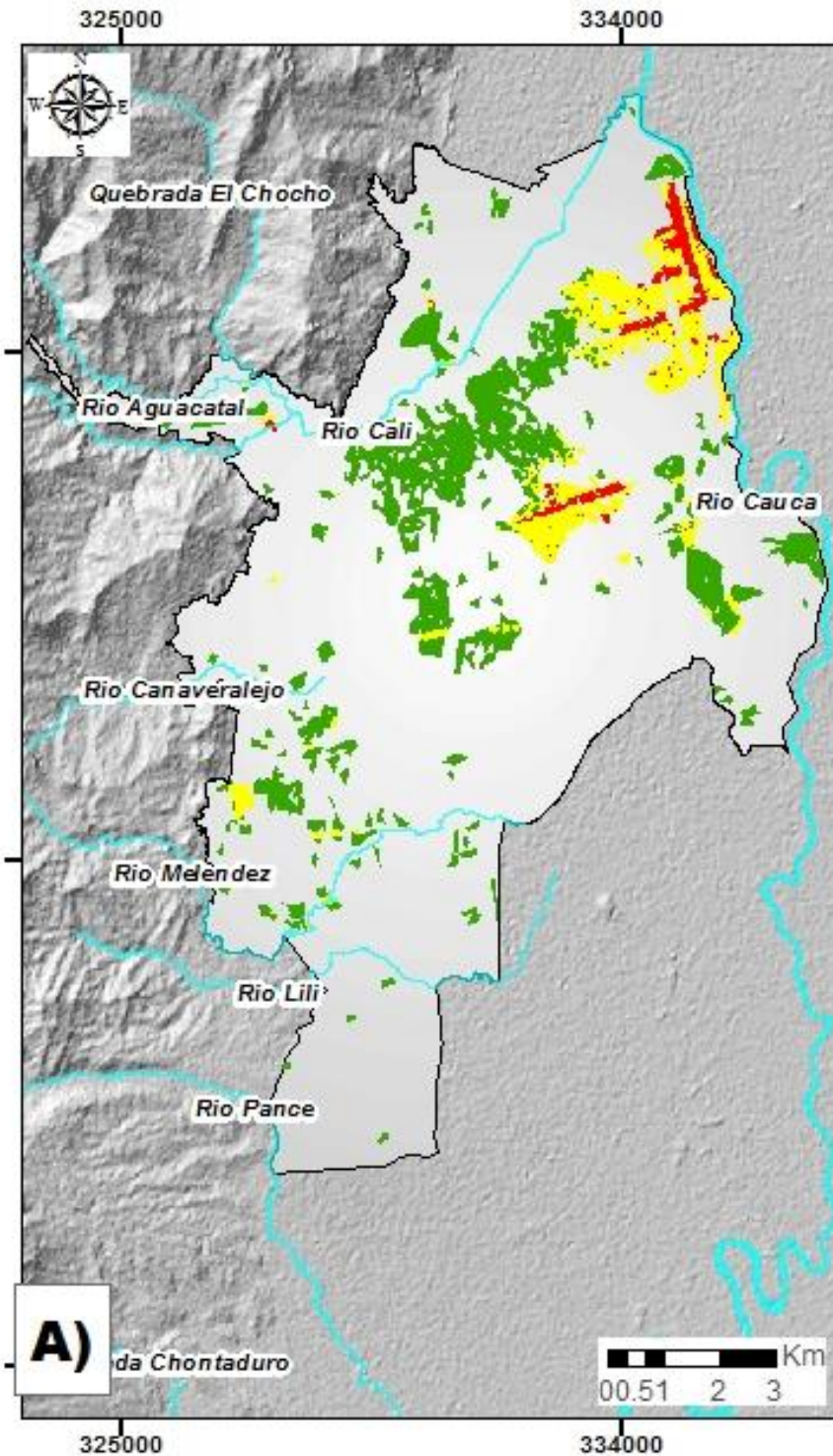
Modelo sintetizado de mitigación de riesgo con enfoque de ordenamiento territorial (MSMR).



Resultados

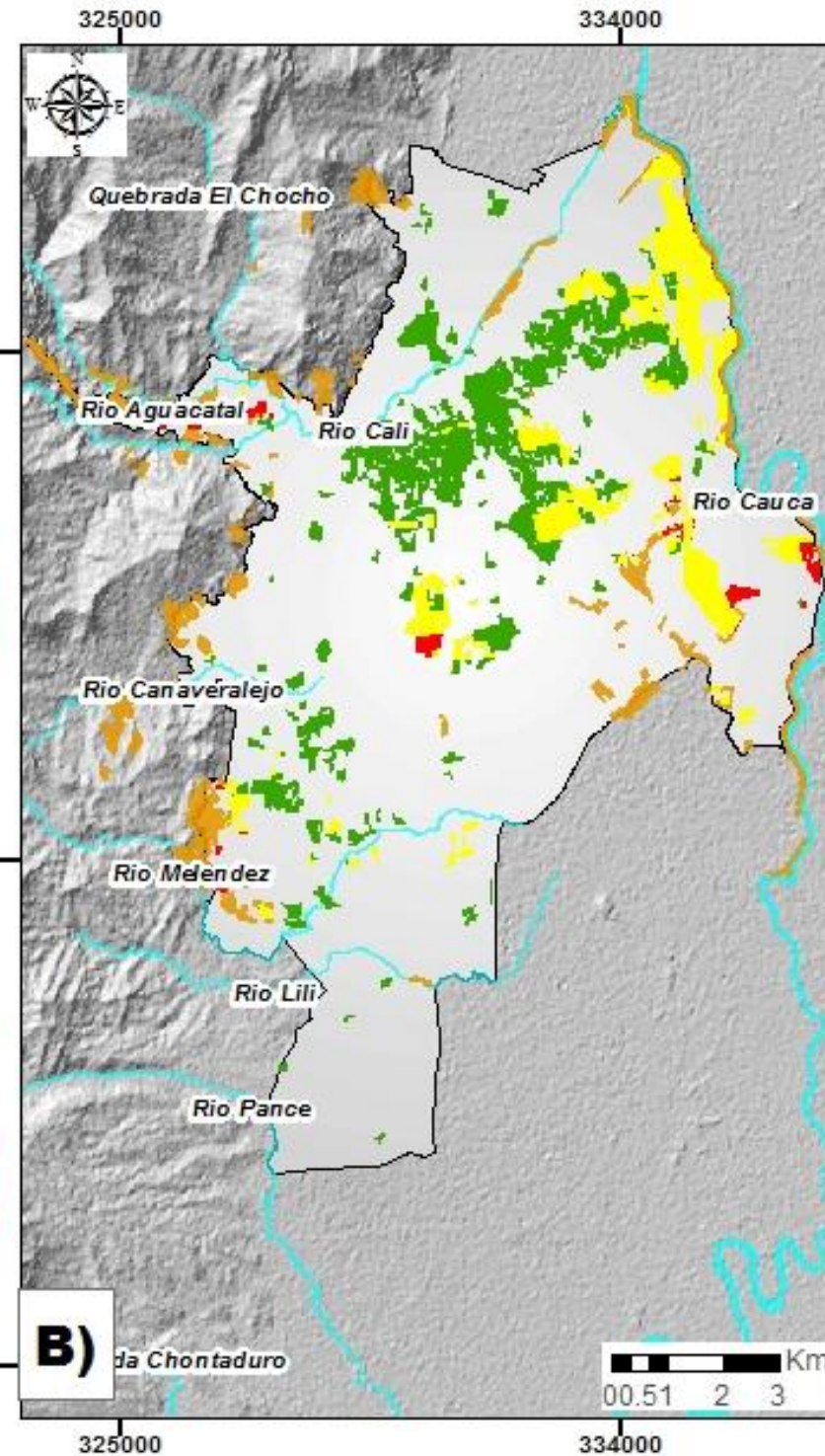
Combinación de amenaza, vulnerabilidad

Amenaza (Condiciones Físicas)	Vulnerabilidad (Condiciones históricas, socioeconómicas y territoriales)	Riesgo (Amenaza + Vulnerabilidad)
Baja	Baja	Bajo
Baja	Media	Medio
Baja	Alta	Medio
Media	Baja	Medio
Media	Media	Medio
Media	Alta	Alto
Alta	Baja	Medio
Alta	Media	Alto
Alta	Alta	Alto



LEYENDA

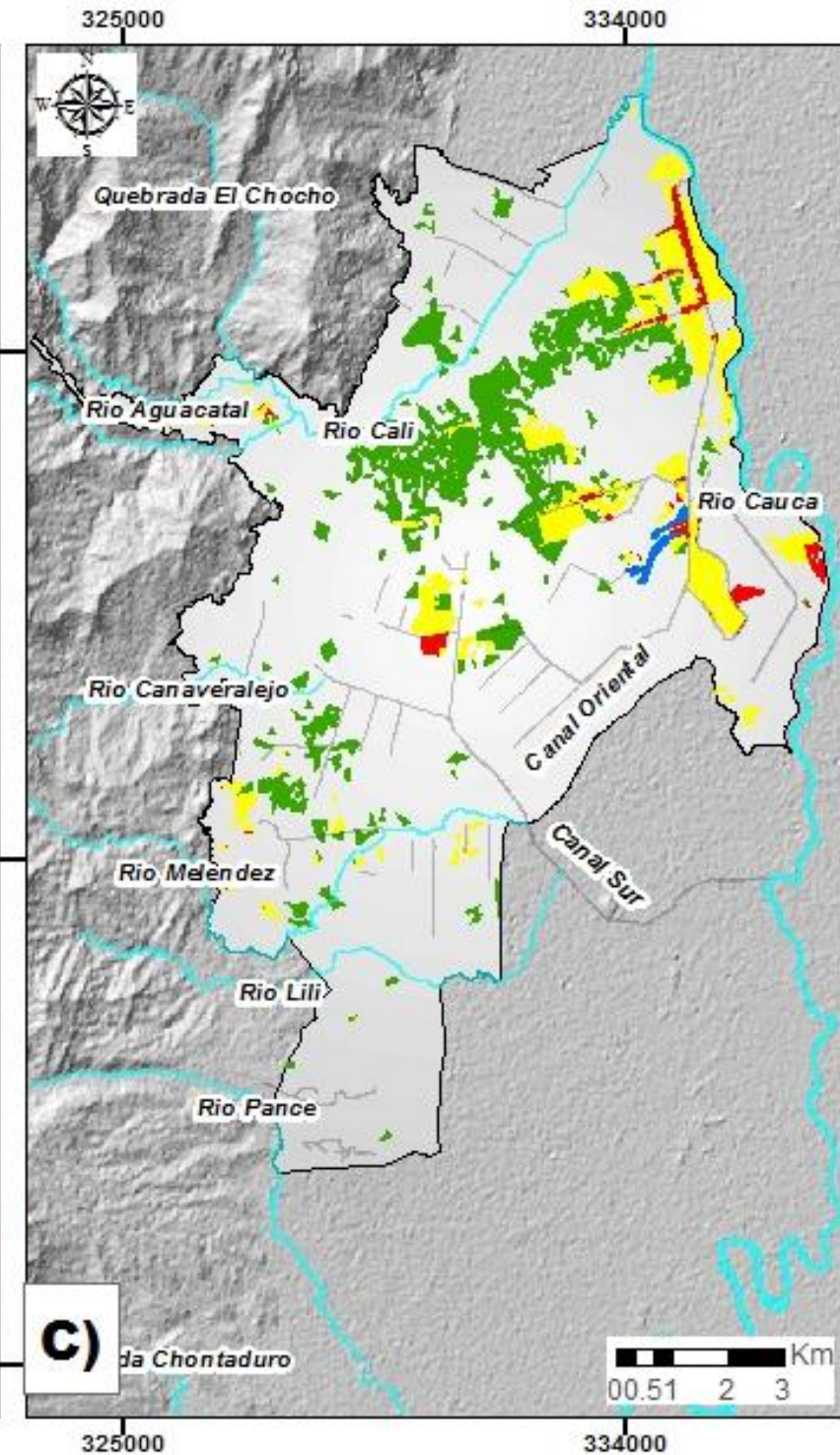
Amenaza	Media
Alta	Baja
Ríos	Perímetro



LEYENDA

Vulnerabilidad	Media
Alta	Baja
Asentamientos	Perímetro

Resultados



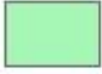
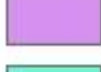
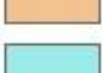
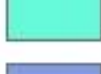
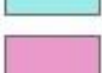
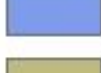
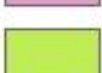
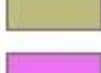
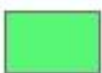
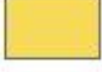
LEYENDA

Riesgo	Ríos	Lagunas
Alto	Canales	
Medio	Perímetro	
Bajo		

Elementos expuestos riesgo

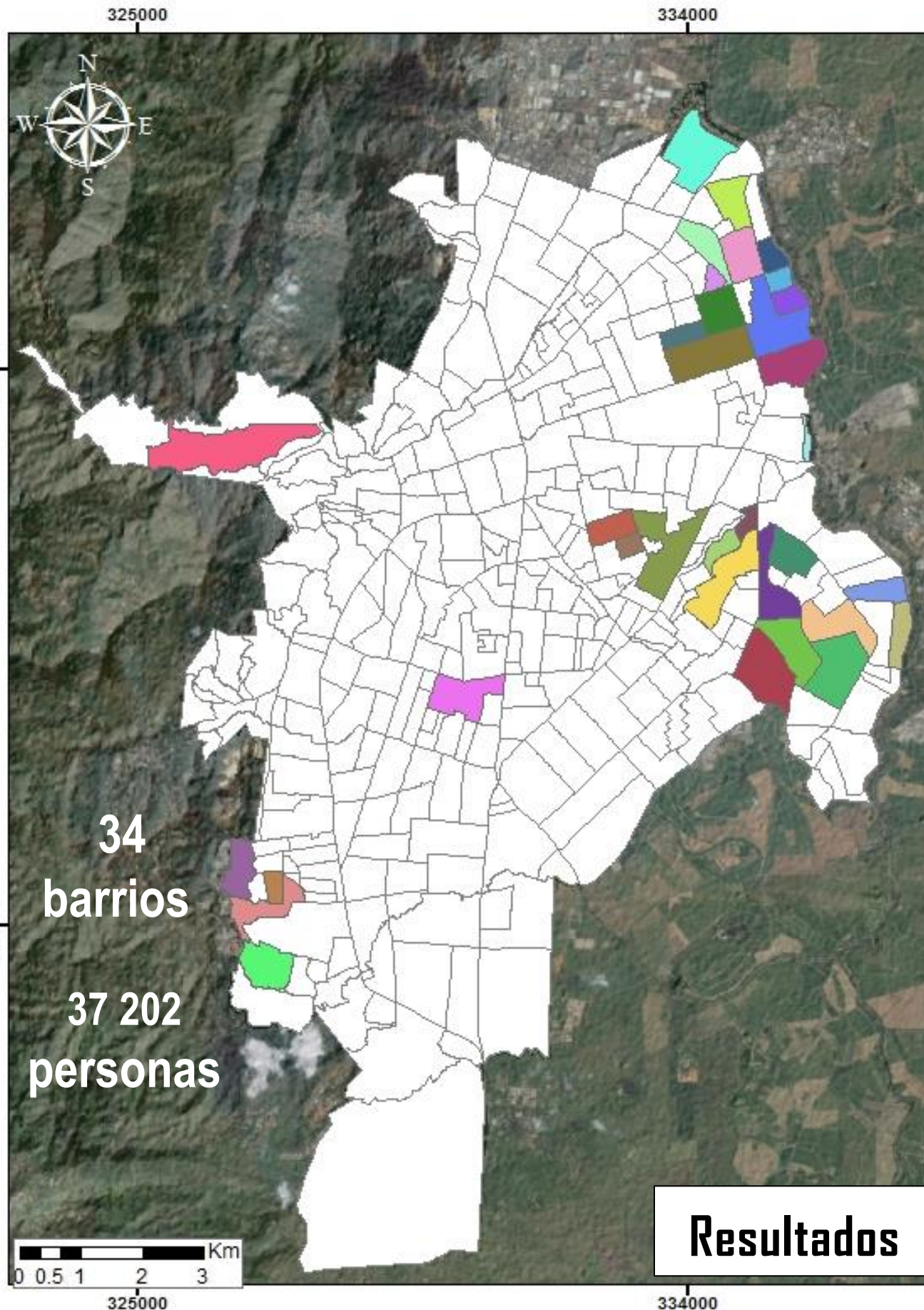
LEYENDA

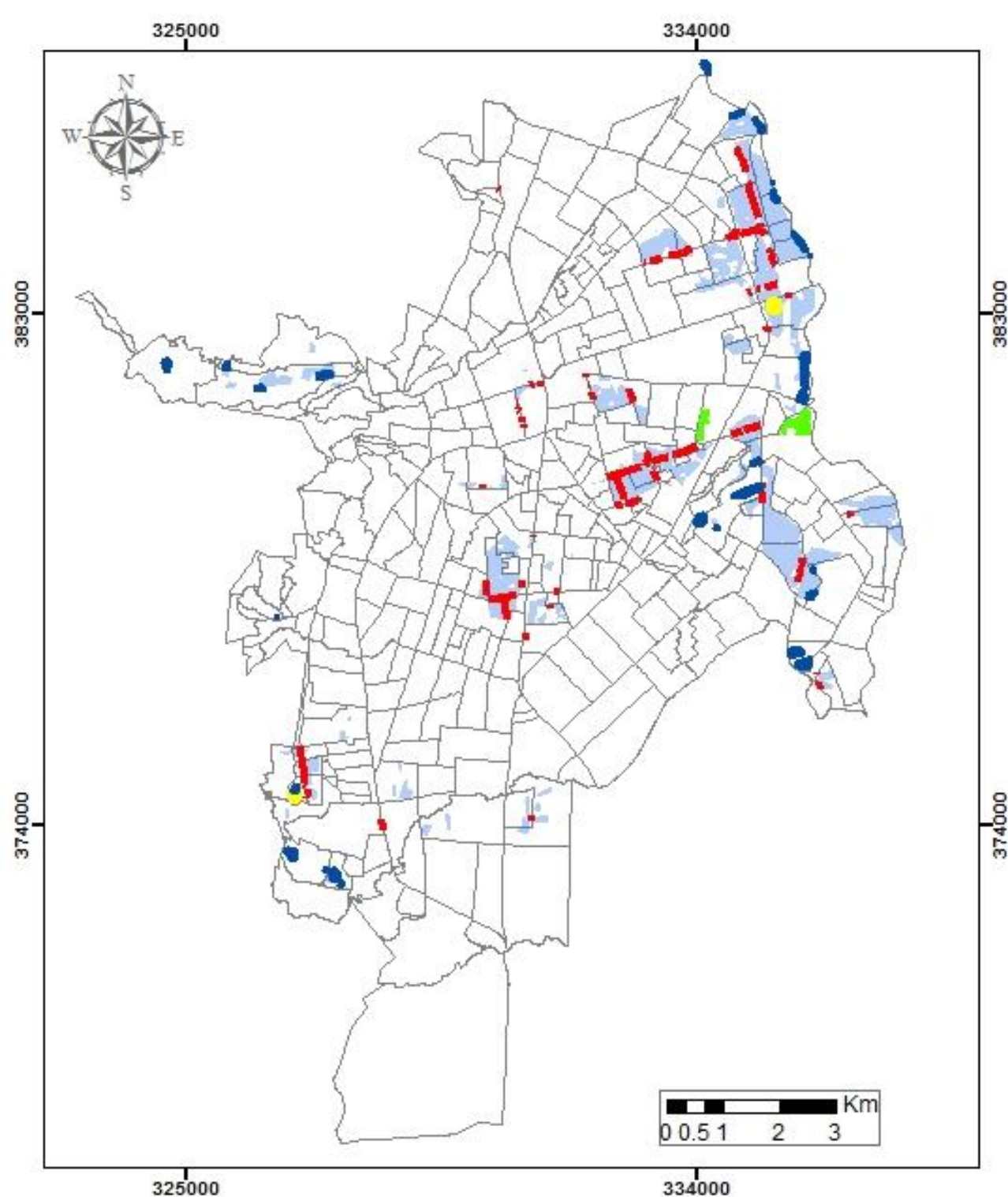
Barrios en riesgo alto

	Alfonso Bonilla Aragon		Metropolitano del Norte
	Alfonso Lopez I		Nueva Floresta
	Alirio Mora Beltran		Petecuy I
	Alto Napoles		Petecuy II
	Asturias		Petecuy III
	Charco Azul		Prados del Sur
	Chiminangos I		Promociones Populares B
	Ciudadela Floralia		Puerto Nuevo
	Compartir		San Luis
	Desepaz Invicali		San Luis II
	El Guabal		Santa Fe
	Jorge Elicer Gaitan		Sector Alto Jordan
	Jos6 Manuel Marroquin I		Sector Alto de los Chorros
	Jose Manuel Marroquin II		Sector Laguna del Pondaje
	Los Andes B - La Riviera		Terron Colorado
	Los Guayacanes		Villa del Lago
	Manuela Beltran		Villa del Prado - El Guabito

Resultados

**34
barrios
37 202
personas**

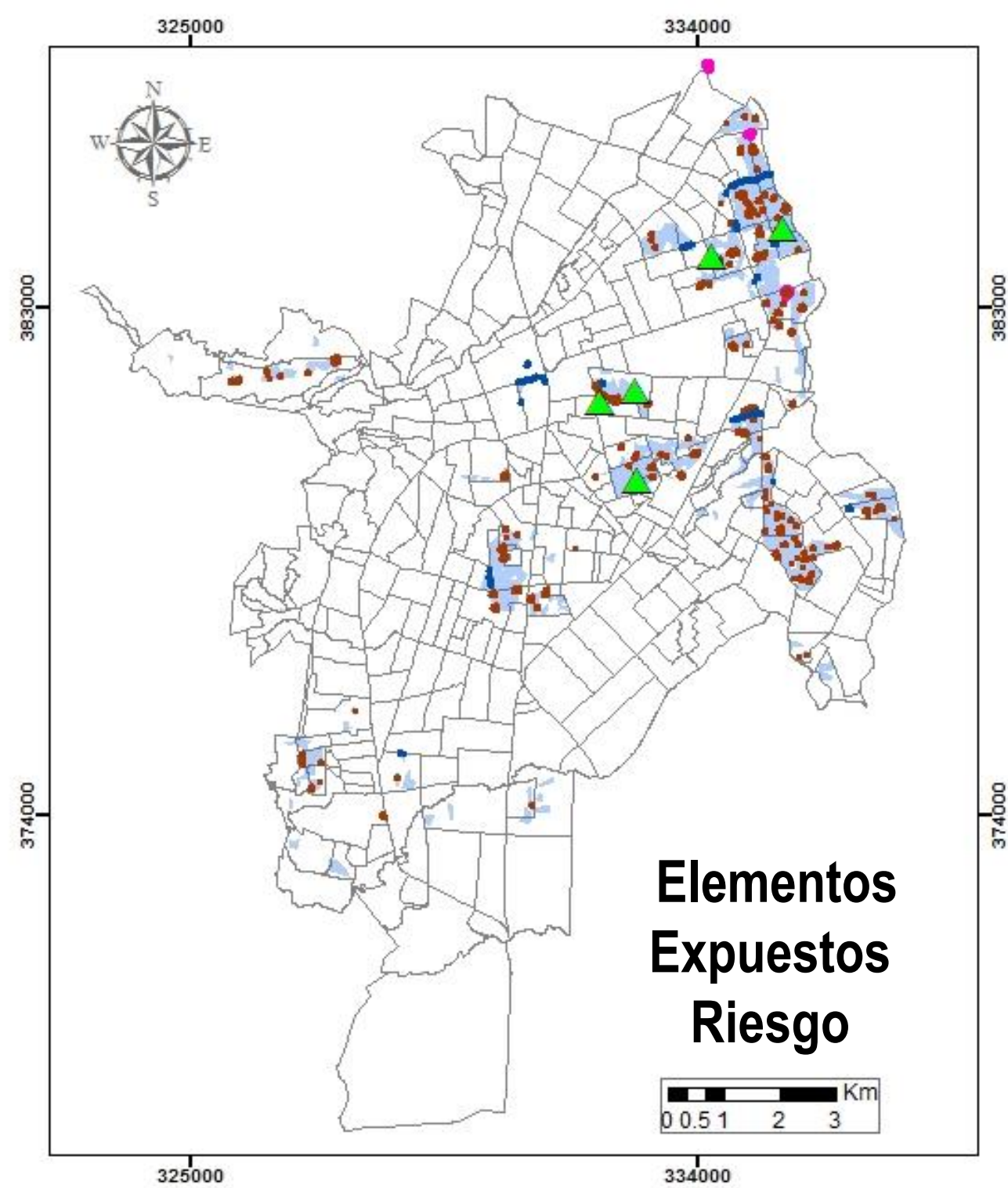




LEYENDA

- Asentamientos informales (28)
- Plantas de agua potable en riesgo alto y medio (2)
- Vías primarias y secundarias en riesgo alto y medio (84)
- Hospitales en riesgo alto y medio (2)
- Riesgo alto y medio

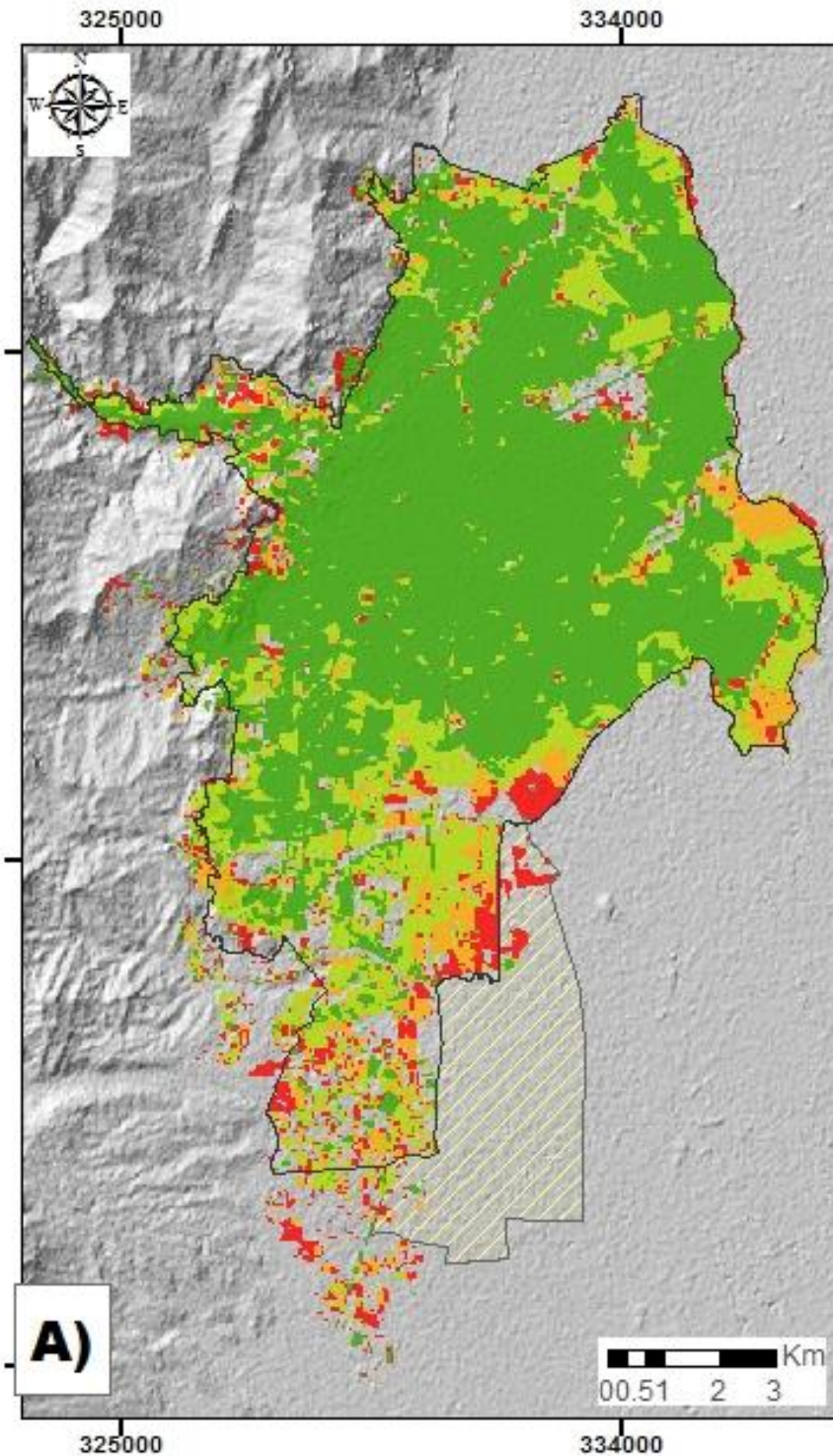
Resultados



Elementos Expuestos Riesgo

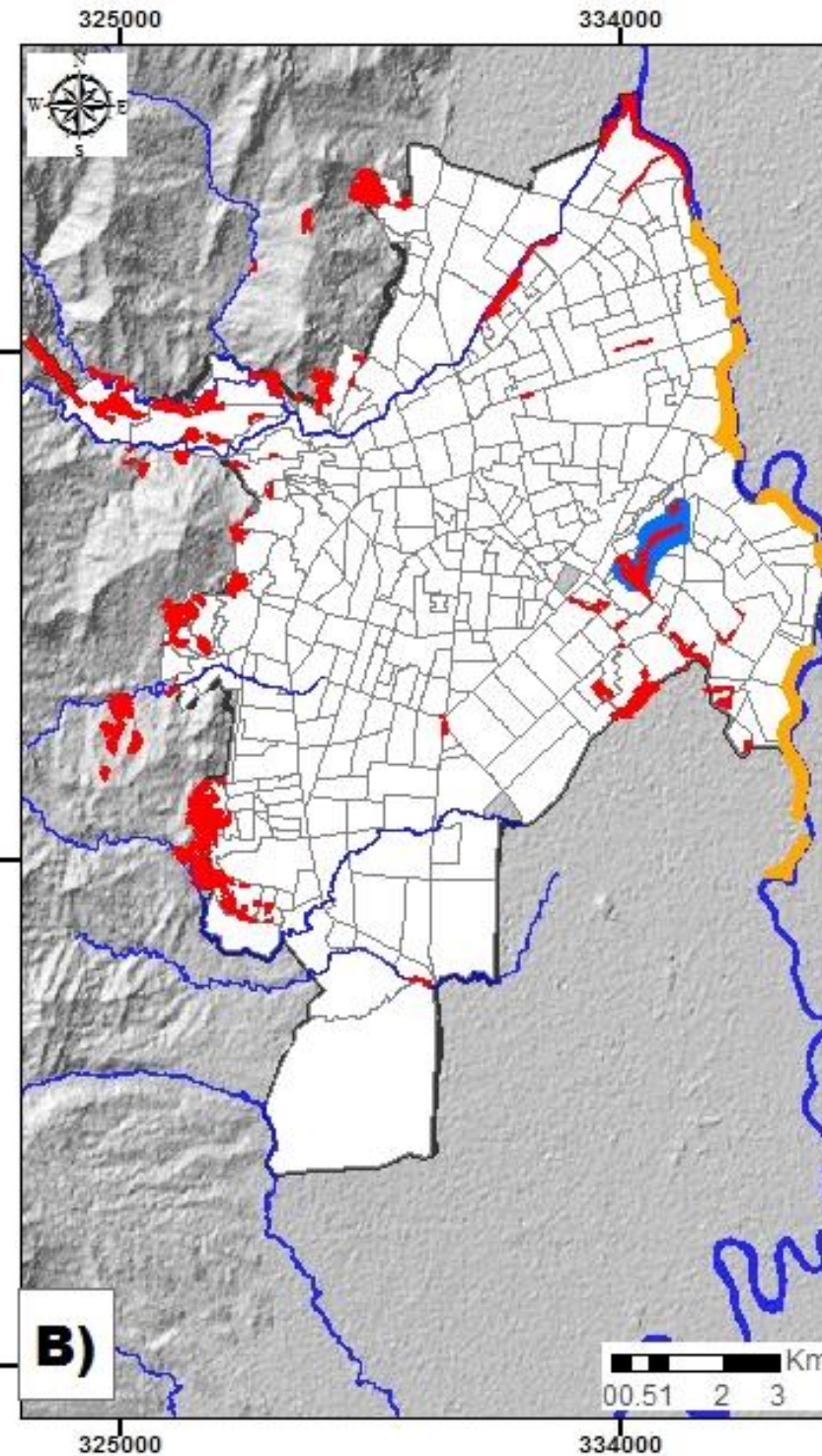
LEYENDA

- ▲ Torres de comunicación en riesgo alto y medio (5)
- Estaciones de bombeo en riesgo alto y medio (5)
- Centros de educación en riesgo alto y medio (167)
- Tuberías de gas en riesgo alto y medio (74)
- Riesgo alto y medio



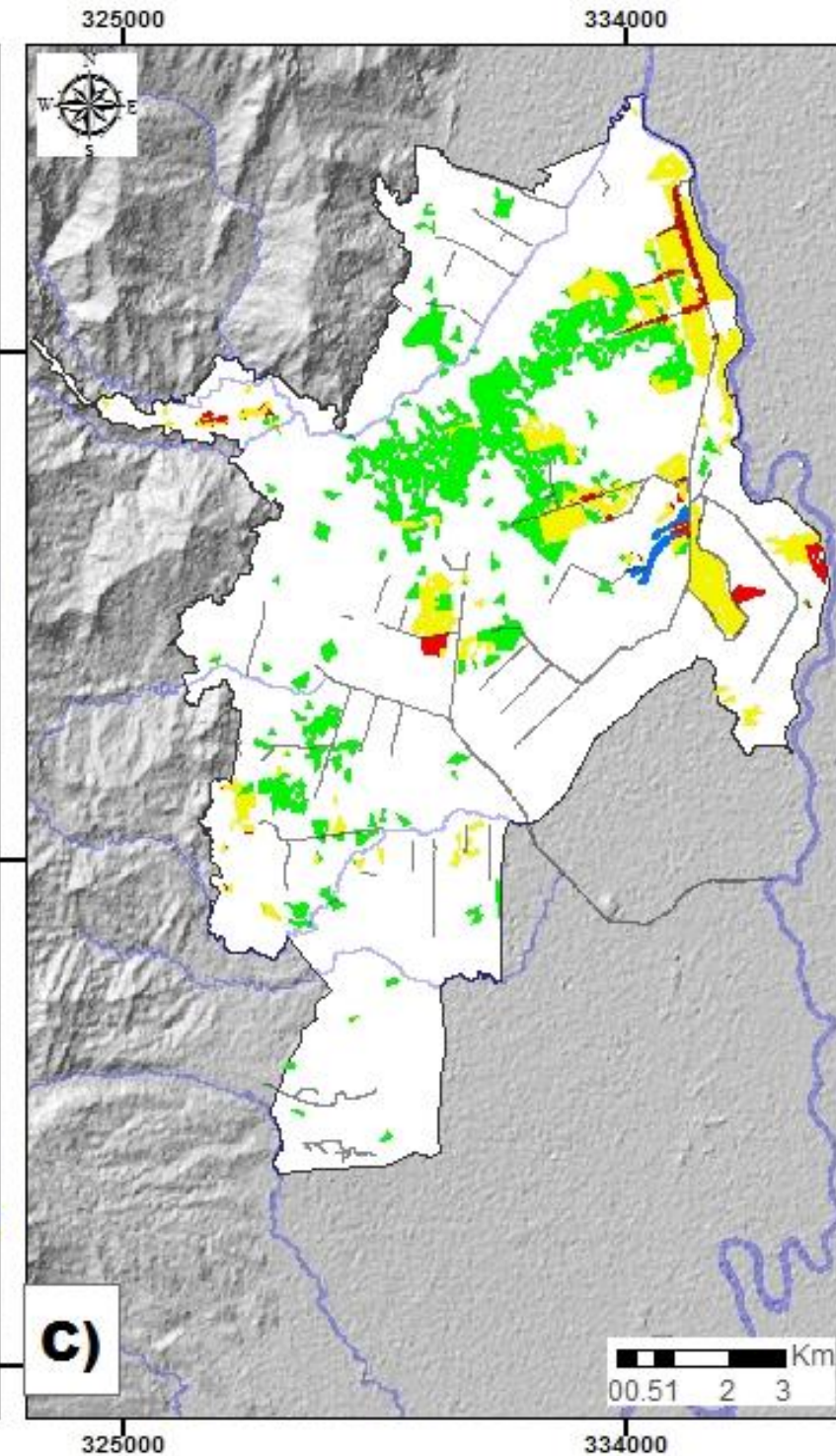
LEYENDA

Crecimiento	2008
1986	2016
1998	Perímetro
	Expansión



LEYENDA

Asentamientos informales	Ríos
En desalojo	Barrios
Asentamientos	
Lagunas	



LEYENDA

Riesgo	Ríos
Alto	Canales
Medio	Perímetro
Bajo	Lagunas

Resultados

Algunas relaciones necesarias frente a la construcción social del riesgo de desastres y el estudio de caso

En peligro por inundación.

**¿Vulnerables?
Sí, por procesos históricos, socioeconómicos y territoriales.**

**¿En riesgo?
Sí, nosotros, estamos en una zona en peligro de inundación y somos vulnerables.**

**¿Construcción social del riesgo en Cali?
Sí, la vulnerabilidad de la población ha llevado a ocupar zonas en amenaza por inundación.**

La Gestión del riesgo a partir instrumentos de Ordenamiento Territorial puede reducir los daños.



Conclusión

El trabajo hace **aportes** metodológicos partiendo de una premisa básica: "El riesgo como un proceso socialmente construido". Desde esta premisa, se realizan contribuciones importantes a la valoración de amenazas, vulnerabilidades, riesgos y estimación de elementos expuestos para la gestión de desastres de inundación vinculados a la planificación y crecimiento de centros urbanos.

¡Muchas Gracias!

