

# VALLE DE BRAVO

## Estado de México

RE131116MXVB

leapfrog  
urban lab

Centro Eure  
Estudios Territoriales y Políticas Públicas

Director  
IRACHETA Alfonso

Coordinación  
IRACHETA Jimena

LEAPFROG  
COLANINNO Nicola  
MARAMBIO Alejandro  
ROMANO Yraida

*Leapfrog Urban Lab* es una red de investigadores multidisciplinar, centrados en la transferencia de conocimiento al sector público/privado, a través de servicios basados en teledetección (Remote Sensing, RS) y sistemas de información geográfica (GIS). Cuyo principal objetivo es convertir la compleja cantidad de datos que genera el territorio, en información fiable, actualizada y precisa, para su manejo y gestión, tanto a escala Regional como a escala Local.

La motivación esencial del trabajo, surge a raíz de que la gran mayoría de empresas, instituciones (públicas y privadas), ayuntamientos (medianos y pequeños), a menudo, no disponen de información cartográfica fiable y actualizada que les permita una gestión y planificación territorial viable. Esta información es necesaria para poder realizar estudios y análisis, para la mejor toma de decisiones en el desarrollo de estrategias de aprovechamiento del suelo y de los recursos naturales. La falta de ella conlleva, de hecho, a serios problemas y discrepancias en los instrumentos de ordenamiento territorial y el efectivo desarrollo urbano.

La información base debe ser inteligible y enfocada para poderse analizar en una gran variedad de temáticas, que a su vez se puedan cruzar para obtener aún mejores resultados y mayores beneficios. De igual manera, debe tener una clara aplicabilidad, por lo tanto, su estructura, formato o características tienen que ser útiles para poder ser aprovechados de la mejor manera en los análisis o procesos posteriores.

Portada: World Imagery 1m/pix

# ÍNDICE

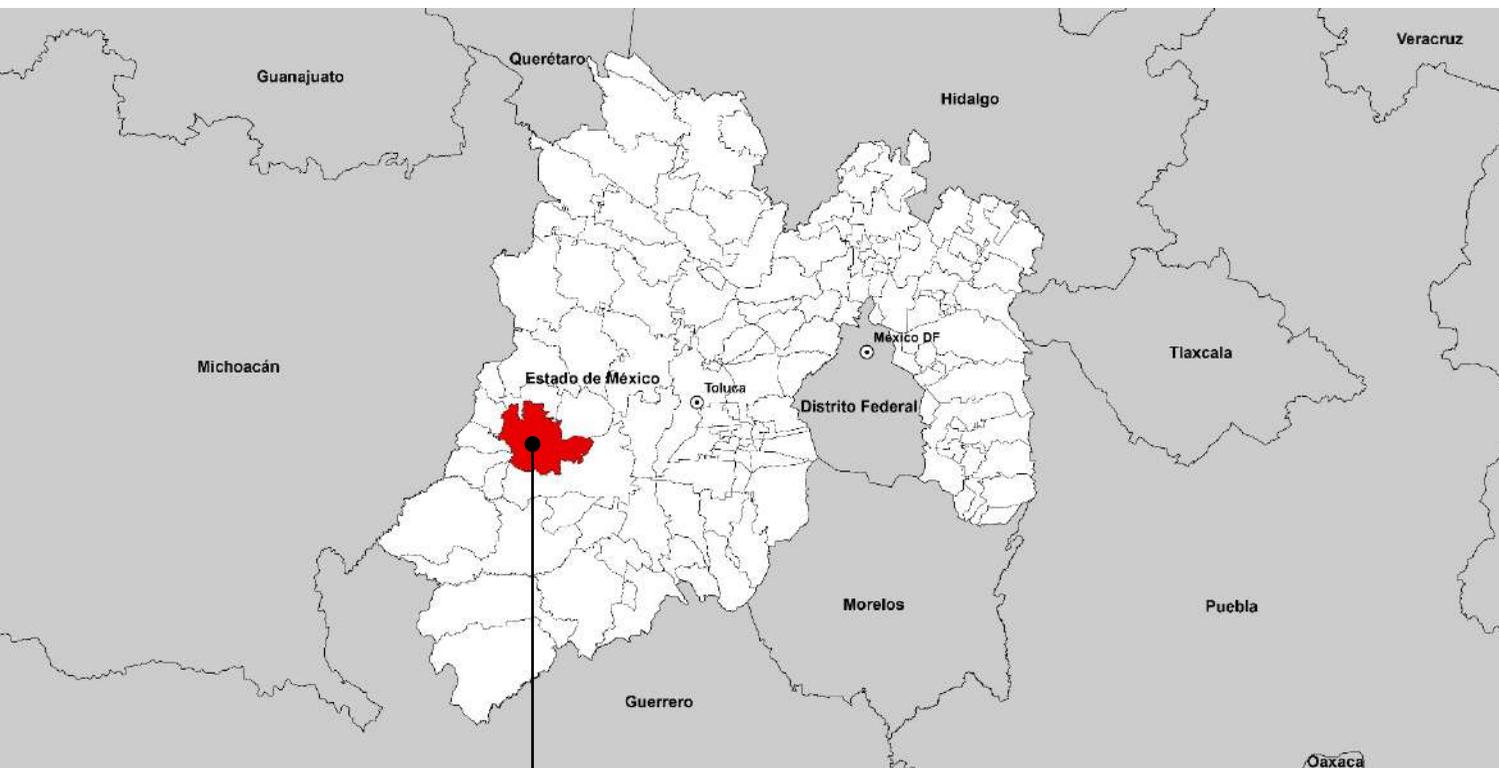
INTRODUCCIÓN			4
METODOLOGÍA			5
I. INFORMACIÓN BASE			7
Modelo Digital de Terreno		15m	
Limites Administrativos			
Población / Vivienda			
Red de Carreteras			
II. INVENTARIO			21
Imagen Satelital / Inventario	1986	30m	
Imagen Satelital / Inventario	2000	15m	
Imagen Satelital / Inventario	2013	15m	
Cambios			
III. SISTEMAS			49
Hídrico			
Natural / Forestal			
Agrícola			
Urbano			
ENTREGA DIGITAL			91

# INTRODUCCIÓN

Este informe se enmarca en el desarrollo del planeamiento integrado para el Municipio de Valle de Bravo que realiza el Centro de Estudios Territoriales y Políticas Públicas (Centro Eure). Leapfrog participa en este estudio a través de la generación de información de base, tal como, la clasificación de coberturas de suelo para los años 1986, 2000 y 2013, como herramienta de soporte a dicho planeamiento. El análisis se fundamenta en la utilización de técnicas de teledetección, mediante la clasificación automática de imágenes satelitales Landsat, dividida para un análisis en sistemas de información geográfica a detalle en cuatro sistemas: hídrico, forestal/natural, agrícola y urbano. El objetivo es obtener información estructural del ámbito de estudio para completar un análisis sobre los modelos de crecimiento y de consumo de suelo de la zona de estudio. Es importante enfatizar que este documento es una referencia que describe la información digital elaborada.



Estado de México, México

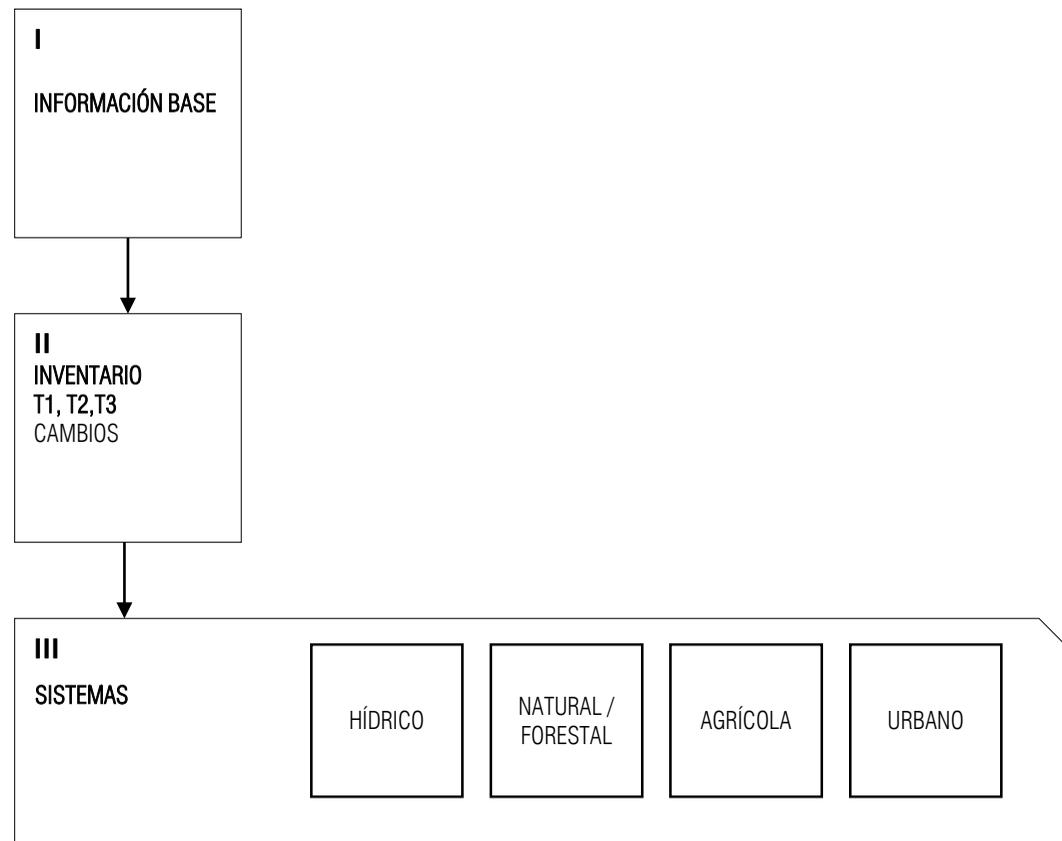


Municipio de Valle de Bravo  
(400,6 km<sup>2</sup>)

# METODOLOGÍA

El informe se desarrolla en tres fases. La primera revisa la información básica; el modelo digital del terreno, y las redes de carreteras. En una segunda fase se elige la diferencia temporal entre el periodo en curso y uno anterior para realizar el inventario de las cubiertas del suelo con teledetección (10, 20 o 30 años), donde se cuantifican los cambios. Por último, se realiza un análisis de cada sistema de forma individual en GIS según indicadores relevantes para cada categoría, entendiéndose como sistema el conjunto de elementos básicos paisajísticos que encontramos en un territorio. Que si bien se analizan de forma individual, no se entienden si no se relacionan de forma global con el resto de los sistemas.

La metodología se desarrolla según el siguiente esquema:



## I. INFORMACIÓN BASE

Para cumplir los alcances del informe y conocer la configuración de los aspectos básicos de la estructura territorial se debe disponer mínimamente de los siguientes datos:

- 1.1 MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT)
- 1.2 LIMITES ADMINISTRATIVOS
- 1.3 POBLACIÓN Y VIVIENDAS
- 1.4 RED DE CARRETERAS

## II. INVENTARIO DE COBERTURAS DE SUELO

La principal aportación de este informe se basa en la clasificación automática de las coberturas de suelo para la obtención del inventario detallado de cuatro sistemas y sus cambios. El proceso permite tener una clasificación del año más próximo, lo que posibilita que los resultados reflejen de forma fidedigna y precisa la situación actual. El proceso para la realización del inventario es el siguiente:

2.1 IMAGEN SATELITAL/CLASIFICACIÓN	1986
2.2 IMAGEN SATELITAL/CLASIFICACIÓN	2000
2.2 IMAGEN SATELITAL/CLASIFICACIÓN	2013

## III. SISTEMAS

A partir de las clasificaciones, se transforman las imágenes ráster a polígonos para su análisis en GIS. Se proponen 4 sistemas de estudio en detalle: Sistema Hídrico y Sistema Forestal (Naturales) y Sistema Agrícola y Sistema Urbano (Artificiales).

- 3.1 HÍDRICO
- 3.2 NATURAL / FORESTAL
- 3.3 AGRÍCOLA
- 3.4 URBANO

# I.

# Información Base

Para cumplir los alcances del informe y conocer la configuración de los aspectos básicos de la estructura territorial se debe disponer mínimamente de los siguientes datos:

## 1.1 MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT)

Este modelo nos permite tener una representación tridimensional de una porción del espacio geográfico que representa los valores digitalizados altimétricos en la forma de una matriz de píxeles o puntos. Con esta información es posible evaluar y gestionar los riesgos naturales como inundaciones o zonas vulnerables a la erosión, el cálculo de las pendientes puede asociarse con coeficientes de permeabilidad para indicar la ubicación de las corrientes de agua y recogida en caso de inundaciones, y/o se puede trabajar como un elemento geográfico para explicar la ubicación de una estructura urbana y su crecimiento.

## 1.2 DIVISIÓN ADMINISTRATIVA

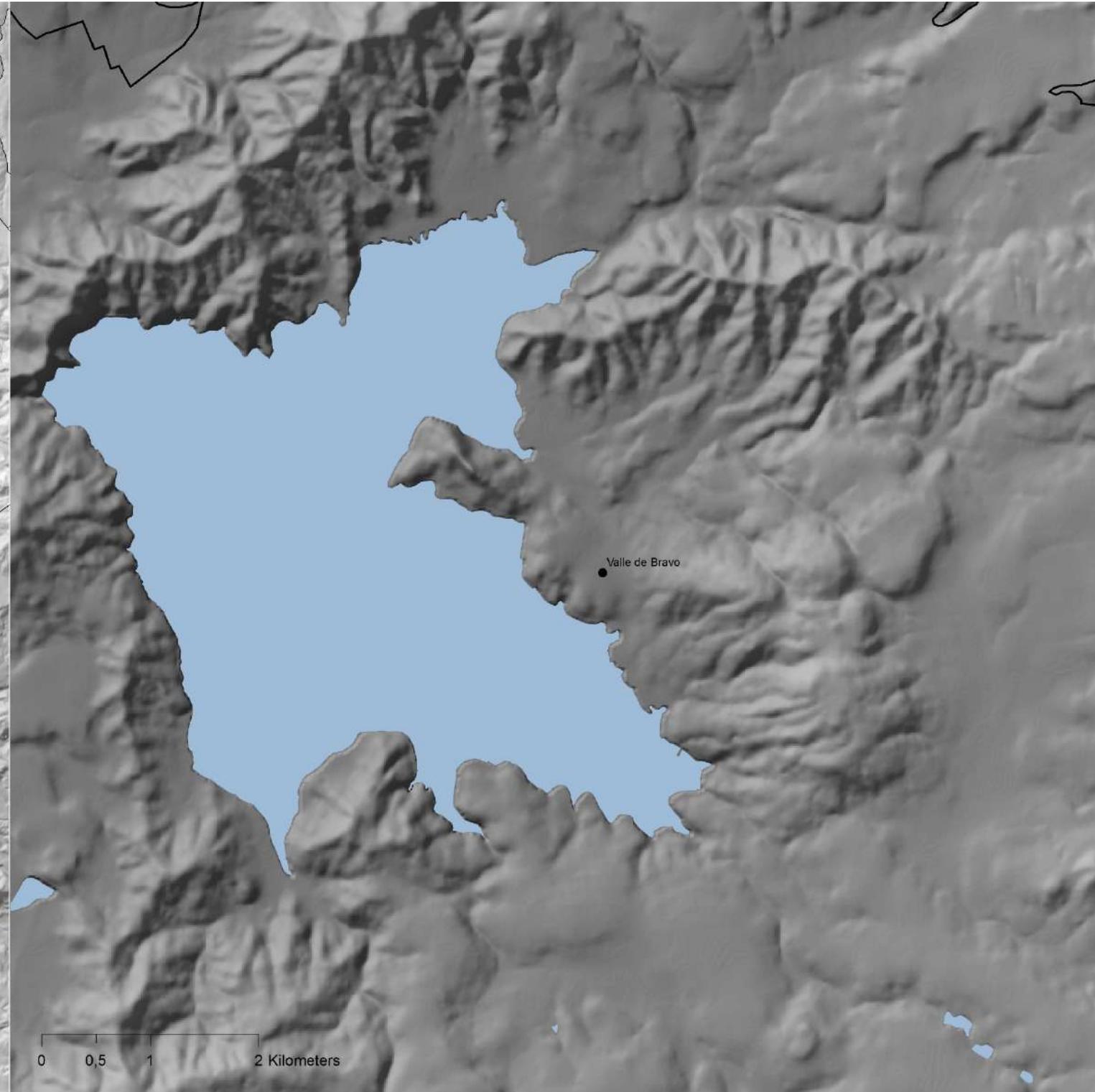
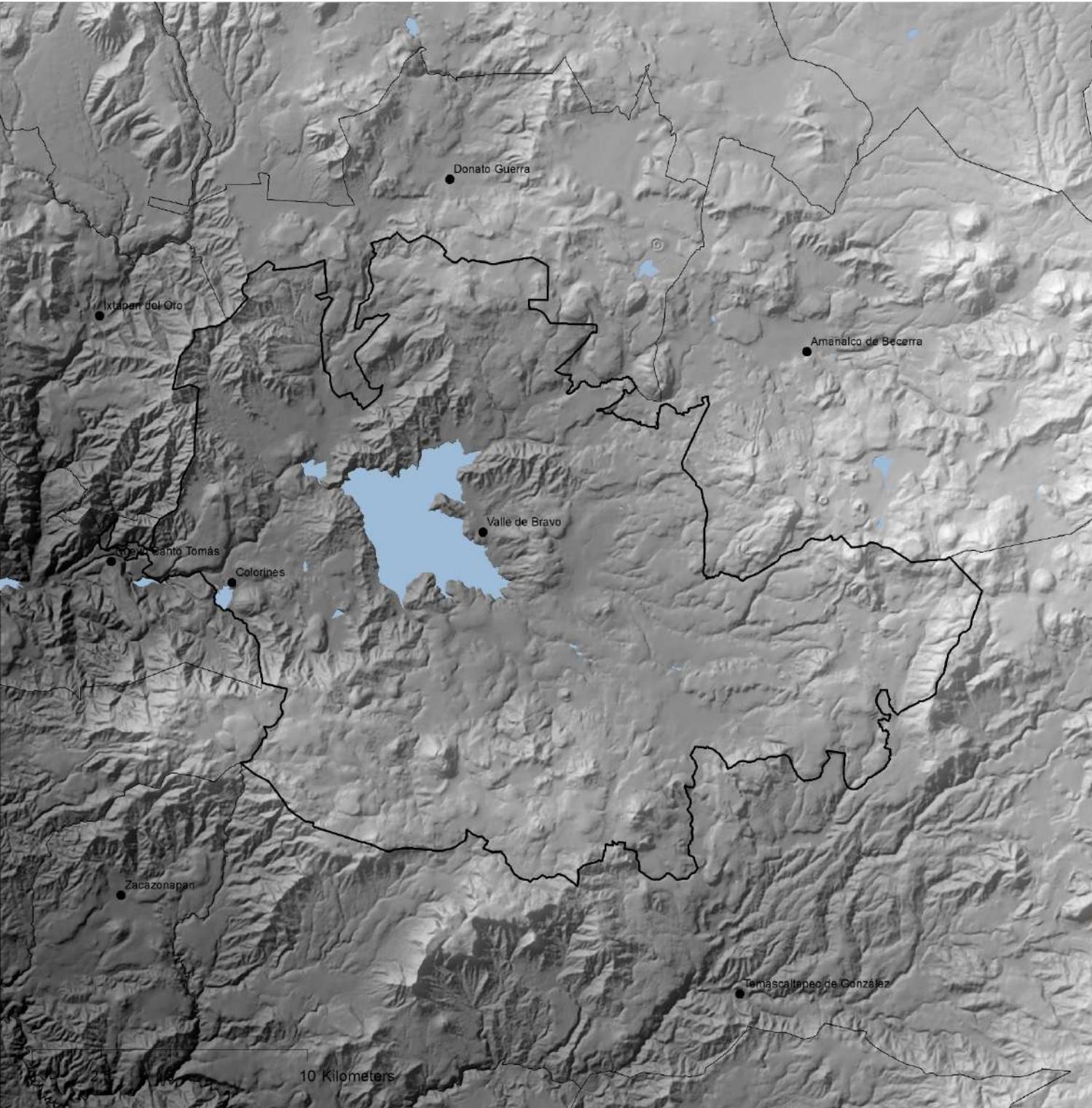
La necesidad de segmentar servicios y datos, obliga a que se definan diferentes niveles de administración. Cada país presenta generalmente cinco niveles que corresponden; al país, la región, la provincia, el municipio y sus barrios. Conocer estos límites permite segmentar la información que se genera para vincularse con otras bases de datos o normativas existentes.

## 1.3 POBLACIÓN / VIVIENDA

Gracias a estas divisiones administrativas es posible vincular datos de población al territorio y de esta forma valorar a la misma en términos de problemas, aspiraciones, y oportunidades en aspectos como la capacidad de desarrollar actividades de producción, consumición de bienes y servicios, relaciones sociales y nivel de participación.

## 1.4 RED DE CARRETERAS

El desarrollo territorial de una población siempre ha seguido las principales vías de comunicación uniendo ciudades, pueblos y barrios y es a través de ellas que se tiene que canalizar el flujo de personas y mercancías. La exposición de un mapa territorial actualizado de red de carreteras es indispensable para reflexionar sobre cómo mejorar estos flujos y para decidir como se canalizará el crecimiento o desarrollo de la población en el futuro de forma ordenada y sostenible.



Fuente: INEGI DEM CEM v3 15m/pixel

# MODELO DIGITAL DE TERRENO

Un modelo digital de elevaciones es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. Un terreno real puede describirse de forma genérica como una función bivariable continua  $z = \zeta(x, y)$  donde  $z$  representa la altitud del terreno en el punto de coordenadas  $(x, y)$  y  $\zeta$  es una función que relaciona la variable con su localización geográfica. En un modelo digital de elevaciones se aplica la función anterior sobre un dominio espacial concreto,  $D$ . En consecuencia, un MDT puede describirse genéricamente como  $MDT = (D, \zeta)$ . En la práctica, la función no es continua sino que se resuelve a intervalos discretos, por lo que el MDT está compuesto por un conjunto finito y explícito de elementos. Los valores de  $x$  e  $y$  suelen corresponder con las abscisas y ordenadas de un sistema de coordenadas plano, habitualmente un sistema de proyección cartográfica. La generalización inherente a la discretización del modelo implica una pérdida de información que incrementa el error del MDT y, en consecuencia, se propaga a los modelos derivados.

Un MDT presenta las siguientes características:

- Un terreno real puede describirse de forma genérica como una función de dos variables continua, pero en la práctica la función no es continua sin que se resuelve a intervalos discretos. Esta generalización implica una pérdida de información, de modo que en lugar de ser un modelo de información continua sobre la superficie, puede ser considerado un conjunto de medidas discretas de elevación.
- La fidelidad con la que un MDT modeliza la verdadera superficie depende de la rugosidad de la superficie misma y de la resolución del modelo. Cualquier MDT representa numéricamente la superficie topográfica a una cierta escala, que depende de una resolución espacial determinada.
- Un MDT no es considerado un modelo en tres dimensiones. Aunque las superficies interpoladas muestran variación a lo largo de los tres ejes, no suelen ser consideradas como representaciones 3D. El término tridimensional es usual y apropiadamente reservado para situaciones en las que al atributo varía continuamente a través de un marco de tres dimensiones espaciales de referencia. Se considera que los MDTs poseen dos dimensiones topológicas y media, porque poseen un único valor  $z$  por cada coordenada  $x, y$ .

## INEGI CEM v3

versión: 2013.10.02 0116

El Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0) es un producto que representa las elevaciones del territorio continental mexicano, mediante valores que indican puntos sobre la superficie del terreno, cuya ubicación geográfica se encuentra definida por coordenadas  $(X, Y)$  a las que se le integran valores que representan las elevaciones  $(Z)$ . Los puntos se encuentran espaciados y distribuidos de modo regular. Presenta las siguientes características:

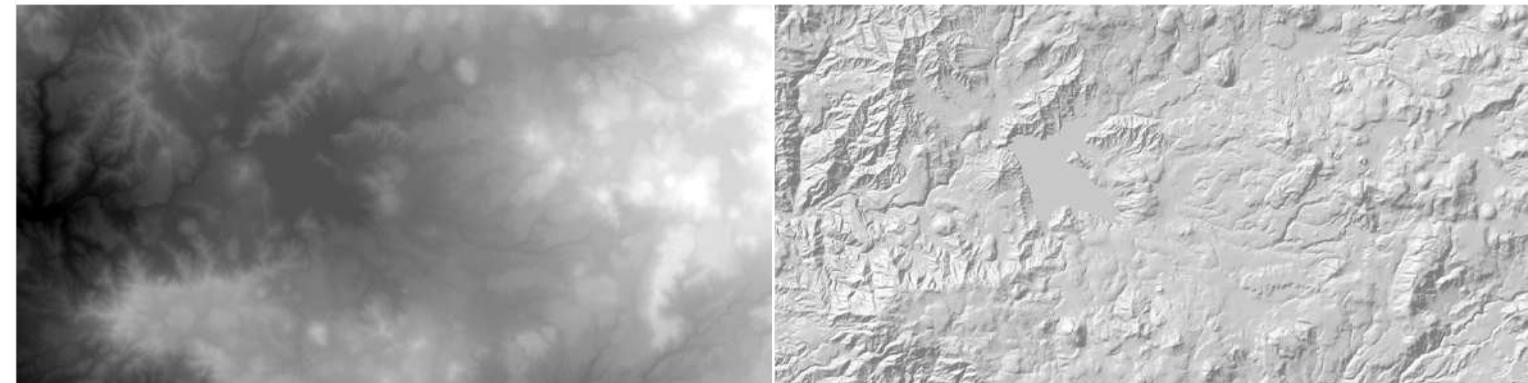
Año de publicación	2013
Resolución	15 m x 15 m
Valores de $Z$	Enteros positivos y negativos.
Unidades de $Z$	Metros
Datos de referencia geodésica	El datum corresponde a ITRF92 época 1988.0, elipsoide GRS80, coordenadas geográficas.
Cobertura geográfica	Territorio continental de los Estados Unidos Mexicanos
Error medio cuadrático	4.9 m
Medio de distribución	Principalmente por internet mediante el portal del INEGI. Considera diversas opciones.
Formato de distribución	BIL (Banda entrelazada por línea). Forma Raster

## ANÁLISIS

A partir de una superficie de elevación ráster como entrada, se puede obtener información mediante la producción de un nuevo conjunto de datos que identifica un patrón específico dentro de un conjunto de datos original. Se puede derivar patrones que no eran evidentes en la superficie original, tales como curvas de nivel, ángulos de inclinación, orientación de las pendientes (*aspect*), relieve sombreado (*hillshade*) y Cuencas visuales.

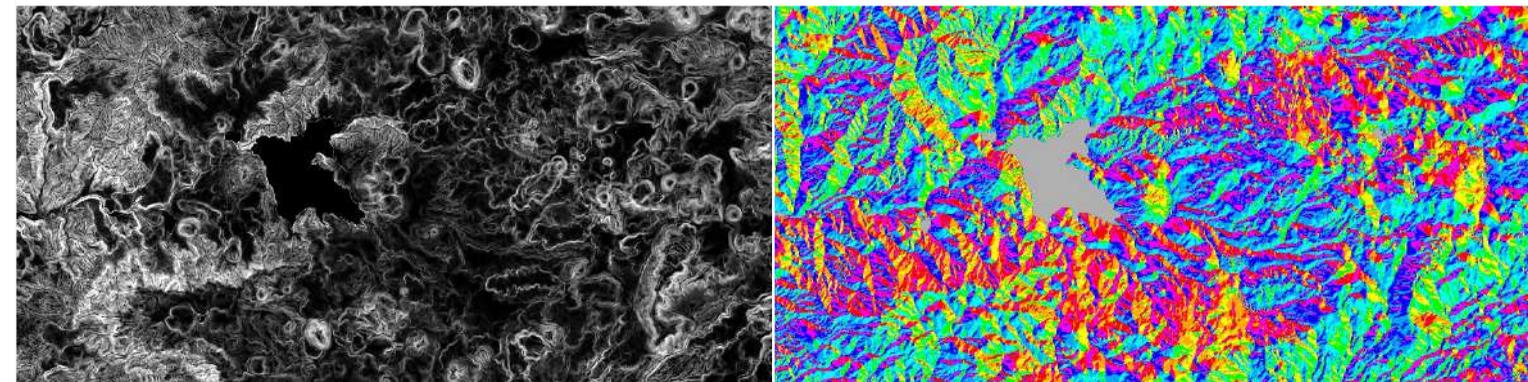
Cada herramienta de superficie proporciona la penetración en una superficie que se puede utilizar como un fin en sí mismo o como entrada en un análisis adicional. A través de diversos análisis de superficie, se puede cuantificar y visualizar diversas formas de relieve del terreno. Se resaltan tres análisis básicos:

- Sombreado: Crea un relieve sombreado de una imagen de superficie, considerando el ángulo de la fuente de iluminación y sombras.
- Pendientes: Identifica la pendiente (grados, o tasa de cambio máximo del valor  $z$ ) de cada celda de una superficie ráster.
- Orientación de las pendientes: Deriva el asoleamiento a una orientación de una superficie ráster. El aspecto identifica la dirección de la pendiente descendente del porcentaje máximo de variación del valor de cada celda a sus vecinos.



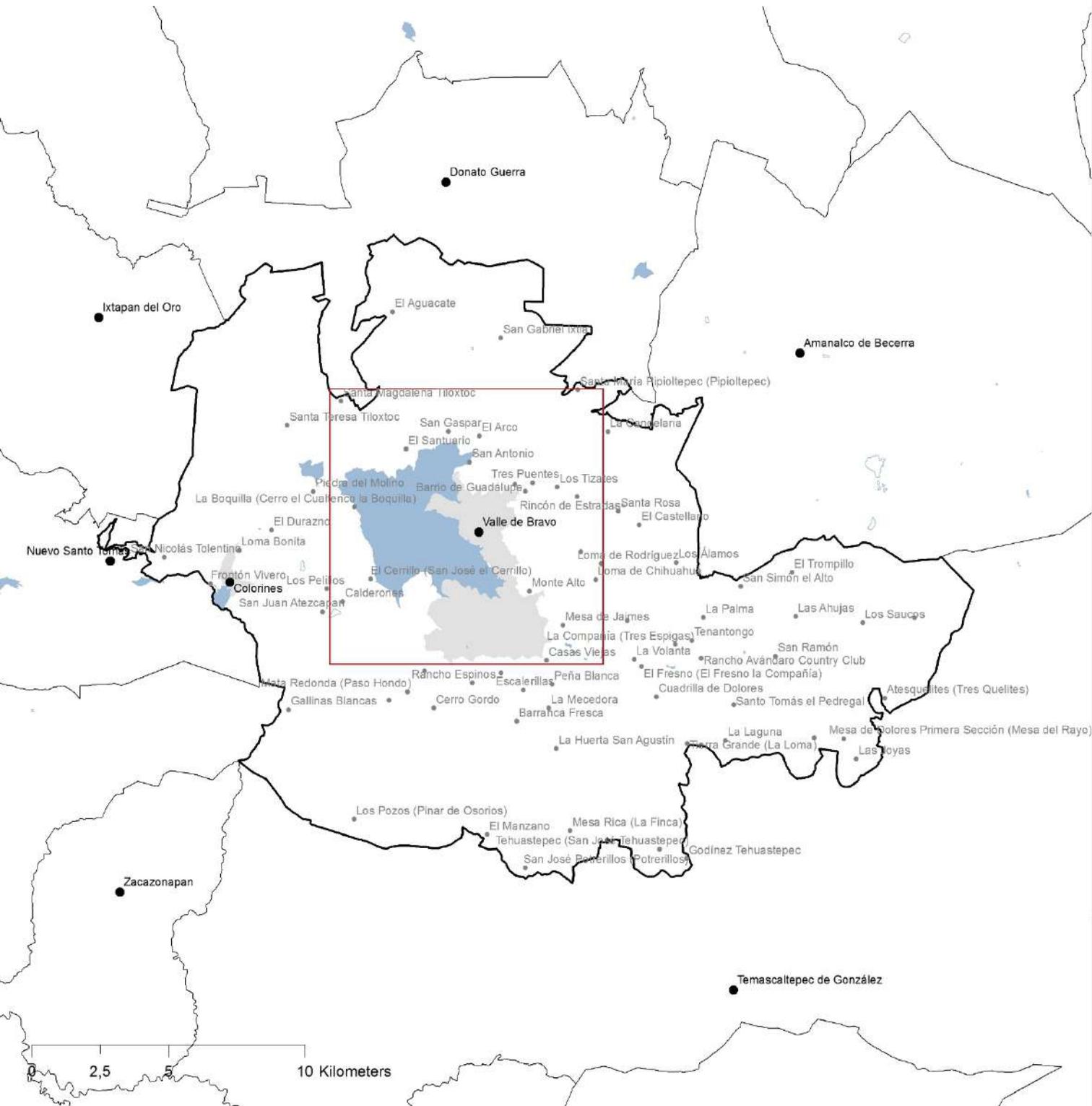
MODELO DIGITAL DE TERRENO

SOMBREADO



PENDIENTES

ORIENTACIÓN DE LAS PENDIENTES

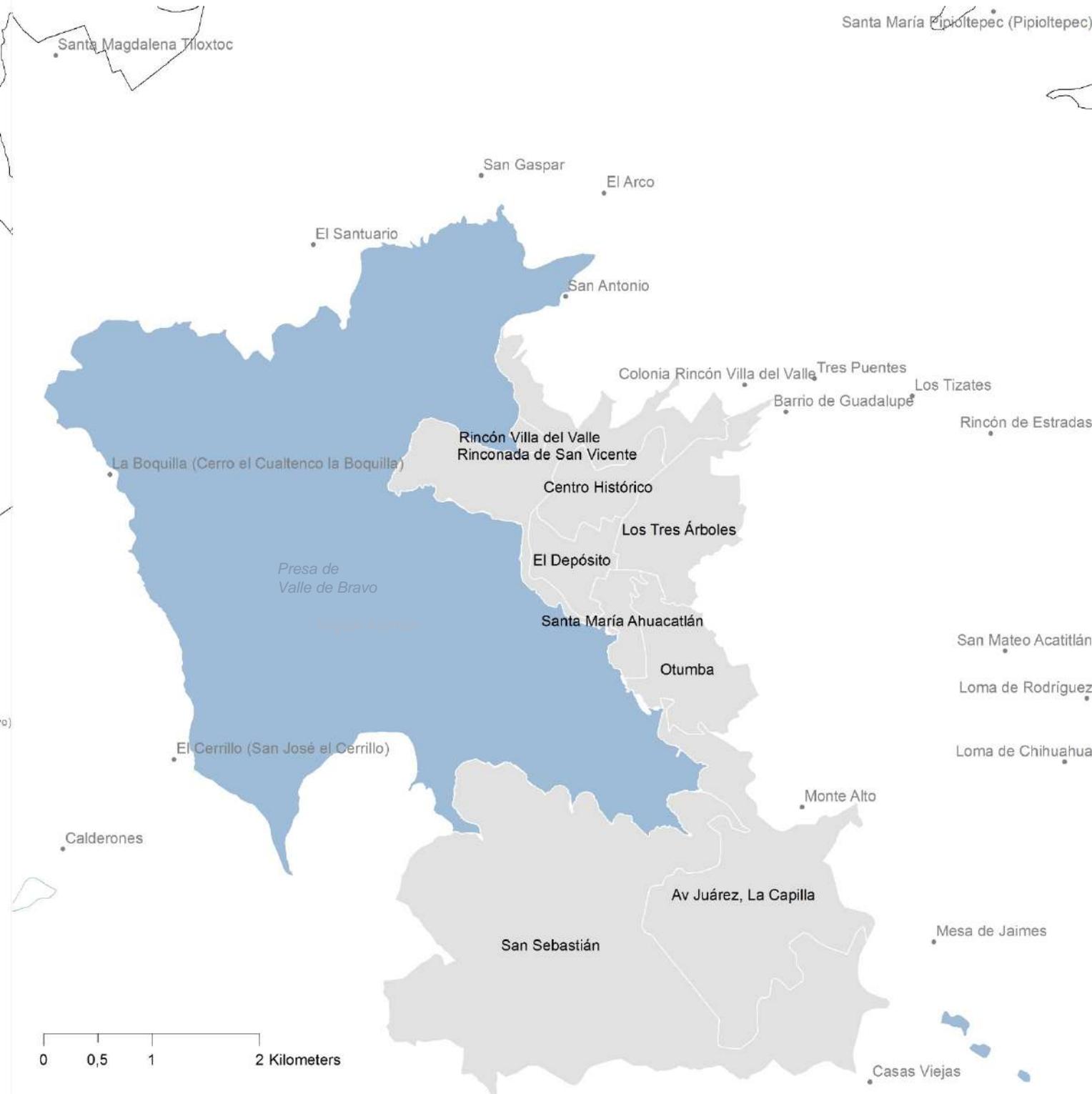


INEGI 2010  
Bando Municipal 2013

74 Localidades  
1 Cabecera Municipal | 1 Villa | 42 Delegaciones | 12 Fraccionamientos | 5 Sectores

## Límites Administrativos

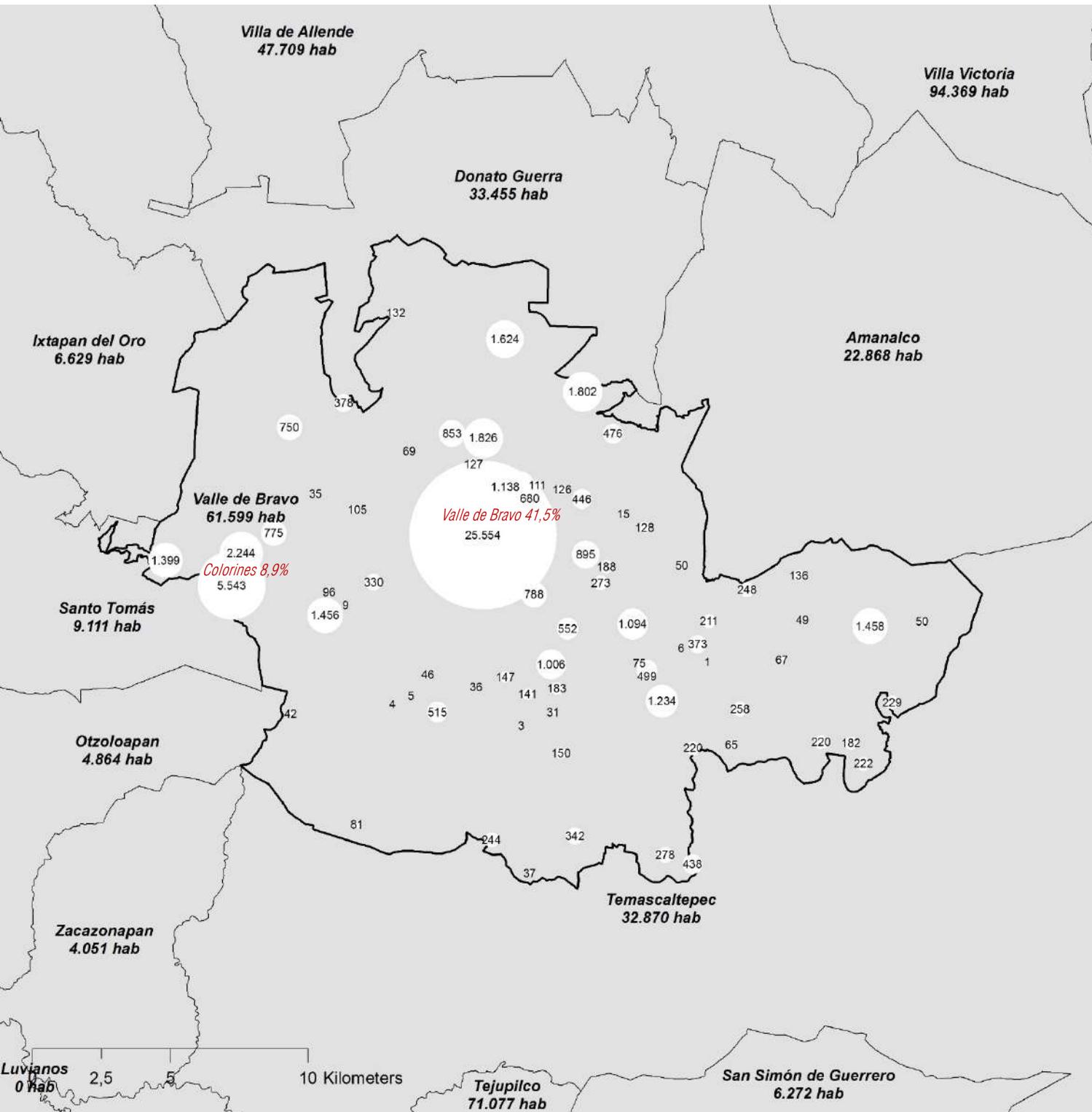
Localidades INEGI 2010



0 0,5 1 2 Kilometers

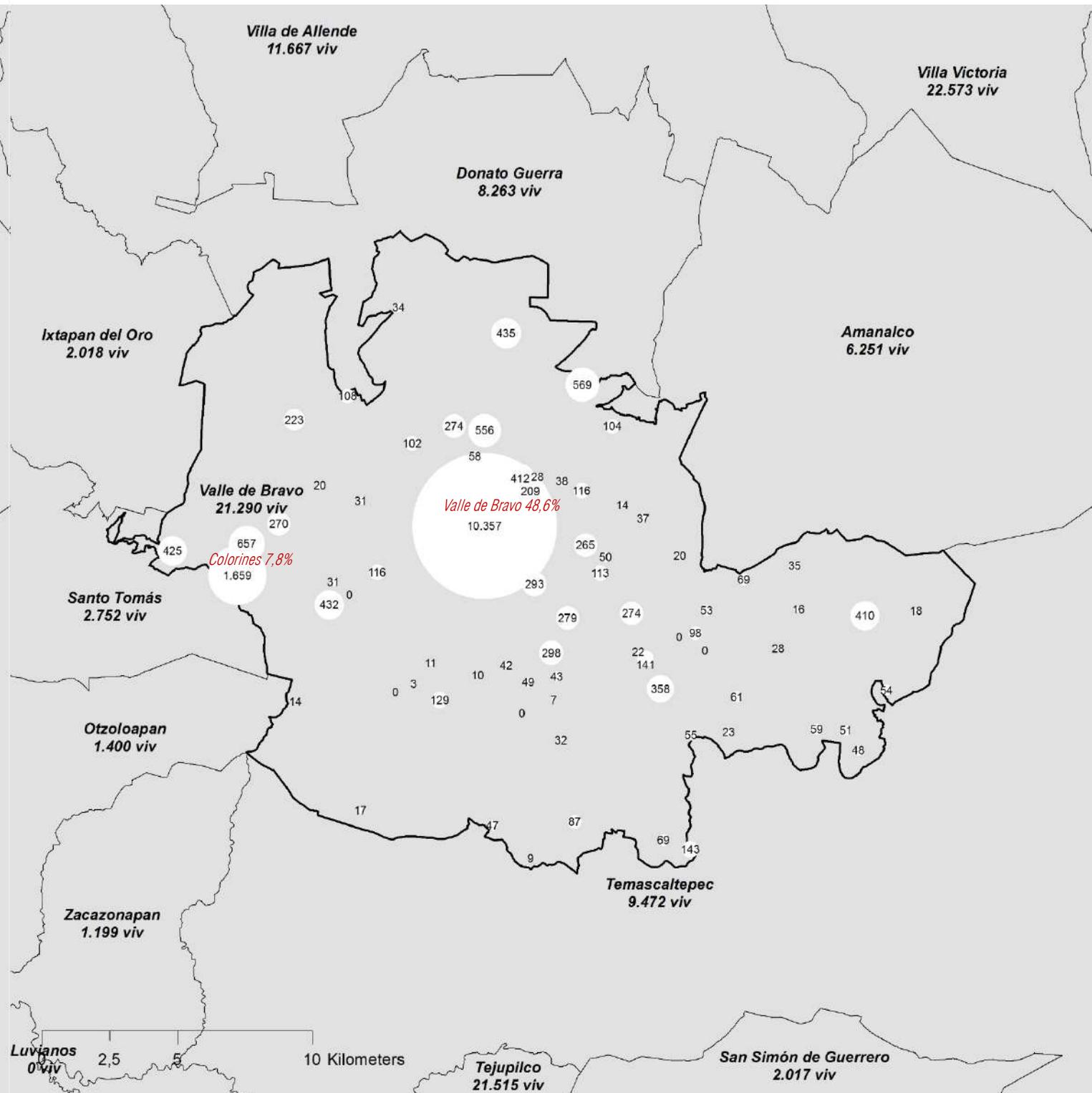
# 1.3

## Población 2010



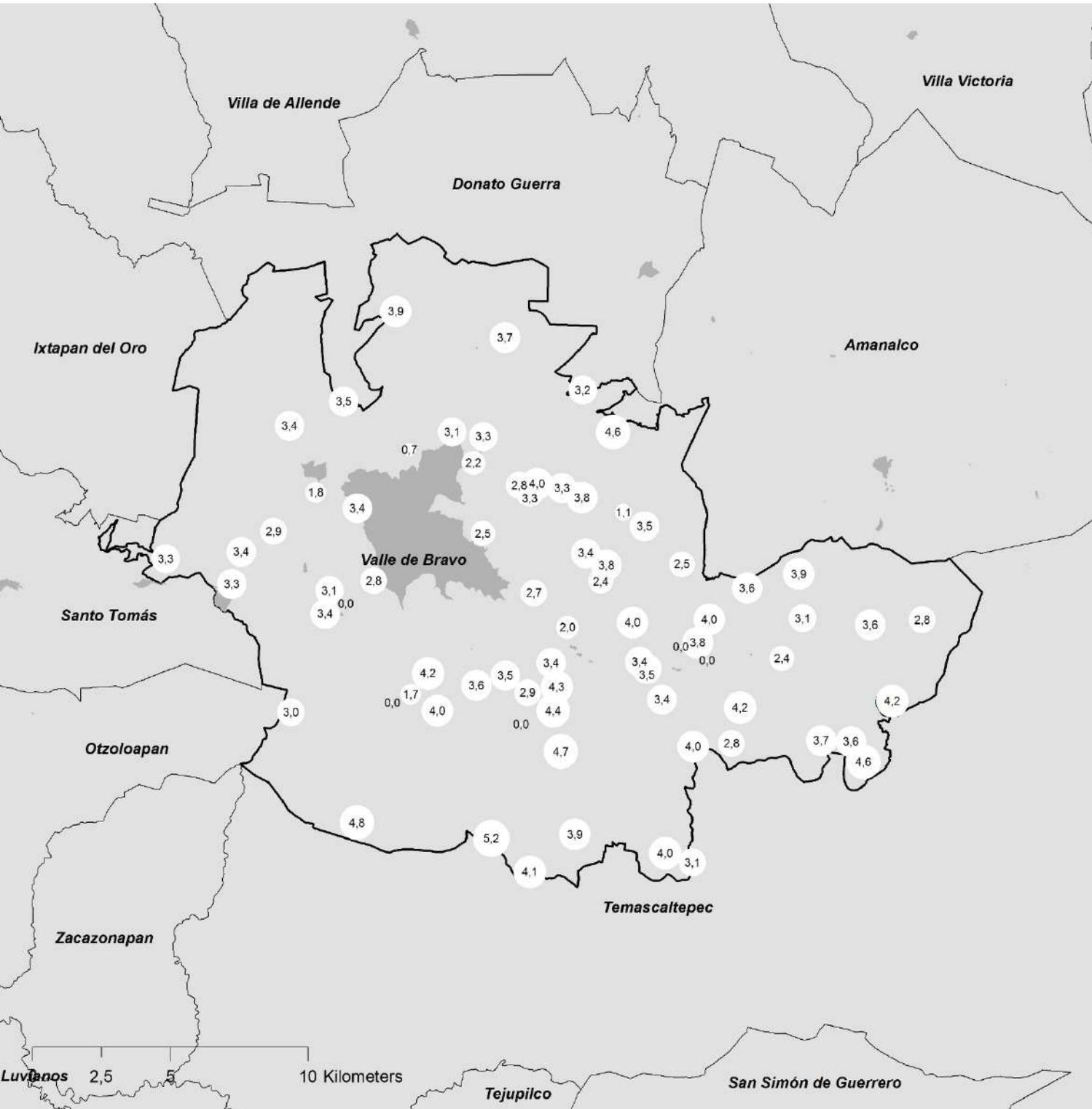
Fuente: INEGI Censo 2010

## Viviendas 2010



Municipio de Valle de Bravo

RATIO DE HABITANTES POR VIVIENDA SOBRE LOCALIDADES 2010



## POBLACIÓN | VIVIENDAS

Para cuantificar el impacto que tienen la población y la vivienda sobre el territorio se proponen las siguientes tablas:

**Población / Viviendas:** La primera tabla representa el cambio entre el número de personas de los censos 1990, 2000 y 2010. En la primera década se destaca un gran crecimiento con una tasa anual de 4,7%, sin embargo este crecimiento declino de forma significativa en el segundo periodo con una tasa de 0,7%. En comparación con el número de viviendas para la primera década, destaca que la tasa supera en 1,4 puntos al de la población (6,1%). Siendo aún más significativa el crecimiento de viviendas en el segundo periodo (versus el de población) con una tasa anual del 5,5%. Claramente el modelo urbano que presenta la zona, refleja un perfil de segunda residencia, junto con la presión que ello conlleva.

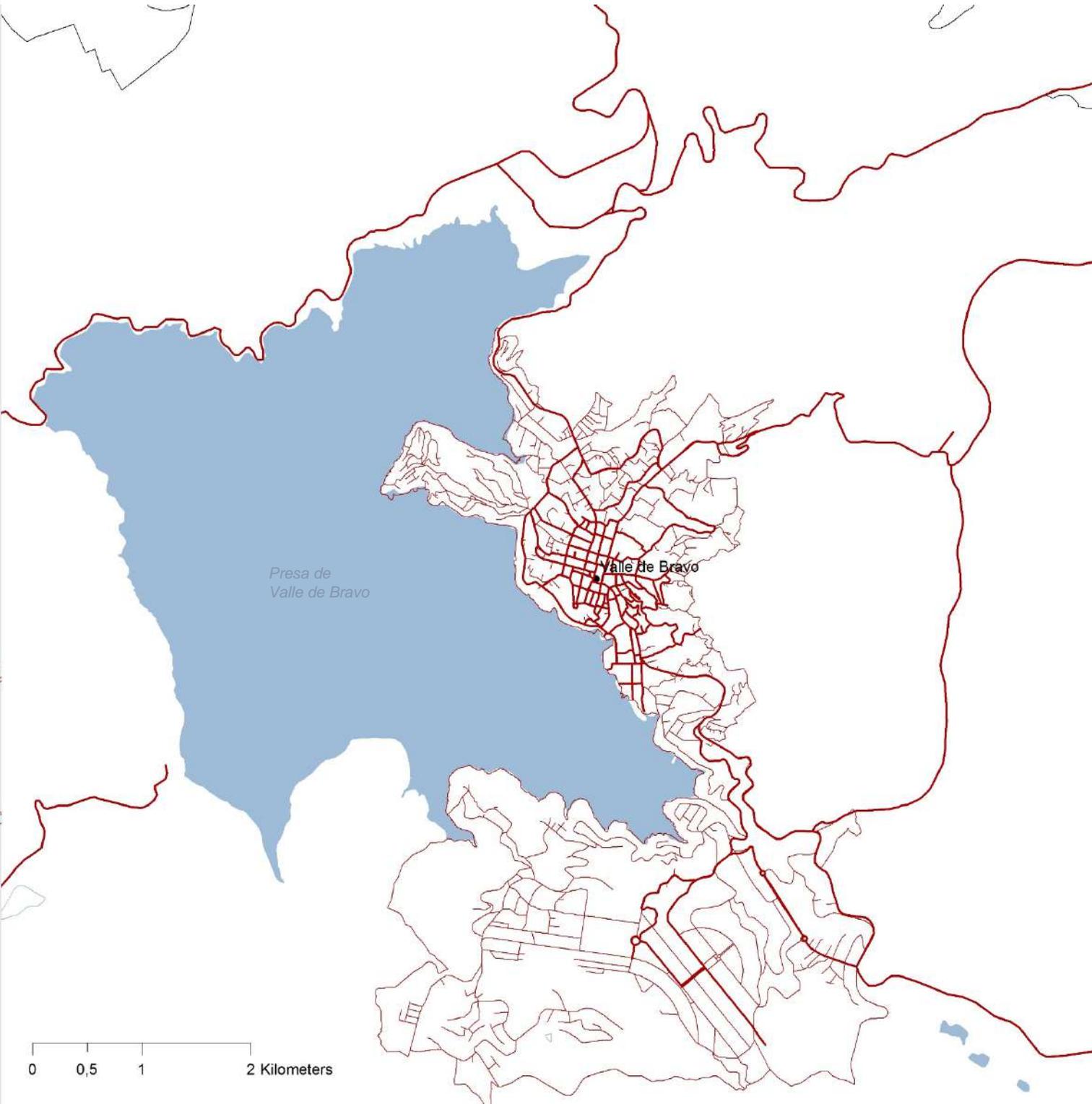
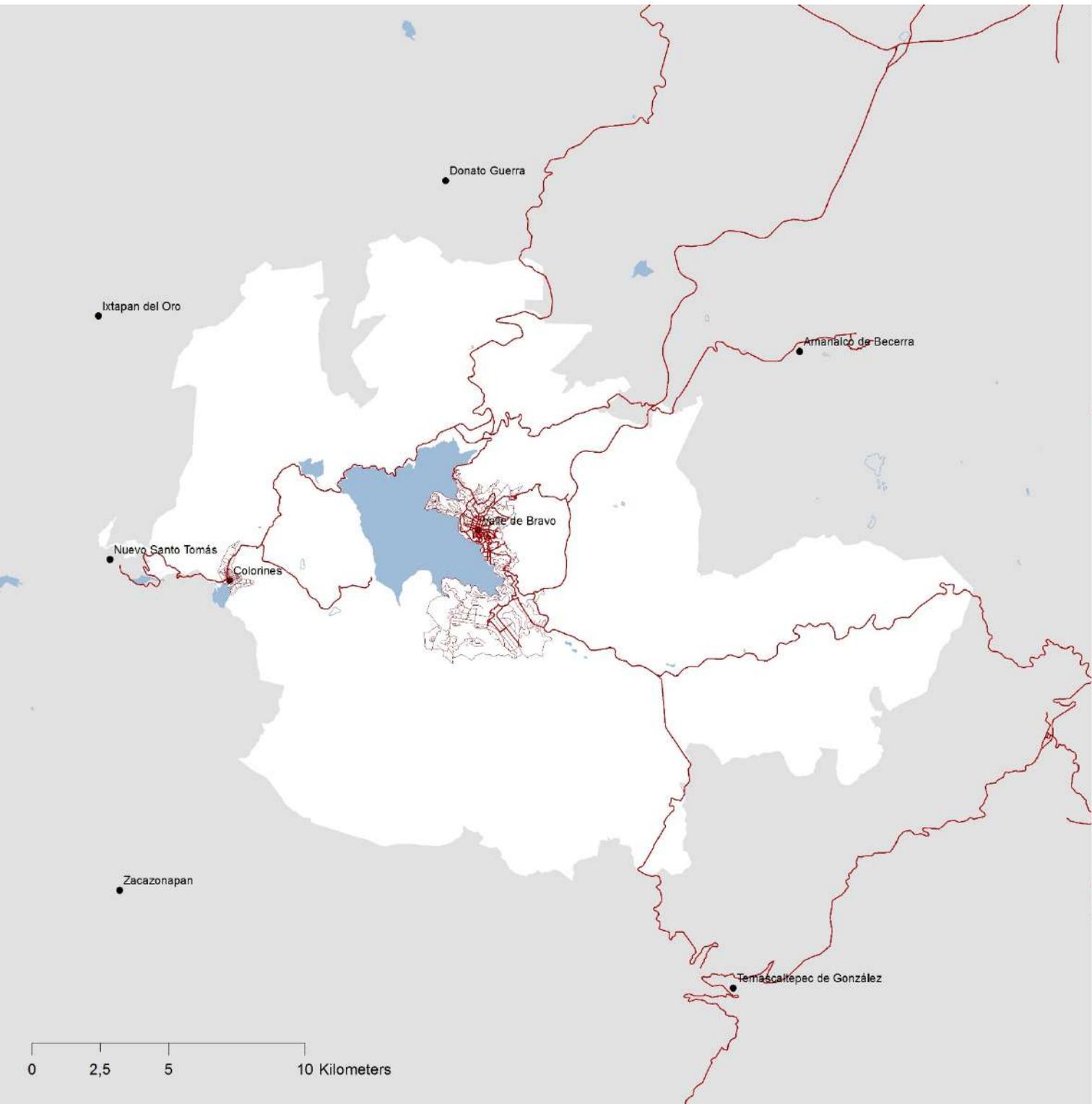
**Crecimiento:** Al existir una disparidad tan grande entre los dos periodos estudiados de las tasas de crecimiento anual de población, no es recomendable establecer un escenario futuro. Mientras que si se puede hacer con los valores de vivienda. Mediante la diferencia de viviendas entre el periodo total (1990 a 2010), se obtuvo una tasa de crecimiento anual de 5,8%. Con la misma se obtuvo una estimación del número de viviendas para el año 2013 en 23.814 viviendas. Es decir, la zona presenta un crecimiento anual en torno a 1.350 viviendas. Este valor expone una presión de aproximadamente 67 ha/año.

Este modelo urbano provoca un importante impacto debido al elevado consumo de suelo requerido, poniendo en riesgos los espacios de interés natural de la zona, esto conlleva a la necesidad de definir límites que permitan controlar la presión de este crecimiento.

La función de estos valores es orientativa, y se refiere a los últimos 20 años.

### Valle de Bravo

	1990	2000	2010	TCA			2013
				1990-2000	2000-210	1990-2010	
Población	36.135	57.375	61.599	4,7%	0,7%	2,7%	-
Viviendas	6.945	12.509	21.290	6,1%	5,5%	5,8%	23.814
Suelo Artificializado viv/ha	378 ha 18	575 ha 22	992 ha 21				
Nuevas viviendas Consumo de suelo	<b>1.372 viv/año</b>			<b>67 ha/año</b>			



Fuente: INEGI 2007 / Openstreetmap 2010

Municipio de Valle de Bravo

# II.

## Inventario de coberturas de suelo

La principal aportación de este informe se basa en la clasificación automática de las coberturas de suelo en 24 categorías en dos periodos de tiempo para la obtención del inventario detallado de cuatro sistemas y sus cambios. El proceso permite tener una clasificación de un periodo reciente, lo que posibilita que los resultados reflejen de forma fidedigna y precisa la situación actual.

El proceso para la realización del inventario es el siguiente:

### 2.1 IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes de satélite Landsat TM (Thematic Mapper) y ETM (Enhanced Thematic Mapper), que generan datos con una resolución espacial de 30 y 15 metros de píxel, ofrecen potencialmente una herramienta útil para la clasificación de la cobertura del suelo, y la detección de asentamientos urbanos (Møller-Jensen, 1990; Paresi y Bianchin, 2001; Barnsley et al, 2001). Las imágenes Landsat, cuyo nombre deriva de la suma de Land (tierra) + Satellite (satélite), están disponibles desde el año 1972 a través el uso de seis satélites de la serie Landsat. Estos satélites, que han sido un componente importante del programa de monitoreo de la superficie terrestre gestionado por la NASA, han utilizado tres sensores primarios que han ido evolucionando a lo largo de más de treinta años: MSS (Multi-espectral Scanner), TM (Thematic Mapper) y ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Landsat proporciona imágenes, a través de escenas cuadradas de tamaño 185x185 Km, de alta resolución para bandas en el espectro del visible y del infrarrojo (hasta 30m), además imágenes térmicas (hasta 60m) y una imagen pancromática de 15m de resolución que está disponible solo en el sensor ETM+.

### 2.2 CLASIFICACIÓN

Esta se centra en el estudio detallado de las características espectrales de los píxeles en función de las propiedades físicas de los distintos materiales, que a su vez afectan a los valores de reflectancia en distintos rangos de longitud de onda. El proceso de clasificación empieza con el uso de librerías espectrales específicas que recogen un número considerable de diferentes categorías de cubierta de suelo.

De cada periodo de tiempo se realiza un pre proceso de la imagen satelital donde se limpia, optimiza, calibra y se genera el mosaico necesario para cubrir el ámbito territorial de la zona de estudio. Las técnicas principales utilizadas en la clasificación para la obtención de 24 categorías se fundamentan en cuatro pasos:

- Aplicación de análisis cluster sobre imágenes multispectrales, según distintas técnicas, y en particular Parallelepiped, Minimum Distance, Mahalanobis Distance, Spectral Angle Mapper.
- Generación de información adicional a través del uso de indicadores específicos tal como el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), Normalized Difference Soil Index (NDSI).
- Uso de Modelos Digitales de Elevación (DEM) para generar Modelos Digitales de Terreno (MDT)
- Aplicación de filtros de post-proceso para limpiar y homogeneizar la información.

### 2.3 CAMBIOS

El objetivo de este apartado es tener una visión en conjunto de la evolución de las formas territoriales y de sus diferentes sistemas, y entender las relaciones entre ellos. Por lo que se cuantifican las superficies sobre los cambios ocurridos en las cubiertas del suelo entre un periodo y otro, detectando las tendencias en el consumo de suelo.

## IMÁGENES LANDSAT

Los procedimientos de adquisición de imágenes de la superficie terrestre, a través de la teledetección, se basa en la utilización de dos tipos de plataformas que llevan distintos tipos de sensores: plataformas aerotransportadas (globos, helicópteros y aviones) y plataformas espaciales (satélites). Las diferentes orbitas, junto con las diferentes características técnicas de los sensores, en términos de resolución espacial, espectral y radiométrica, proporcionan varios tipos de imágenes. Este estudio en particular se basa sobre el uso de imágenes multisectoriales derivadas del satélite **Landsat**, gestionado por Estados Unidos.

Las imágenes **Landsat**, cuyo nombre deriva de la suma de *Land* (tierra) + *Satellite* (satélite), están disponibles desde el año 1972 a través el uso de 7 satélites de la serie Landsat. De hecho los satélites van del 1 a 8 (Landsat 8 ha sido lanzado durante el 2013), pero la misión 6, lanzada en 1993, no logró alcanzar la órbita. Estos satélites, que han sido una componente importante del programa de monitoreo de la superficie terrestre gestionado por la NASA, utilizan cuatro sensores primarios que han ido evolucionando a lo largo de más de treinta años: MSS (*Multi-espectral Scanner*), TM (*Thematic Mapper*), ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), y OLI (*Operational Land Image*). La misión Landsat proporciona imágenes, a través de escenas de tamaño de alrededor de 185 x 185 Km, de media resolución espacial, y para bandas en el espectro del visible y del infrarrojo (hasta 30m). Imágenes térmicas (de resolución espacial de hasta 60m) y una imagen pancromática de 15m de resolución están disponibles para los sensores ETM+, y OLI; mientras que el sensor TM solo lleva una imagen térmica, además de la imagen multi-espectral.

La tabla a continuación muestra un resumen de las principales características técnicas de las misiones Landsat

LANDSAT MISSION SATELLITE	Sensor	Band Number	Spectral Range $\mu\text{m}$	Scene Size km	Spatial Resolution meter/pixel	Temporal Resolution
L 1-5	MSS multi-spectral	4,5,6,7	0.50 - 1.1 1	≈ 185 X 185	60	18 days
L 3	MSS thermal	8	10,41 – 12,60		60	
L 4-5	TM multi-spectral	1,2,3,4,5,7	0.45 - 2.35		30	16 days
L 4-5	TM thermal	6	10.40 - 12.50		120	
L 7	ETM+ multi-spectral	1,2,3,4,5,7	0.450 - 2.35		30	16 days
L 7	ETM+ thermal	6.1, 6.2	10.40 - 12.50		60	
L 8	OLI spectral bands	1,2,3,4,5, 6, 7, 9	0.43 - 2.30		30	16 days
L 8	TIRS Thermal	10, 11	10,30 – 12,50		100 (resampled 30)	
Panchromatic L7	ETM+	8	0.52 - 0.90		15	16 days
Panchromatic L8	OLI	8	0.50 - 0.68		15	

La colección de Landsat disponible a través de varias plataformas informáticas tal como USGS (*U.S. Geological Survey*) o GLCF (*Global Land Cover Facility*) está dirigida al análisis de coberturas del suelo en sus fases temporales, ya que proporciona datos históricos desde los años setenta hasta la actualidad, siendo en continua actualización.

Las imágenes Landsat, que están disponibles en formato GeoTIFF a 8 bits, y de acuerdo con el sistema de proyección geográfica UTM (*Universal Transverse Mercator*), WGS (*World Geodetic System*) 84, prevén un pre-procesamiento de primer nivel para corregir los errores derivados de la curvatura de la tierra y la topología del terreno. Un proceso de calibración, para conseguir valores de reflectancia para cada pixel, y un proceso de corrección atmosférica necesario para eliminar errores debidos al efecto de “*scattering*” de las radiaciones solares a través de la atmosfera, preceden el proceso de clasificación apto a cuantificar la composición del paisaje en términos de cubiertas de suelo. Un proceso de limpieza automática para quitar nubes y sombras correspondientes, y el reemplazo de información “útil” ha sido desarrollado por LEAPFROG con el fin de conseguir imágenes satélite “limpias”, siendo que la realidad de la superficie terrestre resulta a menudo ser bastante compleja.

# CATEGORÍAS DE COBERTURA DE SUELO

El mapa de cubiertas del suelo es una cartografía temática de alta resolución de los principales tipos de cubiertas del suelo (sistema natural/bosques, zonas agrícolas, áreas artificializadas y zonas hídricas). Es un producto digital que comprende los principales tipos de cubiertas del suelo, con una leyenda que corresponden a 5 categorías. El mismo se basa en la clasificación del mapa de cubiertas del CORINE Land Cover y el de USGS. La delimitación de las áreas se hace a partir de técnicas de teledetección con un proceso semiautomático, mediante el análisis por píxel, con una metodología propia. El material de base de la clasificación son las imágenes satelitales Landsat, para los periodos 1986, 2000 y 2013, donde la escala de trabajo válida es 1:200.000. Mientras que a 15m/píxel para los periodos 2000 y 2013 la escala de trabajo válida es 1:100.000. A continuación se describe la información general de las bases antes citadas:

CLC (CORINE Land Cover), es un proyecto de la Agencia Europea de Medioambiente que tiene como objetivo fundamental la captura de datos de tipo numérico y geográfico para la creación de una base de datos europea a escala 1:100.000 sobre la Cobertura y/o Uso del Territorio (Ocupación del suelo). Debido a el seguimiento por parte de los países de la Unión Europea de una serie de directrices comunitarias (relativas especialmente a aspectos técnicos, como son la escala, resolución, nomenclatura, etc.) a la hora de realizar este proyecto, se cuenta con una información perfectamente comparable entre quince países, habiéndose constituido en una herramienta fundamental para la política medioambiental y estadística en el ámbito europeo. Las Especificaciones básicas fueron definidas a lo largo del programa CORINE (" CLC Technical Guide (CE 1993)" y "Technical Guide for Updating CORINE Land Cover Database (CE 1997)") y los tres elementos determinantes del proyecto son las siguientes: La escala cartográfica elegida es 1:100.000, la precisión cartográfica es al menos 100m para todos los productos europeos y la utilizando IMAGE2000 como referencia geométrica para la base de datos CLC con una precisión mínima de 25m. La unidad mínima superficial cartografiable es de 25ha, la anchura mínima de los elementos lineales es de 100m, la nomenclatura CLC europea es jerárquica y distingue 44 clases al tercer nivel, 15 en el segundo y 5 en el primero. En la actualidad hay datos disponibles para tres etapas temporales: 1990, 2000, y 2006.

USGS (United States Geological Survey), es la agencia científica de EE.UU que provee una de las bases más importantes de información geográfica sobre ecosistemas y medio ambiente; poniendo particular énfasis en los fenómenos de riesgo natural, los impactos derivados del cambio climático, y cuantificar los recursos naturales y el uso del suelo. Uno de los productos más relevantes proporcionado por el USGS es, sin duda, la Base de Datos Nacional sobre Cubiertas de Suelo (NLCD, National Land Cover Database). Esta base de datos ofrece una referencia espacial y los datos descriptivos sobre las principales clases temáticas, o sistemas de cobertura de suelo, tal como lo urbano, el agrícola, bosques, y aguas. La actual cartografía digital temática disponible, tiene una resolución de 30 metros por píxel, derivada de imágenes de satélite Landsat, y se refiere al conjunto de datos a nivel de País para tres etapas temporal: 1990, 2000, y 2006; para todo el territorio nacional de EE.UU. y Alaska. El sistema de clasificación NLCD se fundamenta en una leyenda jerárquica que define 21 clases de cobertura del suelo, de acuerdo con el trabajo proporcionado por Anderson, Hardy, Roach, y Witmer, en el 1976: A Land Use and Land Cover Classification System for use with Remote Sensing Data; publicado por el Departamento del Interior de Los Estados Unidos. La cartografía temática resultante del NLCD proporciona información viable sobre todo para análisis tanto a nivel Regional, como nacional, debido a la resolución de las imágenes primarias utilizadas (Landsat 30 m) que entrega resultados a resolución espacial media, y que se pueden referir a escalas operativas de alrededor de 1:200.000.

LEAPFROG realiza una clasificación que se divide en un total de 5 categorías que corresponden a:

## Bosques

Áreas dominadas por árboles de más de 5m de altura, y mayores al 20% de cobertura de vegetación total.

### Primary Forest

Areas dominated by trees generally greater than 5 meters tall, and greater than 20% of total vegetation cover.

## Vegetación secundaria

En general, la vegetación representa menos del 15% de la cobertura total. Áreas de roca, pavimento desértico, material volcánico, arena, minas a cielo abierto, graveras y otras acumulaciones de material de tierra.

### Barren or Sparsely Vegetated Natural Areas

Generally, vegetation accounts for less than 15% of total cover. Areas of bedrock, desert pavement, scarps, talus, slides, volcanic material, glacial debris, sand dunes, strip mines, gravel pits and other accumulations of earthen material.

## Cuerpos de Agua

Áreas de aguas abiertas, por lo general con cubiertas menores al 25% de la vegetación o suelo.

### Water

Areas of open water, generally with less than 25% cover of vegetation or soil.

## Agrícola

Pastizales: áreas de gramíneas, leguminosas o mezclas de gramíneas y leguminosas sembradas para el pastoreo o la producción de semillas o cultivos de heno, por lo general en un ciclo perenne. La vegetación de pastizal representa una superficie mayor al 20% de la vegetación total.

Cultivos: áreas utilizadas para la producción de cultivos anuales, tales como maíz, soja, vegetales, tabaco y algodón, así como los cultivos leñosos perennes tales como huertos y viñedos. Vegetación de cultivos representa mayor que 20% de la vegetación total. Esta clase también incluye toda la tierra labrada.

### Planted/Cultivated

Pasture/Hay: areas of grasses, legumes, or grass-legume mixtures planted for livestock grazing or the production of seed or hay crops, typically on a perennial cycle. Pasture/hay vegetation accounts for greater than 20% of total vegetation.

Cultivated Crops: areas used for the production of annual crops, such as corn, soybeans, vegetables, tobacco, and cotton, and also perennial woody crops such as orchards and vineyards. Crop vegetation accounts for greater than 20% of total vegetation. This class also includes all land being actively tilled.

## Superficies Artificiales

Desarrollados: las zonas con una mezcla de materiales construidos y vegetación. Las superficies impermeables representan el 20% y el 100% por ciento de la cobertura total.

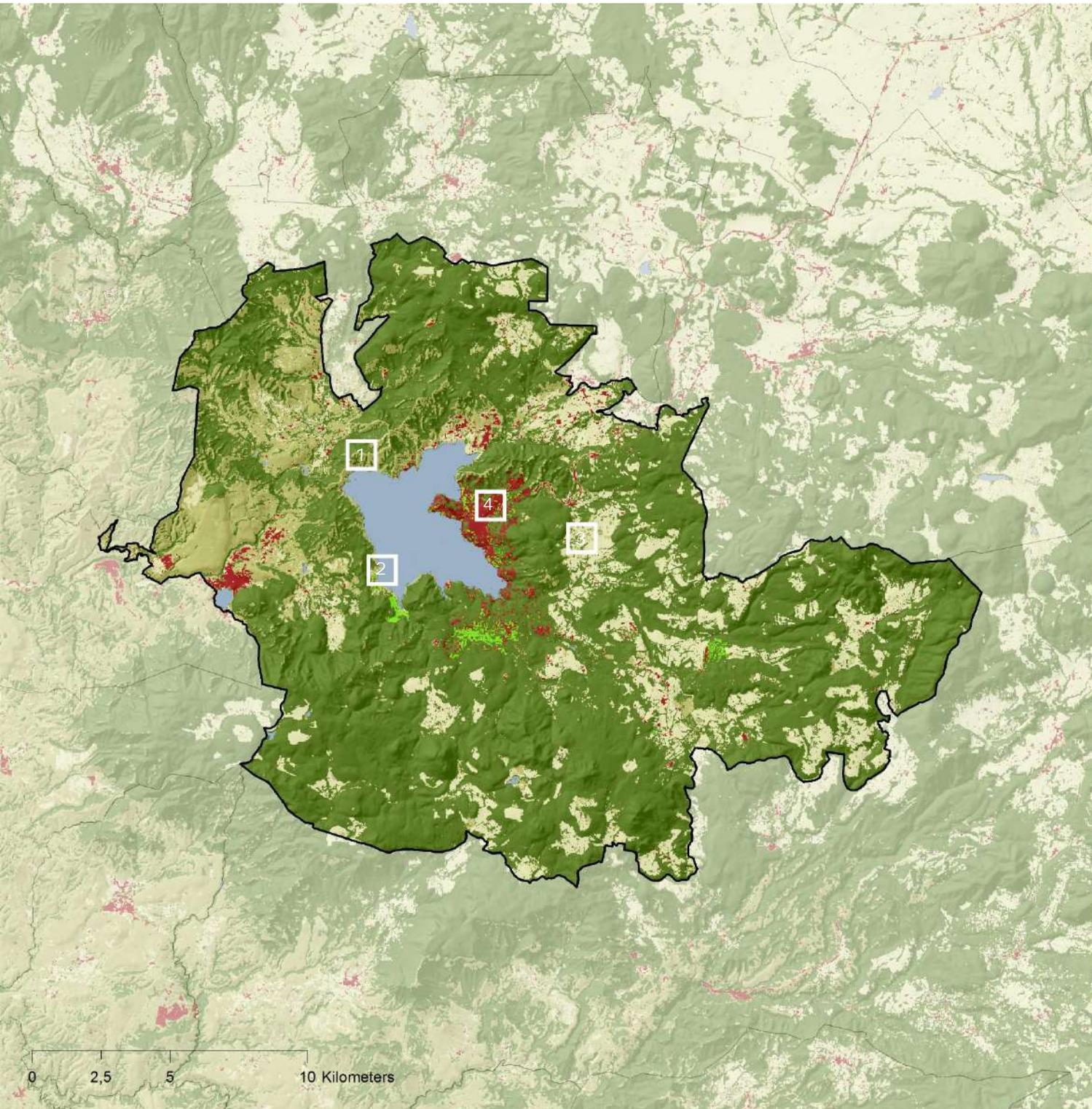
Desarrollados, Espacio Abierto: áreas con una mezcla de algunos materiales construidos, pero sobre todo la vegetación en forma de hierbas del césped. Las superficies impermeables representan menos del 20% de la cobertura total. Estas áreas más comúnmente incluyen a gran lote de unidades unifamiliares viviendas, parques, campos de golf, y la vegetación plantada en los entornos desarrollados para la recreación, el control de la erosión, o con fines estéticos.

### Artificial Surfaces

Developed: areas with a mixture of constructed materials and vegetation. Impervious surfaces account for 20% to 100% percent of total cover.

Developed, Open Space: areas with a mixture of some constructed materials, but mostly vegetation in the form of lawn grasses. Impervious surfaces account for less than 20% of total cover. These areas most commonly include large-lot single-family housing units, parks, golf courses, and vegetation planted in developed settings for recreation, erosion control, or aesthetic purposes.

Clasificación 2013 15m/pixel



Fuente: Leapfrog

# Categorías

Coberturas de Suelo



1

3 Agrícola

2

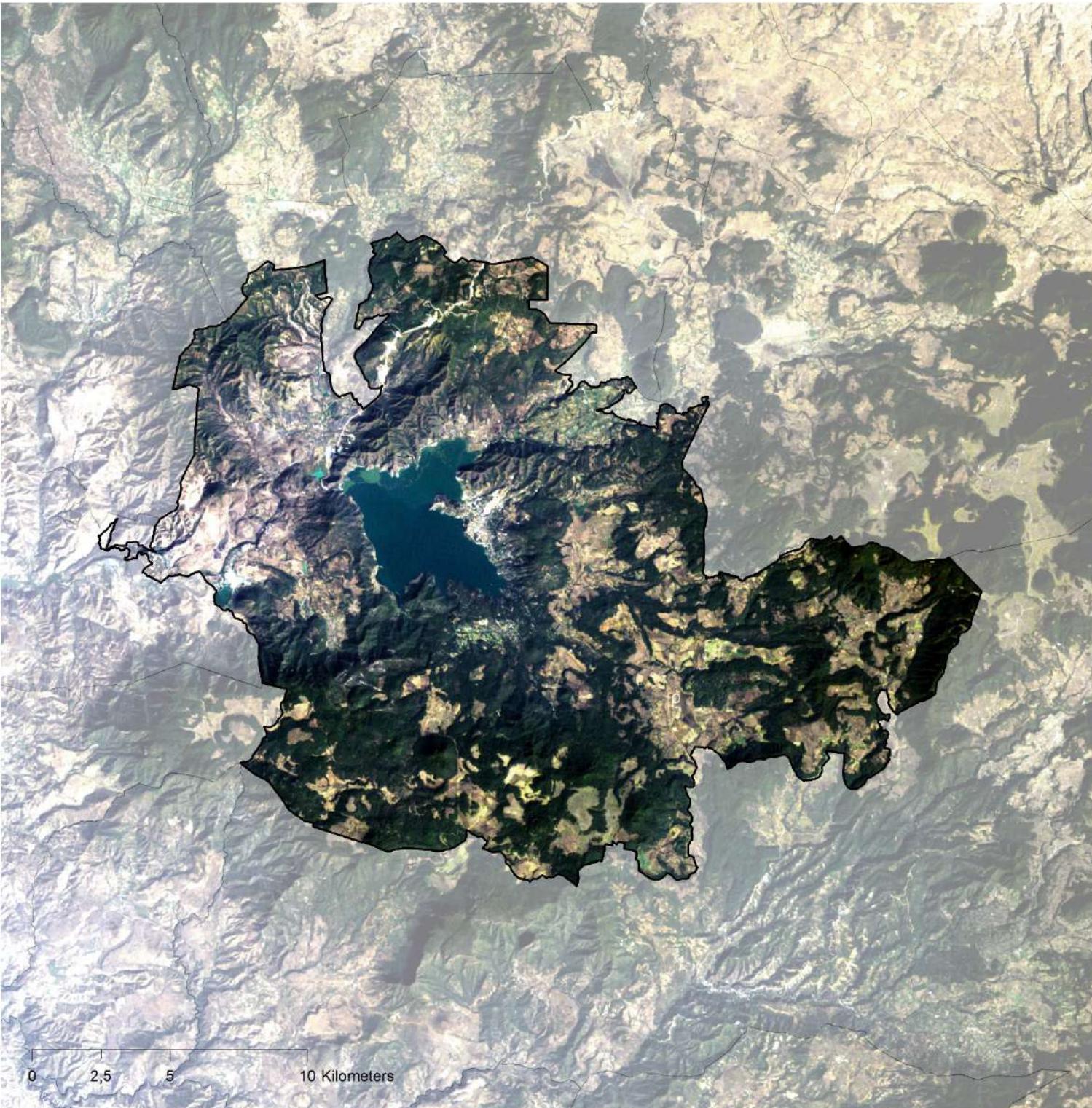
4 Superficies Artificiales

Municipio de Valle de Bravo

1986 | 2000 | 2013

# 2.1

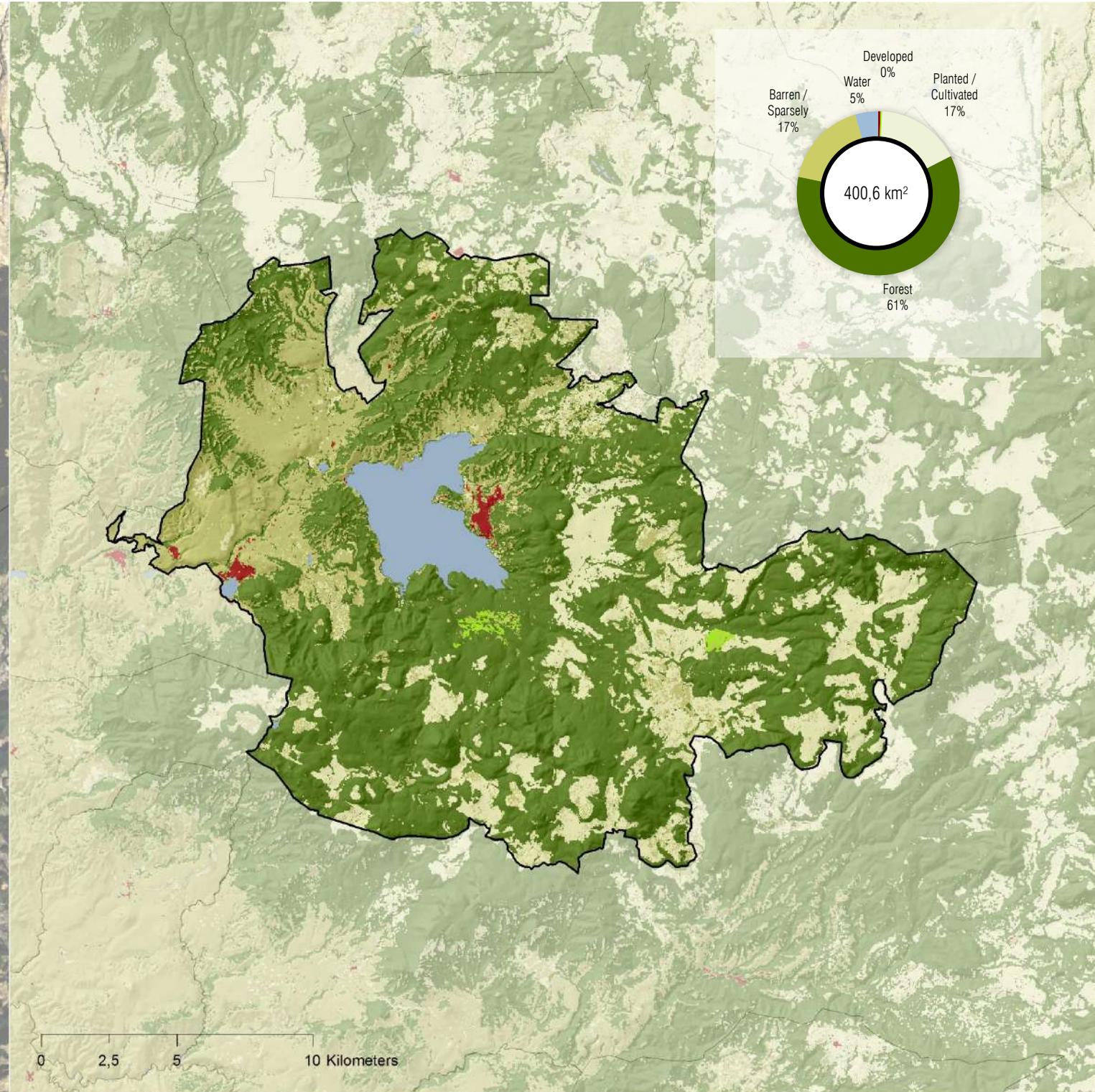
Landsat 30m/pixel



Fuente: Leapfrog

# 1986

Clasificación de Coberturas de Suelo



Municipio de Valle de Bravo

# 2.2

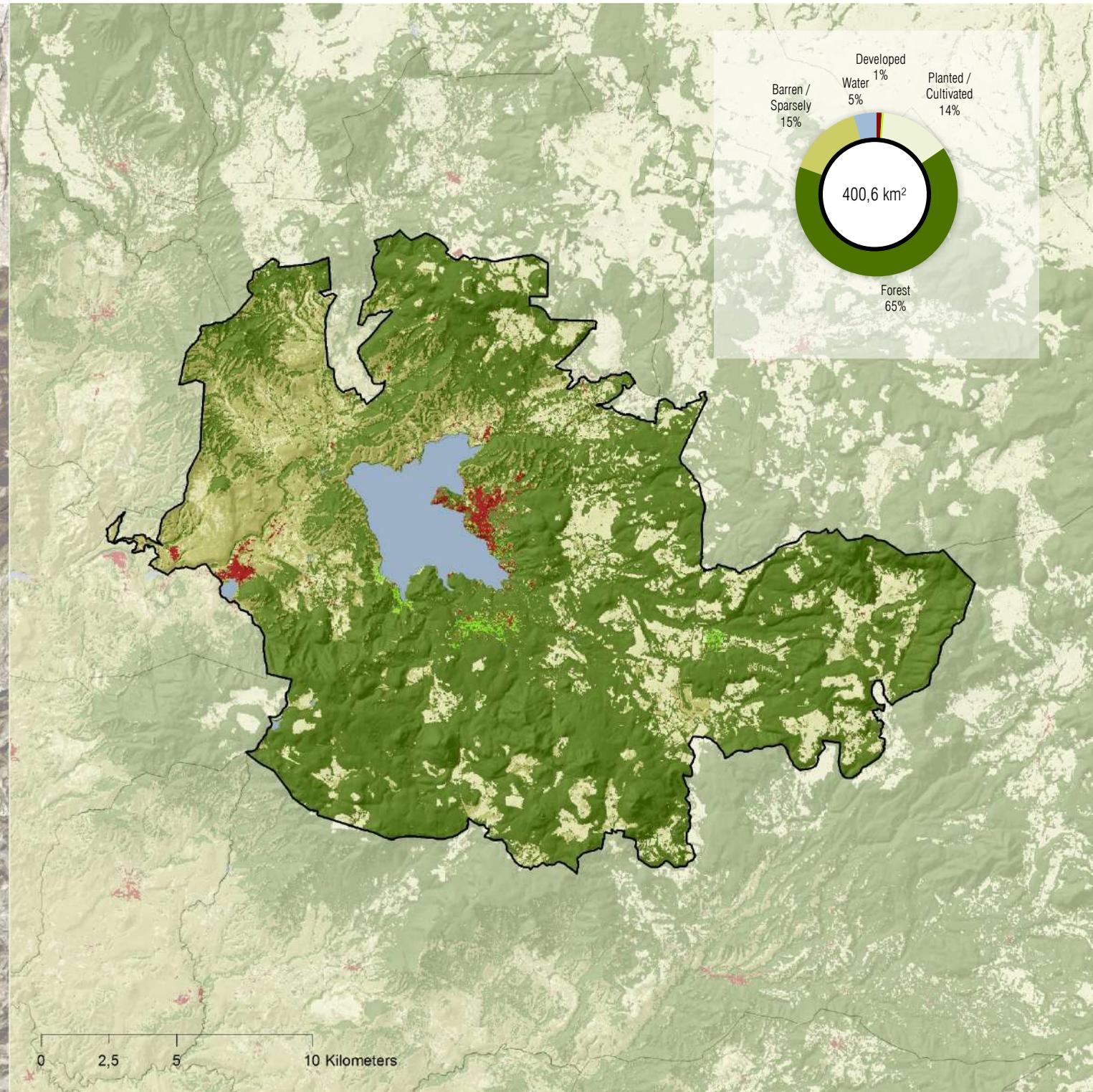
Landsat 15m/pixel



Fuente: Leapfrog

# 2000

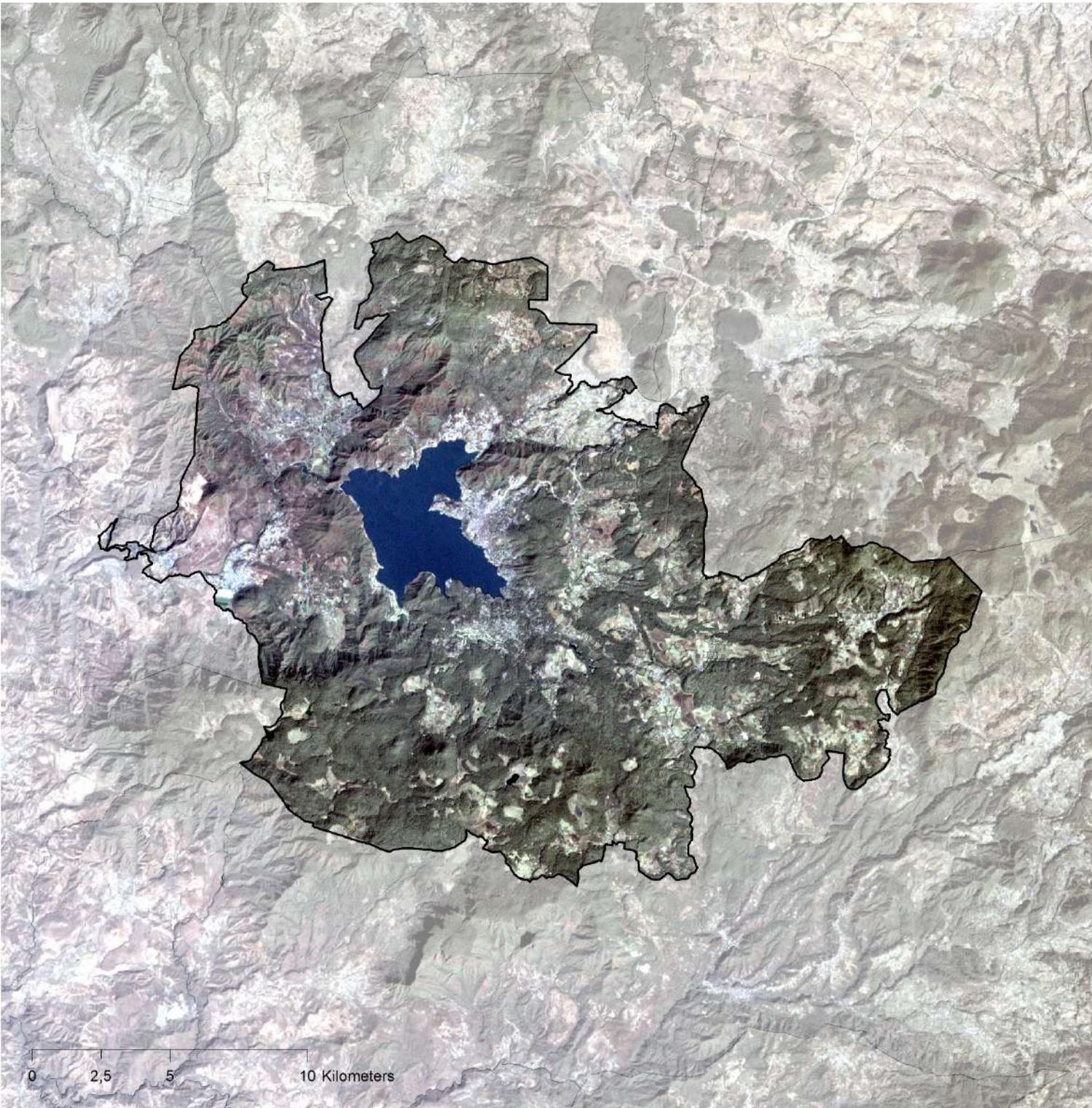
Clasificación de Coberturas de Suelo



Municipio de Valle de Bravo

# 2.3

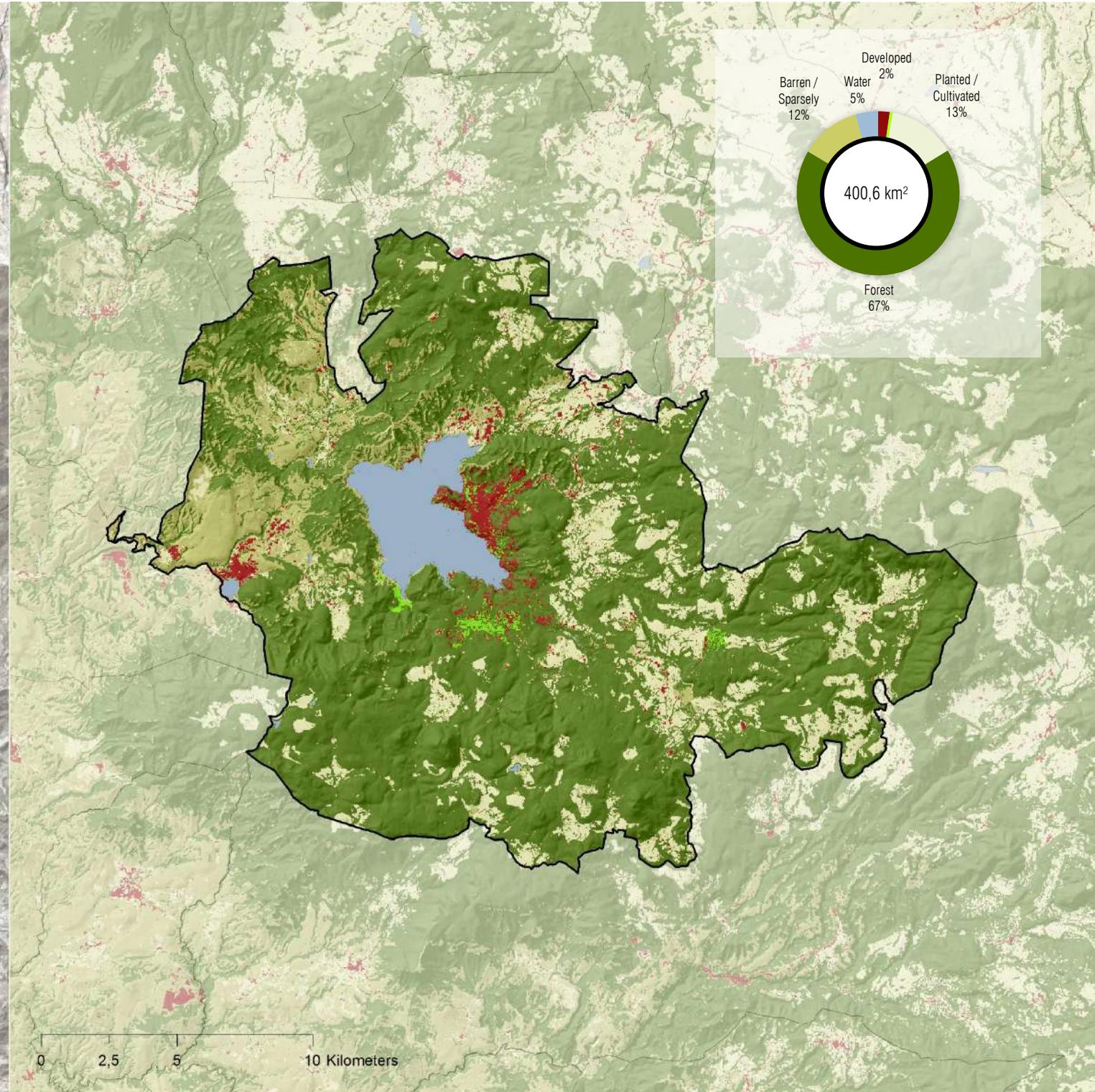
Landsat 15m/pixel



Fuente: Leapfrog

# 2013

Clasificación de Coberturas de Suelo



Municipio de Valle de Bravo

## DATOS

CLASS	1986	2000	2013	Δ T			TCA		
	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	1986 2000	2000 2013	1986 2013	1986 2000	2000 2013	1986 2013
<b>100 Artificial</b>	<b>3,2</b>	<b>5,7</b>	<b>11,6</b>	2,6	5,9	<b>8,4</b>	4,3%	5,6%	<b>4,9%</b>
101 Developed	2,0	4,1	9,2	2,1	5,1	7,2	5,4%	6,4%	5,9%
102 Developed Open	1,2	1,7	2,4	0,4	0,8	1,2	2,2%	3,0%	2,6%
<b>200 Planted / Cultivated</b>	<b>67,0</b>	<b>56,1</b>	<b>53,6</b>	-10,9	-2,4	<b>-13,4</b>	-1,3%	-0,3%	<b>-0,8%</b>
<b>300 Forest / Natural</b>	<b>312,2</b>	<b>320,6</b>	<b>317,5</b>	8,4	-3,1	<b>5,2</b>	0,2%	-0,1%	<b>0,1%</b>
301 Forest	243,3	260,6	269,3	17,3	8,8	26,1	0,5%	0,3%	0,4%
302 Barren / Sparsely	69,0	60,1	48,1	-8,9	-11,9	-20,8	-1,0%	-1,7%	-1,3%
<b>400 Water</b>	<b>18,2</b>	<b>18,2</b>	<b>17,9</b>	0,0	-0,3	<b>-0,3</b>	0,0%	-0,1%	<b>-0,1%</b>
Total <b>400,6</b>									

Fuente: Leapfrog

## RESULTADOS

La clasificación de las coberturas del suelo se divide en tres partes a nivel de información digital; en la primera se refiere a al periodo 1986-2000, la segunda sobre el periodo entre 2000-2013, y la última al periodo 1986-2013. Los resultados obtenidos son orientativos para la comprensión del consumo de suelo entre las distintas categorías. A partir de estos periodos se obtuvieron las tasas de crecimiento anual correspondientes:

Así se pueden resaltar los cambios por sistema según los siguientes datos:

El sistema hídrico presenta pequeños cambios en superficie dependiendo del mes de la imagen satelital, según el nivel de agua que presentan las diferentes presas del municipio. La superficie promedio es de 18 km<sup>2</sup>, que representa el 5% del municipio.

El sistema natural-forestal en su conjunto, prácticamente se mantiene a lo largo de los periodos estudiados. Para entender su dinámica es necesario revisar por separado las zonas de bosques de las zonas naturales, donde se generan cambios representativos. Por una parte el bosque presenta un crecimiento en ambos periodos ( TCA 0,4%), mientras que las zonas naturales presentan las mayores pérdidas de suelo con 20,8 km<sup>2</sup>, el doble de la superficie artificial para el año 2013.

Las zonas agrícolas han denotando también pérdidas de 13,4 km<sup>2</sup> en 24 años, siendo estas más intensas en el primer periodo (1986 a 2000) con una tasa anual de -1,3%, a diferencia del segundo periodo (2000 a 2013) con una tasa del -0,3%.

El sistema artificializado es el que presenta el cambio más relevante de ganancia de suelo, con una tasa de crecimiento anual de 4,9%, lo que conlleva casi a duplicar su superficie cada 10 años. Si se revisan los datos de población y vivienda contra las áreas artificiales por periodo, se obtienen densidades sumamente bajas que no superan las 22 viviendas por hectárea.

# III.

## Sistemas

A partir de las clasificaciones de primer nivel, se transforman las imágenes ráster a polígonos para su análisis en GIS. Se proponen 4 sistemas de estudio en detalle: Sistema Hídrico y Sistema Forestal (Sistemas Naturales) y Sistema Agrícola y Sistema Urbano (Sistemas Artificiales). A cada sistema se le aplica un conjunto de indicadores válidos para su mejor interpretación y representación.

### 3.1 HÍDRICO

La restauración y conservación de los sistemas naturales de agua tiene múltiples beneficios, se requiere una estrecha coordinación entre la protección de la naturaleza, los usos del agua, la producción de energía y la ordenación del territorio. Un elemento clave para el análisis de este sistema es el modelo digital del terreno. A través de este modelo es posible el cálculo de cuencas, escurrimientos y pendientes. De esta forma es posible prevenir inundaciones, aumentar la producción de alimentos, mejorar el suministro de energía y regular los recursos de agua dulce.

### 3.2 NATURAL / FORESTAL

La gestión forestal insostenible, la fragmentación, la contaminación atmosférica y el cambio climático son las principales amenazas a la biodiversidad de los bosques. Los cambios en la cobertura forestal y la conectividad afectan a la biodiversidad (por ejemplo, aves, mamíferos, plantas), la migración de la fauna, semillas de dispersión y otros factores ecológicos, como la propagación de plagas. Las principales causas de fragmentación incluyen el desarrollo de servicio de transporte, el cambio de uso del suelo, la tala operaciones e incendios.

### 3.3 AGRÍCOLA

Las presiones sobre la biodiversidad del suelo son ciertamente crecientes. Por ejemplo, la erosión, un proceso natural que se ve exacerbada por las actividades humanas como la sobreexplotación de las tierras agrícolas, puede eliminar la tierra fértil que luego pasarán cientos de años en formarse nuevamente. Por consiguiente para comprender mejor la biodiversidad de los suelos y las amenazas que enfrenta es necesario inventariar y dar seguimiento a los diferentes procesos.

### 3.4 URBANO

Las ciudades son sistemas abiertos y dinámicos, que consumen, transforman y liberan materia y energía, se desarrollan y adaptan; e interactúan con otros sistemas. Son espacios artificiales dominados por una especie, los seres humanos, pero sólo pueden sobrevivir y tener una calidad de vida mediante el uso de los servicios básicos provistos por la naturaleza y la biodiversidad.

III  
Sistemas

# HÍDRICO



# SISTEMA HÍDRICO

La Cuenca del Valle de Bravo tiene una superficie de 615,8 km<sup>2</sup>. Esta cuenca pertenece a la Región Hidrológica 18, Cuenca Río Balsas, y dentro de ésta a la cuenca del Río Cutzamala (18G), y así a la subcuenca del Río Tilostoc (18Gg). Las altitudes de la cuenca varían entre los 3.760 msnm (Cerro El Calvario) hasta los 1.792 msnm (fondo del desagüe debajo de la cortina) o 1.830 msnm (espejo del agua a la altura del vertedor). De acuerdo al SMAGEM (2010), en la Cuenca se han registrado al menos 841 manantiales que producen 3,84 m<sup>3</sup>/s.

Los principales ríos son: El Salto, Barranca Honda, Tiloxtoc, Los Hoyos, Agua Grande, La Asunción, El Molino, El Crustel, Los Gavilanes, Capilla Vieja, Amanalco de Becerra, Las Flores, Río Chiquito, Los Saúcos y Peñas Altas.

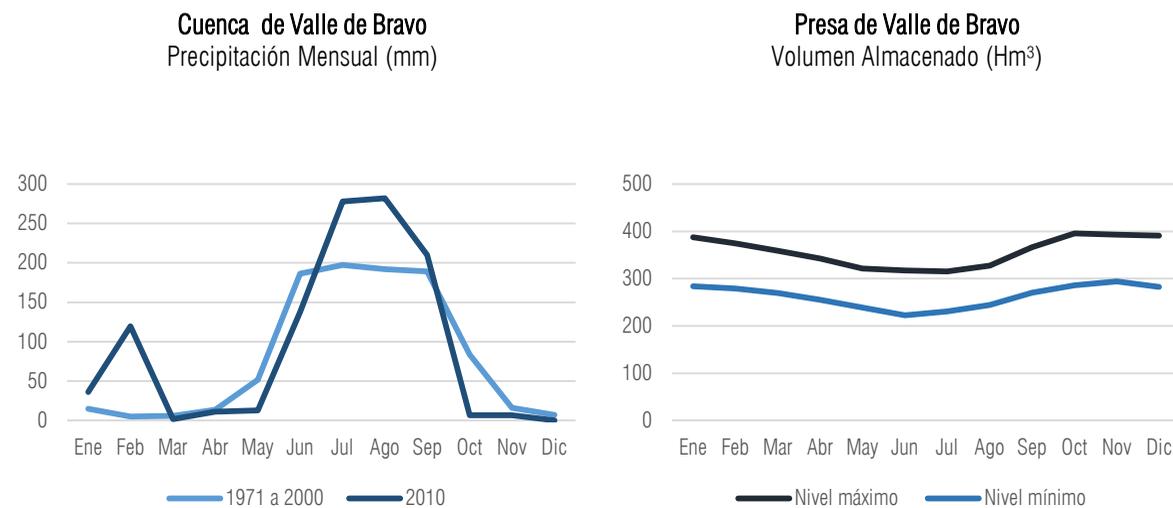
En la cuenca se presenta una precipitación media anual acumulada de 958 milímetros, registrándose la mayor parte en los meses de junio a septiembre, con una distribución mensual como se ilustra en la gráfica siguiente.

En el municipio existen tres presas que forman parte del sistema hidroeléctrico Miguel Alemán, y son: Tilostoc, Colorines y Valle de Bravo.

La presa de Tilostoc tiene una superficie aproximada de 44 ha y una capacidad de almacenamiento de 4,4 Hm<sup>3</sup>.

La presa de los Colorines tiene superficie aproximada de 50 ha y una capacidad total de 1,9 Hm<sup>3</sup>.

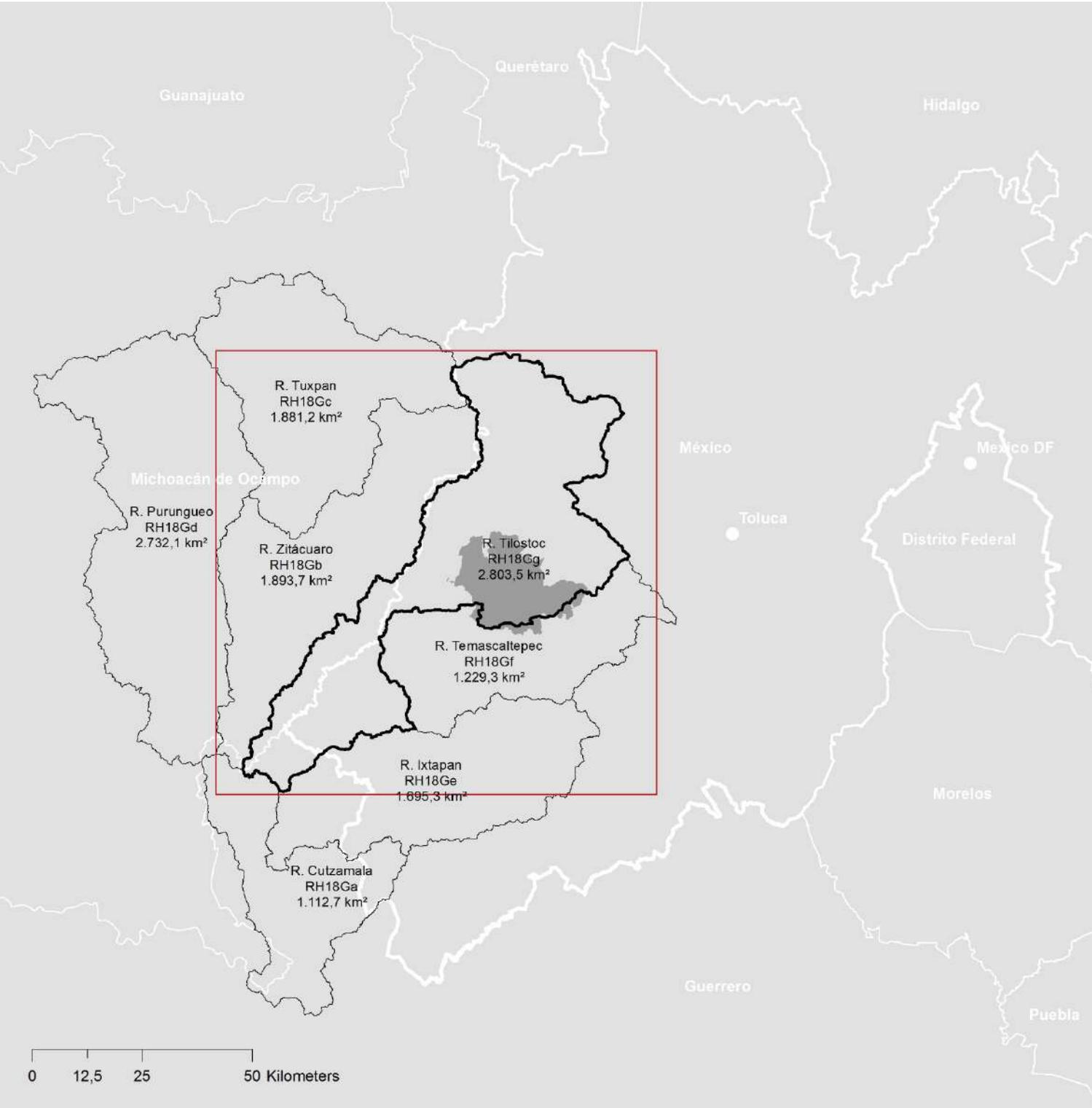
La presa Valle de Bravo abarca una superficie de 2.900 ha, y tiene una capacidad útil de 394,4 Hm<sup>3</sup>. Su capacidad de bombeo es de 8 m<sup>3</sup>/s y su profundidad promedio es de 21 m, siendo la zona más profunda del lago con 39 m la que se encuentra cerca de la cortina de la presa.



Fuente: SEMARNAT 2009. Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII.

# 3.1.1

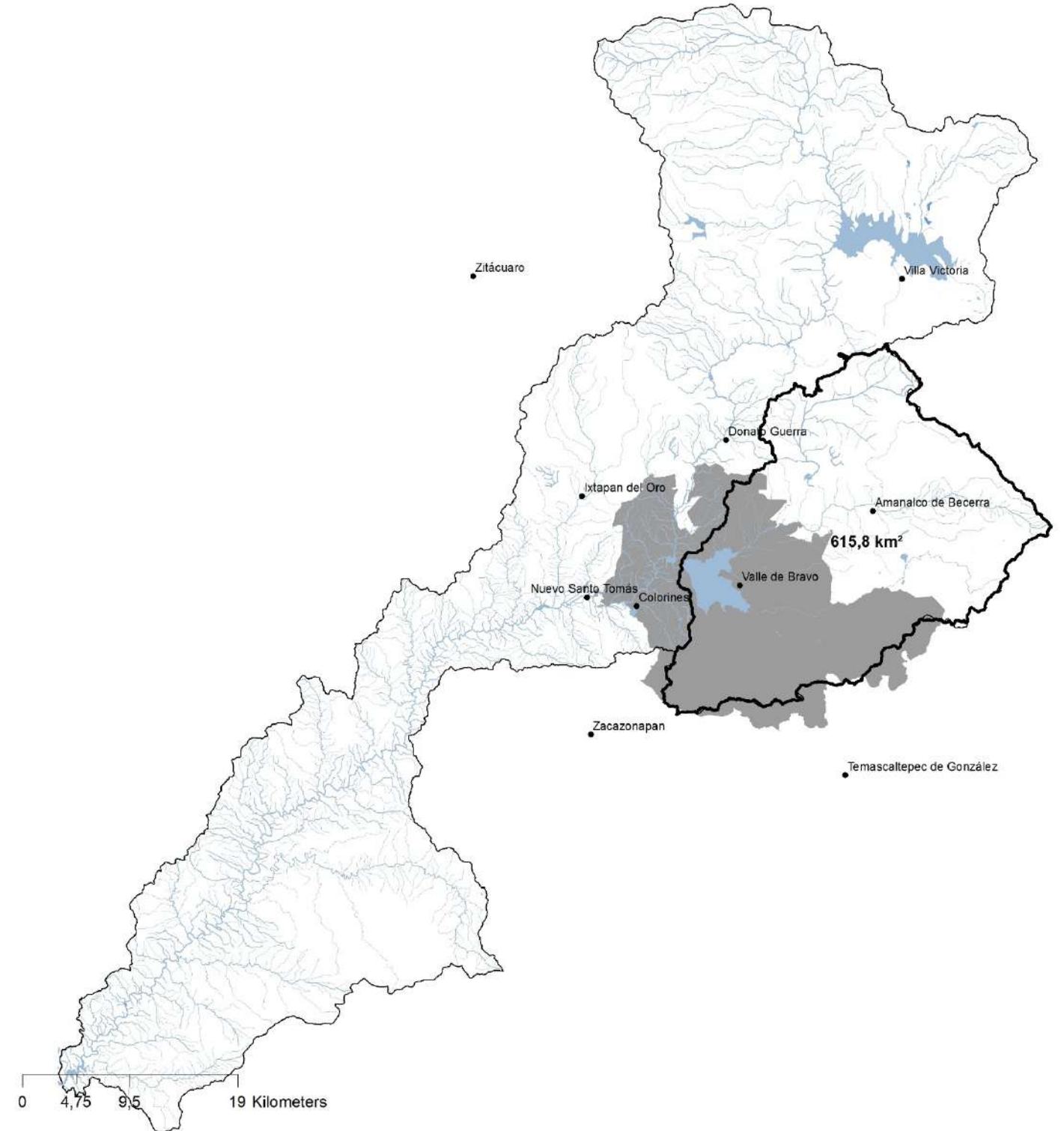
## CUENCA CUTZAMALA | SUBCUENCAS



Fuente: INEGI

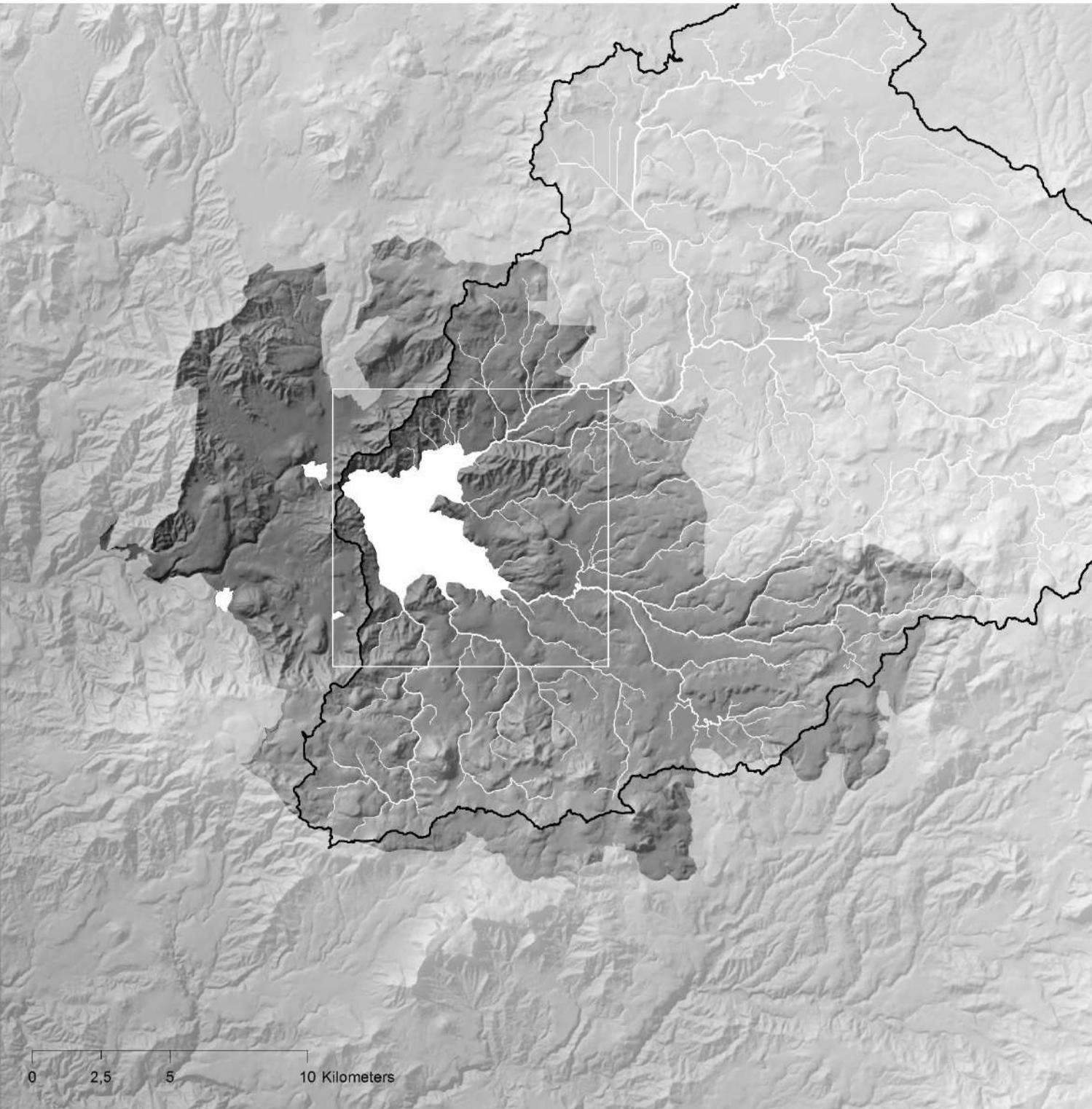
# Cuencas

## SUBCUENCA TILOSTOC | MICROCUENCA DE VALLE DE BRAVO



# 3.1.2

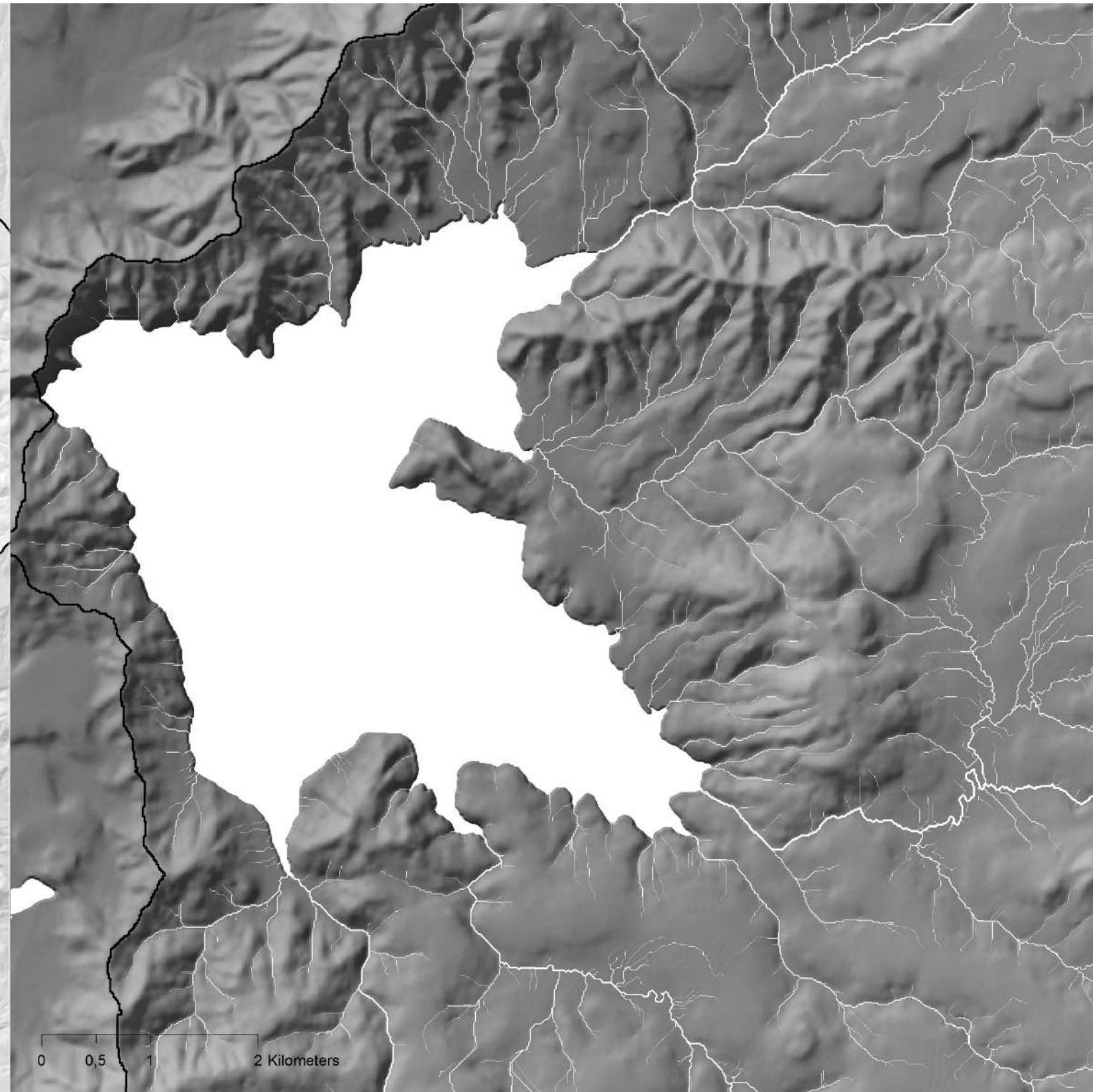
MICROCUENCA DE VALLE DE BRAVO + ESCURRIMIENTOS



Fuente: Leapfrog

# Cuencas

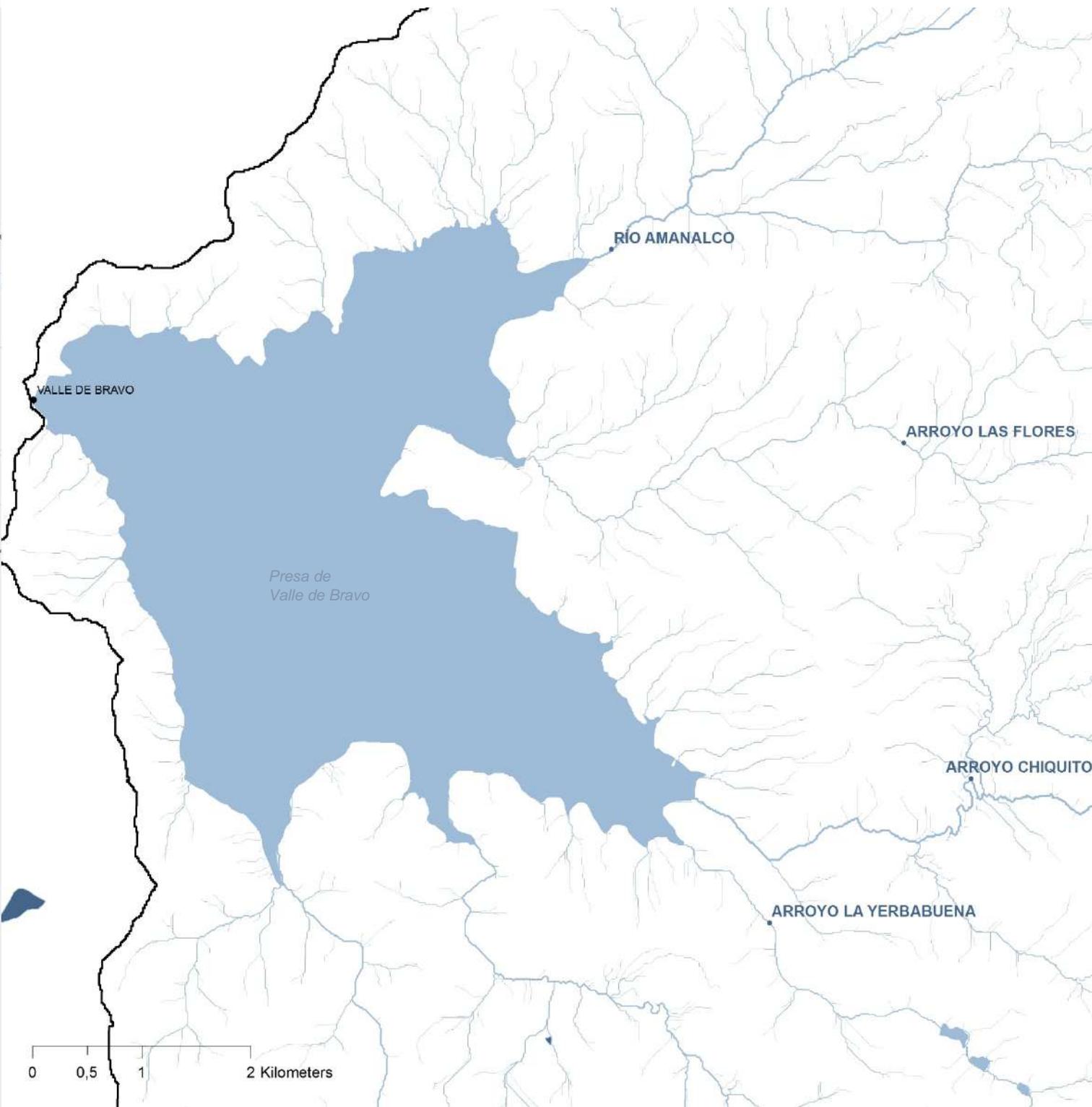
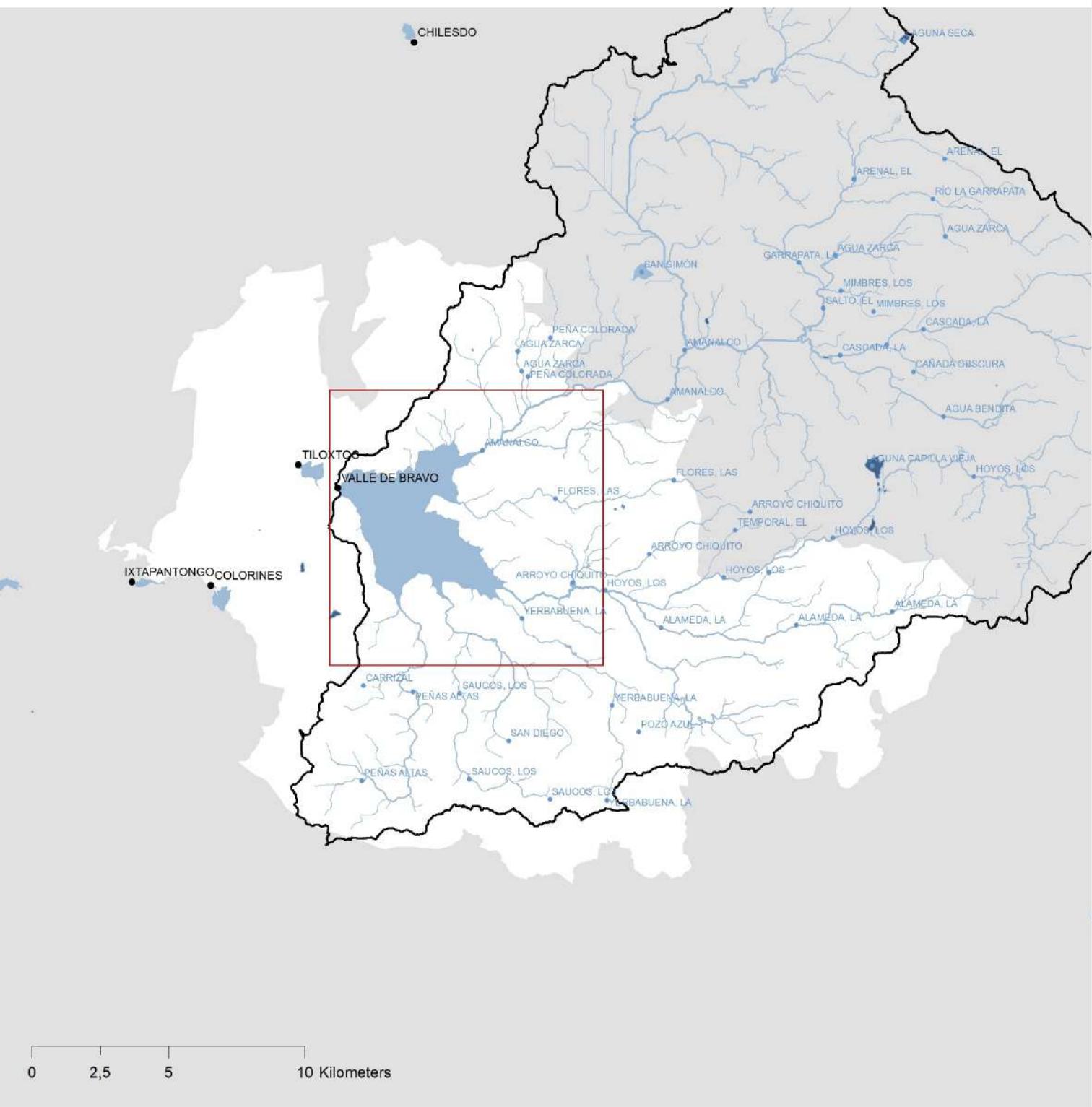
DETALLE ESCURRIMIENTOS



# 3.1.2

## Escurremientos y Presas

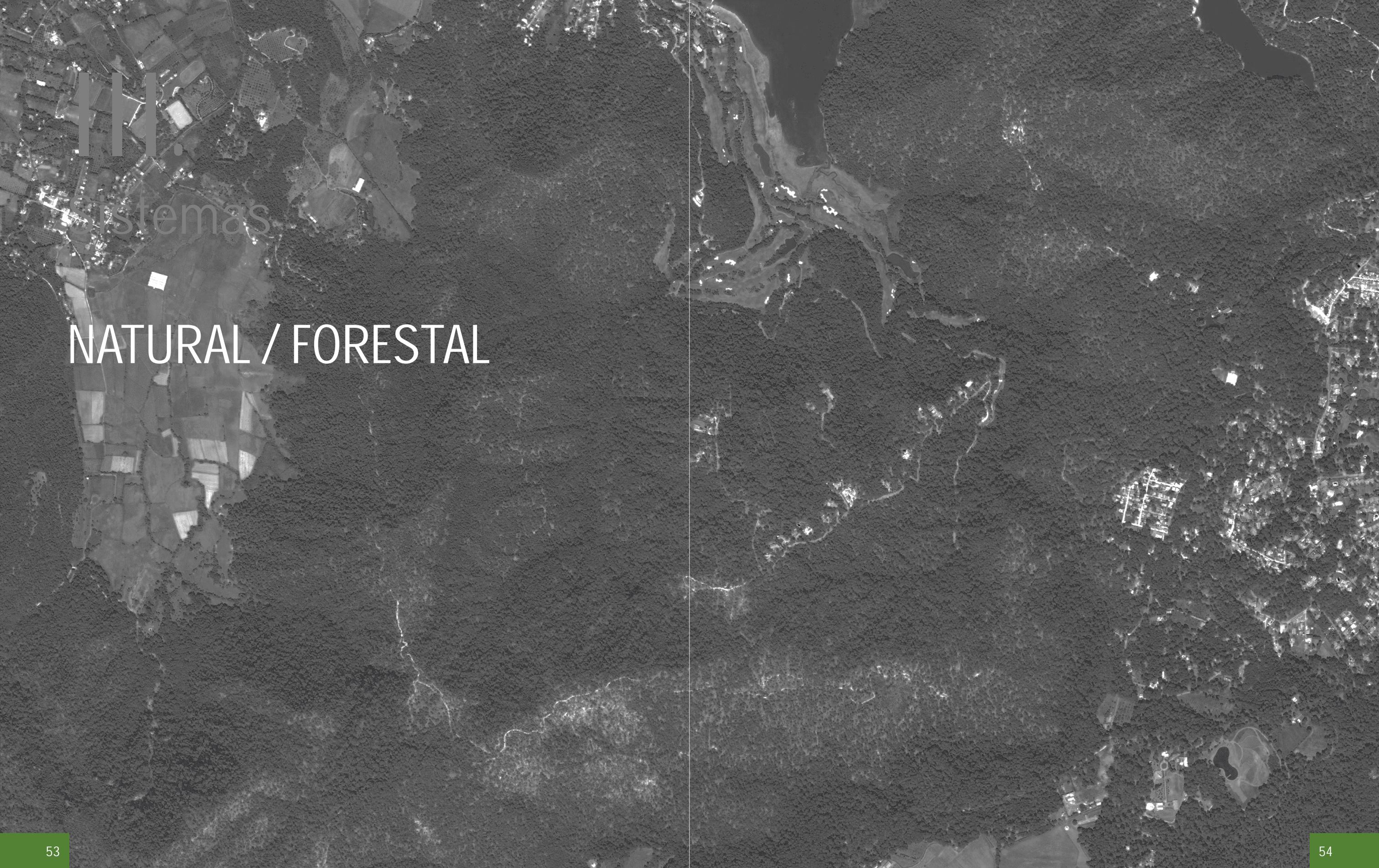
ESCURRIMIENTOS SOBRE MDT 30m



Fuente: Leapfrog

## RESULTADOS

La Cuenca del Valle de Bravo tiene una superficie de 615,8 km<sup>2</sup>. Esta cuenca pertenece a la Región Hidrológica 18, Cuenca Río Balsas, y dentro de ésta a la cuenca del Río Cutzamala (18G), y así a la subcuenca del Río Tilostoc (18Gg). Las altitudes de la cuenca varían entre los 3.760 msnm (Cerro El Calvario) hasta los 1.792 msnm (fondo del desagüe debajo de la cortina) o 1.830 msnm (espejo del agua a la altura del vertedor). De acuerdo al SMAGEM (2010), en la Cuenca se han registrado al menos 841 manantiales que producen 3,84 m<sup>3</sup>/s.

An aerial photograph showing a landscape with a forested area on the left and a residential area on the right. The forested area is dark and dense, while the residential area is lighter and shows buildings and roads. The text 'H. sistemas' is overlaid on the forested area.

H. sistemas

NATURAL / FORESTAL

# SISTEMA FORESTAL / NATURAL

Para representar los resultados obtenidos de la clasificación en el sistema forestal/natural se realizaron los siguientes mapas:

- Clasificación : Mapas por categorías para 1986, 2000 y 2013
- Cambios: Mapas de pérdidas y ganancias de los periodos 1986-2013 (30m/pix) y 2000-2013 (15m/pix)
- Potencial Forestal: Mapa de pendientes para el municipio en los intervalos: 0-10%, 10-20%, 20-30% y >30%  
Mapa simplificado para las superficies mayores al 30% y áreas entre el 20-30% de pendiente.

## Índice Normalizado Diferencial de Vegetación

NDVI Normalized Difference Vegetation Index

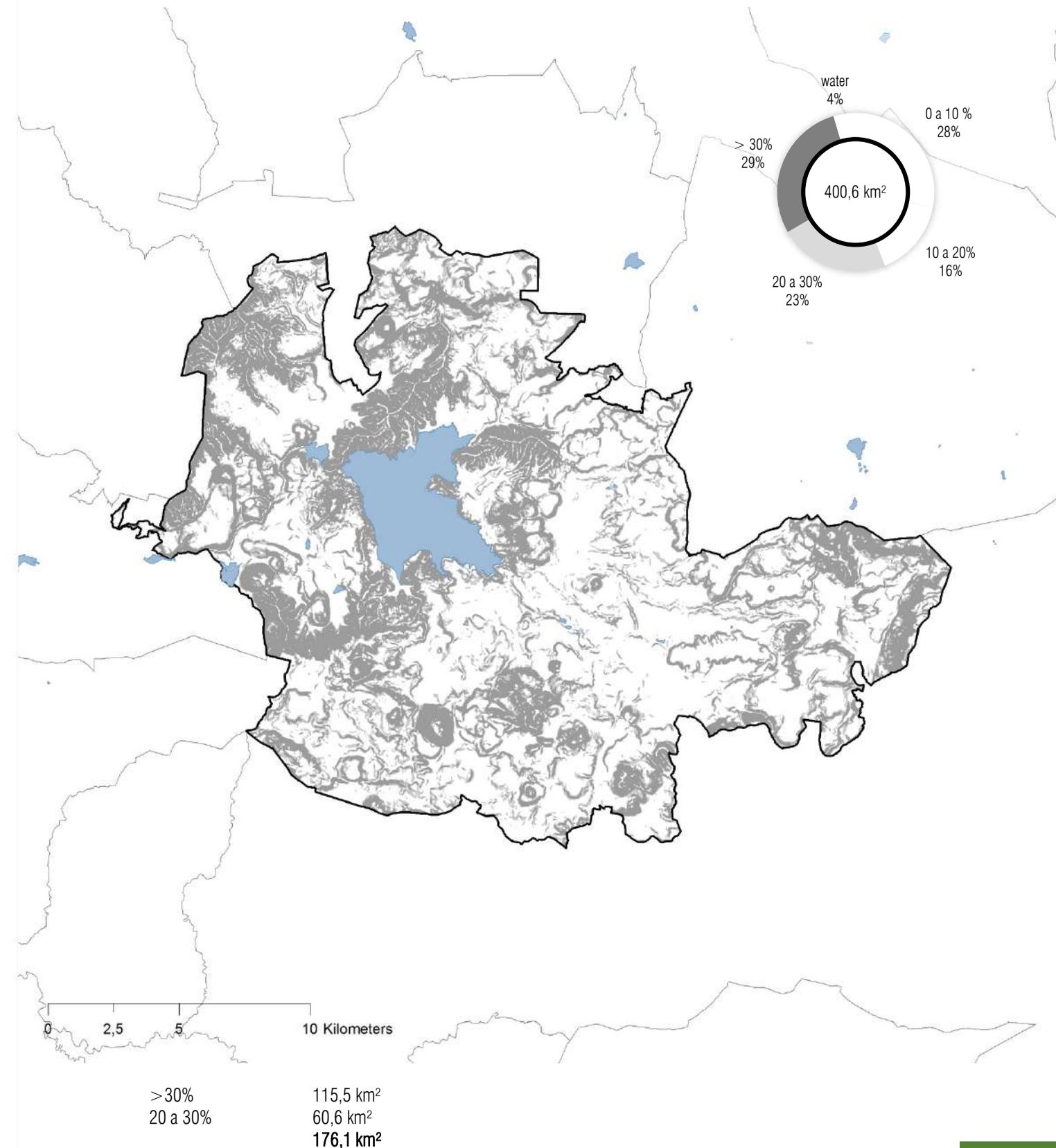
El NDVI se utiliza ampliamente para mejorar la discriminación de cubiertas vegetales, medir el vigor de las plantas y la producción de la biomasa. El peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, permite determinar si la vegetación se encuentra sana o si tiene algún grado de estrés. La vegetación sana o en crecimiento, absorbe más radiación visible que la que está en estado vegetativo o poco vigorosa, al tiempo que refleja más infrarrojo cercano (NIR). La vegetación seca refleja más visible y menos infrarrojo cercano.

Prácticamente todos los Índices de Vegetación por satélite emplean la misma fórmula para medir la densidad de crecimiento de la vegetación: Radiación de infrarrojo cercano menos radiación visible, dividido por radiación de infrarrojo cercano más radiación visible. El resultado de esta fórmula es lo que se denomina NDVI. Índice normalizado de crecimiento de la vegetación; el color verde intenso corresponde a vegetación de desarrollo vigoroso, el color verde oscuro expresa menor vigor o velocidad de desarrollo vegetal; los colores fucsia son superficie sin vegetación.

Los valores del NDVI están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. La respuesta espectral que tiene la vegetación sana, muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja, y el Infrarrojo Cercano (IRC). Mientras que en el visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, en el IRC, las paredes de las células de las hojas, que se encuentran llenas de agua, reflejan la mayor cantidad de energía. En contraste, cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés, ya sea por presencia de plagas o por sequía, la cantidad de agua disminuye en las paredes celulares por lo que la reflectividad disminuye el IRC y aumenta paralelamente en el rojo al tener menor absorción clorofílica. Esta diferencia en la respuesta espectral permite separar con relativa facilidad la vegetación sana de otras cubiertas.

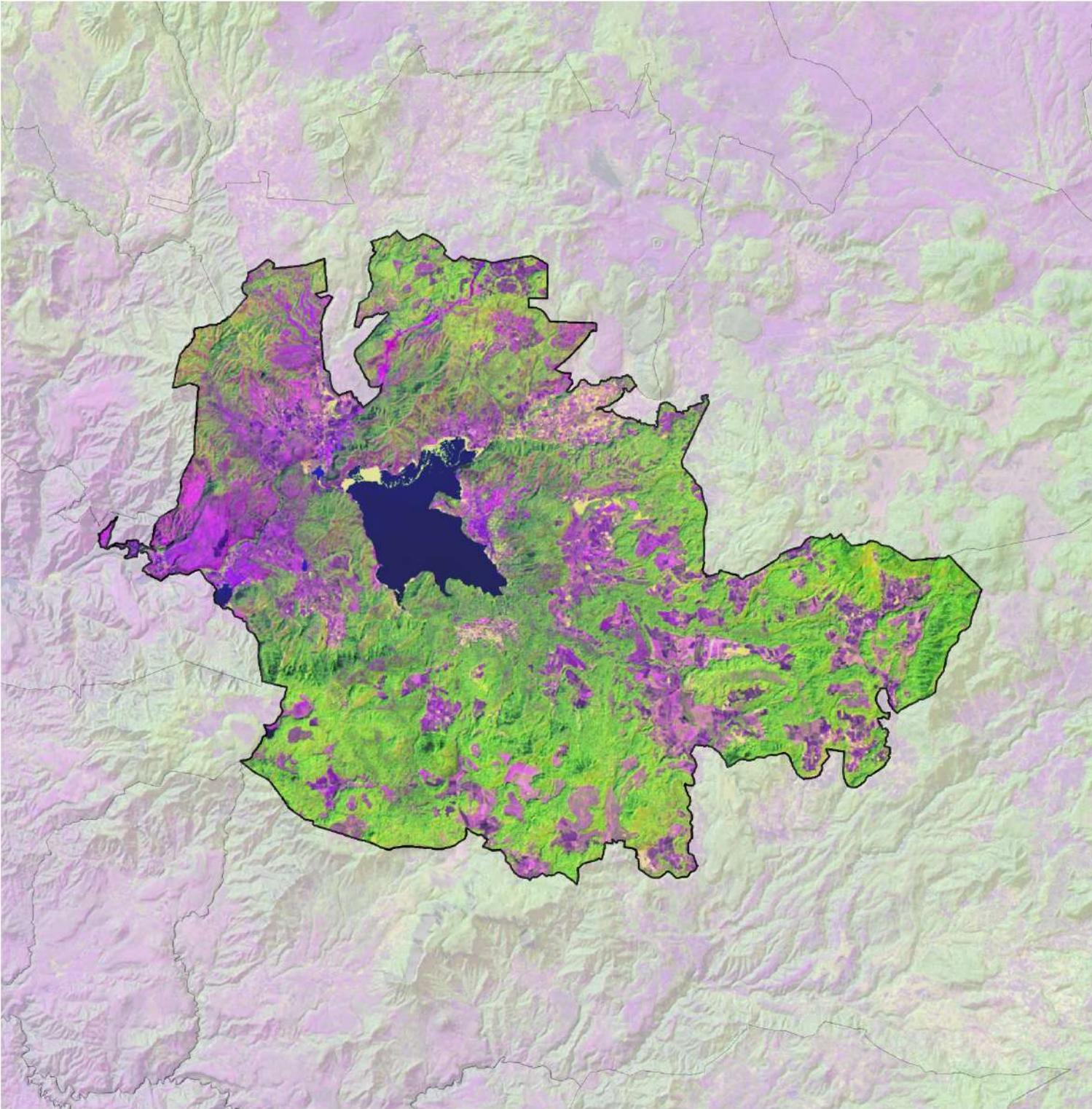
Fuente: Leapfrog

## Potencial Teórico



# 3.2.1

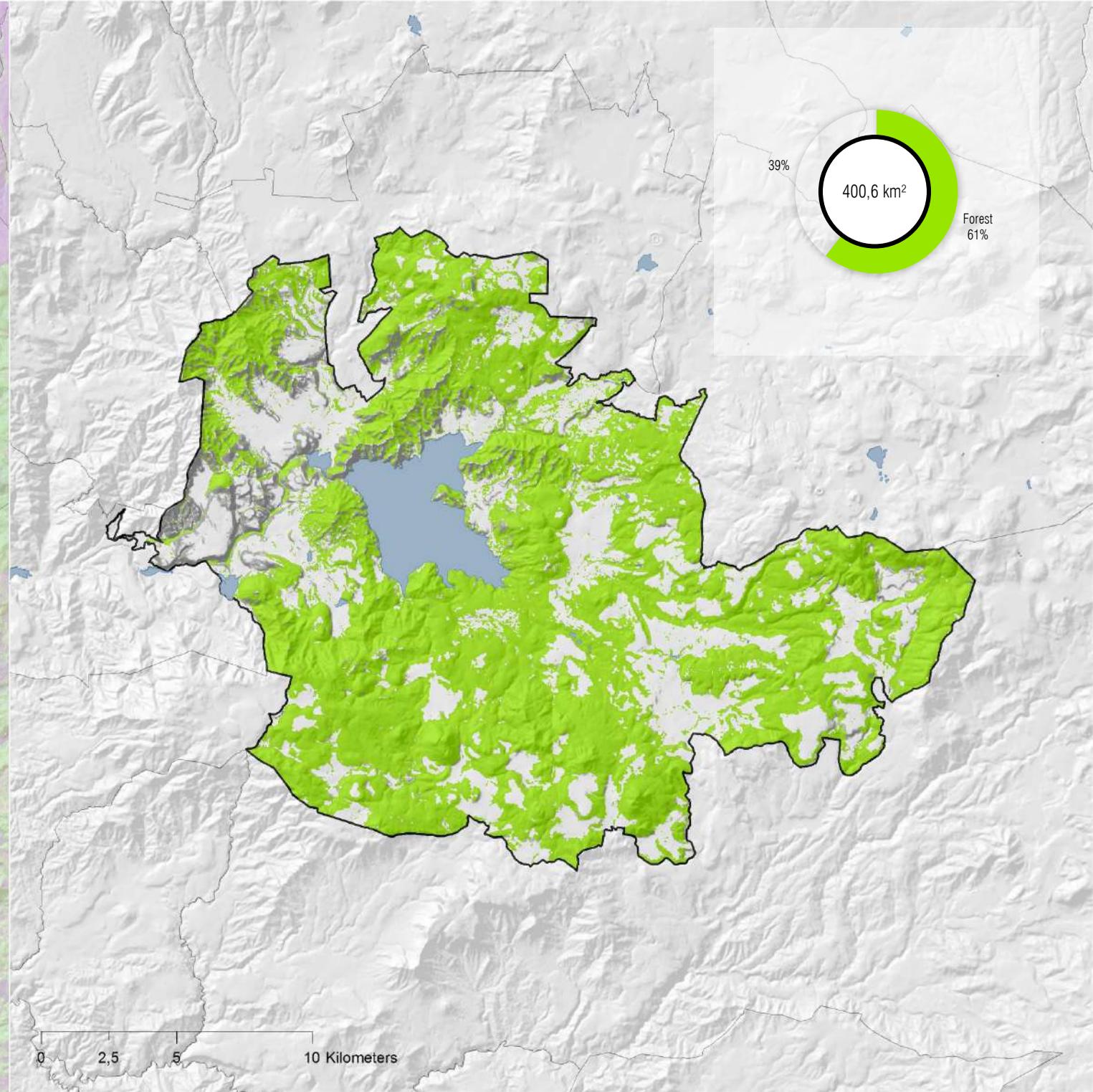
NDVI Normalized Difference Vegetation Index



Fuente: Leapfrog

# 1986

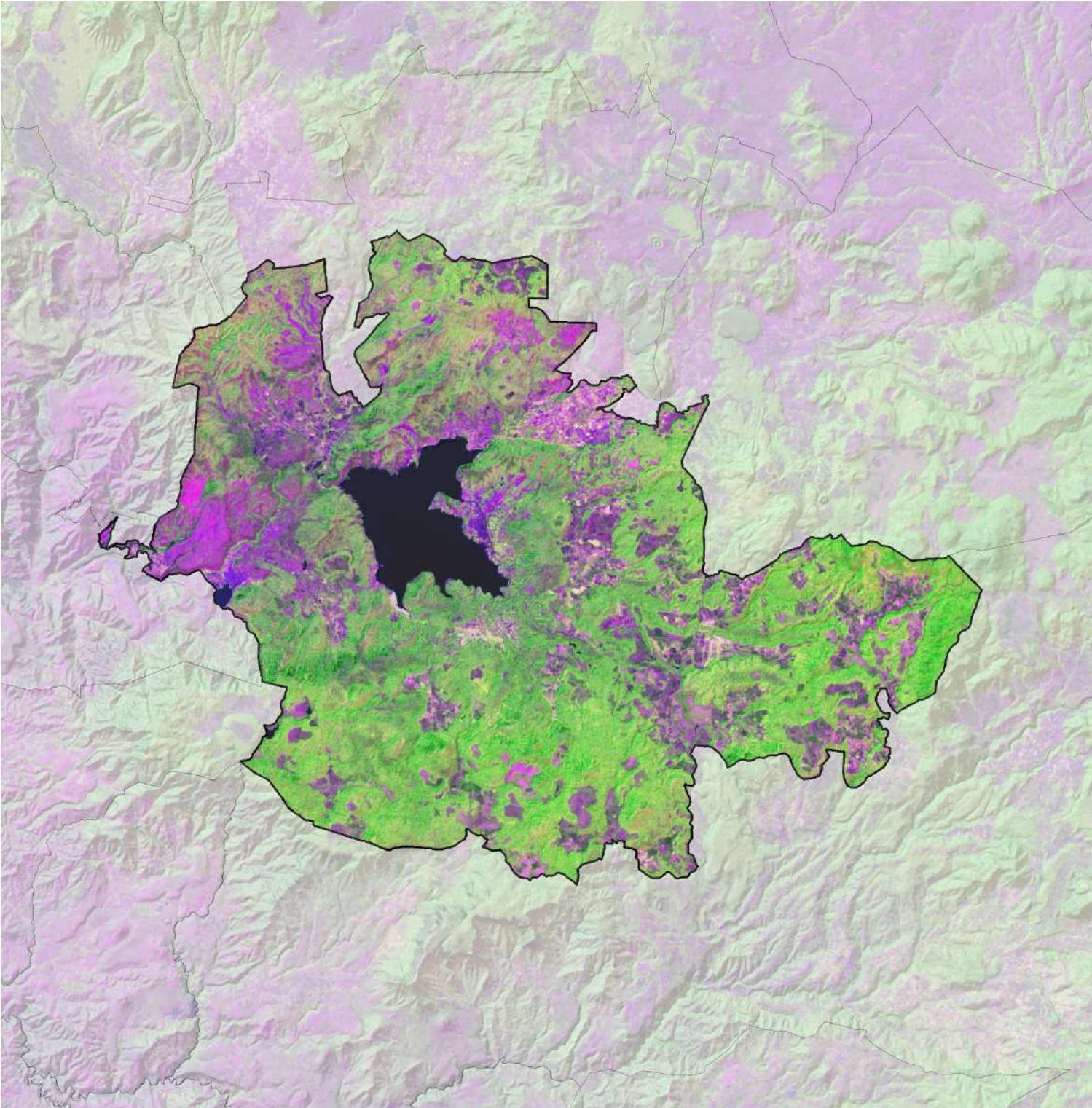
Bosque primario



243,3 km<sup>2</sup> 60,7%

# 3.2.2

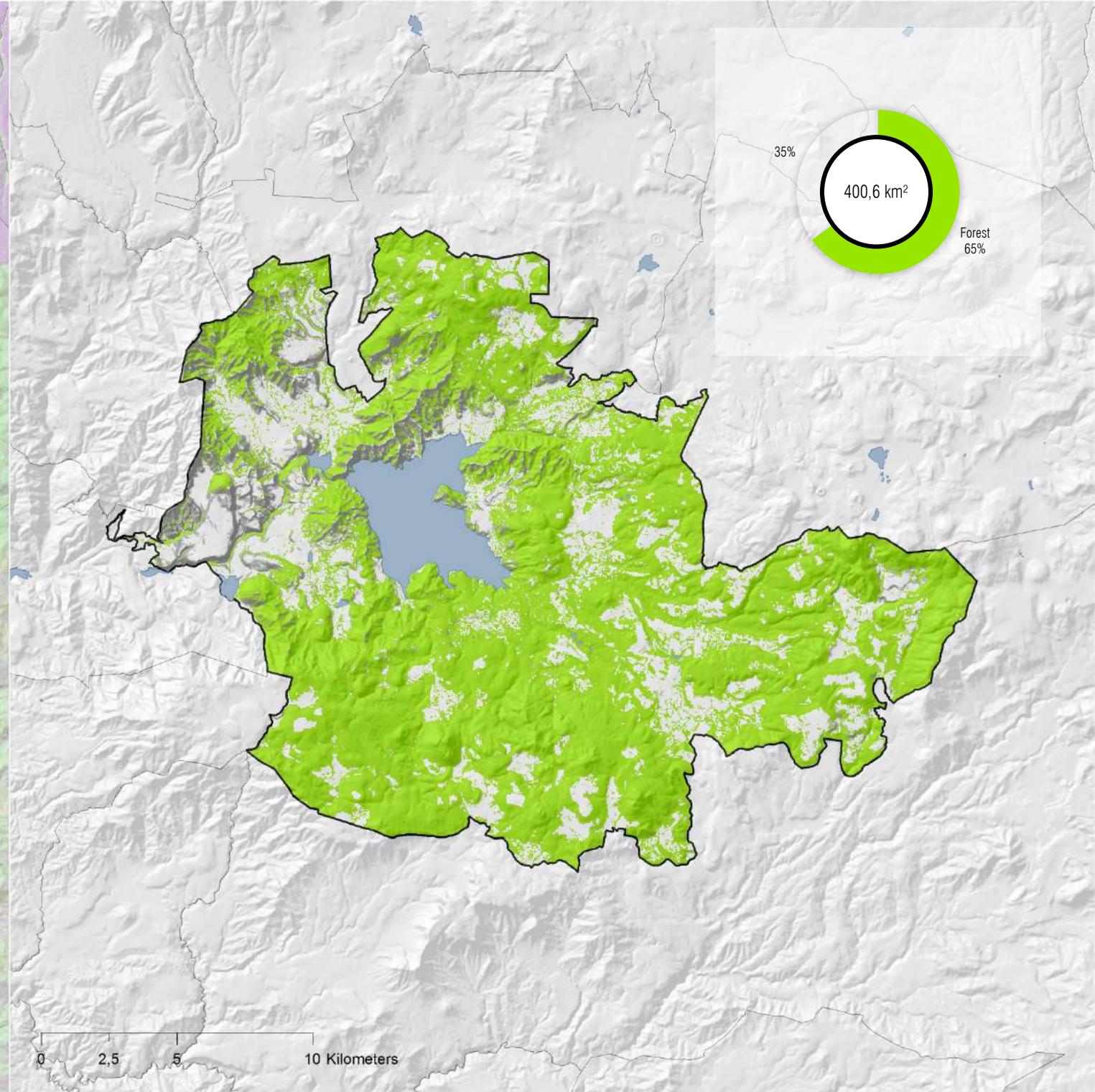
NDVI Normalized Difference Vegetation Index



Fuente: Leapfrog

# 2000

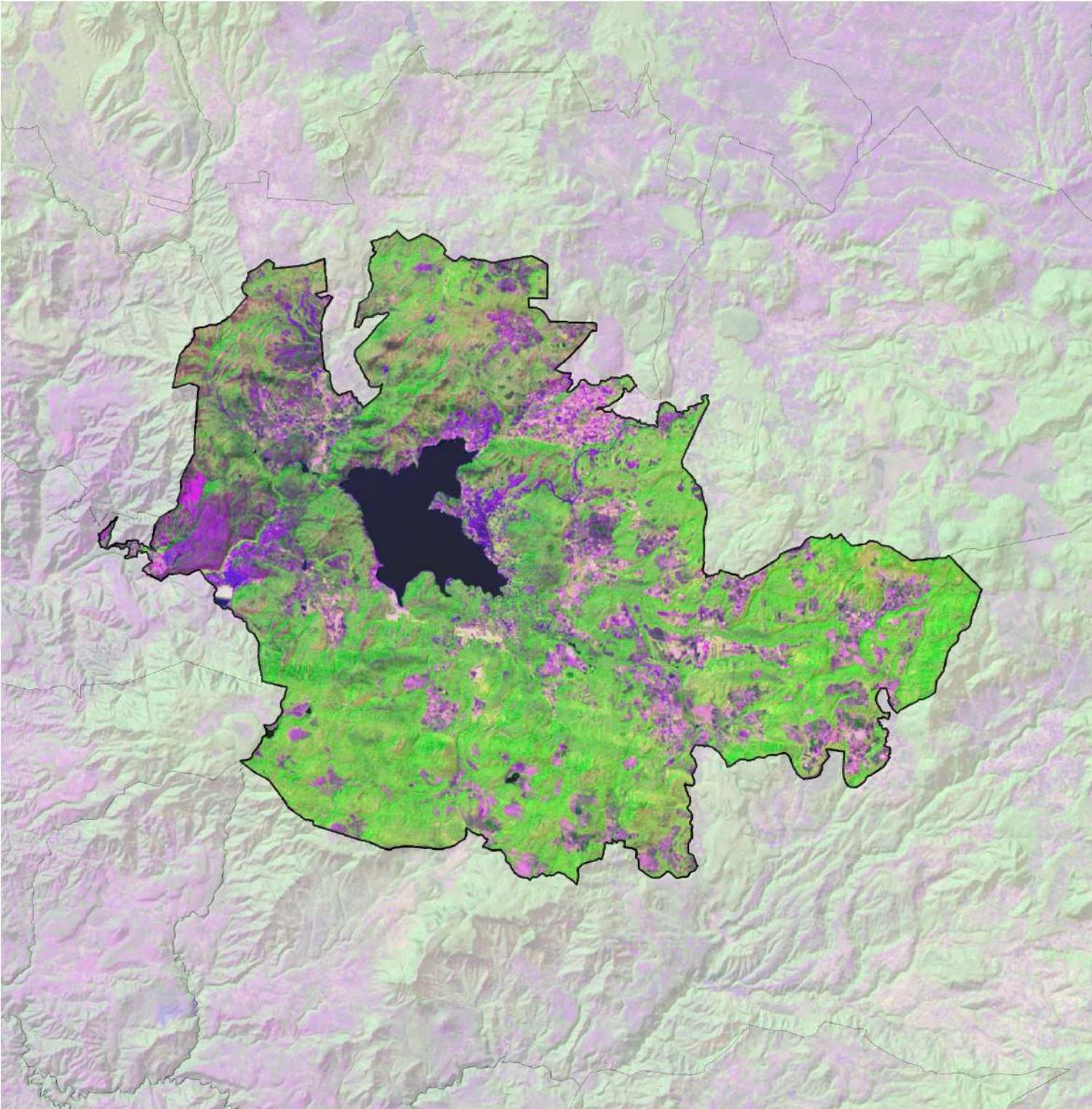
Bosque primario



260,6 km² 65,0%

# 3.2.3

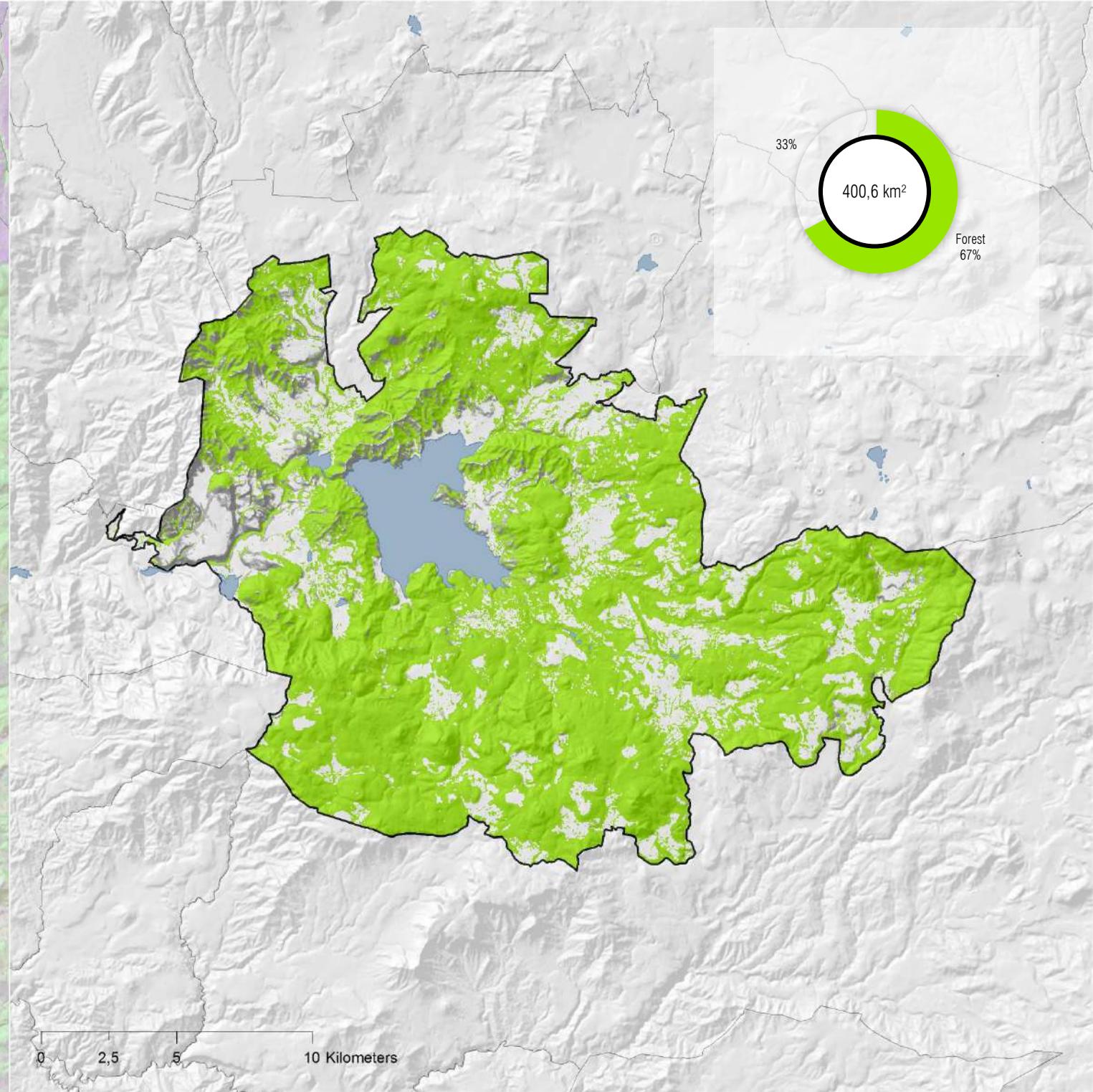
NDVI Normalized Difference Vegetation Index



Fuente: Leapfrog

# 2013

Bosque primario

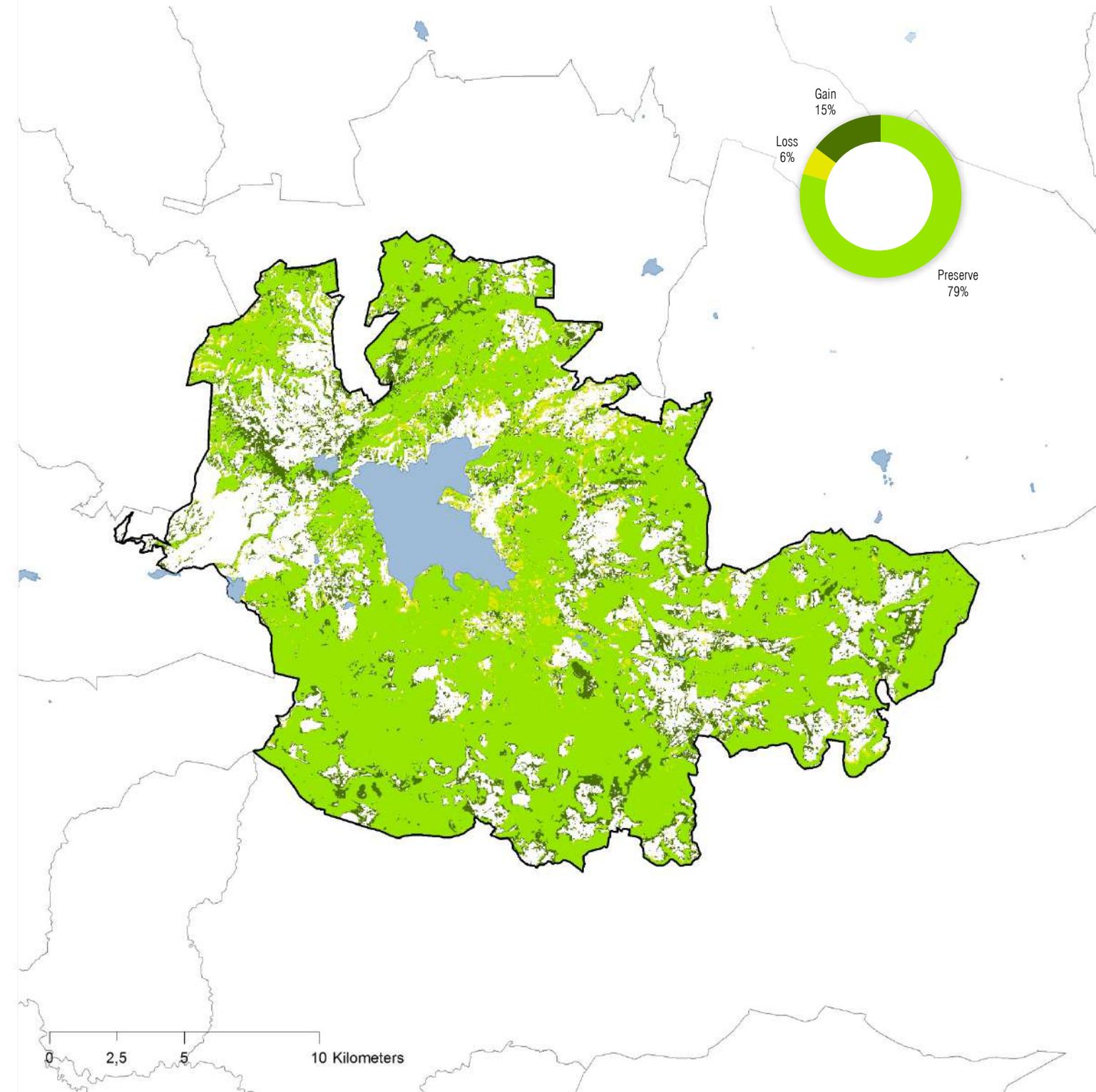


269,3 km² 67,2%

# RESULTADOS

La Cuenca del Valle de Bravo tiene una superficie de 615,8 km<sup>2</sup>. Esta cuenca pertenece a la Región Hidrológica 18, Cuenca Río Balsas, y dentro de ésta a la cuenca del Río Cutzamala (18G), y así a la subcuenca del Río Tilostoc (18Gg). Las altitudes de la cuenca varían entre los 3.760 msnm (Cerro El Calvario) hasta los 1.792 msnm (fondo del desagüe debajo de la cortina) o 1.830 msnm (espejo del agua a la altura del vertedor). De acuerdo al SMAGEM (2010), en la Cuenca se han registrado al menos 841 manantiales que producen 3,84 m<sup>3</sup>/s.

## Cambios 1986 | 2013



Fuente: Leapfrog

# 3.2.4

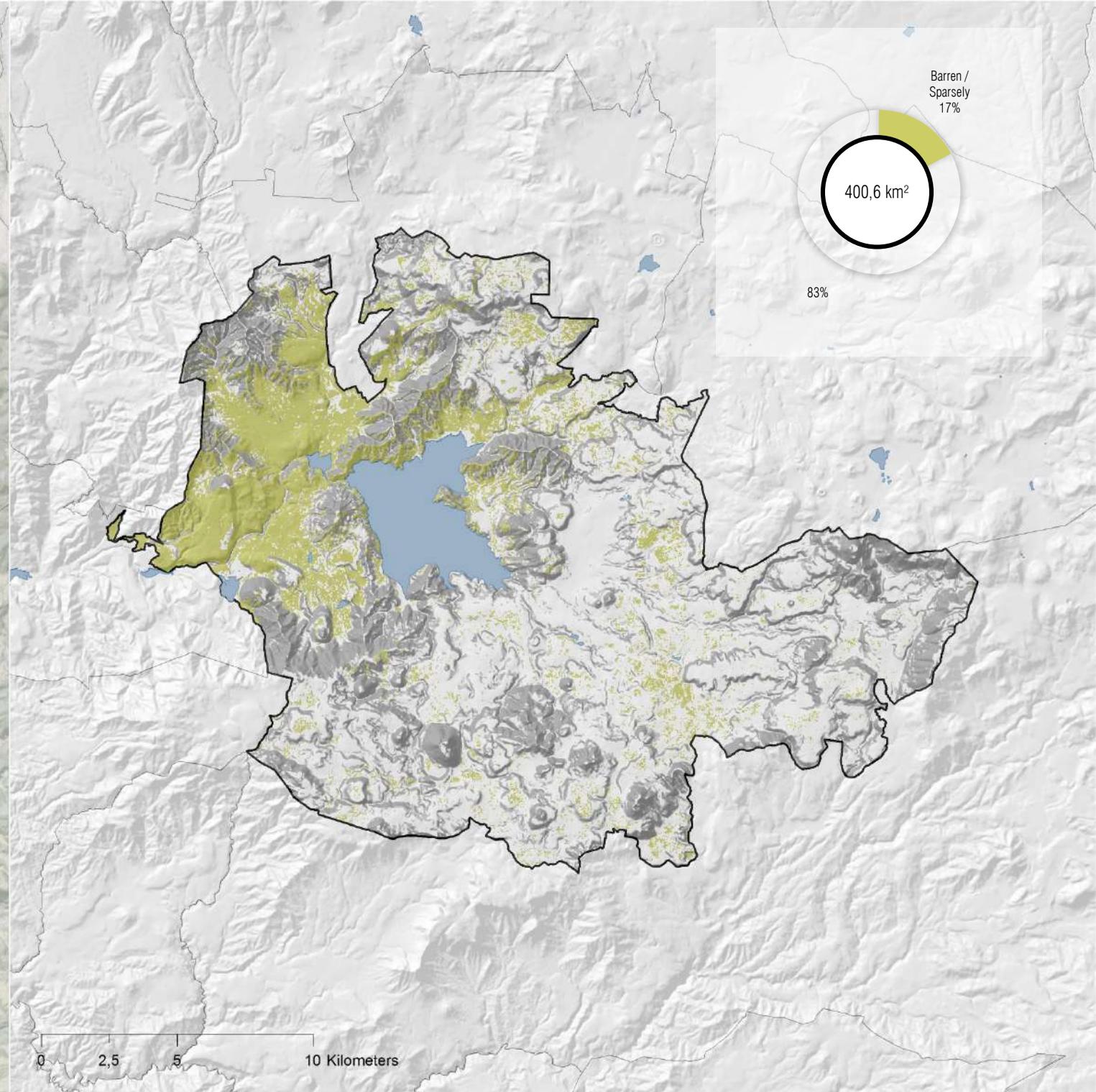
PSEUDO NATURAL COLOR 752



Fuente: Leapfrog

# 1986

BARREN / SPARSELY VEGETATED



69,0 km²

17,2%

# 3.2.5

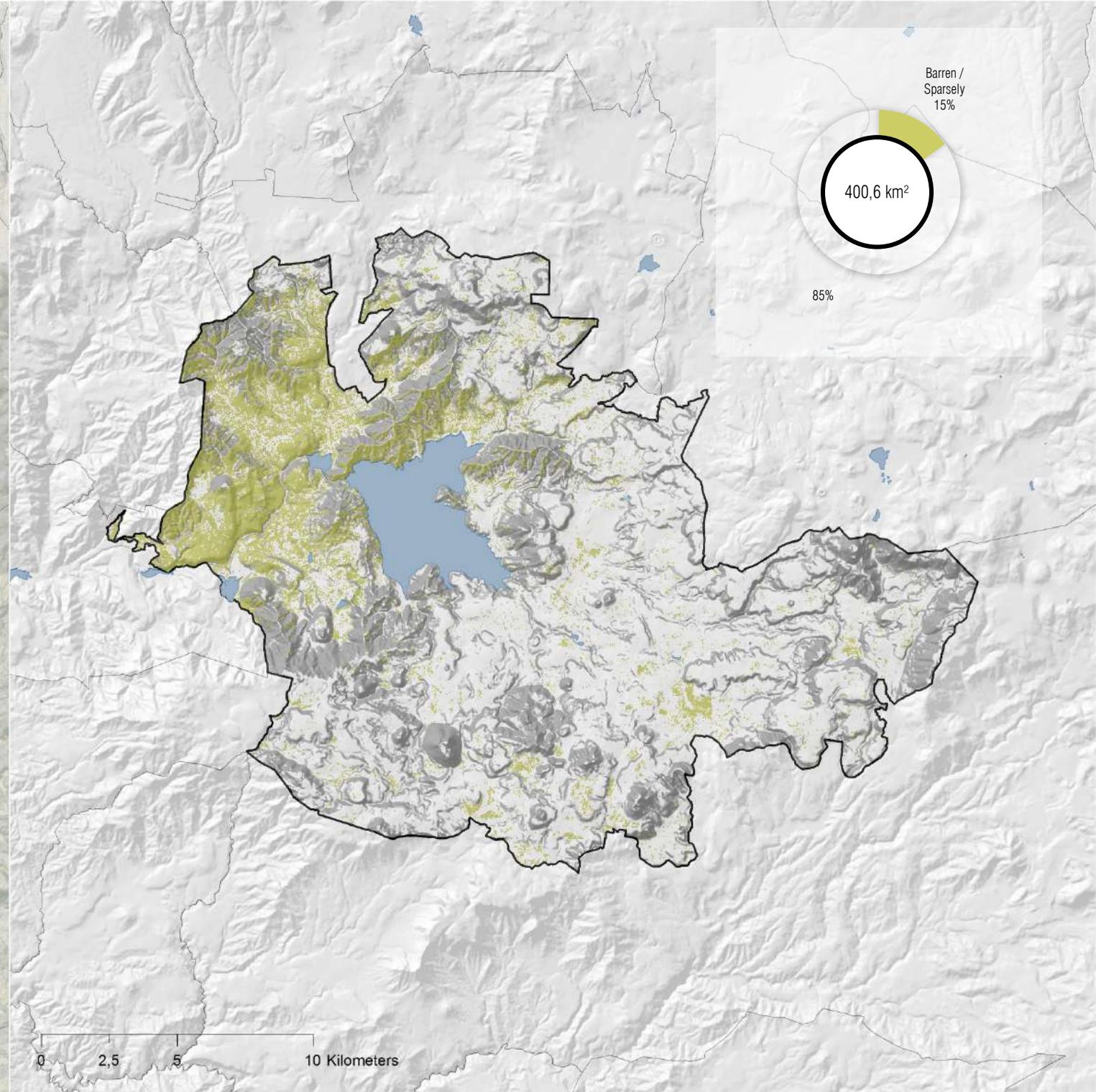
PSEUDO NATURAL COLOR 752



Fuente: Leapfrog

# 2000

BARREN / SPARSELY VEGETATED

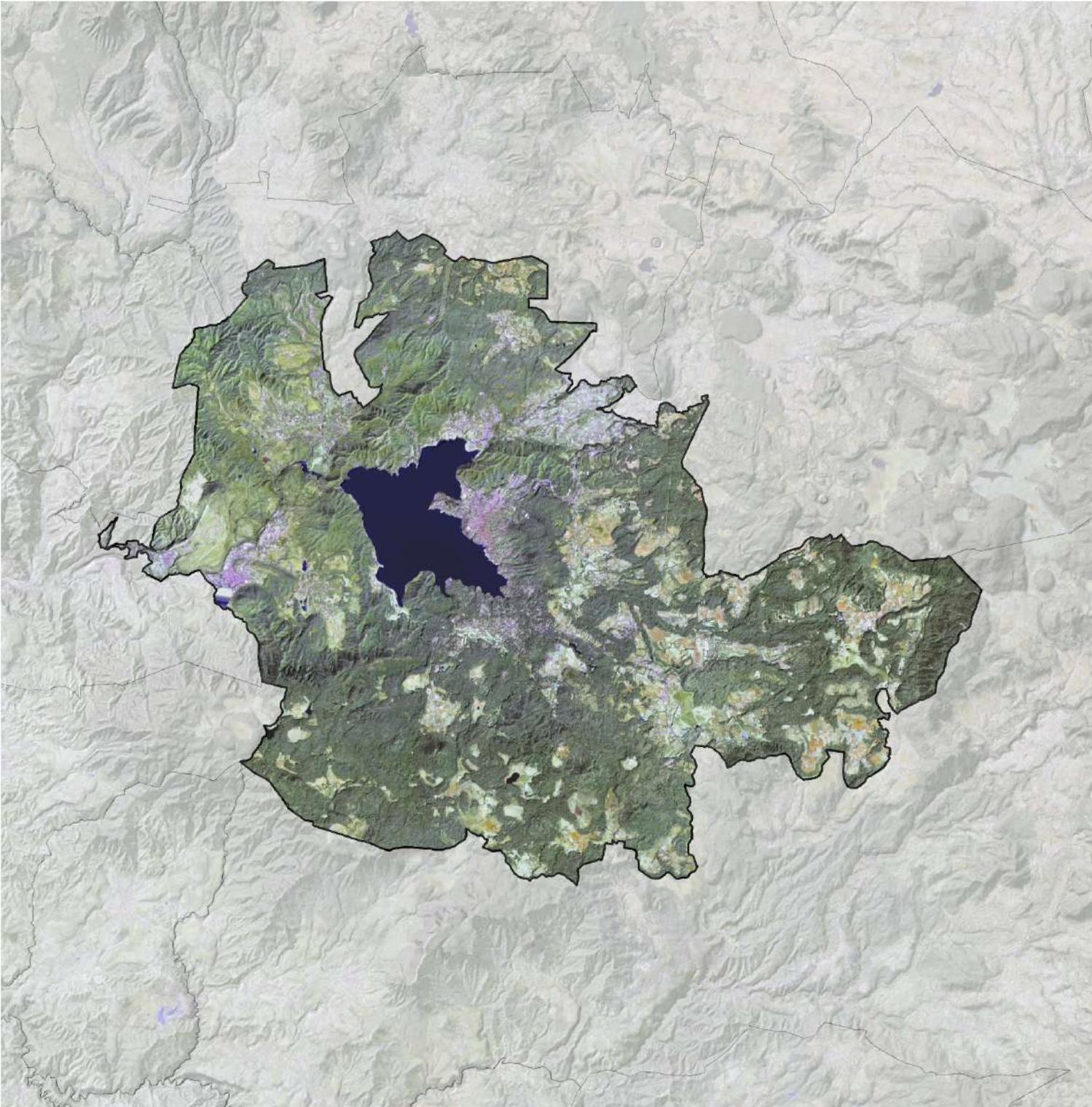


60,1 km²

15,0%

# 3.2.6

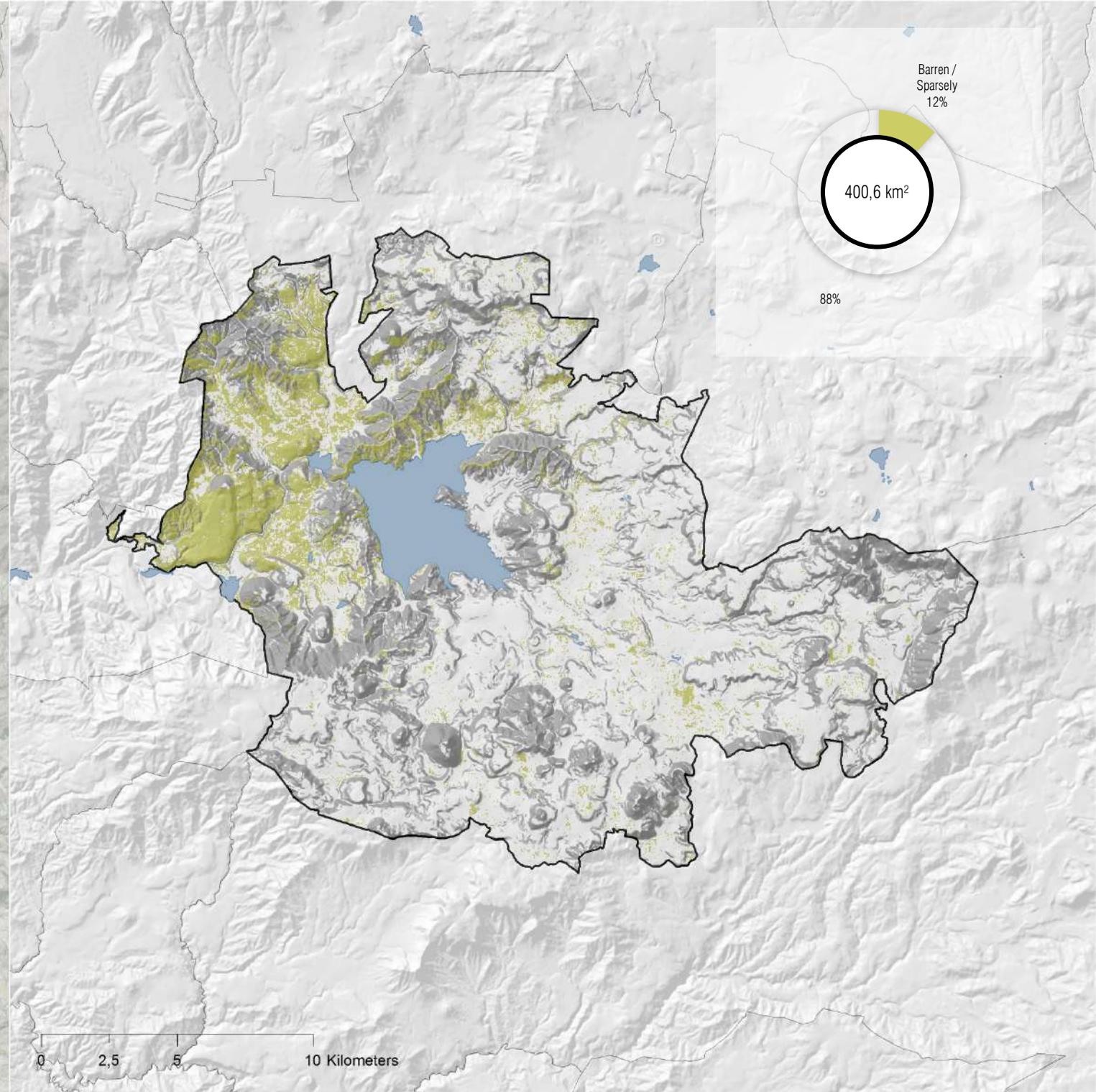
PSEUDO NATURAL COLOR 752



Fuente: Leapfrog

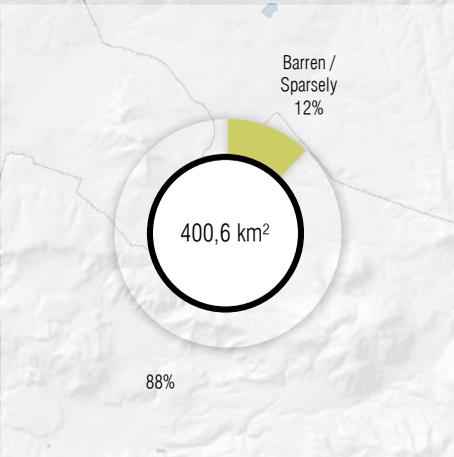
# 2013

BARREN / SPARSELY VEGETATED



48,1 km<sup>2</sup>

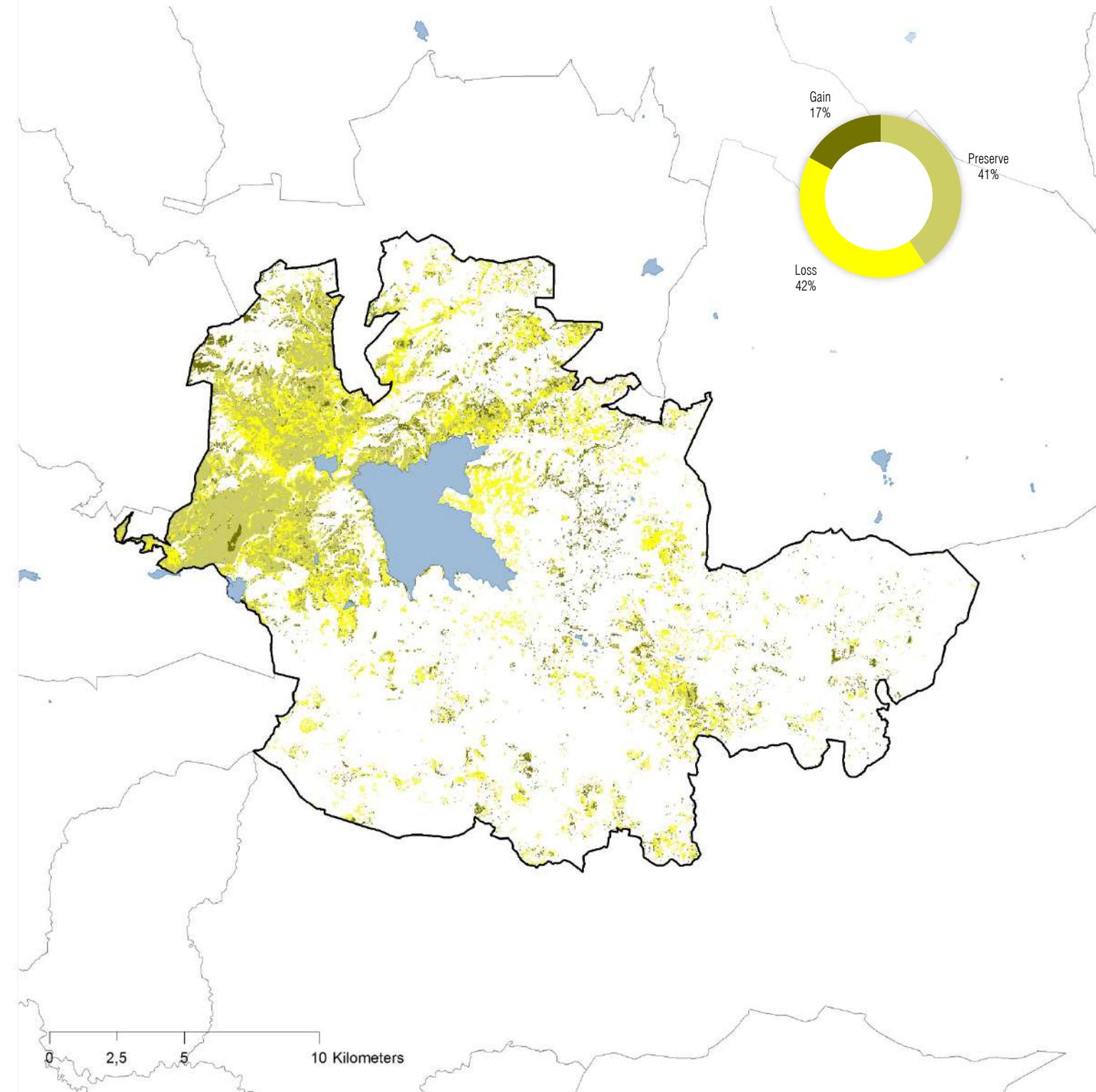
12,0%



# RESULTADOS

La Cuenca del Valle de Bravo tiene una superficie de 615,8 km<sup>2</sup>. Esta cuenca pertenece a la Región Hidrológica 18, Cuenca Río Balsas, y dentro de ésta a la cuenca del Río Cutzamala (18G), y así a la subcuenca del Río Tilostoc (18Gg). Las altitudes de la cuenca varían entre los 3.760 msnm (Cerro El Calvario) hasta los 1.792 msnm (fondo del desagüe debajo de la cortina) o 1.830 msnm (espejo del agua a la altura del vertedor). De acuerdo al SMAGEM (2010), en la Cuenca se han registrado al menos 841 manantiales que producen 3,84 m<sup>3</sup>/s.

## Cambios 1986 | 2013



Fuente: Leapfrog



AGRÍCOLA



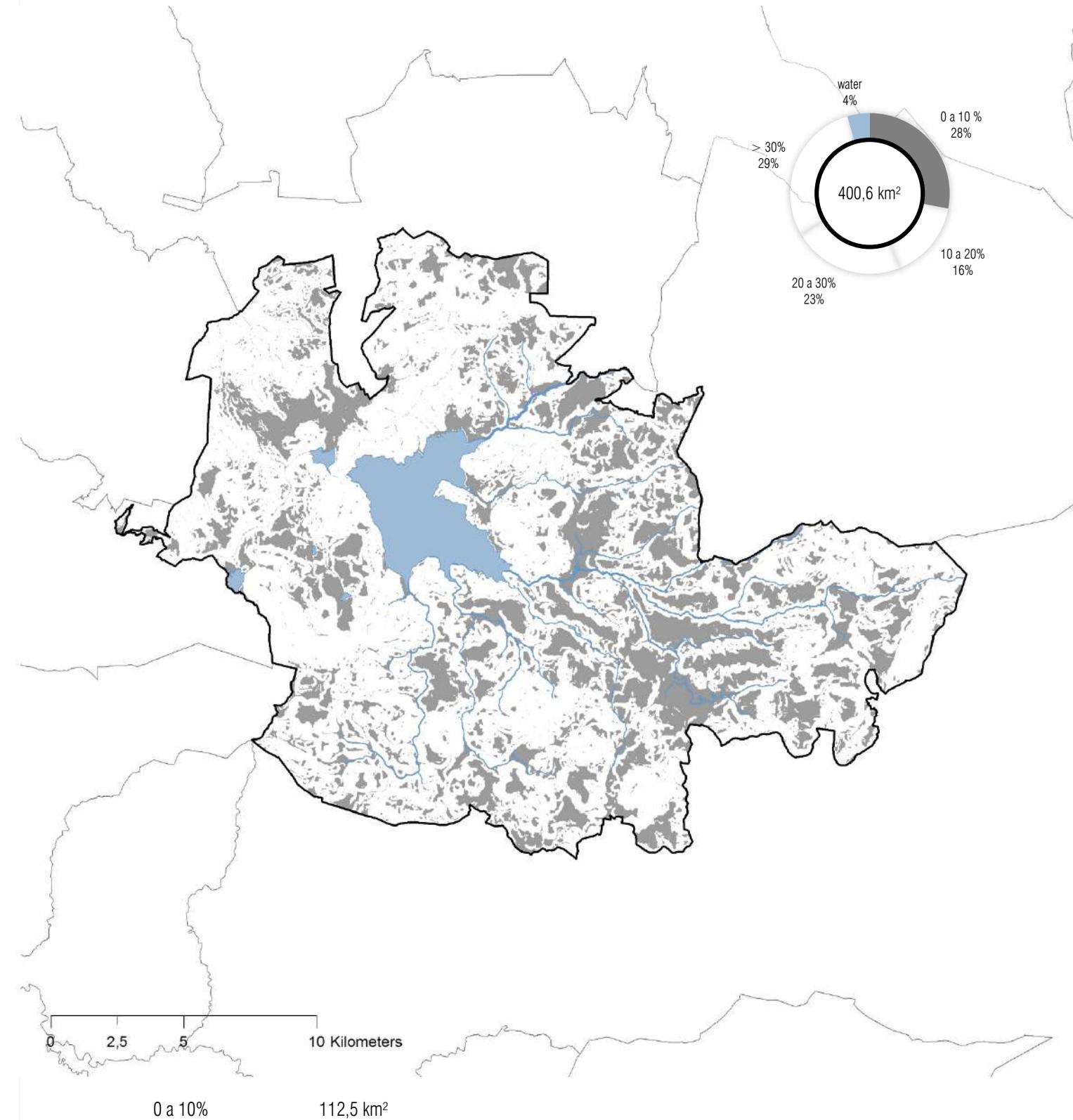
# SISTEMA AGRÍCOLA

Para representar los resultados obtenidos de la clasificación en el sistema forestal/natural se realizaron los siguientes mapas:

- Clasificación : Mapas por categorías para 1986, 2000 y 2013
- Cambios: Mapas de pérdidas y ganancias de los periodos 1986-2013 (30m/pix) y 2000-2013 (15m/pix)
- Potencial Forestal: Mapa de pendientes para el municipio en los intervalos: 0-10%, 10-20%, 20-30% y >30%  
Mapa simplificado para las superficies mayores al 30% y áreas entre el 20-30% de pendiente.

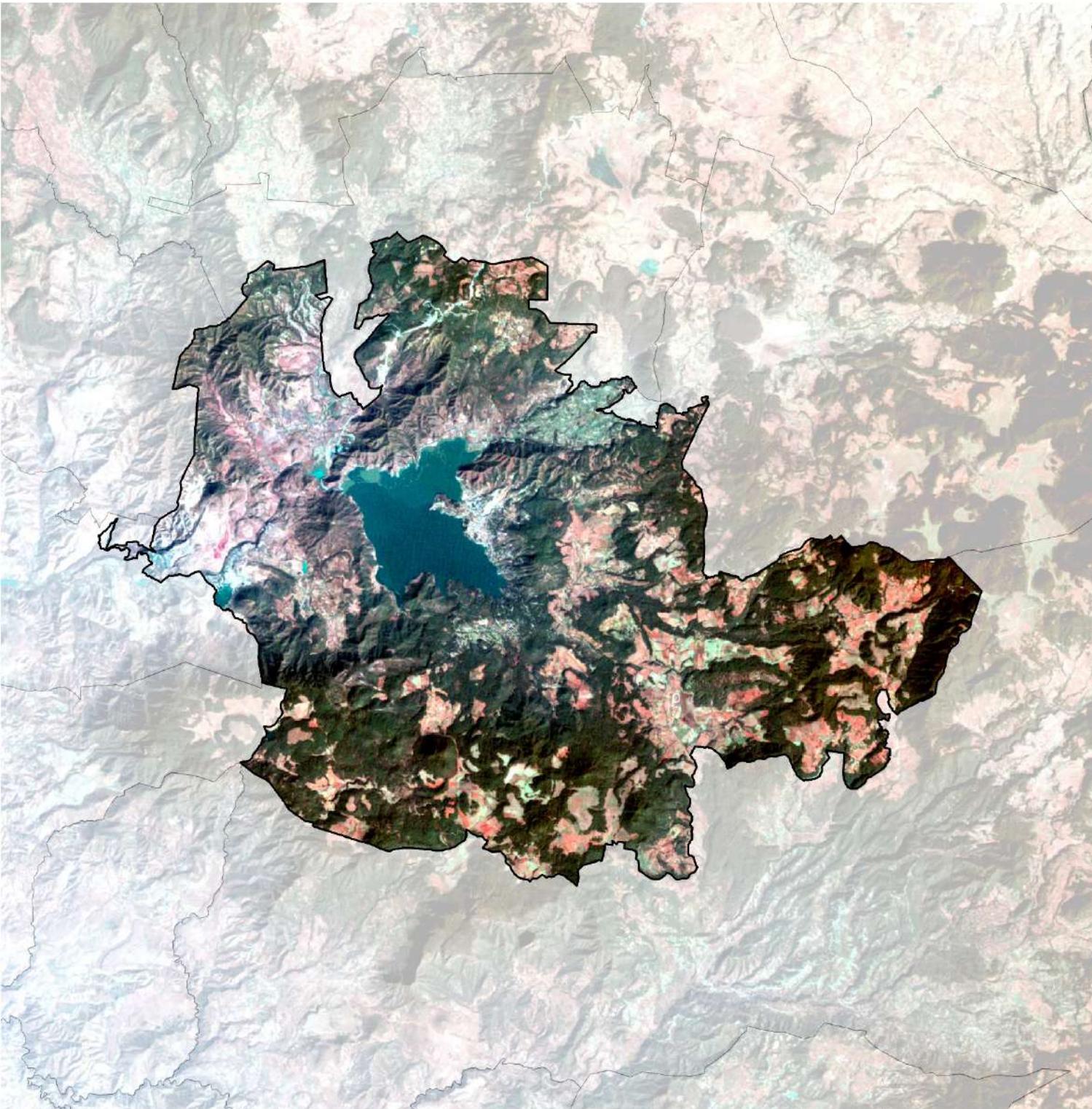
Fuente: Leapfrog

# Potencial Teórico



# 3.3.1

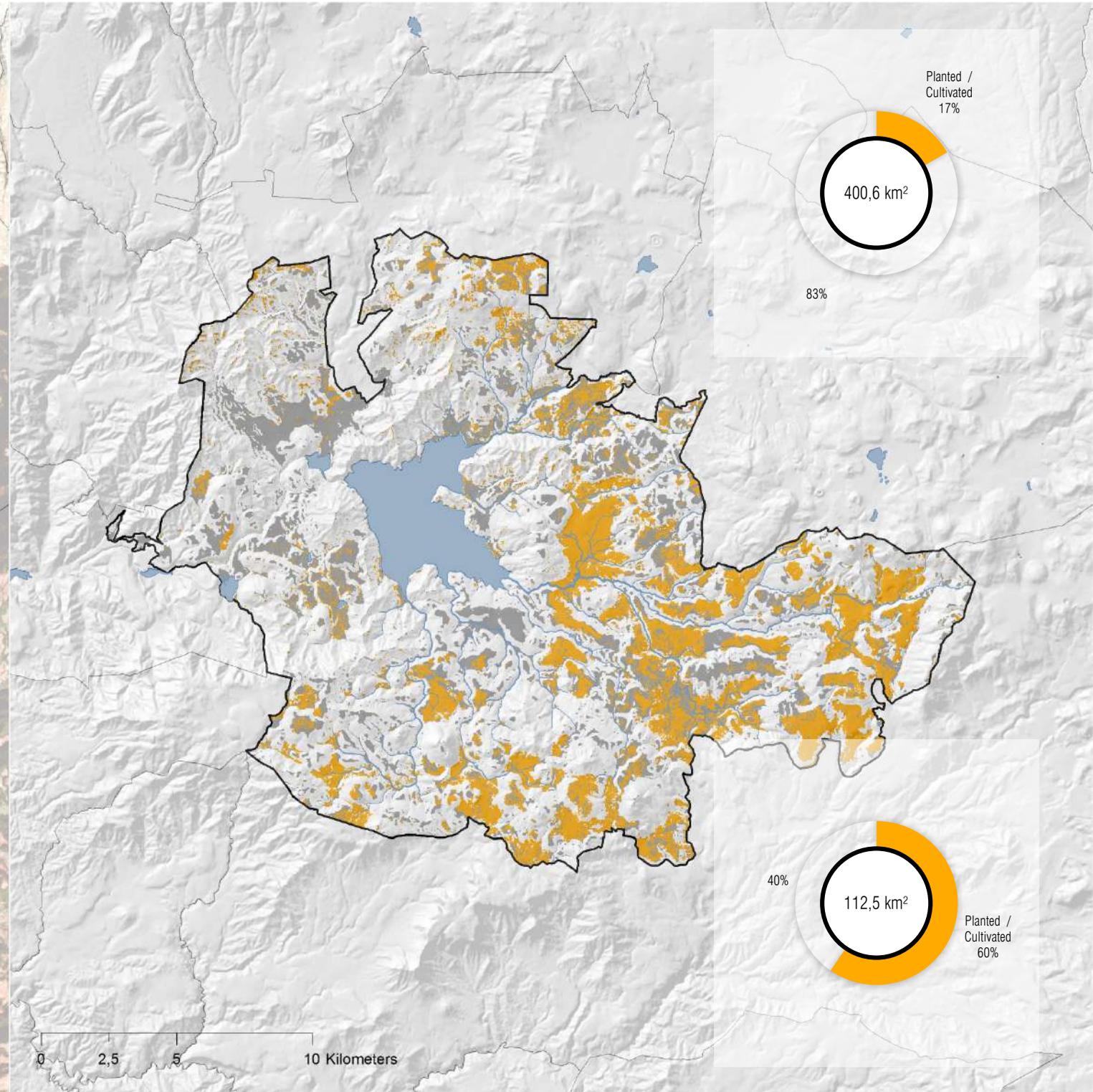
PSEUDO NATURAL COLOR 721



Fuente: Leapfrog

# 1986

SISTEMA AGRÍCOLA



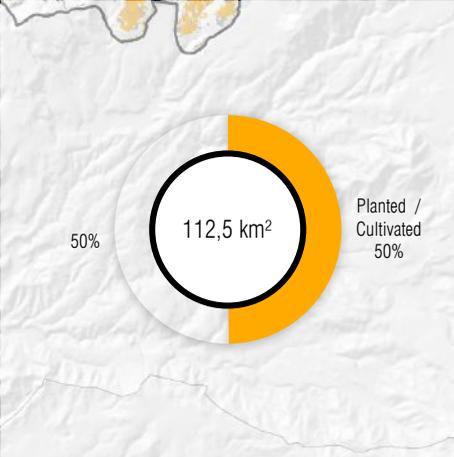
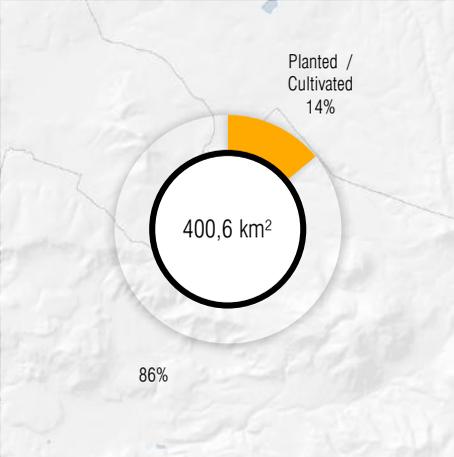
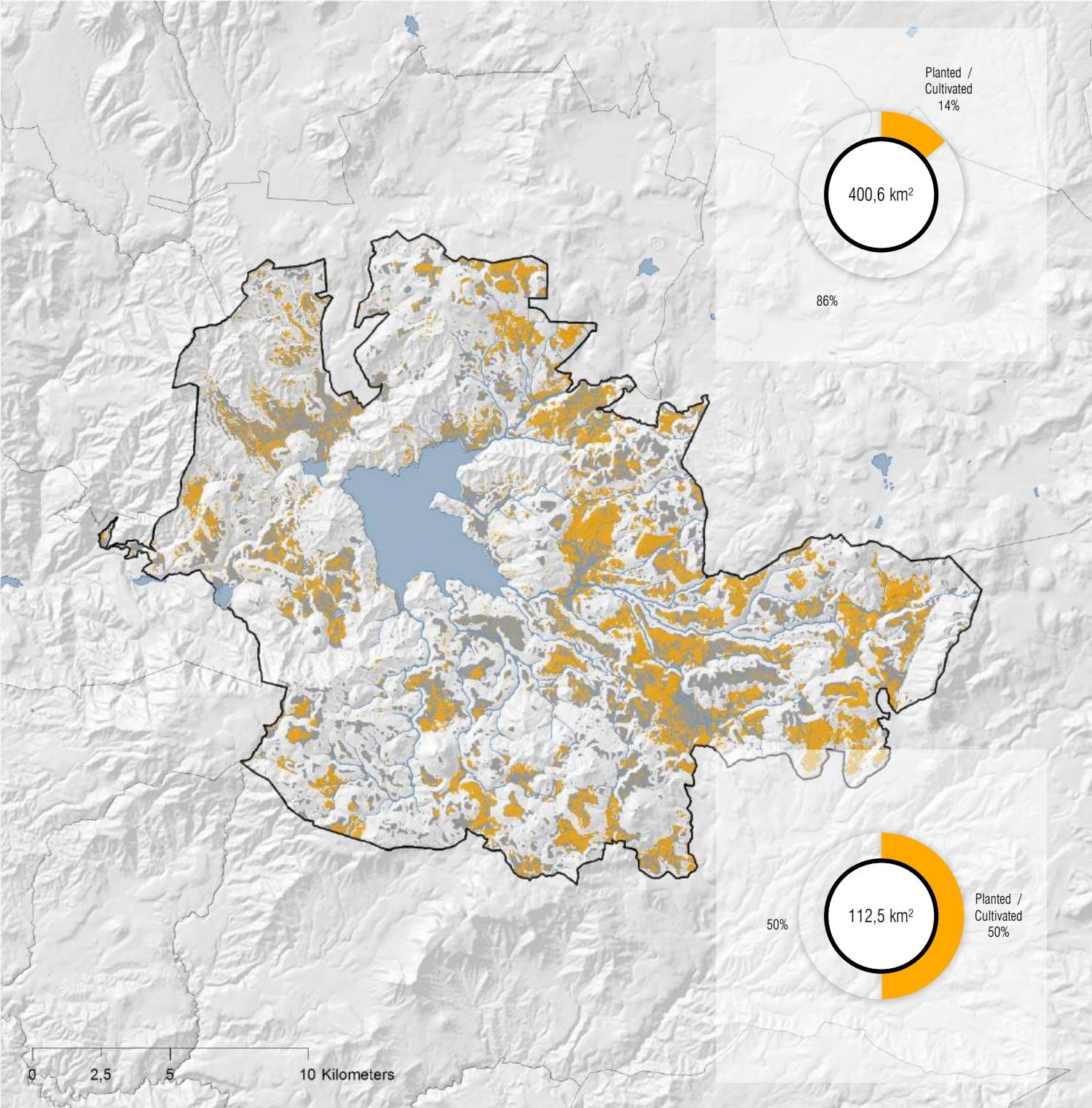
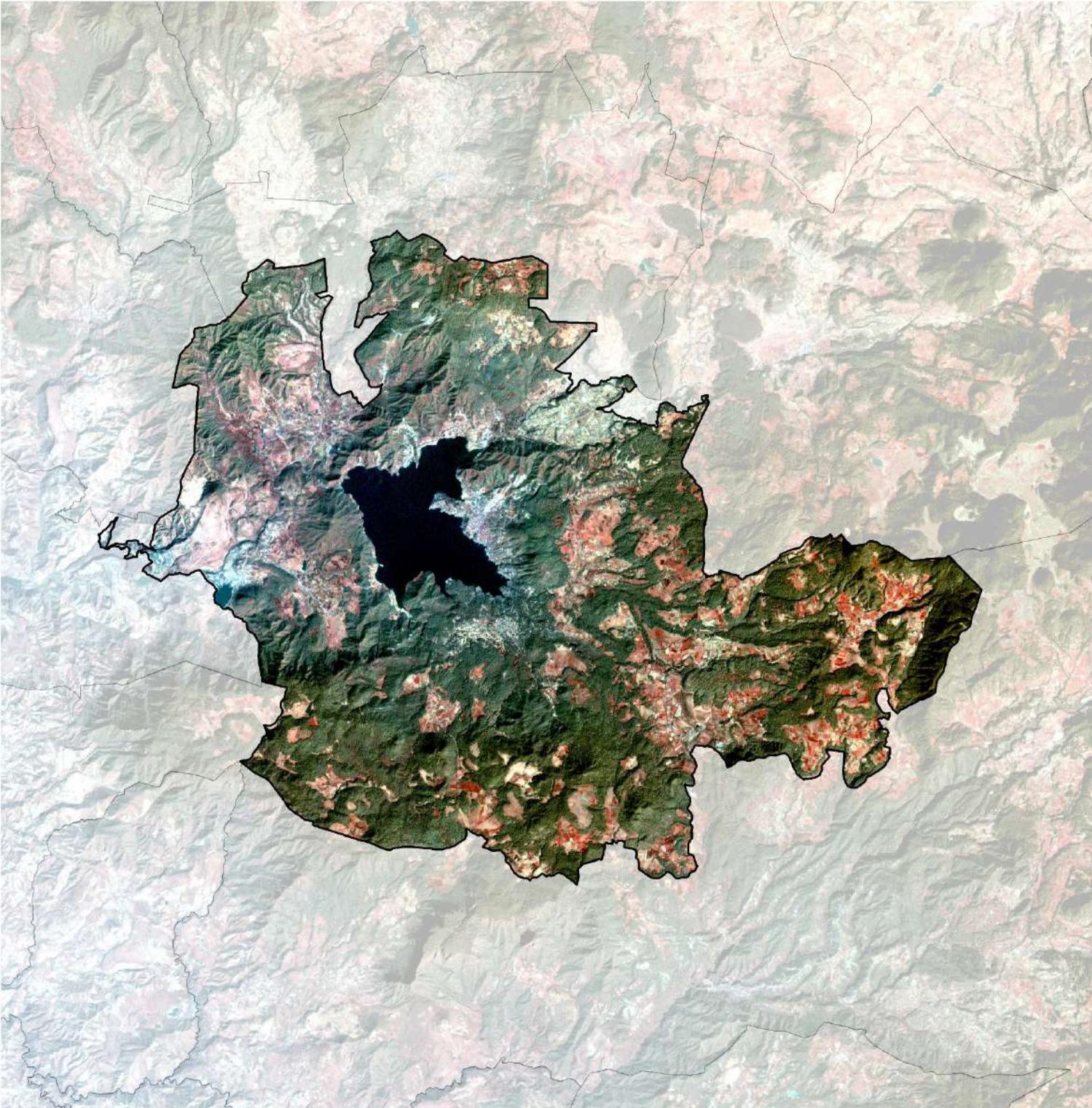
67,0 km<sup>2</sup>

16,7% | 59,68% potencial

# 3.3.2

## 2000

SISTEMA AGRÍCOLA



Fuente: Leapfrog

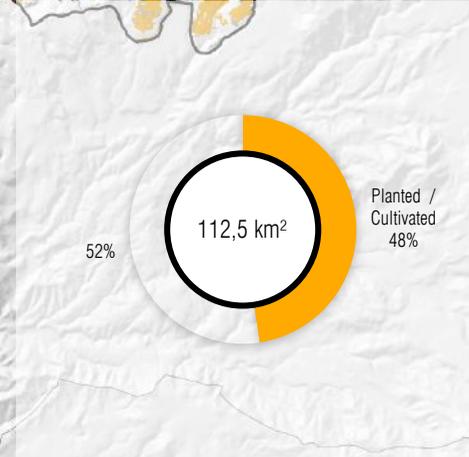
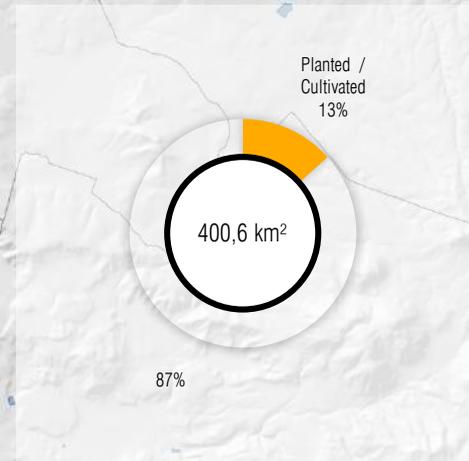
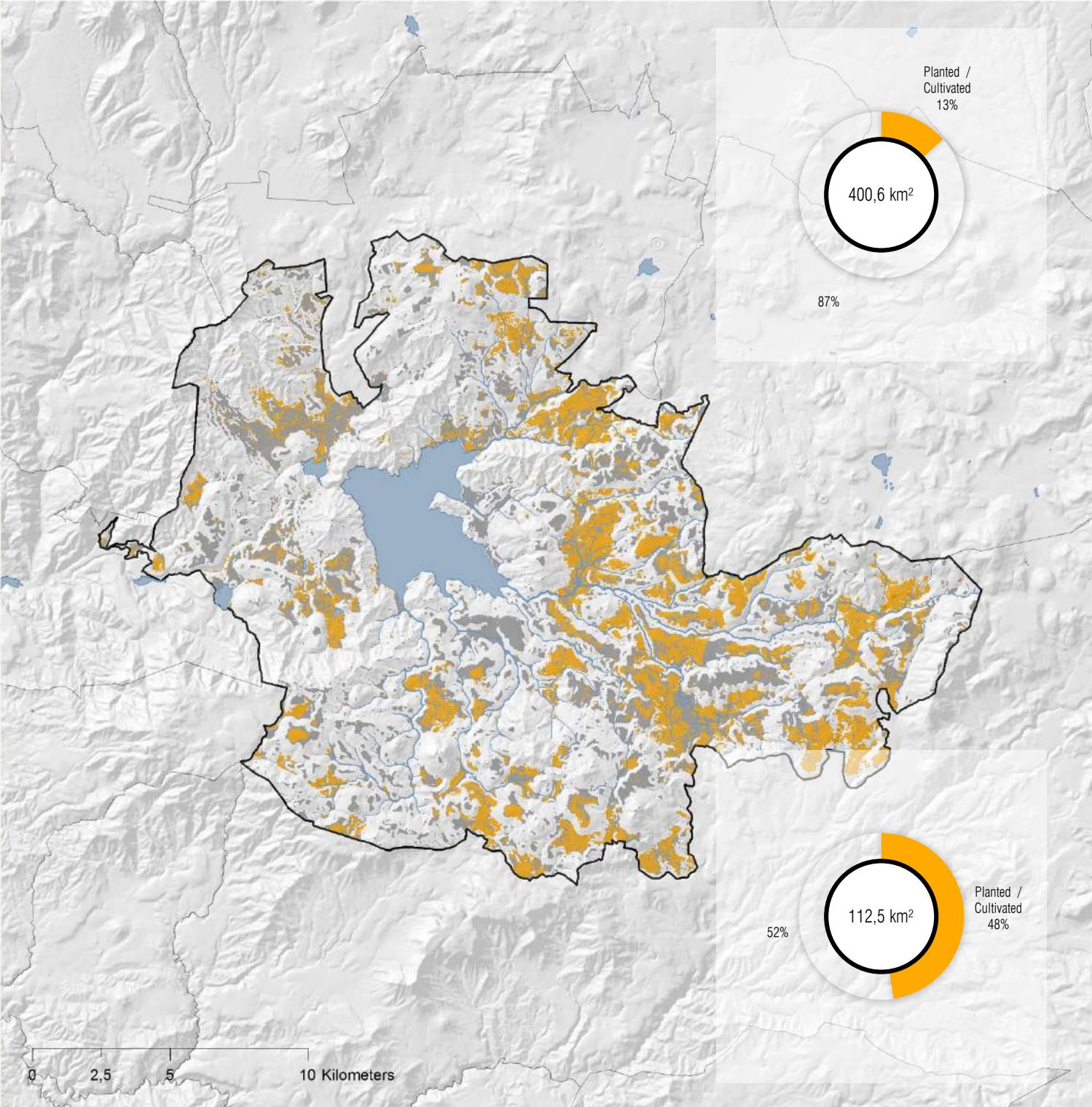
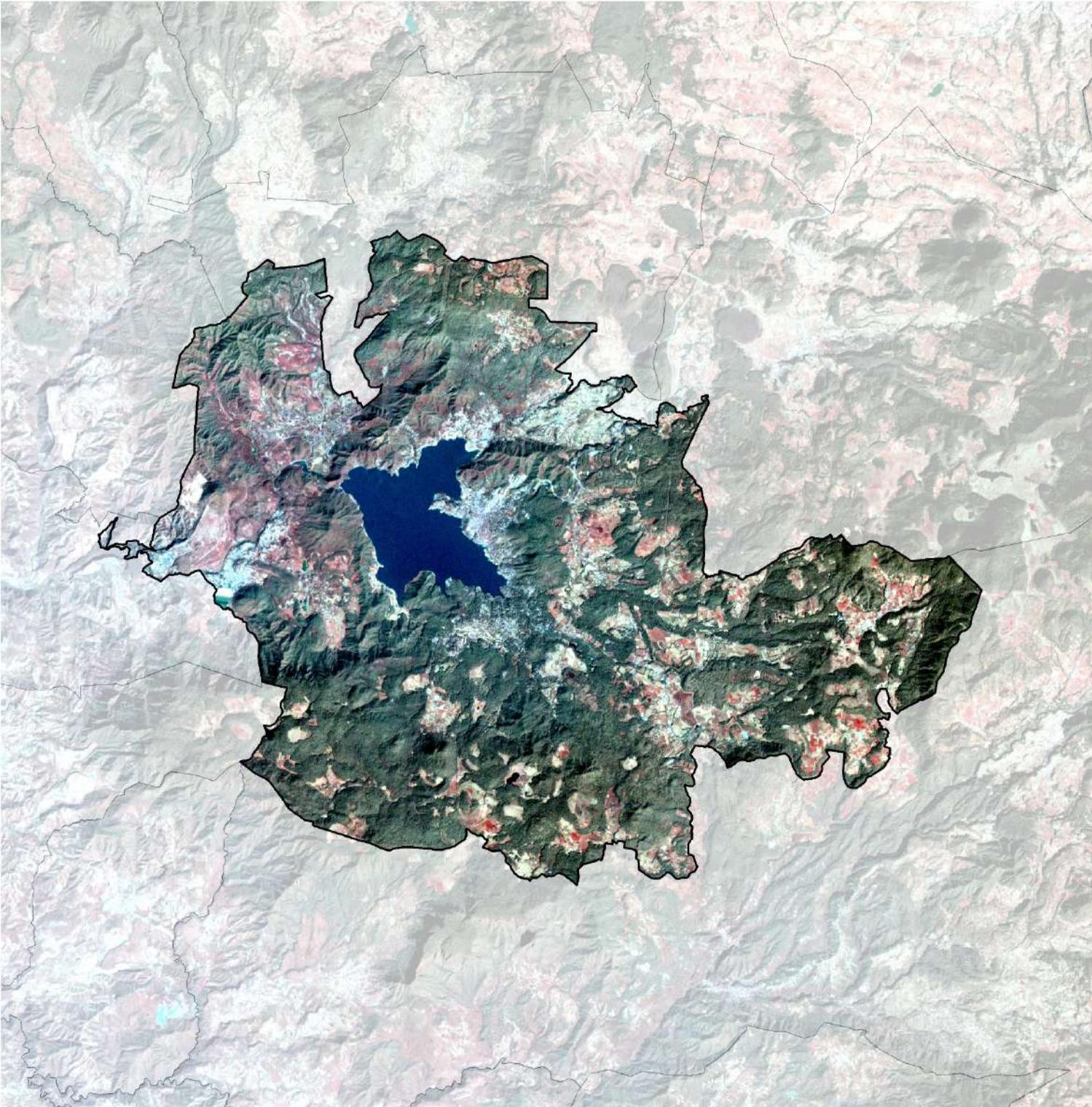
56,1 km<sup>2</sup>

14,0% | 49,9% potencial

# 3.3.3

## 2013

SISTEMA AGRÍCOLA



Fuente: Leapfrog

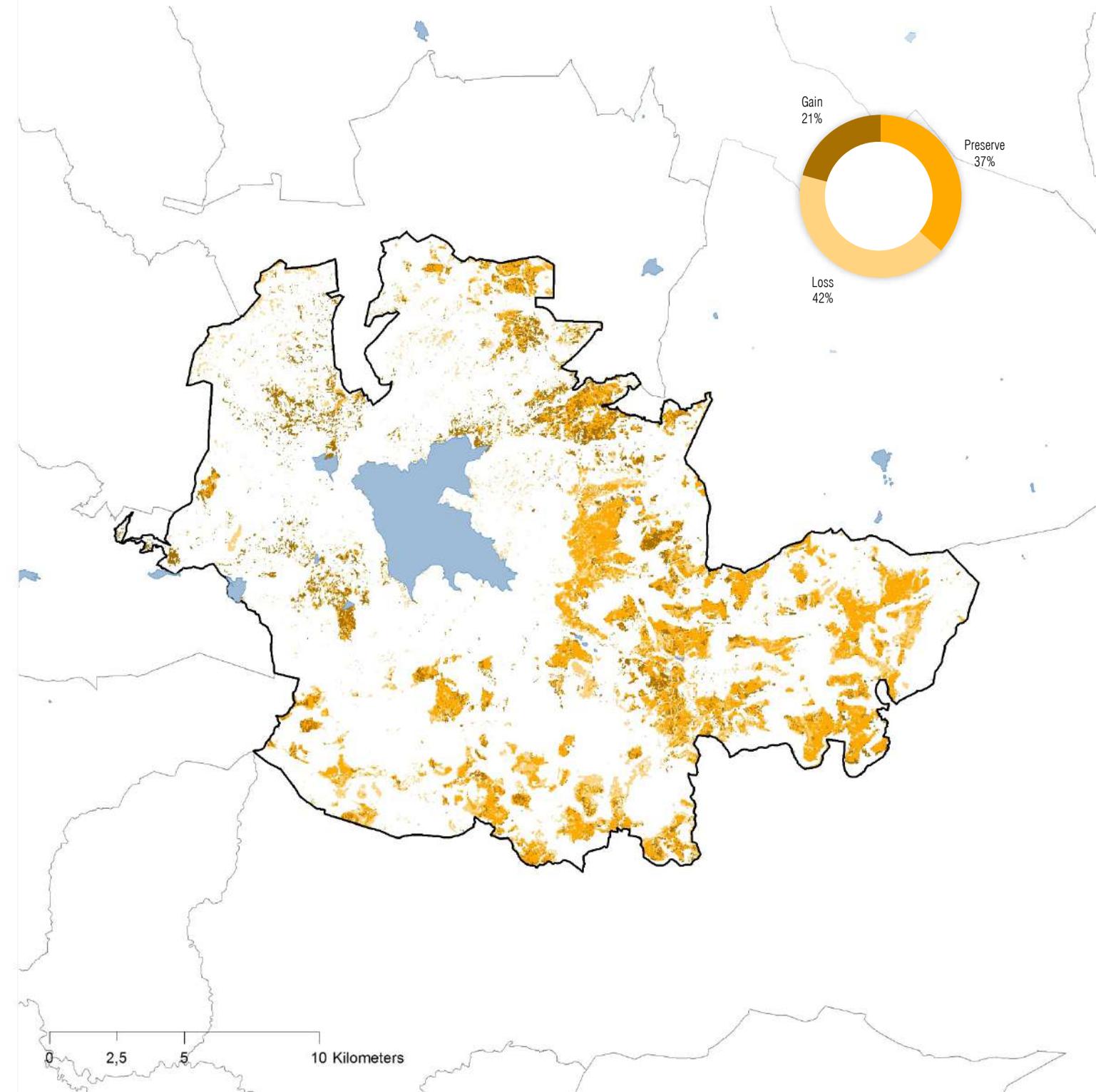
53,6 km<sup>2</sup>

13,4% | 47,6% potencial

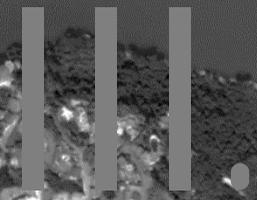
# RESULTADOS

La Cuenca del Valle de Bravo tiene una superficie de 615,8 km<sup>2</sup>. Esta cuenca pertenece a la Región Hidrológica 18, Cuenca Río Balsas, y dentro de ésta a la cuenca del Río Cutzamala (18G), y así a la subcuenca del Río Tilostoc (18Gg). Las altitudes de la cuenca varían entre los 3.760 msnm (Cerro El Calvario) hasta los 1.792 msnm (fondo del desagüe debajo de la cortina) o 1.830 msnm (espejo del agua a la altura del vertedor). De acuerdo al SMAGEM (2010), en la Cuenca se han registrado al menos 841 manantiales que producen 3,84 m<sup>3</sup>/s.

## Cambios 1986 | 2013



Fuente: Leapfrog



Sistemas

URBANO

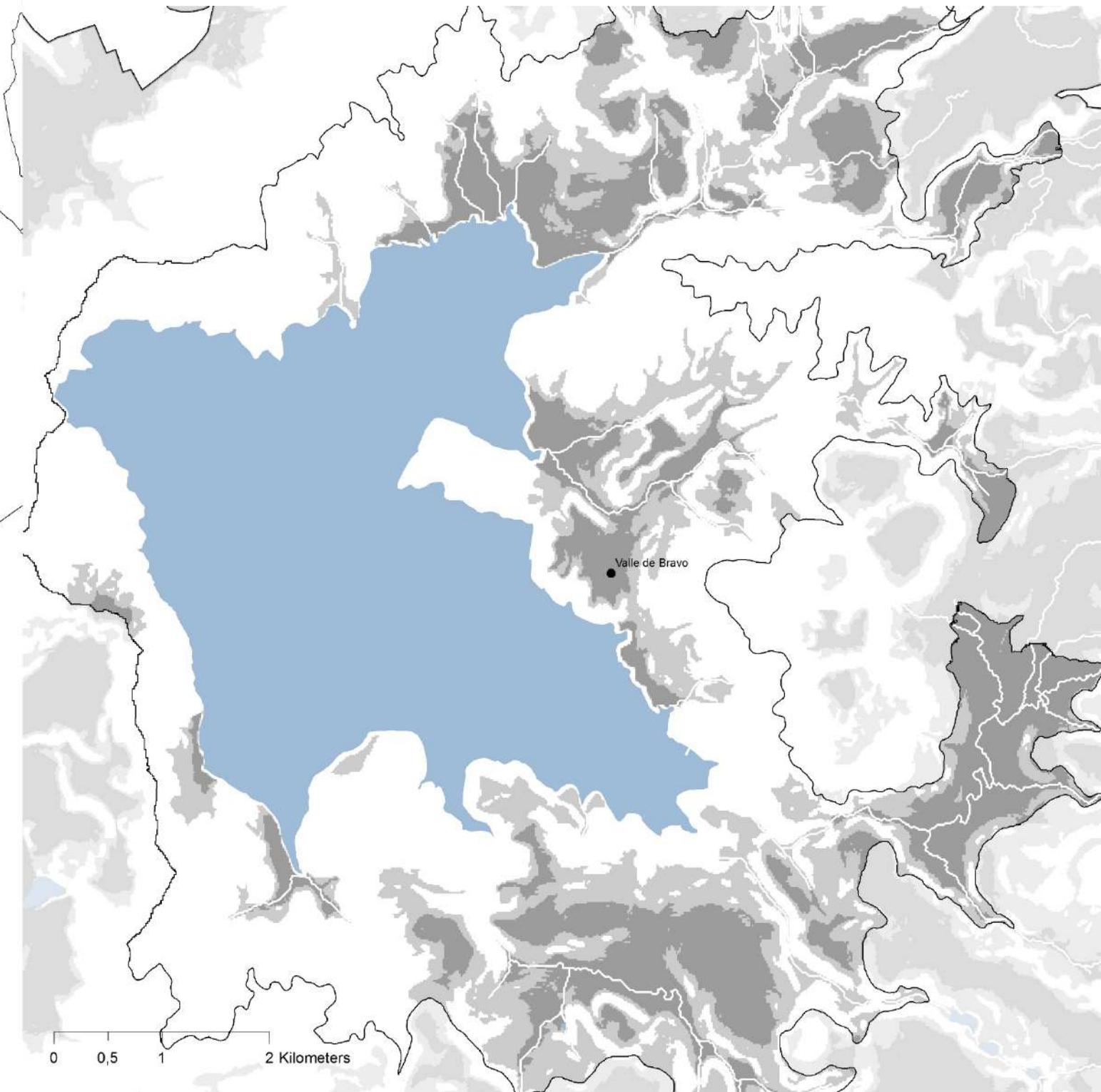
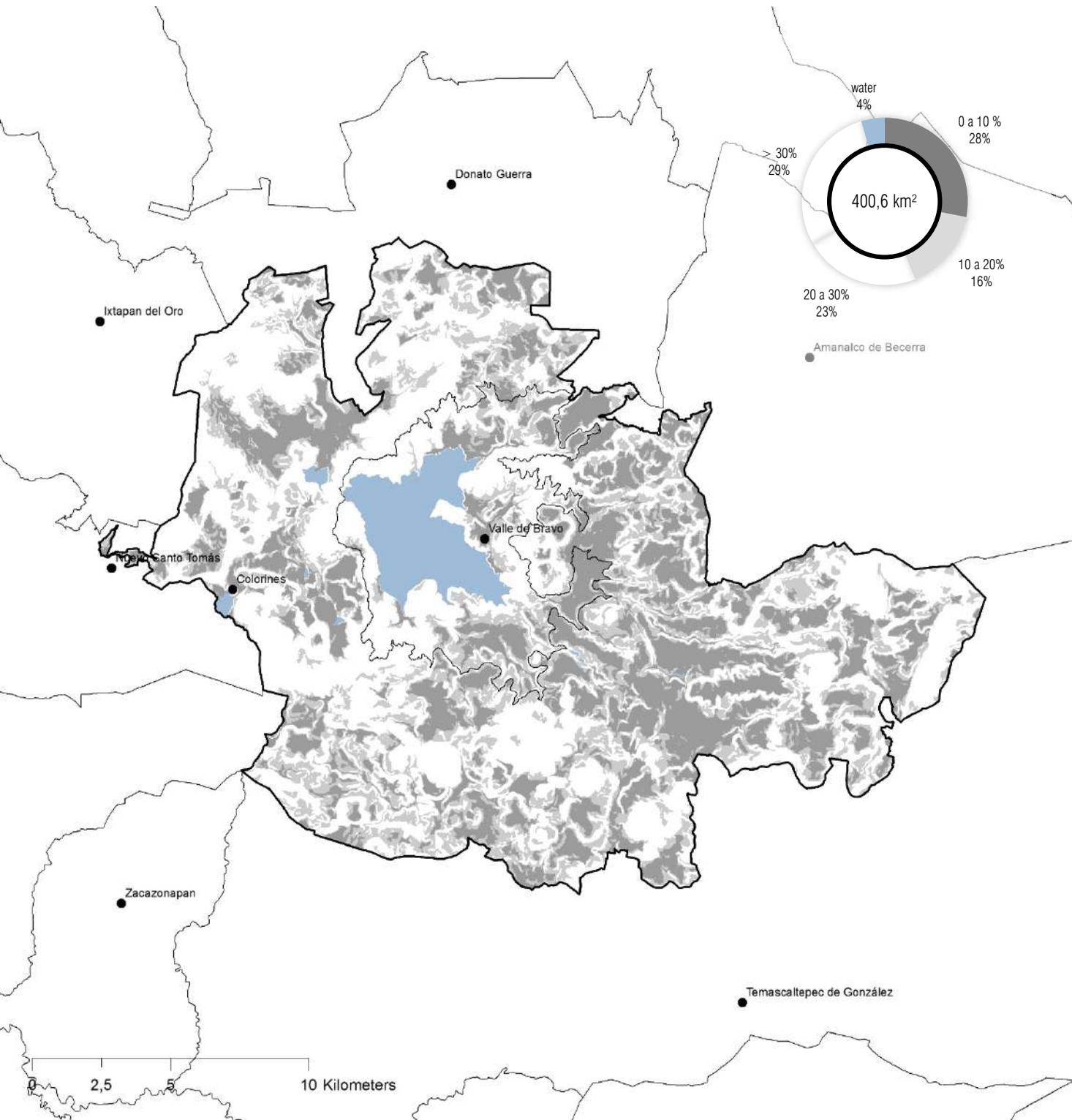
# SISTEMA URBANO

Para representar los resultados obtenidos de la clasificación en el sistema urbano se realizaron los siguientes mapas:

- Cambios: Mapas de pérdidas y ganancias de los periodos 1986-2013 (30m/pix) y 2000-2013 (15m/pix)
- Potencial Urbano: Mapa de pendientes para el municipio en los intervalos: 0-10%, 10-20%, 20-30% y >30%  
Mapa simplificado para las superficies entre 0 -10% y áreas entre el 10-20% de pendiente.
- Presión Urbana: Mapa de potencial urbano (0-10% pendiente), superficie artificializada 2013 y carreteras  
Mapa de visibilidad hacia el lago

Límite de presión urbana sobre el Lago de Valle de Bravo

# Potencial Teórico

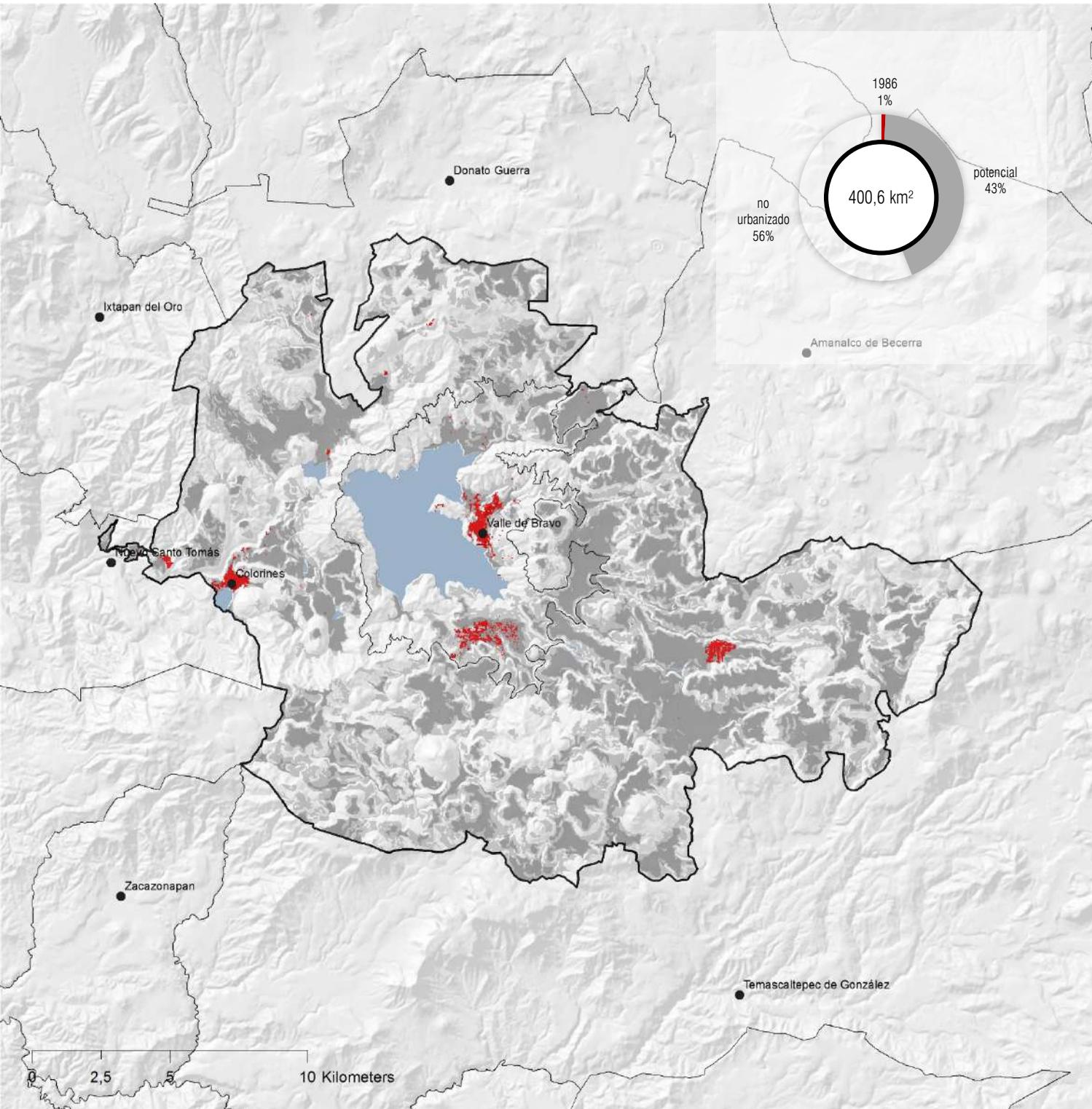


Fuente: Leapfrog

0 a 10%	112,5 km²
10 a 20%	94,8 km²
	<b>207,3 km²</b>

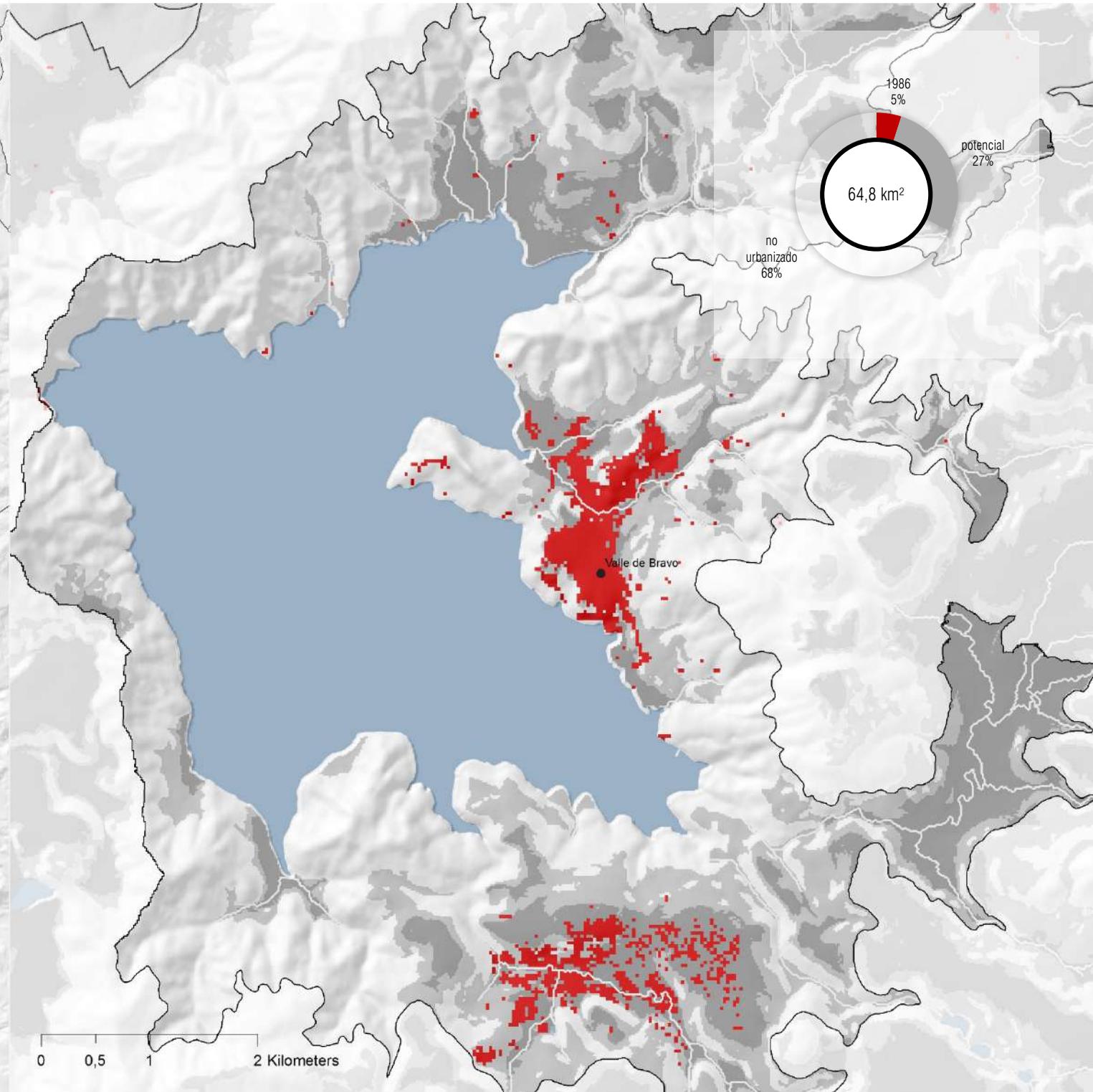
# 3.4.1

## AREAS ARTIFICIALIZADAS



Fuente: Leapfrog

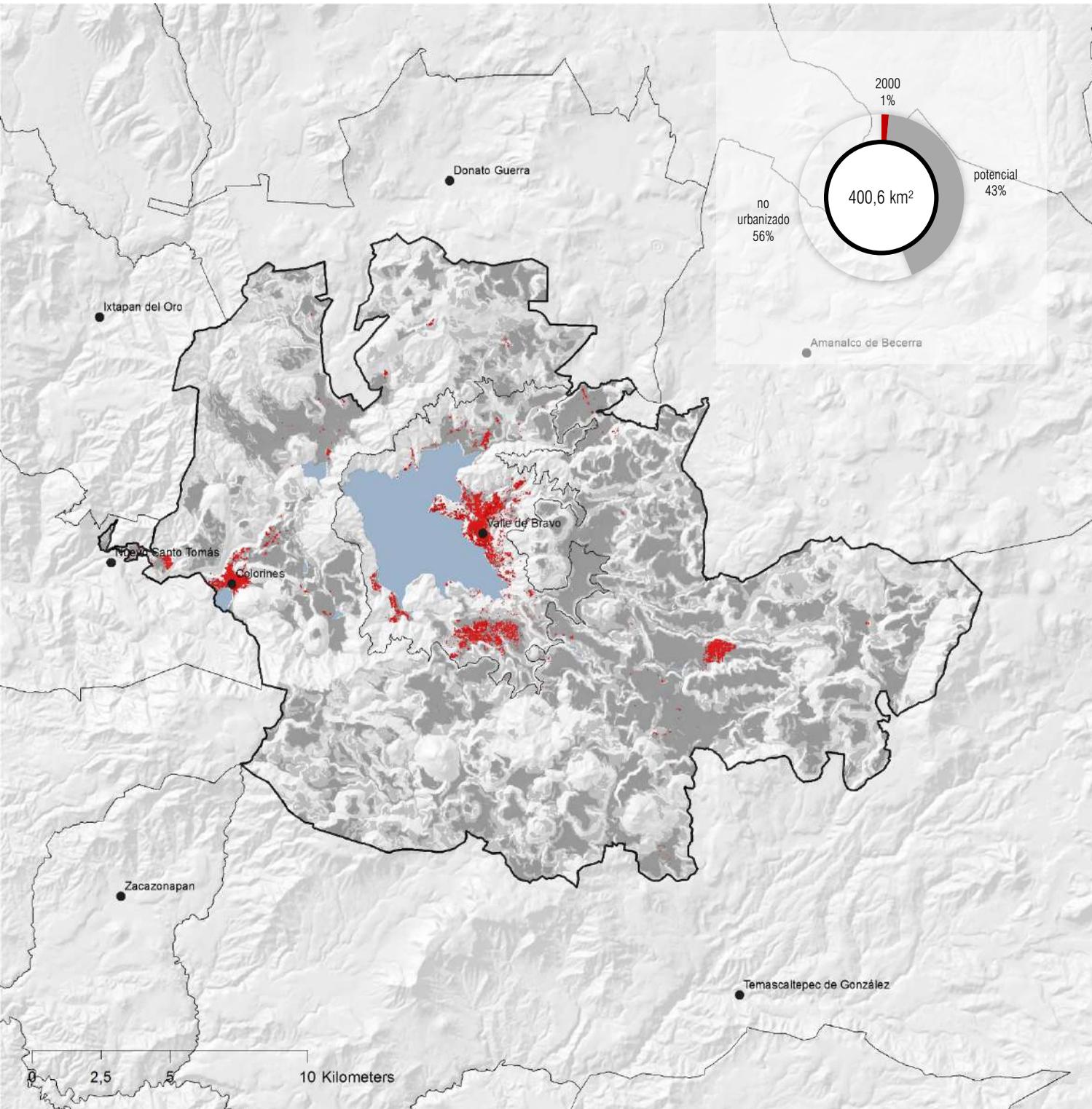
# 1986



3,2 km<sup>2</sup>

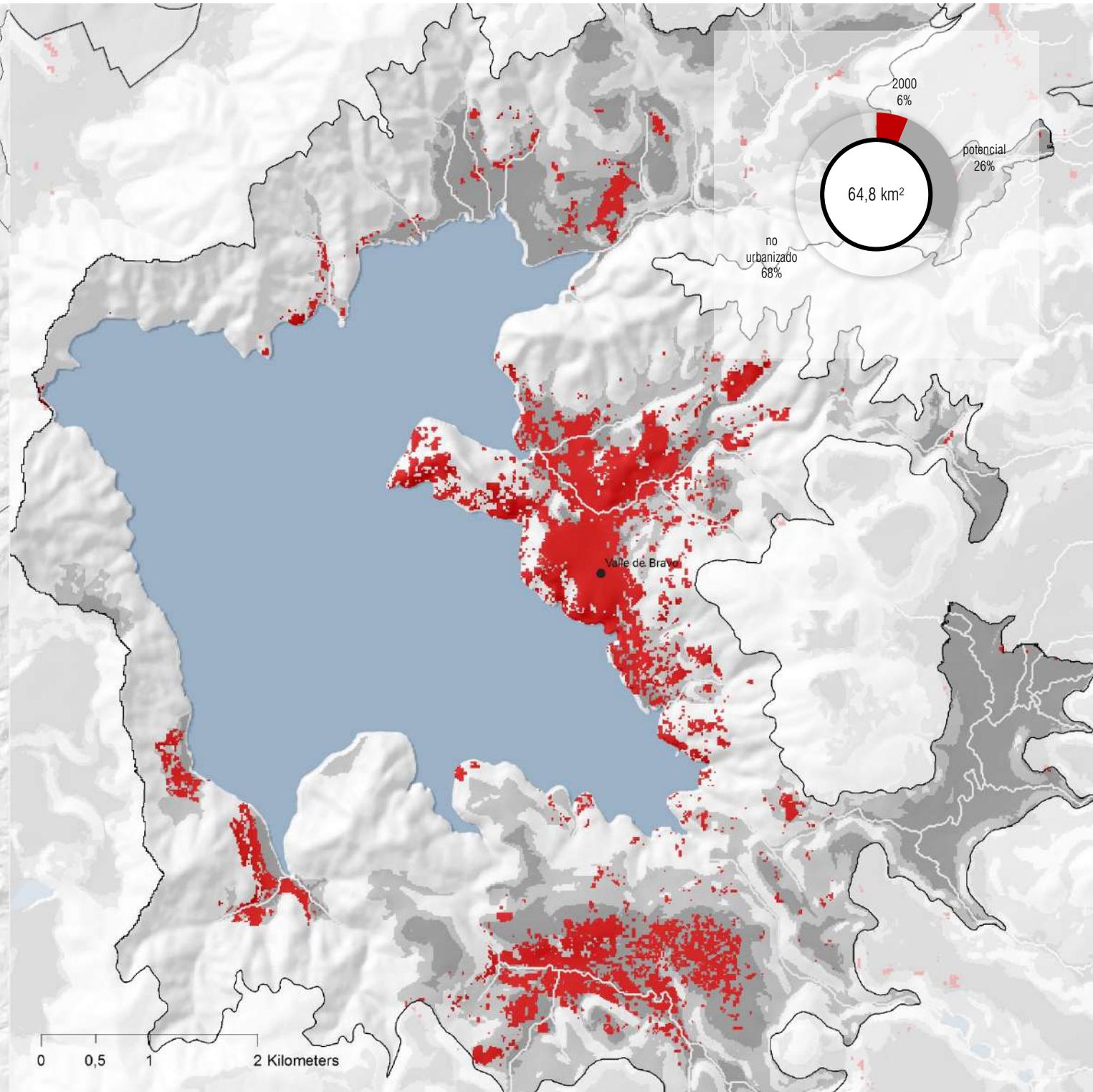
# 3.4.2

## AREAS ARTIFICIALIZADAS



Fuente: Leapfrog

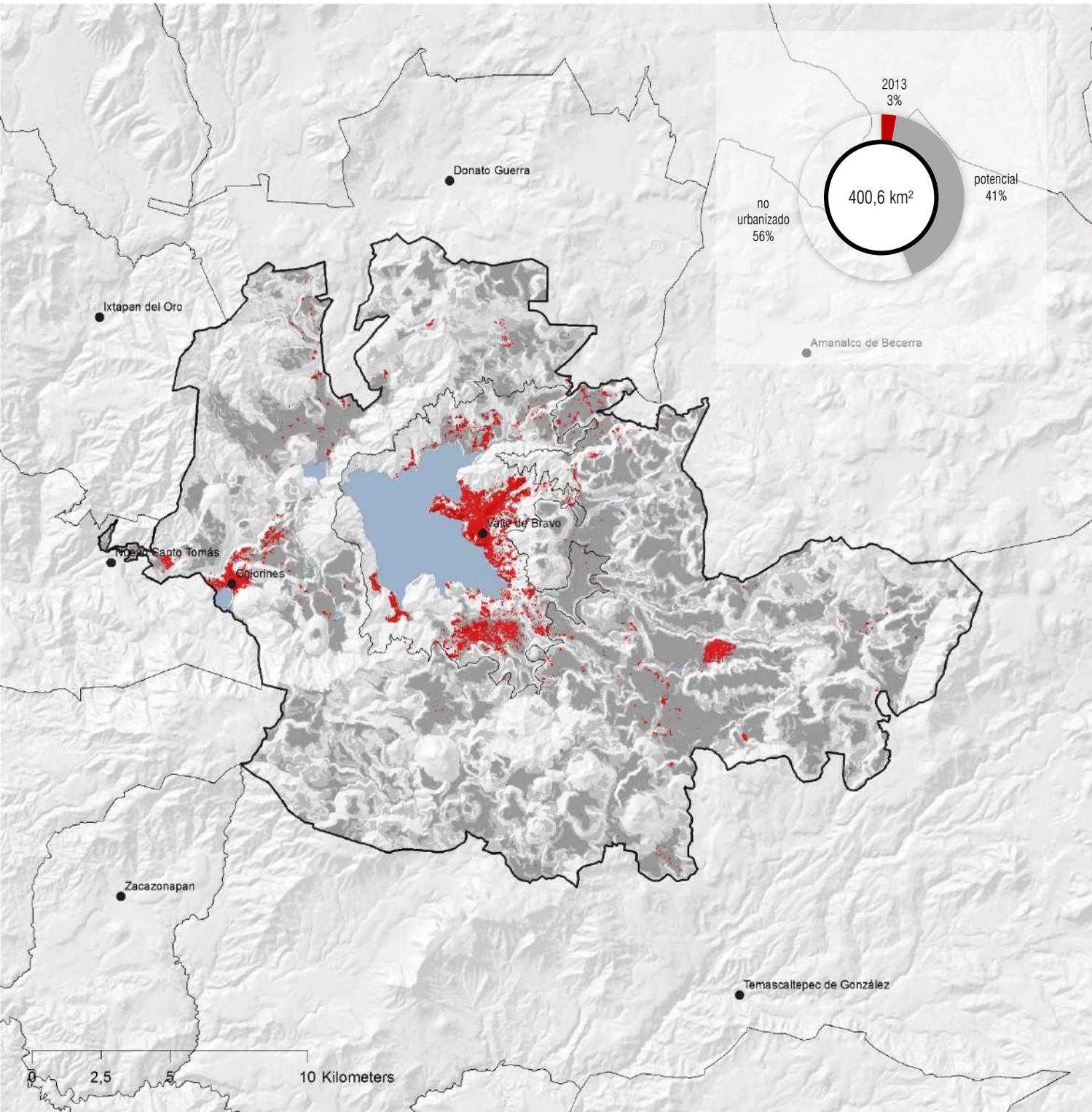
# 2000



5,7 km²  
57.375 habitantes | 12.509 viviendas

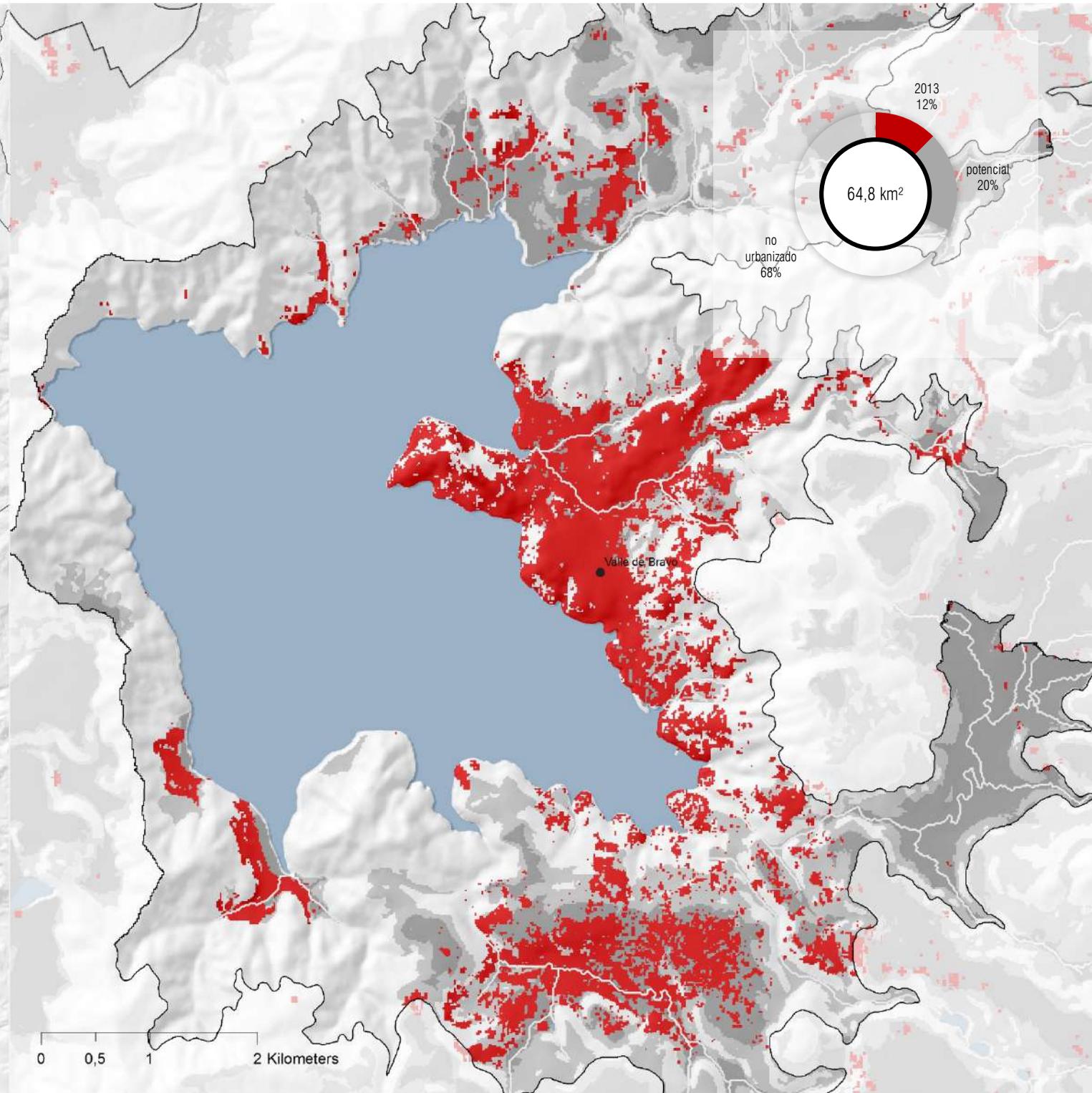
# 3.4.3

## AREAS ARTIFICIALIZADAS



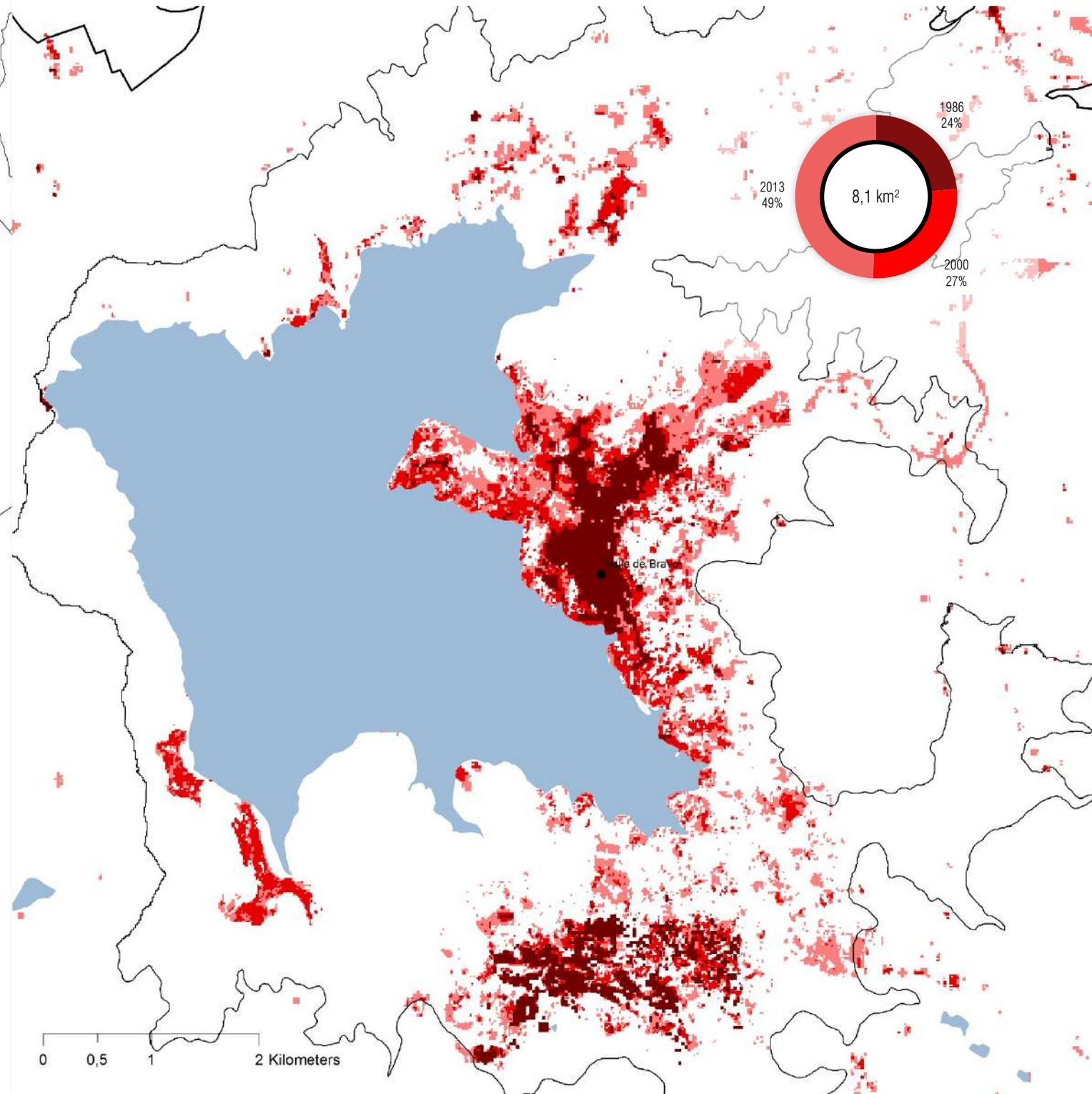
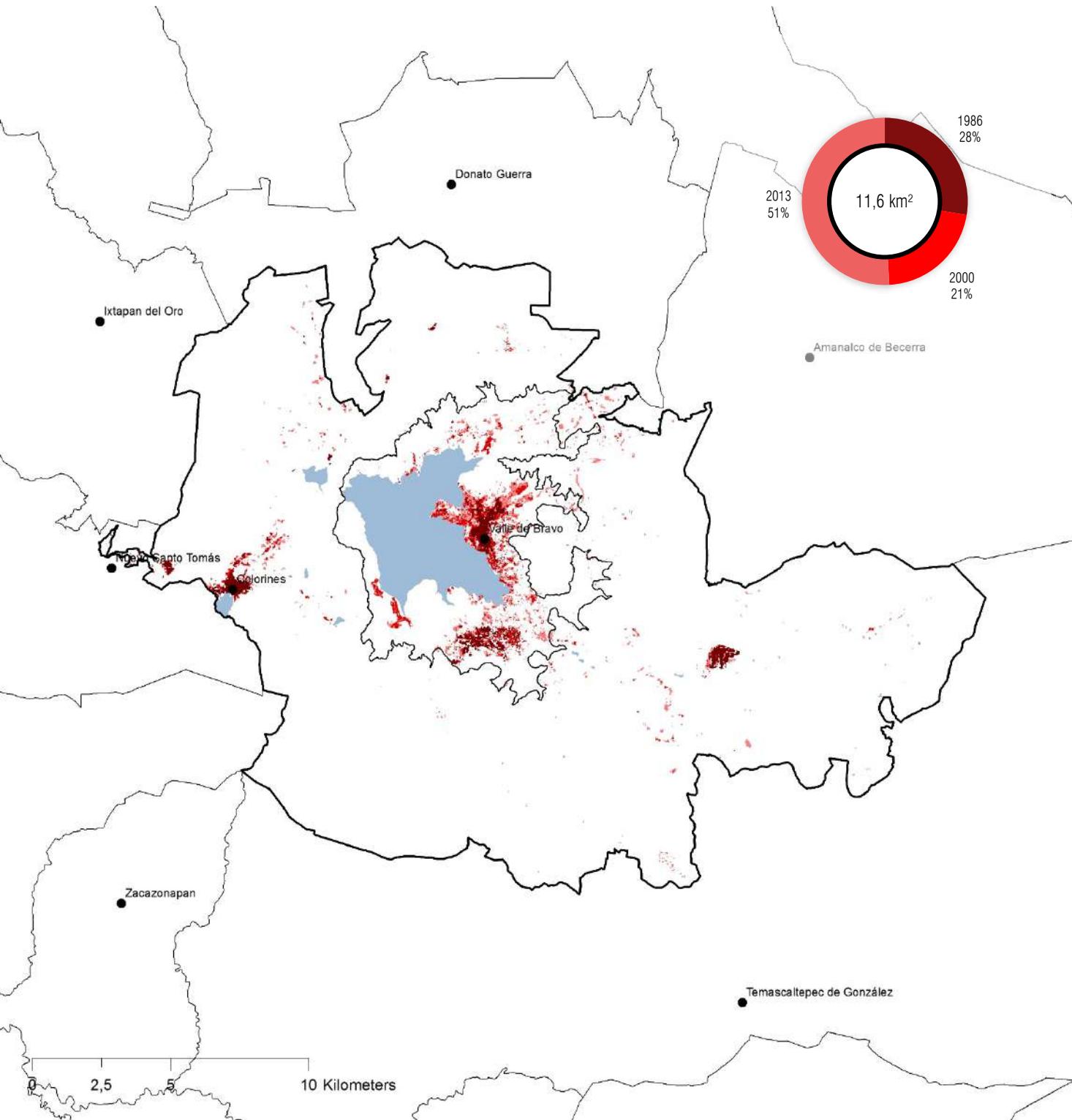
Fuente: Leapfrog

# 2013

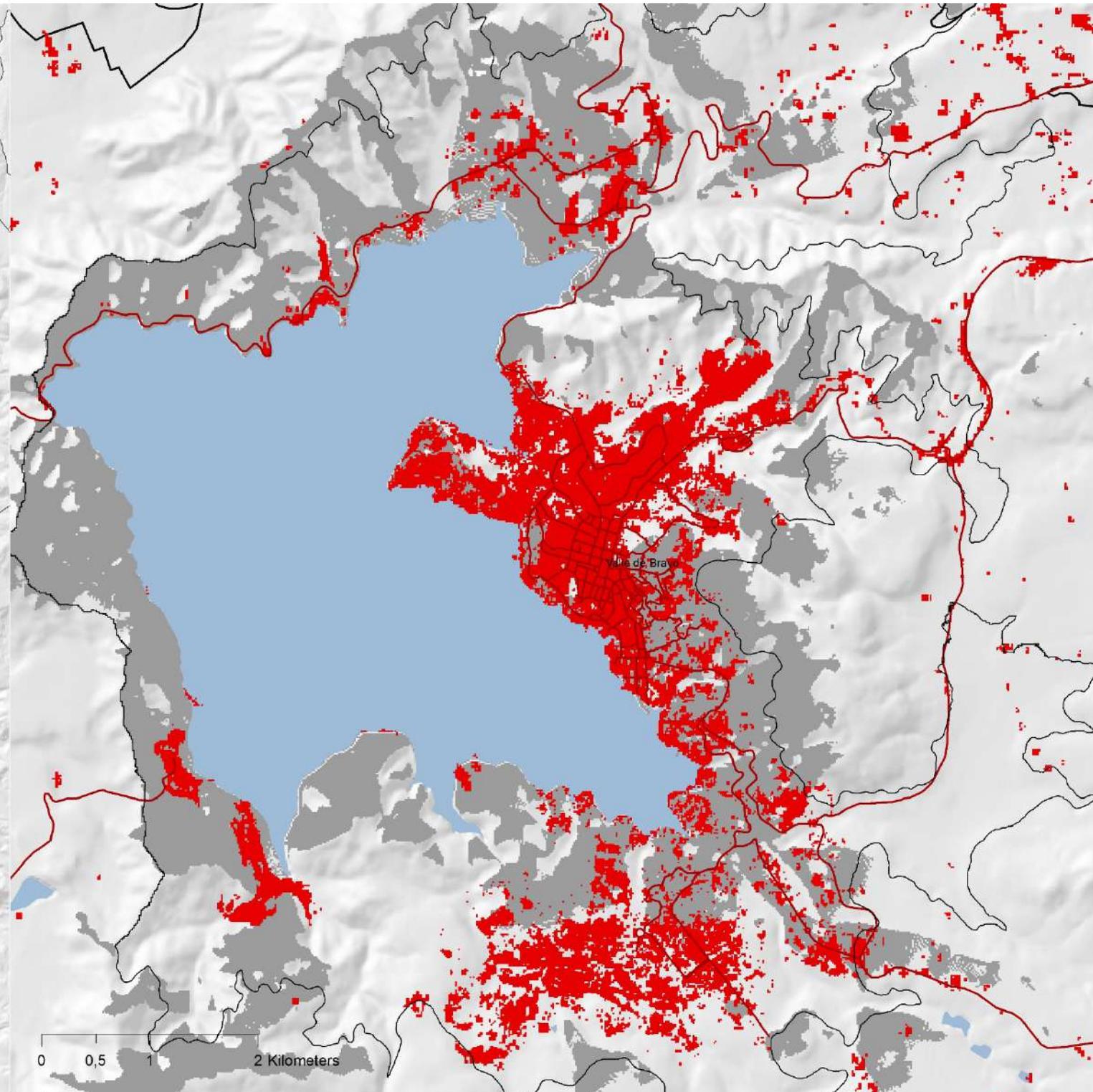
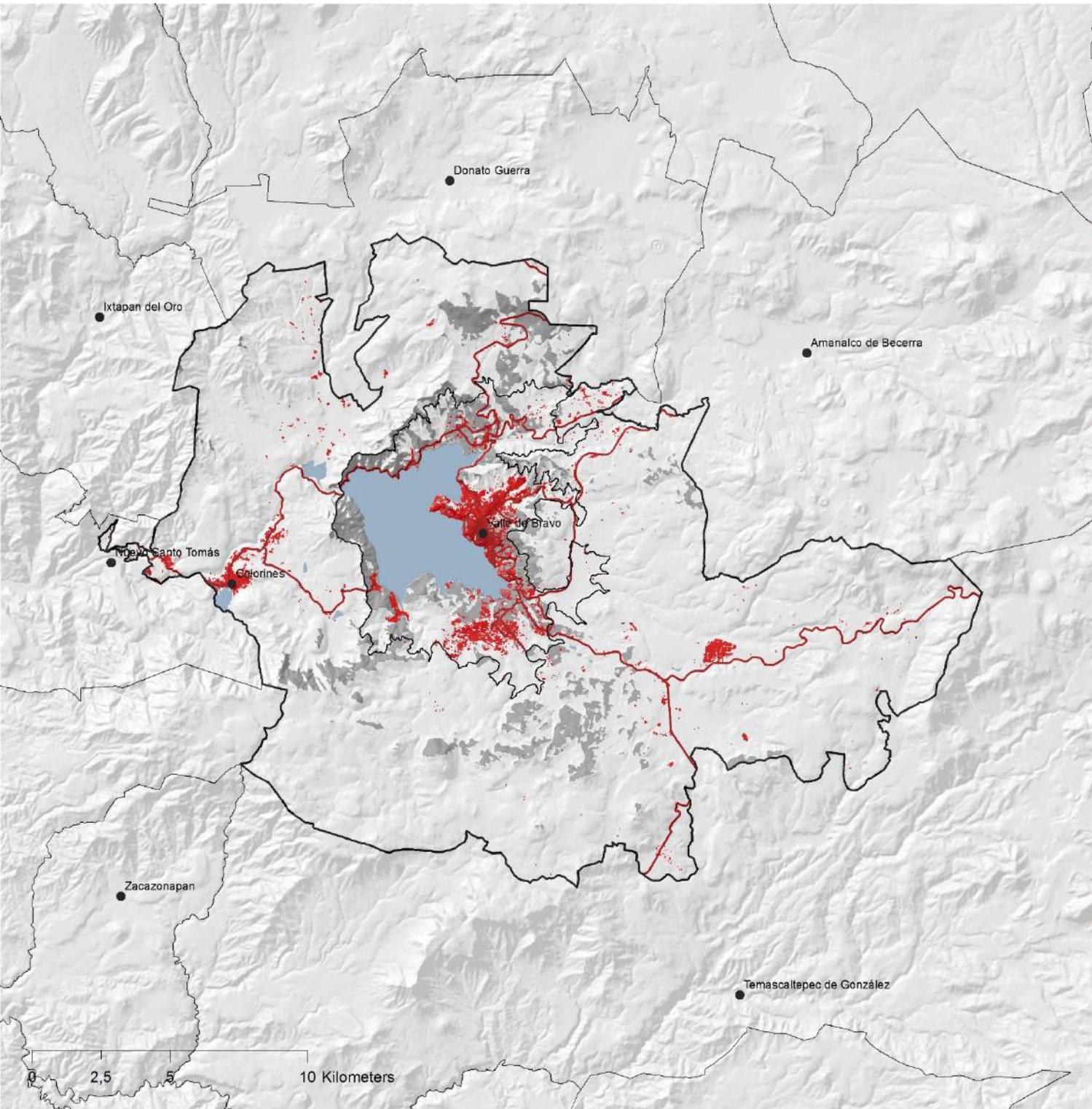


11,6 km<sup>2</sup>

# Crecimiento 1986 | 2000 | 2013

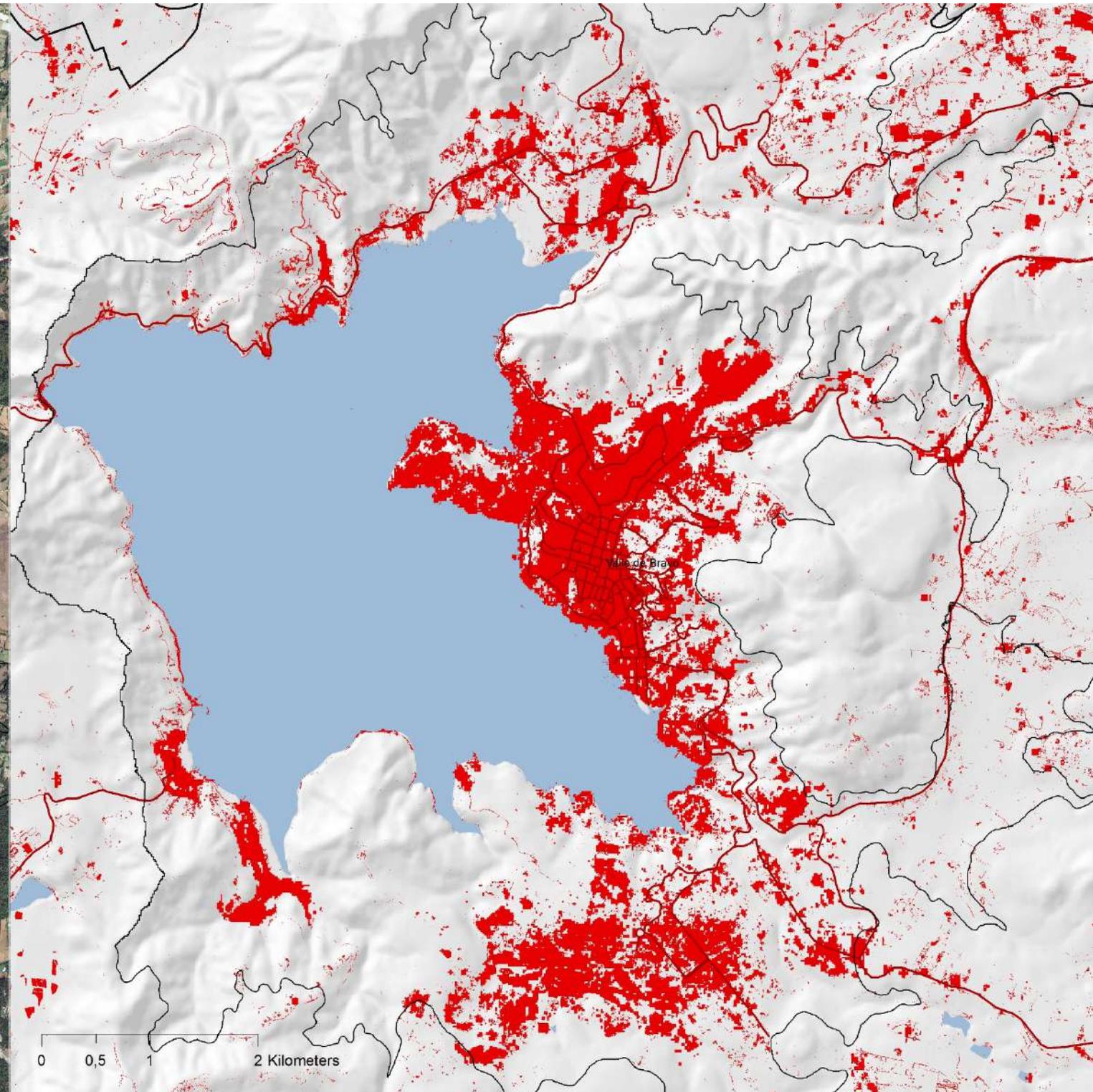


# Visibilidad del Lago



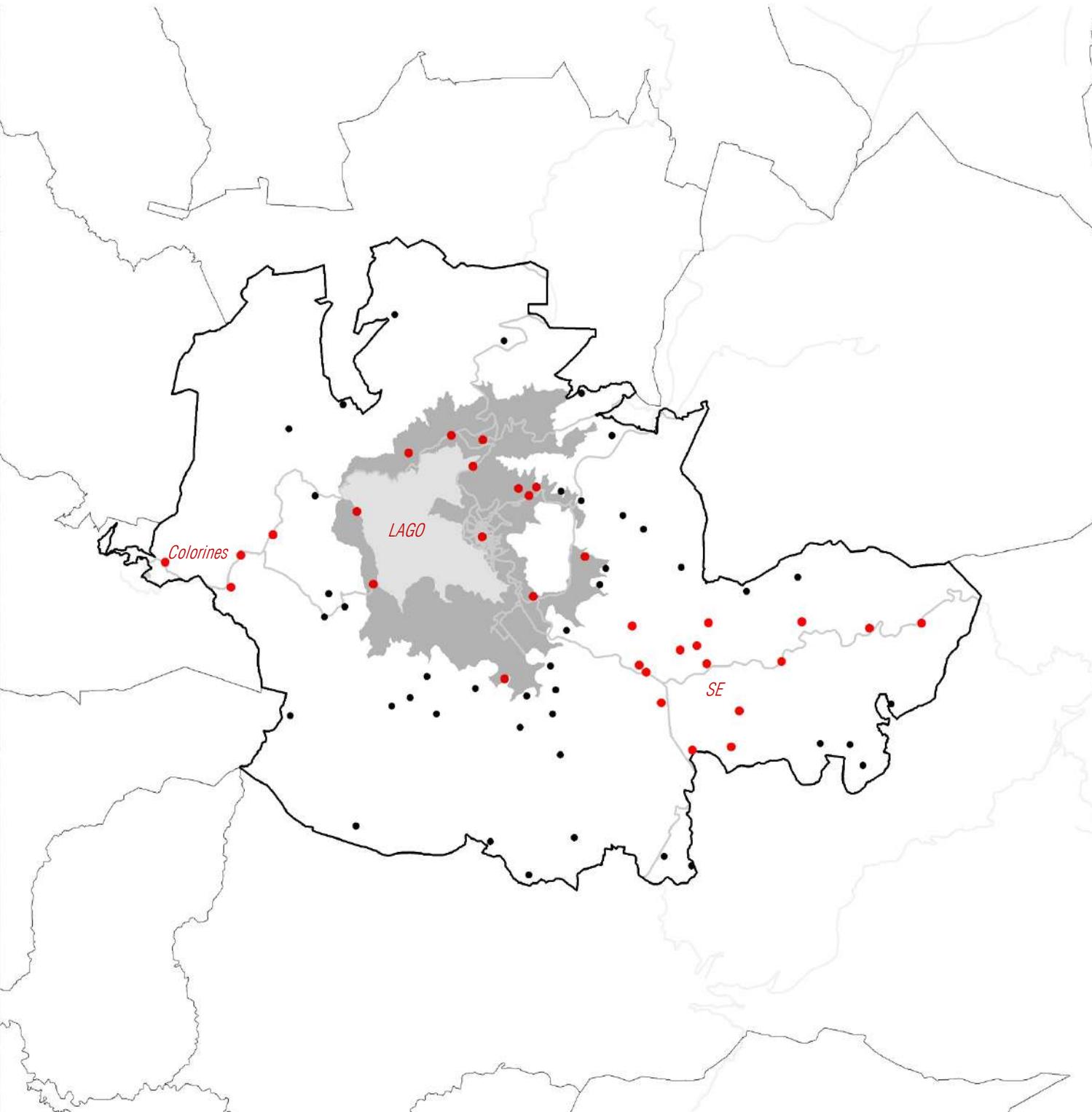
Fuente: Leapfrog

# Ocupación del Suelo 2013



Fuente: Leapfrog

## Clusters de localidades



## RESULTADOS

La Cuenca del Valle de Bravo tiene una superficie de 615,8 km<sup>2</sup>. Esta cuenca pertenece a la Región Hidrológica 18, Cuenca Río Balsas, y dentro de ésta a la cuenca del Río Cutzamala (18G), y así a la subcuenca del Río Tilostoc (18Gg). Las altitudes de la cuenca varían entre los 3.760 msnm (Cerro El Calvario) hasta los 1.792 msnm (fondo del desagüe debajo de la cortina) o 1.830 msnm (espejo del agua a la altura del vertedor). De acuerdo al SMAGEM (2010), en la Cuenca se han registrado al menos 841 manantiales que producen 3,84 m<sup>3</sup>/s.

cluster	POB 2010	%	VIV 2010	%	hab / viv	localidades	area	
						INEGI	km <sup>2</sup>	%
Lago	32.623	53,0%	12.743	60,1%	2,6	13	47,2	11,8%
Colorines	9.961	16,2%	3.011	14,2%	3,3	4		
SE	5.660	9,2%	1.557	7,3%	3,6	15		
Otros	13.355	21,7%	3.907	18,4%	3,4	42		
	<b>61.599</b>	<b>100%</b>	<b>21.218</b>	<b>100%</b>		<b>74</b>	<b>400,6</b>	

# ENTREGA DIGITAL

# ENTREGA DIGITAL

El contenido de los archivos para cada mapa se describen a continuación, en proyección UTM 18N Datum WGS84, y son válidos para una escala de trabajo 1:200.000 (30m/pix) y 1:100.000 (15m/pix):

## I\_basic\_information

<b>11_dtm</b>	Modelo Digital del Terreno		
Subcarpeta:	dtm		
	dem15m_40x40.asc	Modelo digital INEGI 15m	
	aspect	Orientación	
	hillshade	Sombras	
	slope	Pendiente en grados	
<b>12_terrunits</b>	División Administrativa		
Subcarpeta:	admin		
	01_Estados.shp	Estados de México	INEGI
	02_mun_ValledBr.shp	Municipio de Valle de Bravo	INEGI
	02_municipios.shp	Municipios Estado de México	INEGI
	03_colonias.shp		
	03_locurales.shp	Localidades Rurales	INEGI
	03_poblados.shp	Poblados representativos	
	carreteras.shp	Carreteras	Openstreetmap
	presas.shp	Presas Municipio de Valle	INEGI
	lpfrg_10x10km.shp	Límite de la zona de estudio	
	lpfrg_40x40km.shp	Límite de la zona de estudio	
	INEGI	Cartografía Geoestadística Urbana	
	151100001	Valle de Bravo	
	151100012	Colorines	
<b>13_population</b>	Población		
	03_locurales_pobviv.shp	Localidades rurales con valores de población y vivienda 2010	

## II\_classification

<b>21_1986</b>	1986_RGB_30m.tiff	Imagen Landsat 1986 color natural Imagen 30 m/pixel
<b>22_2000</b>	2000_RGB_30m.tiff 2000_RGB_15m.tiff	Imagen Landsat 2000 color natural Imagen 30 m/pixel Imagen 15 m/pixel
<b>23_2013</b>	2013_RGB_30m.tiff 2013_RGB_15m.tiff	Imagen Landsat 2000 color natural Imagen 30 m/pixel Imagen 15 m/pixel
<b>24_1986_class</b>	1986_30m_class.hdr 1986_30m_class.shp	Imagen de Coberturas de Suelo 1986 clasificación raster 30m/pix clasificación vectorial a nivel municipal
<b>25_2000_class</b>	2000_30m_class.hdr 2000_30m_class.shp 2000_15m_class.hdr 2000_15m_class.shp	Imagen de Coberturas de Suelo 1986 clasificación raster 30m/pix clasificación vectorial a nivel municipal clasificación raster 15m/pix clasificación vectorial a nivel municipal
<b>26_2013_class</b>	2013_30m_class.hdr 2013_30m_class.shp 2013_15m_class.hdr 2013_15m_class.shp	Imagen de Coberturas de Suelo 1986 clasificación raster 30m/pix clasificación vectorial a nivel municipal clasificación raster 15m/pix clasificación vectorial a nivel municipal

# III\_systems

## 31\_water

<b>cuencas</b>	Análisis del sistema hídrico
01_fill	fill MDT
02_dir	flow direction
03_accum	accumulation
05_net	network
06_order	dirección de flujo
watershed	cuencas
<b>INEGI</b>	Cuencas
RH18G	Sistema Cutzamala
RH18GG	Subcuenca Tilostoc

## 32\_natural\_forest

<b>NAT_15</b>	15m
changes	
00_13_natfor_gain.shp	2000-2013 áreas ganadas
00_13_natfor_loss.shp	2000-2013 áreas perdidas
00_13_natfor_preserve.shp	2000-2013 áreas preservadas
class	
00_forest.shp	2000 áreas forestales
00_sparsely.shp	2000 áreas naturales
13_forest.shp	2013 áreas forestales
13_sparsely.shp	2013 áreas naturales
<b>NAT_30</b>	30m
changes	
86_13_natfor_gain.shp	1986-2013 áreas ganadas
86_13_natfor_loss.shp	1986-2013 áreas perdidas
86_13_natfor_preserve.shp	1986-2013 áreas preservadas
00_13_natfor_gain.shp	2000-2013 áreas ganadas
00_13_natfor_loss.shp	2000-2013 áreas perdidas
00_13_natfor_preserve.shp	2000-2013 áreas preservadas
class	
86_forest.shp	2000 áreas forestales
86_sparsely.shp	2000 áreas naturales
00_forest.shp	2000 áreas forestales
00_sparsely.shp	2000 áreas naturales
13_forest.shp	2013 áreas forestales
13_sparsely.shp	2013 áreas naturales

## 33\_planted\_cultivated

<b>CUL_15</b>	15m
changes	
00_13_cultivated_gain.shp	2000-2013 áreas ganadas
00_13_cultivated_loss.shp	2000-2013 áreas perdidas
00_13_cultivated_preserve.shp	2000-2013 áreas preservadas
class	
00_cultivated.shp	2000 áreas agrícolas
13_cultivated.shp	2013 áreas agrícolas
<b>CUL_30</b>	30m
changes	
86_13_cultivated_gain.shp	1986-2013 áreas ganadas
86_13_cultivated_loss.shp	1986-2013 áreas perdidas
86_13_cultivated_preserve.shp	1986-2013 áreas preservadas
00_13_cultivated_gain.shp	2000-2013 áreas ganadas
00_13_cultivated_loss.shp	2000-2013 áreas perdidas
00_13_cultivated_preserve.shp	2000-2013 áreas preservadas
class	
86_cultivated.shp	2000 áreas agrícolas
00_cultivated.shp	2000 áreas agrícolas
13_cultivated.shp	2013 áreas agrícolas

## 34\_artificial

<b>CUL_15</b>	15m
changes	
00_13_artificial_growth.shp	2000-2013 áreas ganadas
class	
00_artificial.shp	2000 áreas artificializadas
13_artificial.shp	2013 áreas artificializadas
<b>CUL_30</b>	30m
changes	
86_13_artificial_growth.shp	1986-2013 áreas artificializadas
00_13_artificial_growth.shp	2000-2013 áreas artificializadas
class	
86_artificial.shp	2000 áreas artificializadas
00_artificial.shp	2000 áreas artificializadas
13_artificial.shp	2013 áreas artificializadas

# BIBLIOGRAFÍA

Anderson, J., Hardy, E., Roach, J., & Witmer, R. (1976). *A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data*. United States Department of the Interior. Washington: United States Government Printing Office.

Angel, S. J. (2010). *Atlas of Urban Expansion*. Cambridge MA: Lincoln Institute of Land Policy.

Angel, S., Parent, J., Civco, D., & Blei, A. (2010). *The Persistent Decline in Urban Densities: Global and Historical Evidence of 'Sprawl'*. Lincoln Institute of Land Policy.

Angel, S., Parent, J., Civco, D., Blei, A., & Potere, D. (2010). *A Planet of Cities: Urban Land Cover Estimates and Projections for All Countries, 2000-2050*. Lincoln Institute of Land Policy.

Angel, S., Parent, J., Civco, L., & Blei, A. (2011). *Making Room for a Planet of Cities*. Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy.  
Angel, S., Sheppard, S., Civco, D., Chabaeva, A., Gitlin, L., Kralej, A., . . . Buckley, R. (2005). *The dynamics of global urban expansion*. The World Bank, Transport and Urban Development Department, Washington, DC.

Anji Reddy, M. (2008). *Remote Sensing and Geographical Information Systems*. Hyderabad: BS Publications.

Arino, O., Kalogirou, V., Perez, J., Bontemps, S., Defourny, P., & Van Bogaert, E. (2011). *GLOBCOVER 2009. Products Description and Validation Report*. European Space Agency & Université Catholique de Louvain.

Batty, M. (1976). *Urban Modelling. Algorithms, Calibrations, Predictions*. Cambridge: Cambridge University Press.

Batty, M. (2008). *Cities as Complex Systems: Scaling, Interactions, Networks, Dynamics and Urban Morphologies*. University College London (UCL). London: Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA).

Batty, M. (2008). *Cities as Complex Systems: Scaling, Interactions, Networks, Dynamics and Urban Morphologies*. UCL Working Papers Series(131).

Batty, M., & Longley, P. A. (1994). *Fractal Cities: A Geometry of Form and Function*. London: Academic Press.

Batty, M., & Xie, Y. (1996). Preliminary evidence for a theory of the fractal city. *Environment and Planning A*(28), pp. 1745–1762.

Chander, G., Markham, B., & Helder, D. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*(113), pp. 893–903.

Cheng, J. (2003). *Modelling Spatial & Temporal Urban Growth*. Utrecht University. Utrecht: Faculty of Geographical Sciences.

Civco, D. L., & Hurd, J. (1997). Impervious surface mapping for the State of Connecticut. Seattle, WA: ASPRS/ACSM Annual Convention, 3.

Civco, D. L., Hurd, J., Arnold, C., & Prisløe, S. (2000). Characterization of suburban sprawl and forest fragmentation through remote sensing application. Washington, DC: Proceedings of the ASPRS Annual Convention.

Congalton, R., & Green, K. (1999). *Assessing the Accuracy of Remote Sensing Data: Principles and Practices*. Washington, D.C.: CRC Press, Inc.

European Environment Agency. (2007). *CLC2006 technical guidelines*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

European Environment Agency. (2010). *The European Environment. Thematic Assessment: Land Use*. European Union. Copenhagen: Publications Office of the European Union.

European Environment Agency. (2011). *Analysing and managing urban growth*. European Union, Copenhagen.  
Gonzalez, R., & Woods, R. (2002). *Digital Image Processing*. New Jersey: Prentice Hall.

Indovina, F. (1990). *La Città Diffusa*. Venezia, Italia: IUAV, Dipartimento di Analisi Economica e Sociale del Territorio (DAEST).

Japan Association of Remote Sensing. (1999). Retrieved from Remote Sensing Notes: <http://stlab.iis.u-tokyo.ac.jp/~wataru/lecture/rsgis/index.htm>

Kasanko, M., Sagris, V., & Lavalle, C. (2007). *Analysing the Compactness of Urban Areas by Using Indicators Derived from Data Acquired by Remote Sensing*. Urban Remote Sensing Joint Event. Paris, France.

Land Cover Institute (LCI), USGS. (2012). *The North American Land Change Monitoring System (NALCMS)*. Retrieved Mayo 2013, from <http://landcover.usgs.gov/nalcms.php>

McGarigal, K., & Marks, B. (1994). *FRAGSTATS*. Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Amherst: University of Massachusetts.

Potere, D., Schneider, A., Angel, S., & Civco, D. (2009). Mapping urban areas on a global scale: which of the eight maps now available is more accurate? *International Journal of Remote Sensing*(30(24)), pp. 6531–6558.

Richards, J. A., & Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction* (4th Edition ed.). Berlin, Germany: Springer.

Schowengerdt, R. (2007). *Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing*. Burlington, MA: Elsevier Inc.

Travaglia, C. (1989). *Principles of Satellite Imagery Interpretation*. Report of the Twelfth International Training Course on the Contribution of Remote Sensing to Marine Fisheries. RSC Series 49, FAO, Rome.

USGS. (2012). *The National Land Cover Database*. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey.

Vogelmann, J. E., Howard, S., Yang, L., Larson, C. R., Wylie, B. K., & Van Driel, J. N. (2001). Completion of the 1990's National Land Cover Data Set for the conterminous United States from Landsat Thematic Mapper Data and Ancillary Data Sources. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*(67), pp. 650–662.

Wickham, J., Stehman, S., Fry, J., Smith, J., & Homer, C. (2010). Thematic accuracy of the NLCD 2001 land cover for the conterminous United States. *Remote Sensing of Environment*(114 (6)), pp. 1286–1296.

Wickham, J., Stehman, S., Gass, L., Dewitz, J., Fry, J., & Wade, T. (2013). Accuracy assessment of NLCD 2006 land cover and impervious surface. *Remote Sensing of Environment*(130), pp. 294-304.

Wickham, J., Stehman, S., Smith, J., & Yang, L. (2004). Thematic accuracy of MRLC-NLCD land cover for the western United States. *Remote Sensing of Environment*, 91(3-4), pp. 452–468.

Yang, L., Huang, C., Homer, C., Wylie, B., & Coan, M. (2002). An approach for mapping large-area impervious surfaces: Synergistic use of Landsat 7 ETM+ and high spatial resolution imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*(29(2)), pp. 230-240.



[www.centroeure.org.mx](http://www.centroeure.org.mx)  
contacto: [contacto@centroeure.org.mx](mailto:contacto@centroeure.org.mx)



[www.leapfrog.cat](http://www.leapfrog.cat)  
contacto: [info@leapfrog.cat](mailto:info@leapfrog.cat)