

**IDENTIFICACIÓN DE LAS CUENCAS MÁS VULNERABLES AL  
DESABASTECIMIENTO HÍDRICO EN EL NORTE DEL VALLE DEL CAUCA**

**DUVER HUMBERTO ARREDONDO MARÍN  
LUZ PATRICIA VILLA MARÍN**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2017**

**IDENTIFICACIÓN DE LAS CUENCAS MÁS VULNERABLES AL  
DESABASTECIMIENTO HÍDRICO EN EL NORTE DEL VALLE DEL CAUCA**

**DUVER HUMBERTO ARREDONDO MARÍN  
LUZ PATRICIA VILLA MARÍN**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar  
al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2017**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	14
1. ÁREA PROBLEMÁTICA.....	15
2. OBJETIVOS .....	19
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
3. JUSTIFICACIÓN .....	20
4. MARCO TEÓRICO.....	21
4.1 HIDROLOGÍA.....	21
4.1.1. Precipitación.....	22
4.1.2. Escorrentía .....	22
4.1.3 Infiltración. ....	23
4.1.4 Evapotranspiración.....	24
4.1.5 Balance hídrico.....	26
4.2 COBERTURA DE LA TIERRA .....	26
4.2.1 Metodología “Corine Land Cover”. ....	26
4.2.1 Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. ....	27
4.3 ANÁLISIS MULTITEMPORAL.....	29
4.4 TELEDETECCIÓN .....	29
4.5 ANTECEDENTES .....	30
5. METODOLOGÍA.....	33
5.1 TIPO DE TRABAJO.....	33
5.2 PROCEDIMIENTO .....	33
5.2.1 Fase 1. Recopilación y análisis de información.....	33
5.2.2 Fase 2. Procesamiento digital de la información .....	37

6. RESULTADOS .....	43
6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS .....	43
6.1.1 Cuantificación y análisis de las coberturas boscosas.....	43
6.1.2. Balance hídrico.....	55
6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	83
7. CONCLUSIONES.....	86
8. RECOMENDACIONES .....	88
BIBLIOGRAFÍA .....	89

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
FIGURA 1. Ubicación espacial de la zona norte del Valle del Cauca .....	17
FIGURA 2. Cuencas hidrográficas de la Dirección Ambiental Regional Norte de la CVC .....	18
FIGURA 3. Ciclo hidrológico .....	21
FIGURA 4. Diagrama del proceso de escurrimiento. ....	25
FIGURA 5. <i>Criterios para la clasificación de los bosques</i> .....	29
FIGURA 6. Imagen Landsat 7 utilizada para obtener la información de coberturas del año 2015. ....	35
FIGURA 7. Ubicación de las estaciones climatológicas utilizadas para el estudio.	38
Figura 8. Clasificación supervisada del área de estudio. ....	43
FIGURA 9. Áreas boscosas en el Norte del Valle de Cauca en el año 2001.....	46
FIGURA 10. Áreas boscosas en el Norte del Valle de Cauca en el año 2010. ....	47
FIGURA 11. Áreas boscosas en el Norte del Valle de Cauca en el año 2015.....	48
FIGURA 12. Ejemplo de interpolación de precipitación con el método “Natural Neighbor” .....	55
FIGURA 13. Ejemplo de interpolación de precipitación con el método “Kriging” ...	56
FIGURA 14. Ejemplo de interpolación de precipitación con el método “IDW” .....	56
FIGURA 15. Mapa de isolíneas de precipitación (isoyetas) para el año 2001 .....	58
FIGURA 16. Mapa de isolíneas de precipitación (isoyetas) para el año 2010. ....	59
FIGURA 17. Mapa de isolíneas de precipitación (isoyetas) para el año 2015. ....	60
FIGURA 18. Mapa de isolíneas de evapotranspiración para el año 2001. ....	61
FIGURA 19. Mapa de isolíneas de evapotranspiración para el año 2010. ....	62
FIGURA 20. Mapa de isolíneas de evapotranspiración para el año 2015. ....	63
FIGURA 21. Mapa de balance hídrico para el año 2001 .....	64
FIGURA 22. Mapa de balance hídrico para el año 2010 .....	65
FIGURA 23. Mapa de balance hídrico para el año 2015 .....	66

FIGURA 24. Mapa de reclasificación de las zonas de balance hídrico para el año 2001.....	68
FIGURA 25. Mapa de reclasificación de las zonas de balance hídrico para el año 2010.....	69
FIGURA 26. Mapa de reclasificación de las zonas de balance hídrico para el año 2015.....	70
FIGURA 27. Mapa comparativo entre las áreas boscosas y el balance hídrico para el año 2001. ....	74
FIGURA 28. Mapa comparativo entre las áreas boscosas y el balance hídrico para el año 2010. ....	75
FIGURA 29. Mapa comparativo entre las áreas boscosas y el balance hídrico para el año 2010. ....	76
FIGURA 30. Ubicación de las bocatomas de los acueductos comunitarios, veredales y municipales.....	80
Figura 31. Vulnerabilidad hídrica de la cuencas del Norte del Valle .....	83

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
GRÁFICA 1. Variación de las áreas en bosque .....	44
GRÁFICA 2. VARIACIÓN DEL ÁREA EN BOSQUE POR CUENCA.....	45
GRÁFICA 3. Variación de los porcentajes de las áreas de las cuencas cubiertas con bosque. ....	49
GRÁFICA 4. Variación de los porcentajes del área de la cuenca La Vieja cubierta con bosque.....	50
GRÁFICA 5. Variación de los porcentajes del área de la cuenca Obando cubierta con bosque.....	50
GRÁFICA 6. Variación de los porcentajes del área de la cuenca Catarina cubierta con bosque.....	51
GRÁFICA 7. Variación de los porcentajes del área de la cuenca Chanco cubierta con bosque.....	51
GRÁFICA 8. Variación de los porcentajes del área de la cuenca Cañaveral cubierta con bosque.....	52
GRÁFICA 9. Variación de los porcentajes del área de la cuenca Garrapatas cubierta con bosque.....	52
GRÁFICA 10. Intersección de las áreas forestales protectoras con relictos boscosos.....	54
GRÁFICA 11. Cantidad y porcentaje del total del área de estudio por zonas de balance hídricos en el año 2001. ....	57
GRÁFICA 12. Cantidad y porcentaje del total del área de estudio por zonas de balance hídricos en el año 2010. ....	67
GRÁFICA 13. Cantidad y porcentaje del total del área de estudio por zonas de balance hídricos en el año 2015. ....	71
GRÁFICA 14. Comparación del área en bosque con el área en déficit hídrico por año.....	72

GRÁFICA 15. Áreas boscosas por zonas de balance hídrico para el año 2001 ....	77
GRÁFICA 16. Áreas boscosas por zonas de balance hídrico para el año 2010 ....	78
GRÁFICA 17. Áreas boscosas por zonas de balance hídrico para el año 2015 ....	79
GRÁFICA 18. Densidad de acueductos por hectárea por cuenca .....	81



## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
CUADRO 1. Unidades de coberturas de la tierra para los bosques y áreas Seminaturales.....	28
CUADRO 2. Listado de estaciones climatológicas utilizadas en el estudio para el análisis de precipitación.	36
CUADRO 3. Listado de estaciones climatológicas utilizadas en el estudio para el análisis de precipitación.	36
CUADRO 4. Reclasificación de los intervalos de medición del balance hídrico ....	40
CUADRO 5. Variación de las áreas en bosque .....	44
CUADRO 6. VARIACIÓN DEL ÁREA EN BOSQUE POR CUENCA .....	45
CUADRO 7. Variación de los porcentajes de las áreas de las cuencas cubiertas con bosque. ....	49
CUADRO 8. Áreas de intersección de las coberturas boscosas .....	53
CUADRO 9. Intersección de las áreas forestales protectoras con relictos boscosos .....	54
CUADRO 10. Cantidad y porcentaje del total del área de estudio por zonas de balance hídricos en el años 2001. ....	57
CUADRO 11. Cantidad y porcentaje del total del área de estudio por zonas de balance hídricos en el año 2010. ....	67
CUADRO 12. Cantidad y porcentaje del total del área de estudio por zonas de balance hídricos en el año 2015. ....	71
CUADRO 13. Comparación del área en bosque con el área en déficit hídrico por año.....	72
CUADRO 14. Área boscosa por zonas de balance hídrico.....	73
CUADRO 15. Cantidad, porcentaje y densidad de acueductos por cuenca .....	81
CUADRO 16. Análisis de la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico .....	82

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A. METADATO DE LA IMAGEN LANDSAT**

## GLOSARIO

**BOCATOMA:** Hace referencia al sitio de captación del agua de un acueducto.

**BOSQUE:** Según la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra- Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia, Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa más o menos definida. De acuerdo con FAO (2001), esta cobertura comprende los bosques naturales y las plantaciones. Para la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen otras formas biológicas naturales, tales como la palma y la guadua. Para efectos de clasificación de unidades de esta leyenda, los bosques son determinados por la presencia de árboles que deben alcanzar una altura del dosel superior a los cinco metros.

**CUENCA HIDROGRÁFICA:** es un territorio vaciado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas.

**EVAPOTRANSPIRACIÓN:** Cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas.

**ISOYETA:** Línea imaginaria que une los puntos de la Tierra con la misma media de pluviosidad.

**PRECIPITACIÓN:** Fenómeno meteorológico que consiste en la caída sobre la superficie terrestre de la humedad procedente de la atmósfera en estado líquido o sólido.

## RESUMEN

El presente estudio analiza la correlación existente entre la cobertura boscosa, el balance hídrico y la cantidad de concesiones de agua otorgadas por la Autoridad Ambiental en las cuencas hidrográficas de los municipios de Cartago, Alcalá, Ulloa, Ansermanuevo, El Águila, Argelia y El Cairo, ubicados en el norte del departamento del Valle del Cauca.

Para tal efecto, se hizo un análisis multitemporal de la cobertura boscosa para los años 2001, 2010 y 2015, utilizando para ello, archivos digitales (*shapefiles*) generados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – *IDEAM*- y una imagen satelital Landsat 7 del año 2015.

Por otro lado, se realizó un balance hídrico para las cuencas del área de estudio, tomando como insumo la información de precipitación y evapotranspiración de las estaciones climatológicas tanto de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC- como del IDEAM.

Utilizando los programas *ArcGis 10.2.2* ® y *ERDAS 9.2* ® se llevó a cabo el procesamiento digital de la información para llegar a determinar cuáles son las cuencas hidrográficas más vulnerables al desabastecimiento de agua en el área de estudio, tomando como base sus tasas de deforestación, la alteración de su balance hídrico y la demanda de agua para acueductos comunitarios, veredales y municipales.

Como resultado de este análisis se obtuvo que las cuencas La Vieja, Obando y Chanco son las más vulnerables al desabastecimiento de agua en el Norte del Departamento del Valle de Cauca.

Por otro lado se evidenció que en la cuenca Cañaveral se presenta un fuerte fenómeno de inestabilidad de las zonas en recuperación de la cobertura boscosa y una alta densidad de acueductos veredales.

**PALABRAS CLAVES:** Cobertura boscosa, análisis multitemporal, balance hídrico, acueductos.

## ABSTRACT

The present study analyzes the existing correlation between the forest coverage, the water balance and the quantity of water concessions granted by the Environmental Authority in the hydrographic basins of the municipalities of *Cartago, Alcala, Ulloa, Ansermanuevo, El Águila, Argelia* and *El Cairo*, located in the north of the department of *Valle del Cauca*.

In order to do that, the study began with a multitemporary analysis of the forest coverage for the years 2001, 2010 and 2015, using for it, digital files (shapefiles) generated by the *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM* - and an satellite image Landsat 7 of the year 2015.

On the other hand, a water balance was done for the basins of the area under study, taking the information of rainfall and evapotranspiration as an input from the climatological stations owned by the Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC- and the IDEAM.

Using the programs ArcGis 10.2.2™ and ERDAS 9.2™ the digital processing of the information was done in order to determine which are the most vulnerable hydrographic basins to the water shortage of supplies in the area of study, taking as a base its rates of deforestation, the alteration of its water balance and the water demand for community, rural and municipal aqueducts.

A result of this analysis was that the basins La Vieja, Obando and Chanco are most vulnerable to shortages of water in the North of the Department of the Valle del Cauca.

In the other hand, the basin Cañaveral there are a strong phenomenon of instability of the areas in recovery of forest cover and a high-density community aqueducts.

**KEY WORDS:** Forest coverage, multitemporary analysis, water balance, aqueducts

## INTRODUCCIÓN

Los bosques juegan un papel fundamental en el balance hídrico de cualquier región dada su capacidad para regular la dinámica y la disponibilidad de este recurso, así, en una zona con escasa o nula cobertura vegetal se presenta mayor escorrentía y menor infiltración en el suelo, generando no solo las avenidas torrenciales de los cauces de agua, sino también un fuerte desbalance hídrico por efectos de la menor disponibilidad de agua en el suelo.

Sin embargo, esta relación bosque-oferta hídrica presenta diferentes matices y particularidades que se encuentran determinadas por las características intrínsecas de cada zona, como son: el clima, la cobertura del suelo, las pendientes, el tipo de suelo, la geología, entre otras.

En relación con estas particularidades, si bien es cierto que tanto en el Valle del Cauca, como en Colombia, existen diversos estudios sobre las características climáticas y sobre la deforestación, en el Norte del Valle no se ha llevado a cabo ninguno que analice de manera simultánea la dinámica, el grado de dependencia y la interrelación entre ambos aspectos.

Las anteriores características guardan una estrecha relación con la oferta hídrica de la región, sin embargo, es necesario tener en cuenta además lo relacionado con la demanda hídrica, y en este orden de ideas, existen algunas cuencas que presentan mayor demanda por parte de los acueductos para suplir las necesidades de los diferentes centros poblados de la región.

De esta manera, existen zonas con mayor vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico, y su plena identificación se convierte en un insumo necesario para la toma de decisiones para las autoridades locales y regionales, en especial de la autoridad ambiental.

Con este propósito, mediante el uso de herramientas geoinformáticas, se pretende en el presente trabajo identificar las zonas que más se han visto afectadas en su balance hídrico por efectos de la pérdida de cobertura boscosa, la variación del balance hídrico, y las que más demanda presentan, y combinando estos factores determinar su grado de vulnerabilidad.

## 1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Uno de los principales problemas que se generan por la degradación ambiental en el mundo por causas como los factores climáticos, causas antrópicas como deforestación, tala, quema y ampliación de la frontera agrícola, es la alteración de los ciclos hidrológicos en todos los países del mundo. Esta alteración ocasiona que la distribución del recurso agua sea más irregular tanto espacial como temporalmente. De esta manera, se presentan periodos de sequía más prolongados e intensos que afectan los caudales de las corrientes de agua.

Aunque si bien es cierto que la cobertura boscosa no determina la ocurrencia o no de este fenómeno, su disminución sí origina que las zonas afectadas pierdan la capacidad de regulación hídrica, y por ende, que la disponibilidad del recurso hídrico se vea alterada considerablemente.

Colombia y el Departamento del Valle del Cauca no han sido ajenos a esta problemática, y en especial durante los periodos del “*fenómeno del niño*”, se han presentado diferentes eventos de desabastecimiento de agua para los acueductos veredales y municipales.

Por esta razón, es imperioso que la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, adelante las acciones necesarias para prevenir la ocurrencia de estos fenómenos de desabastecimiento Y en este orden de ideas, la identificación de las áreas en las cuales se ha presentado una mayor tasa de deforestación, se constituye en un indicador fundamental para determinar las áreas más susceptibles a la disminución de la oferta hídrica.

Por otro lado, otro de los factores que afecta la disponibilidad y distribución del agua es la demanda por parte de los habitantes de las diferentes cuencas hidrográficas. De esta manera, una corriente hídrica con abundantes captaciones verá fuertemente disminuido su caudal ecológico, y limitará la posibilidad de acceso al recurso a nuevos usuarios.

En este orden de ideas, el trabajo a desarrollar está enfocado a determinar las cuencas más afectadas por esta alteraciones en los municipios que hacen parte del Norte del Valle del Cauca y que pertenecen a la jurisdicción de la Dirección Ambiental Regional –DAR - Norte de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC-, a saber: Cartago, Alcalá, Ulloa, Ansermanuevo, El Águila,

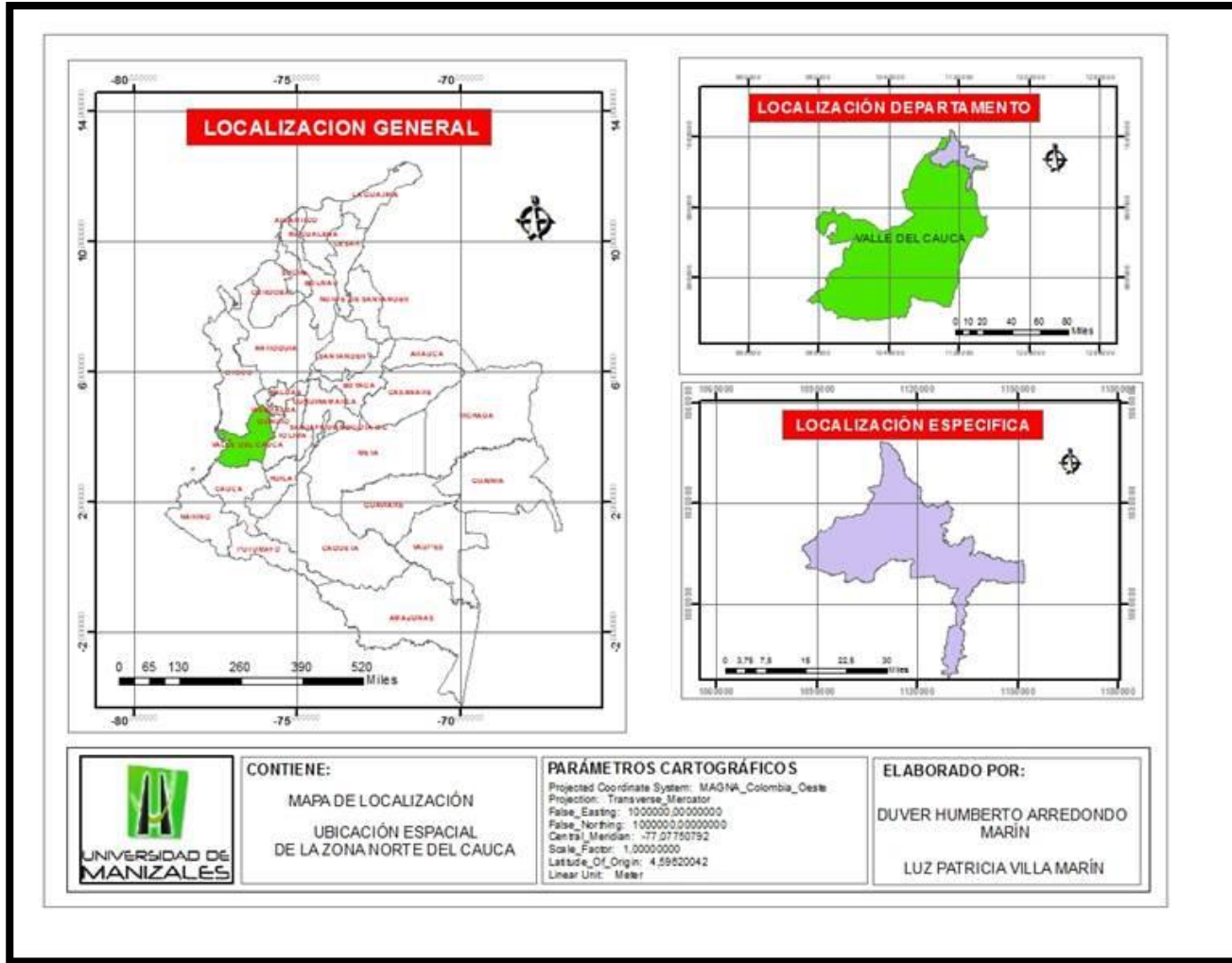
Argelia, El Cairo, y el territorio de los municipios de La Victoria, Obando y Zarzal que hacen parte de la cuenca hidrográfica del Río La Vieja. (Figura 1).

Esta zona está además dividida en seis cuencas hidrográficas, a saber: La Vieja, Obando, Catarina, Chanco, Cañaveral, Garrapatas. (Figura 2).

Ante esta situación, ¿Cómo determinar, cuáles son las zonas más vulnerables en los municipios de la zona norte del Valle del Cauca hacia donde se deben enfocar las acciones de control, vigilancia y restauración ecológica por parte de la Corporación?

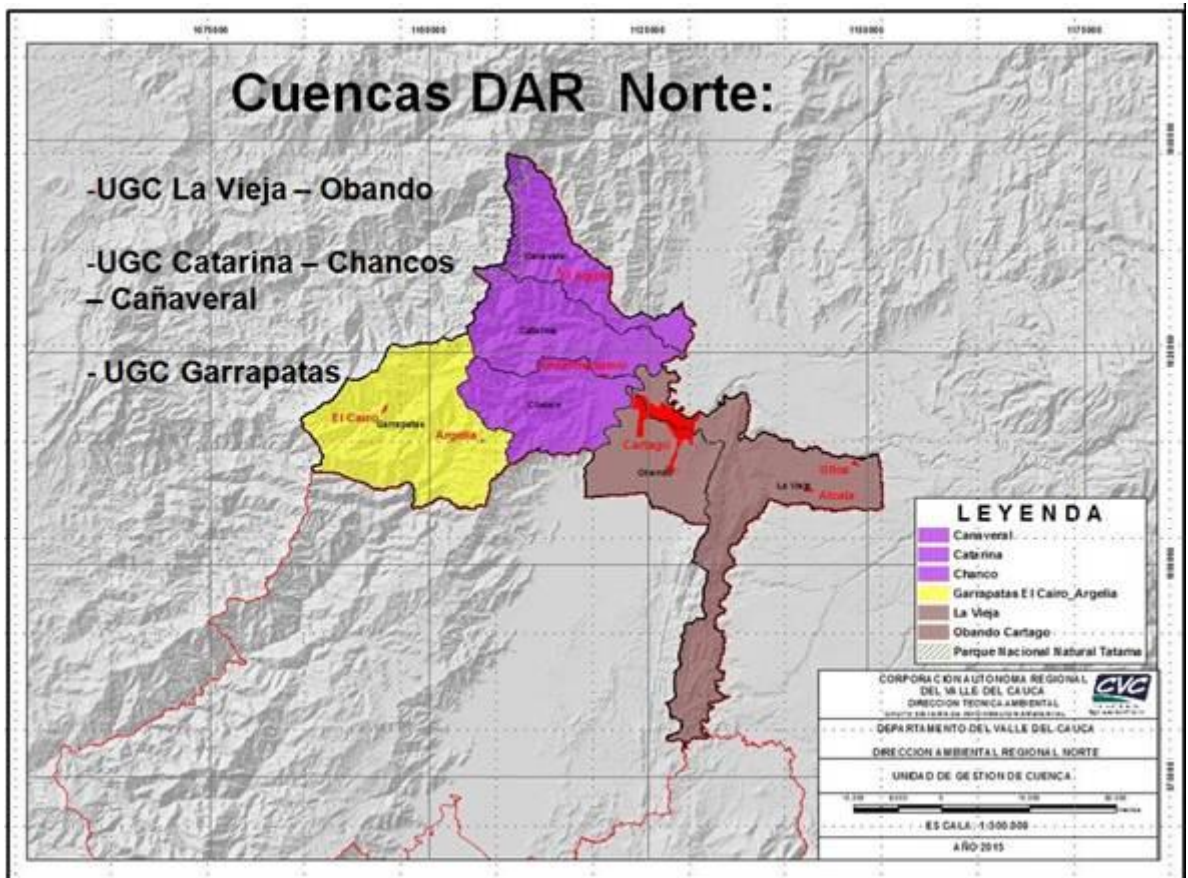


FIGURA 1. Ubicación espacial de la zona norte del Valle del Cauca



Fuente: Los Autores

FIGURA 2. Cuencas hidrográficas de la Dirección Ambiental Regional Norte de la CVC



Fuente: <https://www.cvc.gov.co/index.php/85-asi-es-cvc/688-cuencas-dar-norte>

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Identificar las cuencas de mayor vulnerabilidad al desabastecimiento de agua en los municipios de Cartago, Alcalá, Ulloa, Ansermanuevo, El Águila, Argelia y El Cairo, ubicados en el Norte del Valle del Cauca.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar mediante el uso de herramientas geoinformáticas las zonas que han presentado mayor pérdida de cobertura boscosa en los años 2001, 2010 y 2015.
- Determinar por años las zonas en las cuales se ha presentado mayor variación en el balance hídrico.
- Determinar las cuencas hidrográficas con mayor demanda de uso del agua frente al número de concesiones de agua otorgadas.
- Realizar los mapas de isoyetas, evapotranspiración y balance hídrico de los municipios del Norte del Valle del Cauca.
- Georreferenciar las concesiones de aguas otorgadas por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca en los municipios de Norte del Valle.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC- a través de sus diferentes dependencias, en especial del Grupo del Sistema de Información Ambiental colecta abundante información primaria del departamento, y genera diversos estudios, informes, reportes y cartografía que permiten analizar el territorio desde diferentes disciplinas profesionales de acuerdo a los objetivos buscados.

De esta manera, aunque se cuenta con información climatológica de buena calidad y de coberturas en diferentes años, no se cuenta con un estudio que correlacione la pérdida de cobertura boscosa y las alteraciones de la oferta hídrica, de tal forma que se puedan identificar las zonas más vulnerables al riesgo de desabastecimiento.

Esta identificación permite a la CVC como autoridad ambiental focalizar sus acciones de control y vigilancia, así como identificar las áreas prioritarias para la implementación de los proyectos de restauración ecológica y herramientas de manejo del paisaje, logrando además un mayor impacto ambiental positivo sobre el ambiente en general, pero en especial sobre el recurso hídrico, ya que se evita en gran medida la “atomización” de los esfuerzos en territorios muy distantes unos de otros.

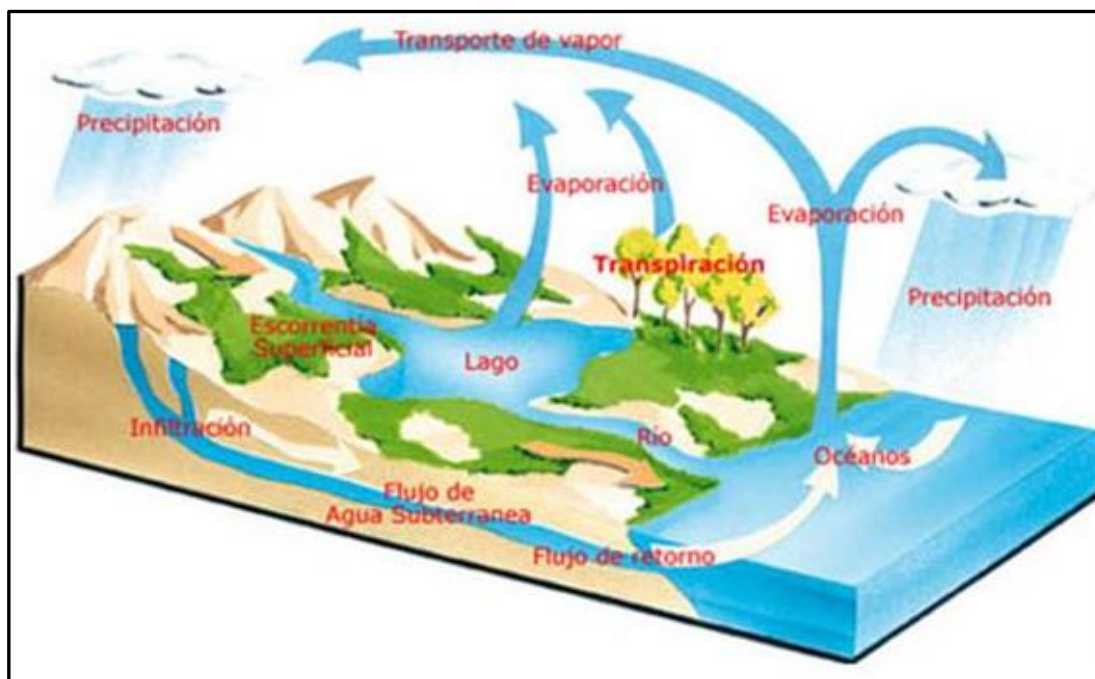
Por otro lado, estos resultados son de gran interés para las Juntas Administradoras de los acueductos de la zona de estudio, ya que les permite conocer la dinámica del balance hídrico, y de esta manera, elaborar planes de contingencia para los eventos de sequía

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 HIDROLOGÍA

El movimiento continuo de agua entre la Tierra y la atmósfera se conoce como ciclo hidrológico. Se produce vapor de agua por evaporación en la superficie terrestre y en las masas de agua, y por transpiración de los seres vivos. Este vapor circula por la atmósfera y precipita en forma de lluvia o nieve. Al llegar a la superficie terrestre, el agua sigue dos trayectorias. En cantidades determinadas por la intensidad de la lluvia, así como por la porosidad, permeabilidad, grosor y humedad previa del suelo, una parte del agua se vierte directamente en los riachuelos y arroyos, de donde pasa a los océanos y a las masas de agua continentales; el resto se filtra en el suelo. Una parte del agua puede evaporarse directamente o penetrar en las raíces de las plantas para ser transpirada por las hojas (Evapotranspiración). La porción de agua que supera las fuerzas de cohesión y adhesión del suelo, se filtra hacia abajo y se acumula en la llamada zona de saturación para formar un depósito de agua subterránea, cuya superficie se conoce como nivel freático. En condiciones normales, el nivel freático crece de forma intermitente según se va saturando o recargando, y luego declina como consecuencia del drenaje continuo en desagües naturales o artificiales. (U.S. Geological Survey (USGS) 2004).

FIGURA 3. Ciclo hidrológico



Fuente: <http://sanliug34.blogspot.com.co/>

**4.1.1. Precipitación.** Es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad. La precipitación que alcanza la superficie de la tierra puede producirse en muchas formas diferentes, como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve y granizo. La virga es la precipitación que comienza a caer a la tierra pero que se evapora antes de alcanzar la superficie. (<http://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>)

**4.1.2. Escorrentía.** En hidrología la escorrentía hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo. Según la teoría de Horton se forma cuando las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo. Esto sólo es aplicable en suelos de zonas áridas y de precipitaciones torrenciales. Esta deficiencia se corrige con la teoría de la saturación, aplicable a suelos de zonas de pluviosidad elevada y constante. Según dicha teoría, la escorrentía se formará cuando los compartimentos del suelo estén saturados de agua.

(<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Escorrent%C3%ADa&oldid=98146646>.)

Según Breña y Jacobo<sup>1</sup>, los principales parámetros que afectan la escorrentía son:

- La intensidad de la precipitación;
- La capacidad de infiltración de una superficie particular;
- La condición hidráulica a la que se encuentra el suelo o la roca; y,
- Las características hidráulicas del suelo o roca.

La comparación entre estas variables permite obtener información sobre los procesos que se pueden presentar bajo diferentes situaciones. Las condiciones en las que se encuentra el suelo en el momento en que se produce la precipitación afectarán de forma sustancial el escurrimiento o escorrentía. Se pueden distinguir los siguientes casos:

- Si la intensidad de la precipitación es menor que la capacidad de infiltración y el contenido de humedad del suelo es menor a su capacidad de campo, el escurrimiento sobre la superficie del terreno será reducido, ya que el suelo será capaz de captar una parte importante del volumen de agua que precipita sobre este. El flujo subsuperficial será muy reducido, ya que el

---

<sup>1</sup> BREÑA P, Agustín Felipe - Jacobo V, Marco Antonio. Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 2006. 289 p.

agua captada es retenida por la capilaridad y aumentará el contenido de humedad inicial en el suelo.

- Cuando *la intensidad de la precipitación* es menor que la *capacidad de infiltración* y el contenido de humedad del suelo está próxima o igual a la *capacidad de campo*, parte de la precipitación se convertirá eventualmente en escurrimiento sobre el terreno; sin embargo, los volúmenes seguirán siendo de poca cuantía. El flujo subsuperficial será importante. Se puede notar que esta segunda situación frecuentemente se deriva de la primera, cuando la precipitación dura un cierto período de tiempo ininterrumpidamente.
- Si *la intensidad de la precipitación* es mayor que la *capacidad de infiltración* y el contenido de humedad del suelo o roca es menor a su capacidad de campo. El suelo, presentando una deficiencia de humedad importante, permitirá que el agua que precipite, a pesar de que la capacidad de infiltración es reducida, se utilice, parcialmente en abastecer de humedad al suelo, escurriendo sólo una porción relativamente pequeña.
- Finalmente, cuando *la intensidad de la precipitación* es mayor que la **capacidad de infiltración** y el contenido de humedad del suelo o roca es mayor o igual a su capacidad de campo. En este caso, al encontrarse el suelo la condición cercana a la saturación, no permitirá una infiltración importante, de modo que la mayor parte del agua precipitada se convertirá en escurrimiento sobre el terreno. El flujo subsuperficial también será importante. Cuando la parte somera de un suelo no permite una infiltración importante, la saturación en un suelo tendrá lugar sólo en una porción cercana a la superficie, siendo incapaz el frente de humedad de avanzar a mayor profundidad, favoreciendo de esta manera al escurrimiento sobre el terreno.

#### 4.1.3 Infiltración.

La cantidad de agua que atraviesa la superficie del terreno por unidad de tiempo y se desplaza al subsuelo recibe el nombre de ritmo o tasa de infiltración. Si el agua que se introduce al terreno por la superficie se desplaza a mayor profundidad, entonces se dice que ocurre la percolación.

Un porcentaje del agua infiltrada podrá desplazarse en forma lateral a través del material dispuesto abajo de la superficie del terreno, a lo que se denomina interflujo o flujo subsuperficial.

El terreno puede estar formado por un medio poroso (como son los suelos), por roca consolidada fracturada, o por una combinación de ambos. Las características

particulares de cada uno de los medios que constituyen un terreno, influye en forma directa sobre el flujo del agua.<sup>2</sup>

#### **4.1.4 Evapotranspiración.**

Dentro del intercambio constante de agua entre los océanos, los continentes y la atmósfera, la evaporación es el mecanismo por el cual el agua es devuelta a la atmósfera en forma de vapor; en su sentido más amplio, involucra también la evaporación de carácter biológico que es realizada por los vegetales, conocida como transpiración y que constituye, según algunos la principal fracción de la evaporación total. Sin embargo, aunque los dos mecanismos son diferentes y se realizan independientemente no resulta fácil separarlos, pues ocurren por lo general de manera simultánea; de este hecho deriva la utilización del concepto más amplio de evapotranspiración que los engloba<sup>3</sup>.

La evapotranspiración constituye un importante componente del ciclo y balance del agua. Se estima que un 70% del total de agua recibida por una zona (precipitación) es devuelto a la atmósfera a través del proceso, mientras que el 30% restante constituye la escorrentía superficial y subterránea. Junto con ser un componente del ciclo hidrológico, la evapotranspiración interviene en el balance calorífico y en la redistribución de energía mediante los traspasos que de ella se producen con los cambios de estado del agua, permitiendo así un equilibrio entre la energía recibida y la perdida. El conocimiento de las pérdidas de agua mediante el proceso permite tener un acercamiento a las disponibilidades del recurso y consecuentemente puede realizarse una mejor distribución y manejo del mismo<sup>4</sup>

Una vez definidos los principales procesos del ciclo hidrológico, se tiene entonces que el agua que se precipita sobre un territorio, puede hacer parte de algunos de estos tres procesos: Infiltración, evapotranspiración o escorrentía, lo cual puede expresarse en la ecuación fundamental de la hidrología:

Precipitación = Infiltración + Evapotranspiración + Escorrentía.

El agua que se infiltra en el suelo a diferentes profundidades, se constituye en el almacenamiento de agua que es entregada lentamente a las corrientes superficiales (caudal base) y subterráneas.

---

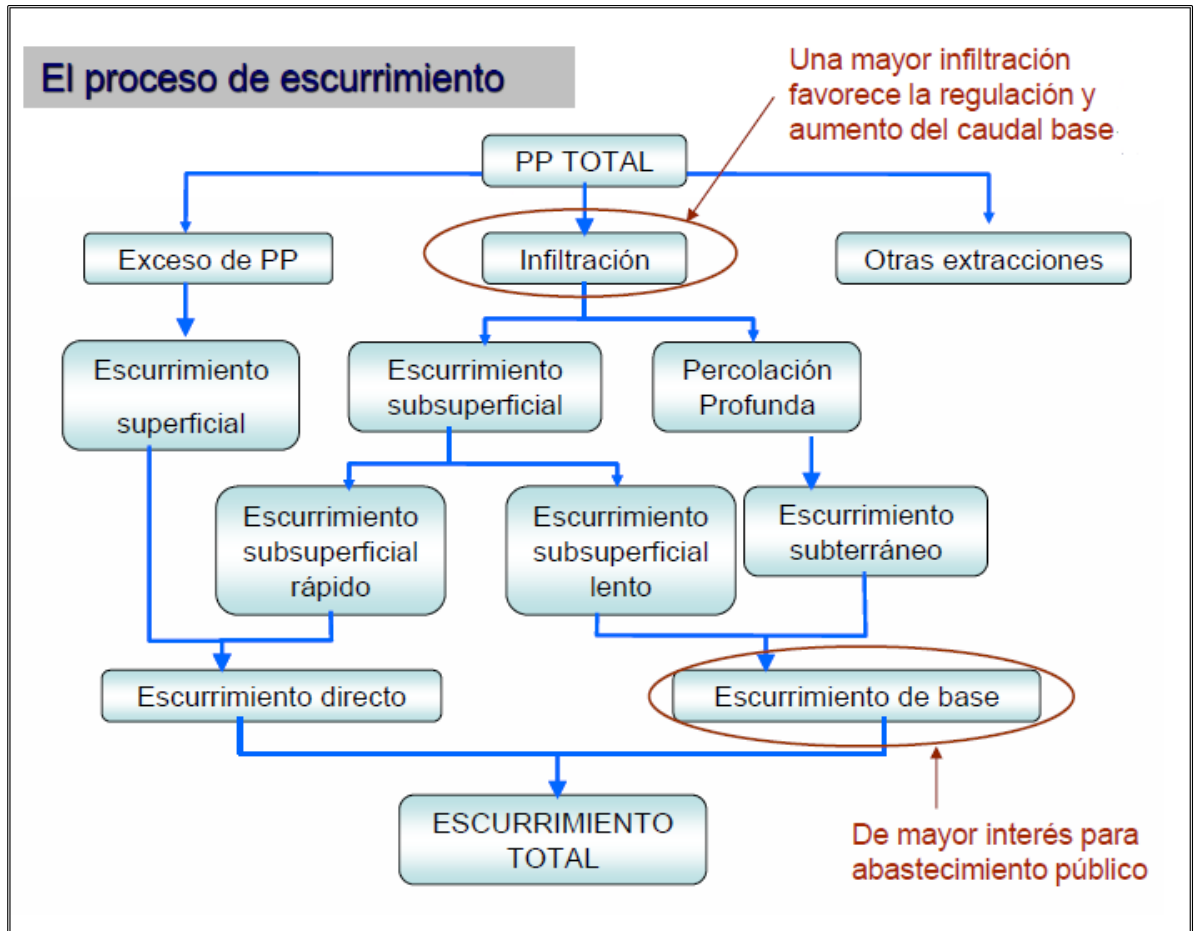
<sup>2</sup> Ibíd. P 154

<sup>3</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/Evapotranspiraci%C3%B3n>

<sup>4</sup> Ibíd.



FIGURA 4. Diagrama del proceso de escurrimiento.



Fuente: CVC

Las proporciones de cada uno de los componentes de esta ecuación varían en cada territorio, debido a sus características particulares como, suelos, coberturas, pendientes, geología, entre otros.

Cada una de estas características representan gran importancia en esta distribución, sin embargo, el tipo de cobertura del suelo, en especial, la boscosa, es la que mayor influencia tiene, dado su papel regulador. De esta manera, con una disminución considerable de los relictos boscosos, se espera un aumento de la cantidad de agua de escorrentía y una disminución de la infiltración, que como se muestra en la figura 4, por su relación directa con el escurrimiento base, es el proceso de mayor interés para el abastecimiento público.

#### **4.1.5 Balance hídrico.**

El balance hídrico es un concepto se establece para un lugar y un período dados, por medio de la comparación entre los aportes y las pérdidas de agua en ese lugar y para ese período. En última instancia se constituye en una comparación entre la precipitación y la evapotranspiración para determinar la oferta hídrica de una cuenca hidrográfica, mediante la cuantificación de la diferencia entre estas dos variables.

Para ello, se hace uso de las isoyetas o isohietas, que son isolíneas que unen los puntos en un plano cartográfico que presentan la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada. Así, para una misma área, se puede diseñar un gran número de planos con isoyetas; como ejemplos, las isoyetas de la precipitación media de largo periodo del mes de enero, de febrero, etc., o las isoyetas de las precipitaciones anuales.<sup>5</sup>

De igual manera, se pueden utilizar isolíneas que unan los puntos con igual evapotranspiración, y mediante el uso de herramientas SIG determinar las zonas con mayor diferencia entre estas variables.

Si este análisis se realiza para diferentes periodos de tiempo, se puede llegar a analizar la dinámica que tiene esta balance, así como los cambios más representativos que se presenten.

## **4.2 COBERTURA DE LA TIERRA**

La "Cobertura" de la tierra, es la cobertura biofísica que se observa sobre la superficie de la tierra (Di Gregorio, 2005), en un término amplio no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua.<sup>6</sup>

### **4.2.1 Metodología "Corine Land Cover".**

El proyecto "Corine Land Cover" 1990 (CLC90) que fue desarrollado en Europa, define una metodología específica elaborada para realizar el inventario de la cobertura de la tierra y su base de datos constituye un soporte a la toma de decisiones en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial, validada por la Unión Europea. Hoy en día se aplica sobre la totalidad del territorio europeo a través del proyecto CLC2000.

---

<sup>5</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/Isoyeta>

<sup>6</sup> Ideam, 2014

La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a escala 1:100 000.

En Colombia no existía un sistema de clasificación y una metodología uniforme para levantar información de las coberturas de la tierra. Para dar respuesta a este problema, el proyecto “Corine Land Cover Colombia” busca estandarizar un sistema de clasificación, con categorías jerárquicas definidas de acuerdo a la información que puede proporcionar las imágenes de satélite Landsat TM conforme a las condiciones locales del territorio nacional. La adaptación y validación de la metodología CLC permitirá comparar estadísticas de ocupación de la tierra y crear líneas de comunicación entre las diferentes instituciones que adopten y facilita además homologar información.<sup>7</sup>

#### **4.2.1 Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra.**

Este es el documento que adapta la Metodología Corine Land Cover para Colombia, elaborado por el IDEAM en año 2010.

En esta leyenda, hay una clasificación del uso de la tierra denominado *Bosques y Áreas Seminaturales* que, según el IDEAM<sup>8</sup>, comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación. Para la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen otras coberturas que son el resultado de un fuerte manejo antrópico, como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición.

Las unidades se agrupan en las siguientes tres categorías:

- Bosques.
- Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva.
- Áreas abiertas, sin o con poca vegetación.

---

<sup>7</sup> <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>

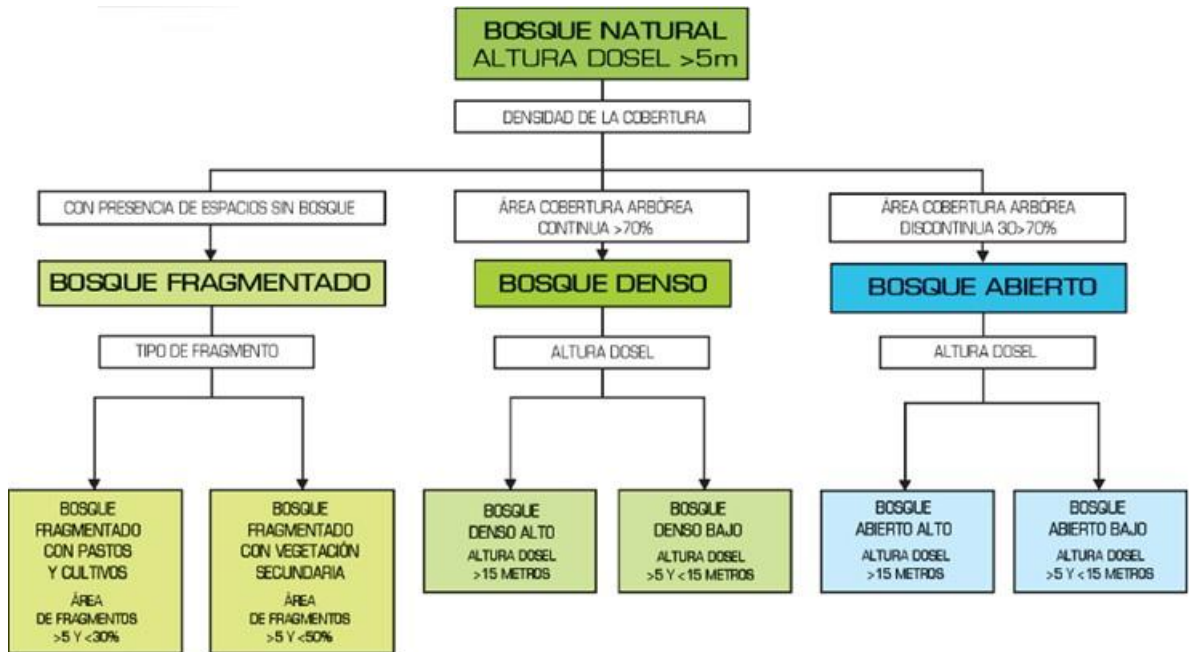
<sup>8</sup> IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., p. 39

CUADRO 1. Unidades de coberturas de la tierra para los bosques y áreas Seminaturales.

NIVEL							
1	2	3	4	5	6		
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso	3.1.1.1. Bosque denso alto	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	3.1.1.1.2.1. Bosque denso alto Inundable heterogéneo		
				3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable		3.1.1.1.2.2. Manglar denso alto	
		3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme	3.1.1.1.2.3. Palmares				
		3.1.2. Bosque abierto	3.1.2.1. Bosque abierto alto	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable	
				3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable		
		3.1.3. Bosque fragmentado	3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable		
				3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria			
		3.1.4. Bosque de galería y ripario					
		3.1.5. Plantación forestal	3.1.5.1. Plantación de coníferas				
			3.1.5.2. Plantación de latifoliadas				
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1. Herbazal	3.2.1.1. Herbazal denso	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado	
					3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado	
				3.2.1.1.2. Herbazal denso inundable	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado	3.2.1.1.2.3. Arracachal	3.2.1.1.2.4. Helechal
				3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso		
		3.2.2. Arbustal	3.2.2.1. Arbustal denso	3.2.2.2.1. Arbustal abierto esclerófilo	3.2.2.2.2. Arbustal abierto mesófilo		
				3.2.2.2. Arbustal abierto			
		3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3.2.3.1. Vegetación secundaria alta				
			3.2.3.2. Vegetación secundaria baja				
		3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.1. Zonas arenosas naturales	3.3.1.1. Playas			
				3.3.1.2. Arenales			
	3.3.1.3. Campos de dunas						
	3.3.2. Afloramientos rocosos						
	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas						
	3.3.4. Zonas quemadas	3.3.5.1. Zonas glaciares					
		3.3.5.2. Zonas nivales					

Fuente: IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., p. 40.

FIGURA 5. Criterios para la clasificación de los bosques



Fuente: IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., p. 41.

### 4.3 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Es el análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos o más imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas y permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas. Como los meses del año y los años entre si difieren en sus características climáticas, un análisis multitemporal es mucho más amplio que el análisis de una sola imagen<sup>9</sup>.

### 4.4 TELEDETECCIÓN

Aunque existen múltiples definiciones para este término, según Pérez y Muñoz<sup>10</sup>, se entiende como teledetección cualquier procedimiento o técnica de adquisición

<sup>9</sup> Scanterra. (12 de Noviembre de 2015). scanterra.com. Obtenido de [http://www.scanterra.com.ar/conozca\\_mas.html](http://www.scanterra.com.ar/conozca_mas.html)

<sup>10</sup> Pérez, C., & Muñoz, L. (2006). Teledetección: Nociones y Aplicaciones. Universidad de Salamanca: ES.

de información sin tener contacto directo con el objeto o sistema observado. En un modo más restringido, y en el ámbito de las ciencias de la Tierra, la teledetección es entendida como una técnica que tiene por objeto la captura, tratamiento y análisis de imágenes tomadas desde satélites artificiales. Según otros autores, la teledetección parte del principio de la existencia de una perturbación (energía electromagnética, campos gravitacionales, ondas sísmicas, etc.) que el sistema observado produce en el medio, la cual es registrada por el sistema receptor para posteriormente ser interpretada.

#### **4.5 ANTECEDENTES**

Con base en la revisión de literatura realizada, se observa que existen algunos estudios que guardan relación con el efecto de la cobertura boscosa sobre la oferta hídrica de una zona determinada.

Así por ejemplo, en el trabajo de Fonseca<sup>11</sup> se analizó parte de la dinámica hídrica tanto de una selva nublada como en un pastizal establecido en las áreas deforestadas en un sector de la Cuenca del Río Cusiana, para establecer los posibles efectos de la deforestación sobre dicha dinámica. En la selva nublada se evaluó, la precipitación vertical, precipitación horizontal (neblina), intercepción de la precipitación por la vegetación, precipitación efectiva (neta) y escorrentía superficial. En los pastizales, se evaluó la precipitación vertical, precipitación efectiva, intercepción y escorrentía superficial.

Como resultado de este trabajo se observó que la conversión de la selva nublada en pastizales, tiene un efecto negativo sobre la dinámica hídrica en cuanto a la escorrentía superficial, ya que desde el punto de vista ecosistémico comparativo, nos permite observar la sustentabilidad de dicha escorrentía al interior de la selva, que se puede extrapolar a nivel cuenca, en una regulación de los flujos hídricos y estabilidad de laderas al no existir picos altos de escorrentía, al contrario de lo que sucede en los pastizales.

Los datos obtenidos de los parámetros de la dinámica hídrica tanto en la selva nublada, como en los pastizales de reemplazo, fueron consolidados semanalmente, mensualmente y en la totalidad del año 2002.

De lo anterior se puede observar que este trabajo no tiene la característica de multitemporalidad que permita analizar estos resultados en diferentes periodos de tiempo.

---

<sup>11</sup> FONSECA P, Héctor. Efectos de la deforestación sobre la dinámica hídrica de una selva nublada en la cuenca del Río Cusiana, Colombia. p. 9-10

Por otro lado, Torres y Castro<sup>12</sup>, llevaron a cabo un estudio sobre los cambios en las coberturas y usos del suelo en la cuenca del Río Hacha, Caquetá, a partir de imágenes Landsat y utilizando la metodología Corine Land Cover.

Mediante la utilización de imágenes en tres periodos, (1991-2000-2014), en el transcurso de 23 años y utilizando un análisis multitemporal en el área de estudio, se lograron observar los cambios de cobertura y usos de suelos que se habían presentado en la cuenca del río Hacha.

Mediante el estudio realizado se logró identificar las diversas modificaciones en las coberturas y usos del suelo, teniendo que los mayores cambios que se presentaron en el transcurso de 23 años, se evidencian en la cobertura de Bosque Natural Denso.

Se observa entonces, que aunque este trabajo guarda cierta similitud con el presente proyecto, no tiene el alcance de comparar y contrastar los resultados con la oferta hídrica de la zona.

En el año 2012, Ocampo<sup>13</sup> analizó la vulnerabilidad de la cuenca del Río Chinchiná teniendo en cuenta, entre otros, los factores climáticos. Este estudio incluye la caracterización física y climática y el balance hidrológico. La investigación estima las alteraciones en las variables climatológicas, en el régimen hidrológico y en la oferta hídrica por variabilidad climática; evalúa los cambios en la temperatura, la precipitación y la escorrentía por los eventos cálidos- El Niño- y fríos-La Niña- del fenómeno ENSO- Oscilación del Sur. Empleando indicadores del régimen hidrológico, identifica y confirma aspectos críticos como la baja capacidad de retención y regulación hídrica, el stress hídrico por disponibilidad per-cápita de agua; la presión por el uso y la alteración muy alta de la calidad del agua; indicadores que se traducen en una alta vulnerabilidad hídrica de la cuenca.

Sin embargo, se observa que en este trabajo tampoco se hace un análisis de la relación de la tasa de deforestación y la alteración del balance hídrico, sino que toma en cuenta otros factores igualmente importantes.

Por otro lado, Torres<sup>14</sup> realizó un análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) como parte inicial del análisis de datos que permitiera describir la información y

---

<sup>12</sup> TORRES P, Iván Camilo – CASTRO R, María Andrea. Estudio de cambios de coberturas y usos del suelo en la cuenca del Río Hacha, Florencia – Caquetá. 63 p.

<sup>13</sup> Ocampo López, Olga Lucía (2012) *Análisis de vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático = Chinchina river basin vulnerability analysis for stationary conditions and climate change*. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.

<sup>14</sup> TORRES C, Lina María. Análisis de la evaporación de corrientes hídricas usando métodos de interpolación espacial en Antioquia. 49 p. 2017

evaluar de manera previa algunos supuestos estadísticos para aplicar la teoría geoestadística y poder estimar los valores de evaporación para el departamento de Antioquia. Dentro de estos análisis se encontraba la identificación de valores extremos, forma de la distribución y el cálculo de medidas de localización, variabilidad y correlación.

No obstante, como se observa, este estudio estuvo enfocado principalmente al análisis de la evaporación de una forma muy detallada, el cual podría constituirse en un modelo para estudios similares en su escala de detalle que pretendan en el futuro desarrollarse en el Valle del Cauca.

De otra parte, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC- a través del Grupo de Sistema de Información Ambiental ha generado abundante información climatológica a partir de sus estaciones, así como también ha producido geodatabases de la cobertura de la tierra en diferentes años. Sin embargo, esta información no ha sido analizada conjuntamente para determinar la interrelación entre ellas.



## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 TIPO DE TRABAJO

El trabajo a desarrollar consiste en la aplicación práctica de diferentes herramientas SIG para identificar las cuencas de los municipios de Cartago, Alcalá, Ulloa, Ansermanuevo, El Águila, Argelia y El Cairo, ubicados en el Norte del Departamento del Valle del Cauca más susceptibles al desabastecimiento de agua. Para tal efecto se parte de la información climatológica y de la cobertura de la tierra, para luego ser procesada de tal forma que se puedan comparar los cambios presentados en la oferta hídrica y en los relictos boscosos del área de estudio.

### 5.2 PROCEDIMIENTO

#### 5.2.1 Fase 1. Recopilación y análisis de información.

- **Actividad 1. Solicitud y obtención de información.** La CVC cuenta con un geoportal en el cual se encuentra disponible para consulta gran cantidad de información geográfica y meteorológica, esta última determinada a partir de los registros de cada una de las estaciones climatológicas y meteorológicas propias de la Corporación. De esta manera, se determinó cuáles eran las que se ubican al interior o en el área de influencia del área de estudio, correspondiente a la Jurisdicción de la Dirección Ambiental Regional Norte.

Posteriormente se procedió a revisar la ubicación de las estaciones del IDEAM que sean útiles para complementar la información del geoportal, para así, solicitarla formalmente ante esta institución.

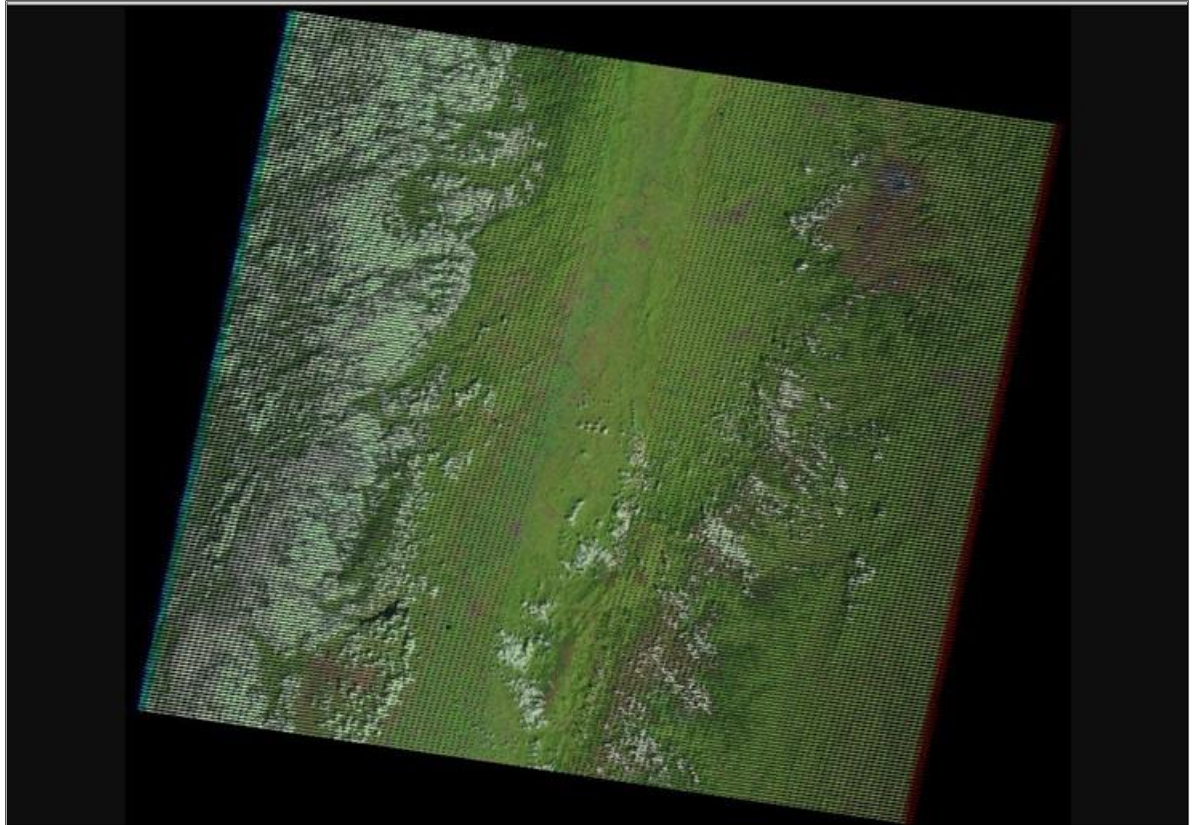
En lo relacionado con la información de la cobertura boscosa, se utilizaron los *shapefiles* disponibles en la página web del Sistema de Información Ambiental para Colombia (<http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>), de donde se obtuvieron los siguientes archivos geográficos de Bosque/No bosque para los años 2001 y 2010. Estos productos contienen la información que identifica la superficie de cobertura de bosques y su distribución a nivel nacional, así como zonas que a lo largo del tiempo han sido intervenidas o que no cuentan con cobertura boscosa. Estos archivos son generados a partir del procesamiento e interpretación digital de imágenes de sensores remotos a nivel nacional, con un nivel de resolución de 10 a 60 m, y una escala de análisis de 1:100.000.

Los rangos de valores que representan los mapas que identifican la superficie y distribución de la cobertura boscosa, están representados en tres clases: Bosque natural, No Bosque y áreas Sin Información.

La cobertura de Bosque se interpreta bajo la siguiente definición: tierra ocupada principalmente por árboles que puede contener arbustos, palmas, guaduas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima del dosel de 30%, una altura mínima del dosel (in situ) de 5 metros al momento de su identificación, y un área mínima de 1,0 ha. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales (coníferas y/o latifoliadas), cultivos de palma, y árboles sembrados para la producción agropecuaria.

Para el año 2015, se obtuvo de la página <https://earthexplorer.usgs.gov/>, propiedad del Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey), la imagen del Satélite *Landsat* 7 identificada como LE07\_L1TP\_009057\_20150103\_20161030\_01\_T1. El metadato de esta imagen se encuentra en el Anexo A.

FIGURA 6. Imagen Landsat 7 utilizada para obtener la información de coberturas del año 2015.



Fuente: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Las coordenadas de las bocatomas de los acueductos fueron obtenidas de información suministrada por la Dirección Ambiental Regional Norte de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC-

- **Actividad 2. Análisis de la información**

Una vez obtenida la información climatológica se verificó cuáles estaciones tenían información de precipitación y evapotranspiración para los años 2001, 2010 y 2015, de tal manera que coincidiera con los años en los cuales se evaluaría la cobertura forestal.

De esta manera se determinó que las estaciones con información de precipitación que cumplían esta condición fueron las siguientes:

CUADRO 2. Listado de estaciones climatológicas utilizadas en el estudio para el análisis de precipitación.

<b>ESTACIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>ENTIDAD</b>
Anacaro	2010000115	CVC
Cruces	261000103	CVC
El Balsal	5420410116	CVC
El Cairo	2420410117	CVC
El Oso	2624700113	CVC
El Vesubio	2624700103	CVC
La Arboleda	2615000102	CVC
La Quebra	2624700121	CVC
Patio Bonito	2624700118	CVC
Piedras de Moler	2615400111	CVC
Puerto Molina	2610000105	CVC
Quebrada Nueva	2615400107	CVC
Sabanazo	2624700301	CVC
Zaragoza	2610000202	CVC
Alcalá	26120150	IDEAM
Brisas	26110210	IDEAM
San Isidro	26130180	IDEAM
La Bohemia	26135100	IDEAM
Villanueva	26110120	IDEAM
La Inmaculada	26110150	IDEAM
La Virginia	26140180	IDEAM
Macay	26130220	IDEAM
San José del Palmar	54020050	IDEAM
Valencia La Divisa	54020040	IDEAM

Fuente: Los Autores.

De igual manera, las estaciones utilizadas para el cálculo de la evapotranspiración, fueron:

CUADRO 3. Listado de estaciones climatológicas utilizadas en el estudio para el análisis de precipitación.

<b>ESTACIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>ENTIDAD</b>
Sabanazo	2624700301	CVC
Zaragoza	2610000202	CVC
La Bohemia	26135100	IDEAM
San José del Palmar	54020050	IDEAM

Fuente: Los Autores

La ubicación geográfica de estas estaciones se muestra en la figura 7.

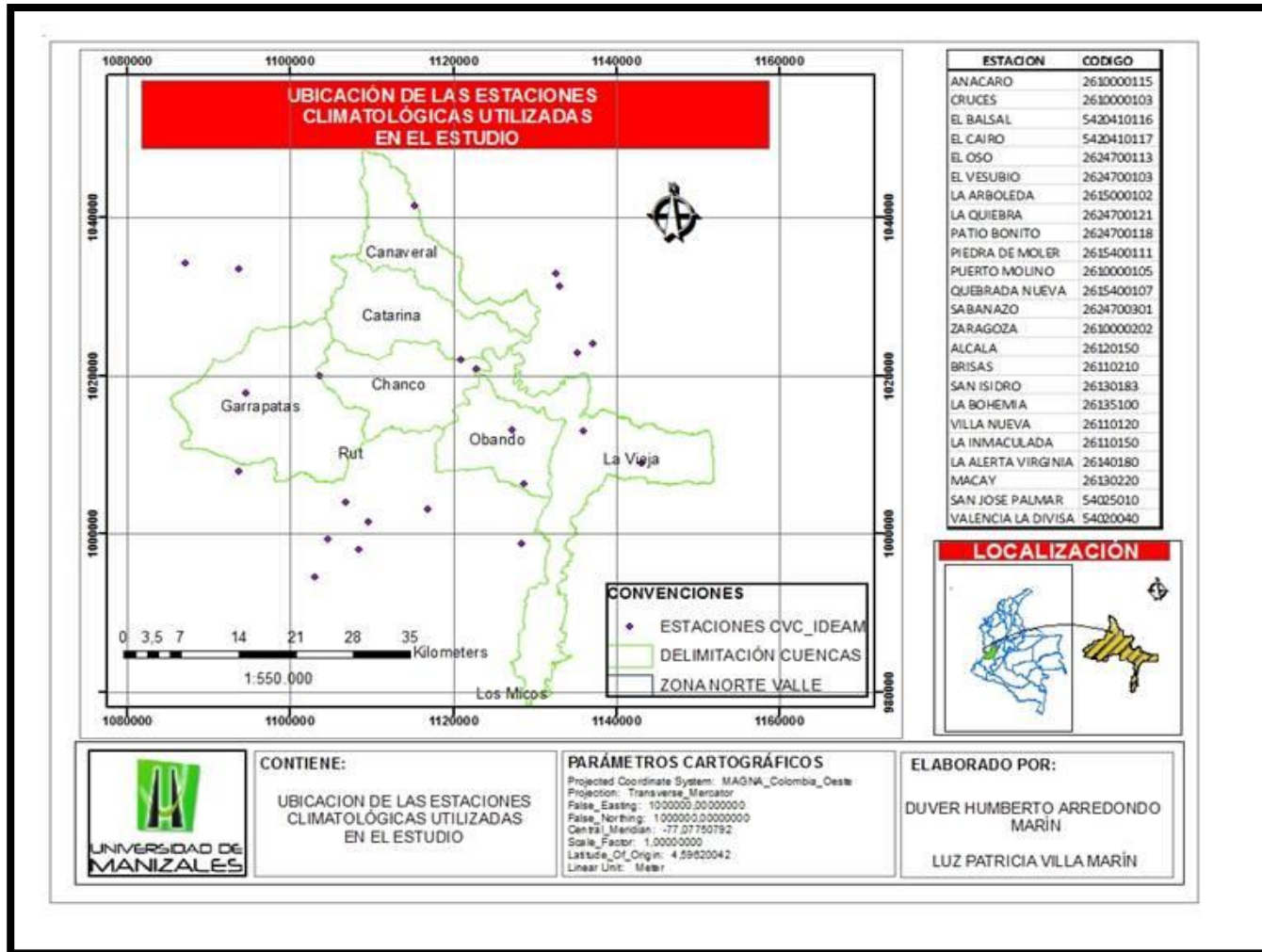
En cuanto a la fotografía satelital se identificó que poseía un formato TIFF apropiado para el procesamiento digital, sin embargo tenía líneas de pixeles sin datos en algunos sectores de la fotografía, problema conocido como bandeo. Éste es un fallo en el sistema SLC del sensor ETM+ que compensa el movimiento hacia adelante del satélite durante la adquisición de las imágenes, y que se viene presentando en el satélite Landsat 7 desde el año 2003

Sin embargo, se consideró que previa corrección de este fallo mediante el uso del programa ERDAS 9.2 ® era viable su utilización para los fines del estudio.

### **5.2.2 Fase 2. Procesamiento digital de la información**

- **Actividad 3. Homogenización de la información.** Antes de procesar la información, se revisaron los sistemas de referencia que tenía la información espacial obtenida, con el objetivo de hacer las respectivas transformaciones cartográficas, para lograr de esta manera homogenizar la información con el sistema MAGNA COLOMBIA OESTE.

FIGURA 7. Ubicación de las estaciones climatológicas utilizadas para el estudio.



Fuente: Los Autores

- **Actividad 4. Construcción de la Geodatabase.** Una vez recopilada la información, se procedió a construir una geodatabase que contenía todos estos archivos geográficos, que además de facilitar el manejo de la información, permita consolidar el proyecto.
- **Actividad 5. Interpolación de la información climatológica.** Con la información de las estaciones meteorológicas tabuladas, se procedió a la construcción de un *shapefile* que contuviera la ubicación espacial de todas las estaciones utilizadas.

Utilizando la herramienta *Interpolation* de la extensión *Spatial Analyst Tool* de *ArcGis 10.2.2* ® se realizó la interpolación de los datos de precipitación utilizando los métodos denominados como *Kriging*, *IDW* y *Natural Neighbor*

Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z. A diferencia de otros métodos de interpolación en el conjunto de herramientas de Interpolación, utilizar la herramienta Kriging en forma efectiva implica una investigación interactiva del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores z antes de seleccionar el mejor método de estimación para generar la superficie de salida.

La interpolación mediante distancia inversa ponderada (IDW) determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación.

El algoritmo utilizado por la herramienta de interpolación de [Vecino natural](#) halla el subconjunto de muestras de entrada más cercano a un punto de consulta y aplica ponderaciones sobre éstas basándose en áreas proporcionales para interpolar un valor. También se conoce como interpolación de Sibson o de "robo de área". Sus propiedades básicas son que es local, utiliza sólo un subconjunto de muestras que circundan a un punto de consulta y asegura que las alturas interpoladas estarán dentro del rango de las muestras utilizadas. No infiere tendencias ni produce picos, depresiones, crestas o valles que no estén ya representados por las muestras de entrada. La superficie pasa por las muestras de entrada y es suave en todas partes, excepto en las ubicaciones de las muestras de entrada.

Para determinar cuál de éstos representaba el mejor modelo, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Coeficiente de Asimetría o Skewness cercano a cero.
- Curtosis cercano a tres.
- Relación entre media y mediana igual o inferior a 1.
- Menor error medio cuadrático.

Con base en estos criterios se determinó que el modelo que más se ajustaba el Kriging, siendo éste el seleccionado para la construcción del mapa de isoyetas para cada año de estudio.

De manera similar se procedió con la información de evapotranspiración, y utilizando los mismos criterios, se determinó que igualmente el método más ajustado era el de Kriging, generando los respectivos mapas de isolíneas.

Una vez obtenidos los mapas de precipitación y evapotranspiración por cada año de estudio, se realizó un procedimiento de álgebra de mapas mediante la herramienta *Raster Calculator* de *ArcGis 10.2.2*®, consistente en restar del valor de la precipitación de cada celda el valor de la evapotranspiración, para obtener un valor positivo o negativo representando el balance hídrico para esa celda, es decir que si el valor obtenido es positivo indica que la precipitación fue mayor que la evapotranspiración, generando un “exceso” de agua disponible, mientras que si el valor era negativo, indicaba un déficit hídrico.

De esta forma se obtuvo un mapa tipo *raster* representando el balance hídrico para cada año de estudio.

Sin embargo, con el objetivo de realizar los cálculos respectivos con esta información del balance hídrico, con la herramienta *reclassify* de *ArcGis 10.2.2*®, se hizo una reclasificación de los valores de estas celdas, de tal forma que solamente se obtuvieran 3 intervalos iguales, así:

CUADRO 4. Reclasificación de los intervalos de medición del balance hídrico

<b>Intervalo</b>	<b>Balance Hídrico</b>
1	Déficit
2	Equilibrio
3	Exceso

Fuente: Los Autores

Así se obtuvieron los mapas de evapotranspiración utilizados para el estudio.

Adicionalmente, estos mapas *raster* se convirtieron a formato vectorial (polígonos) con el objetivo de realizar los cálculos de áreas pertinentes.



### Actividad 6. Procesamiento de la información de cobertura de bosque.

Para la determinación de las coberturas de los años 2001 y 2010 se utilizaron los *shapfiles* del IDEAM, recortando el área de estudio sobre éstos y convirtiéndolos luego en mapas vectoriales.

Para el caso del año 2015 se utilizó la imagen LE07\_L1TP\_009057\_20150103\_20161030\_01\_T1 del satélite Landsat 7, y para tal efecto, se desarrolló el siguiente proceso, con el fin de realizar la corrección del “bando”

- En primera instancia realizó la composición de las bandas (*Layer stack*) con el programa ERDAS 9.2 ®, a través de la herramienta “*Image interpreter – Utilities*”
- Una vez obtenida la composición, mediante la herramienta “*Focal Analysis*” de la sección “*Spatial enhancement*”, se realizó la corrección de las líneas perdidas mediante la comparación de la media de sus Niveles Digitales con las medias de las líneas anterior y posterior, y para el caso de los pixeles perdidos, mediante comparación del valor de un pixel con los de los 8 pixeles vecinos mediante un procedimiento de filtrado, de la siguiente manera:

$$ND_{i,j} = \text{round}\left(\frac{ND_{i-1,j} + ND_{i+1,j}}{2}\right)$$

- No obstante, con este procedimiento no se obtiene una corrección completa de la imagen, sino que se caracteriza por ser un proceso iterativo, el cual con cada imagen de salida se obtiene una mejor corrección de la imagen.
- Una vez realizadas estas correcciones se procedió a recortar la imagen satelital teniendo como marco el área de jurisdicción de la Dirección Ambiental Regional Norte de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, utilizando para ello, la función “Clip” de la herramienta “Raster Processing” del programa ArcGis®
- Con el recorte del área de estudio se realizó la clasificación No supervisada en el programa *ArcGis 10.2.2* ®, y con el fin de identificar las diferentes coberturas de este territorio se definió que esta clasificación mostrara 10 clases.
- Este mapa *raster* luego fue convertido a *shapfile* (Polígonos), y dado que este nuevo archivo contiene muchos polígonos de áreas muy reducidas, se

hizo una “depuración” de aquellos que tuvieran menos de 1 ha de superficie.

Habiendo identificado la clase que representa los relictos boscosos, se seleccionaron y se exportaron a un nuevo *shapefile*, que finalmente es el archivo que se usó para el análisis multitemporal de la cobertura boscosa.

- **Actividad 7. Georreferenciación de acueductos.** Por otro lado, se realiza la construcción de una capa (*shapefile*) con la información de los puntos de captación de agua de los acueductos veredales y municipales que cuentan con una concesión otorgada por la CVC.

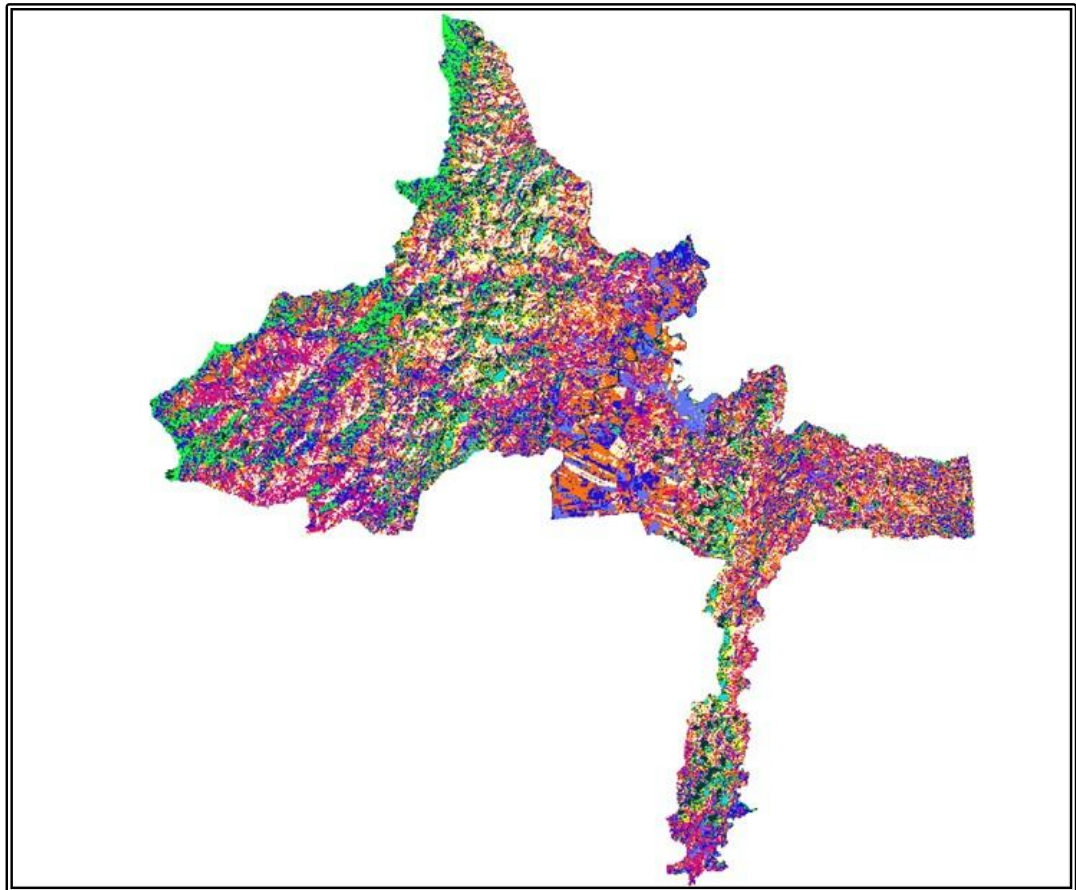
## 6. RESULTADOS

### 6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

#### 6.1.1 Cuantificación y análisis de las coberturas boscosas.

Como resultado de la clasificación no supervisada se obtuvo el mapa mostrado en la figura 11.

Figura 8. Clasificación supervisada del área de estudio.



Fuente: Los autores.

Con base en la aplicación de la metodología antes descrita, se obtuvieron en primera instancia los archivos digitales (*shapefiles*) de las coberturas de todos los

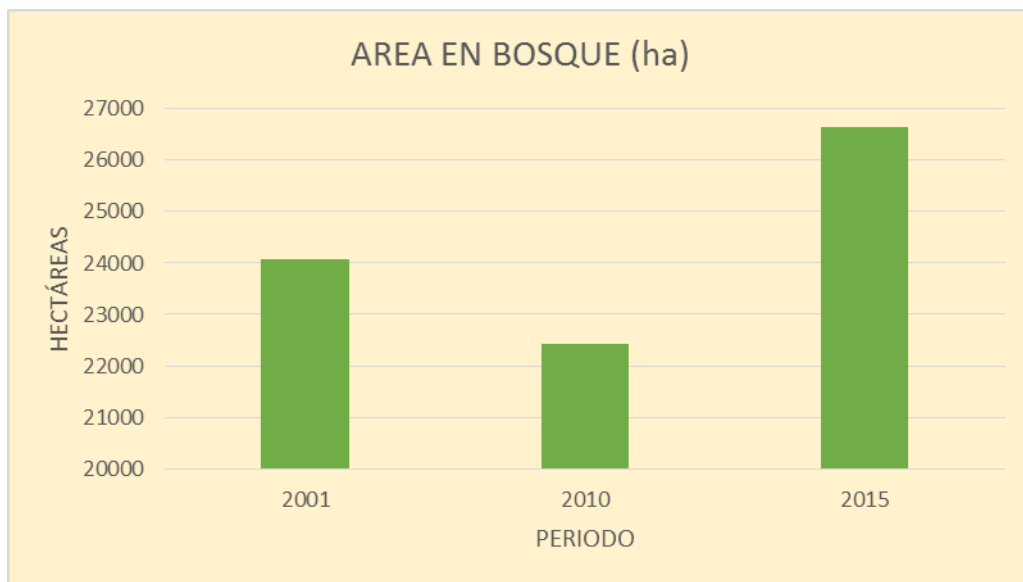
municipios del área de estudio para los años 2001, 2010 y 2015 (Figuras 12, 13, y 14), de cuya tabla de atributos se extrajeron las áreas en bosque y se construyó el cuadro 5 y la gráfica 1, en las cuales se muestra el aumento del superficie cubierta con bosque como valor positivo, y la disminución como valor negativo.

CUADRO 5. Variación de las áreas en bosque

PERIODO	ÁREA EN BOSQUE (ha)	DIFERENCIA	PORCENTAJE
2001	24080.38		
2010	22425.53	-1654.85	-6.87%
2015	26654.93	4229.40	18.86%

Fuente: Los Autores

GRÁFICA 1. Variación de las áreas en bosque



Fuente: Los Autores

De acuerdo con estos datos, se observa que entre los años 2001 y 2010 se presentó una reducción del área en bosque de 1654,85 ha, que equivale al 6.87%, mientras que entre los años 2010 y 2015 se presentó una recuperación del bosque de 4229,4 ha. Además, esta recuperación superó el área boscosa del año 2001 en 2574,55 ha.

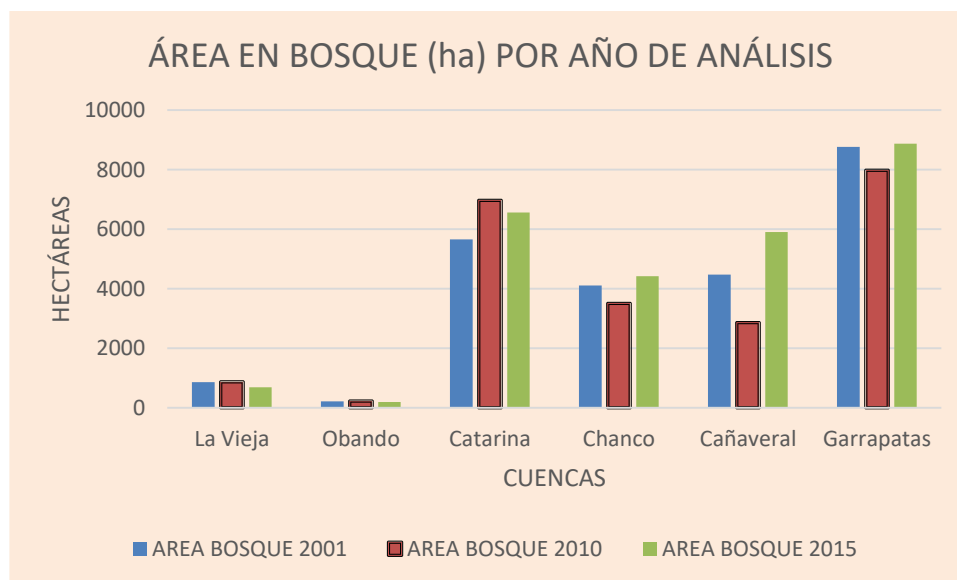
Sin embargo, para determinar si esta tendencia en el área de estudio es generalizada en todas las cuencas, se realizó un análisis por cada una de ellas, obteniendo los siguientes resultados:

CUADRO 6. VARIACIÓN DEL ÁREA EN BOSQUE POR CUENCA

CUENCA	ÁREA TOTAL DE LA CUENCA	ÁREA BOSQUE 2001	ÁREA BOSQUE 2010	ÁREA BOSQUE 2015
La Vieja	30874.41	860.55	873.64	686.34
Obando	13829.91	214.82	232.87	201.34
Catarina	17820.24	5657.63	6966.19	6564.22
Chanco	16435.15	4108.28	3505.99	4421.32
Cañaverál	14601.81	4476.75	2862.87	5908.66
Garrapatas	30563.49	8762.35	7983.97	8873.05
<b>TOTAL</b>	<b>124125.01</b>	<b>24080.38</b>	<b>22425.53</b>	<b>26654.93</b>

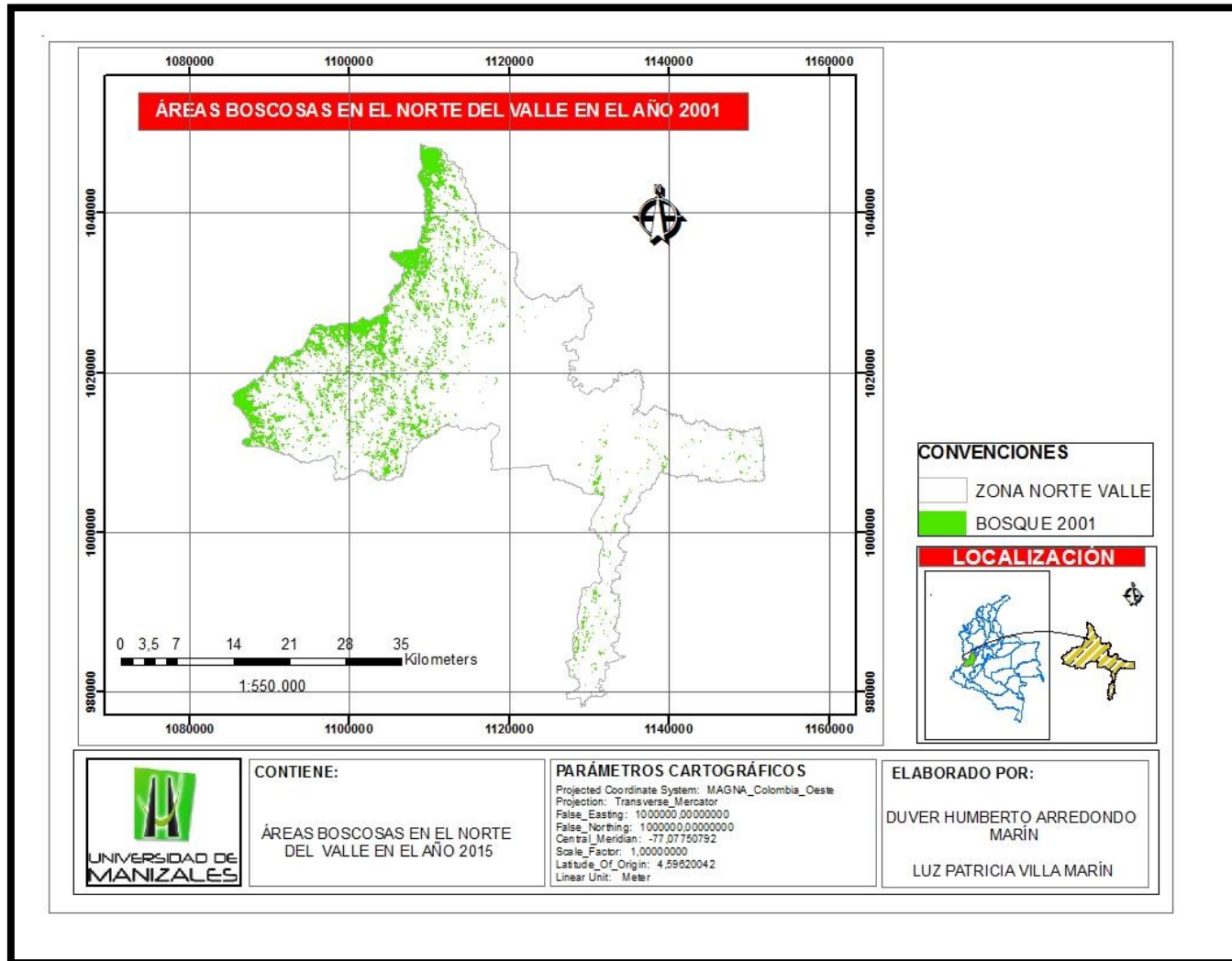
Fuente: Los Autores

GRÁFICA 2. VARIACIÓN DEL ÁREA EN BOSQUE POR CUENCA



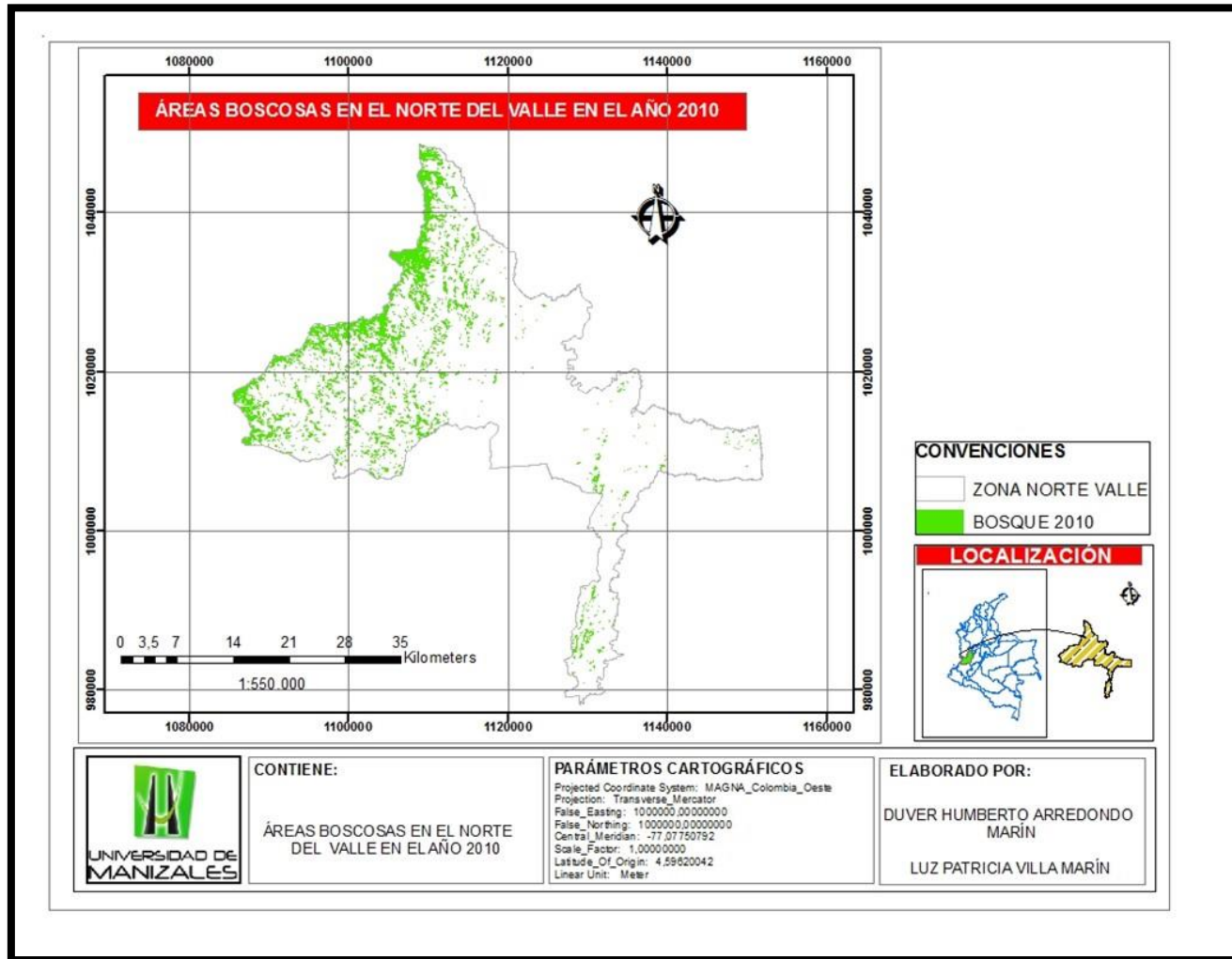
Fuente: Los Autores

FIGURA 9. Áreas boscosas en el Norte del Valle de Cauca en el año 2001.



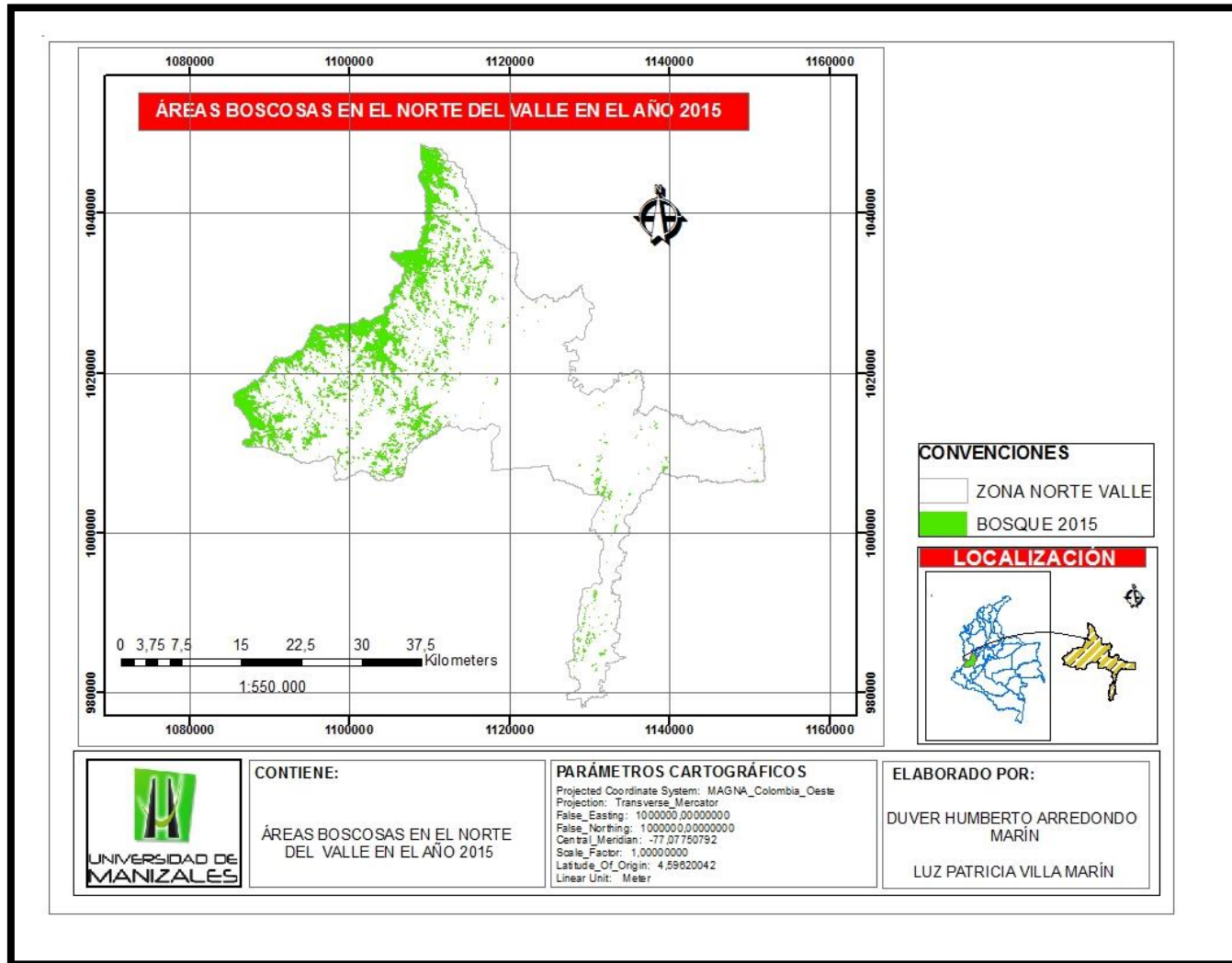
Fuente: Los Autores

FIGURA 10. Áreas boscosas en el Norte del Valle de Cauca en el año 2010.



Fuente: Los Autores

FIGURA 11. Áreas boscosas en el Norte del Valle de Cauca en el año 2015



Fuente: Los Autores

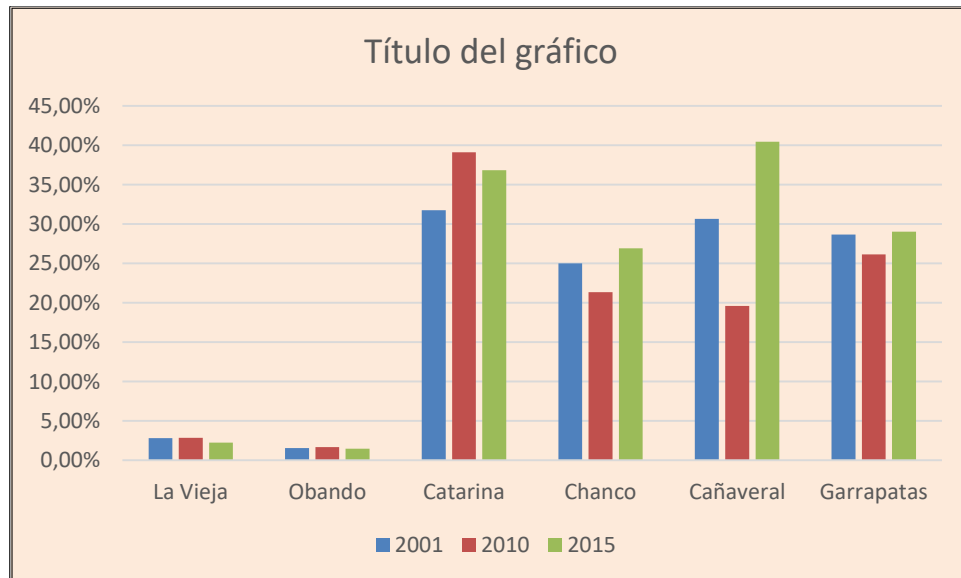


CUADRO 7. Variación de los porcentajes de las áreas de las cuencas cubiertas con bosque.

CUENCA	2001	2010	2015
La Vieja	2.79%	2.83%	2.22%
Obando	1.55%	1.68%	1.46%
Catarina	31.75%	39.09%	36.84%
Chanco	25.00%	21.33%	26.90%
Cañaverl	30.66%	19.61%	40.47%
Garrapatas	28.67%	26.12%	29.03%

Fuente: Los autores

GRÁFICA 3. Variación de los porcentajes de las áreas de las cuencas cubiertas con bosque.

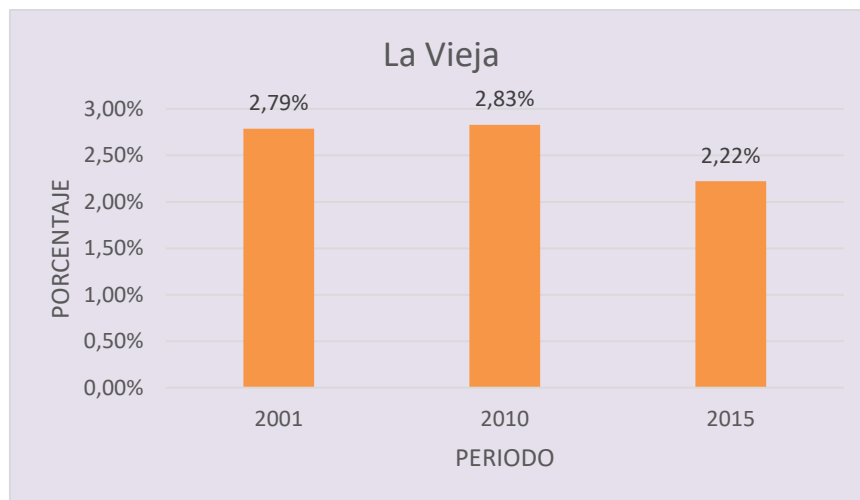


Fuente: Los autores

En estos cuadros y gráficas se puede observar como las cuencas La Vieja y Obando presentan la menor superficie cubierta con bosque, tanto en términos absolutos como relativos, mientras que la cuenca Garrapatas es la que mayor área boscosa presentó en todos los años analizados en términos absolutos.

Sin embargo, en términos relativos, en los años 2001 y 2010, la cuenca con mayor porcentaje de su territorio con bosque era la cuenca Catarina, y en 2015 fue la cuenca Cañaverl, con una notable recuperación en comparación con los años anteriores.

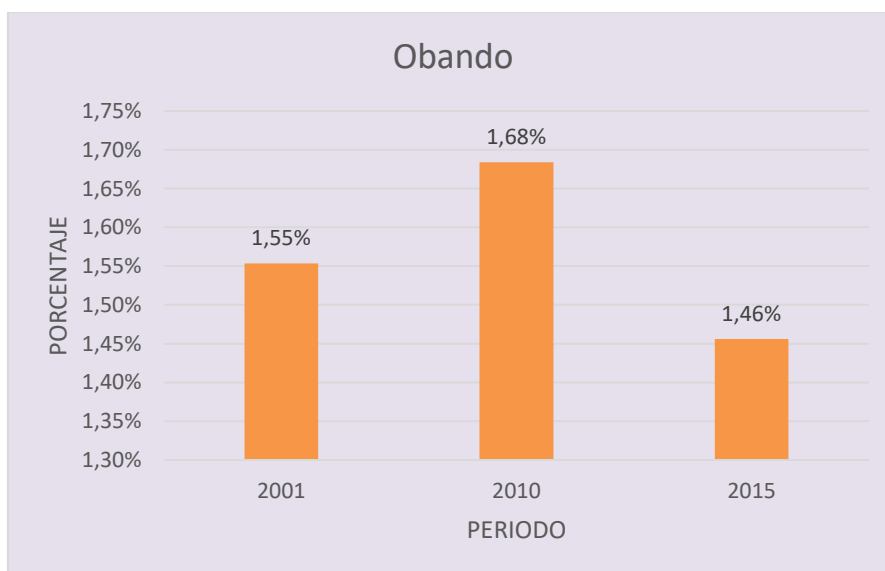
GRÁFICA 4. Variación de los porcentajes del área de la cuenca La Vieja cubierta con bosque.



Fuente: Los Autores

En este gráfico se observa como la Cuenca *La Vieja* en el periodo 2001-2010 conservó prácticamente la misma cobertura boscosa, pero se vio reducida en el año 2015, contrario a lo sucedido en el área de estudio.

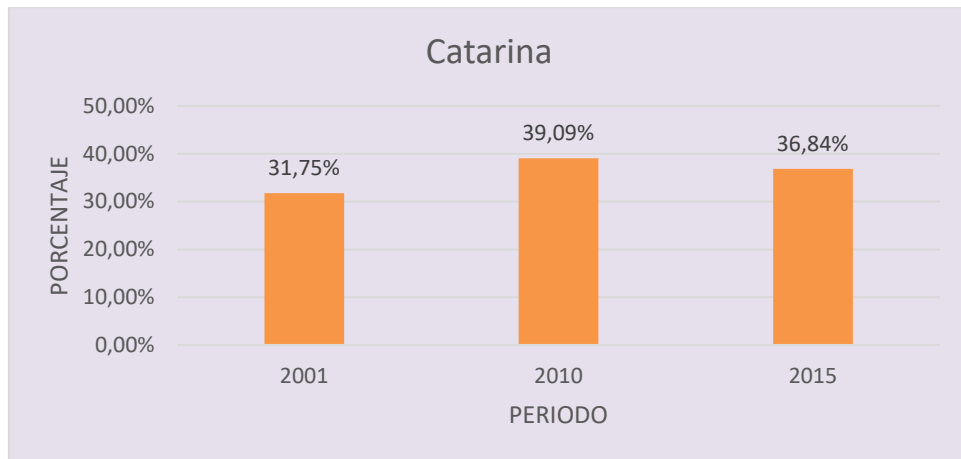
GRÁFICA 5. Variación de los porcentajes del área de la cuenca Obando cubierta con bosque.



Fuente: Los Autores

Para el caso de la cuenca Obando, aunque se presentó un aumento de la cobertura de bosque en el periodo 2001-2010, también hubo una disminución sustancial para el año 2015.

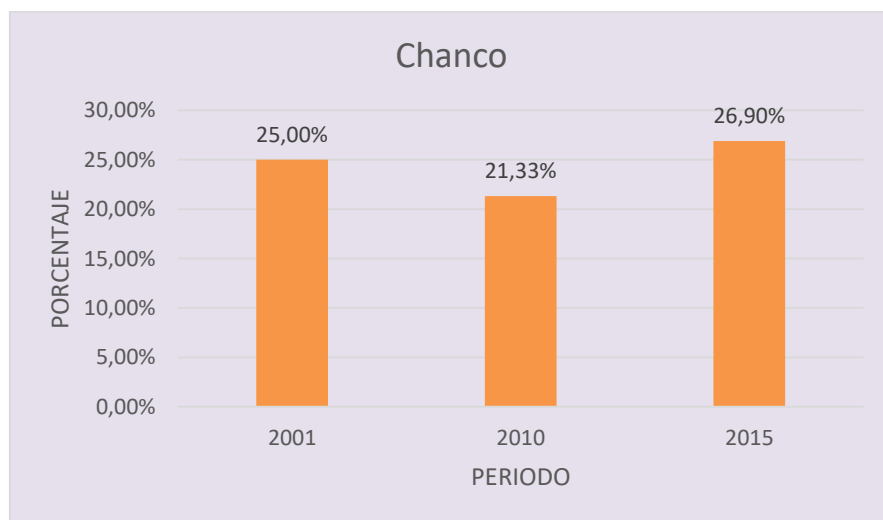
GRÁFICA 6. Variación de los porcentajes del área de la cuenca Catarina cubierta con bosque.



Fuente: Los Autores

La cuenca Catarina presentó un aumento en el periodo 2001-2010, sin embargo, para el año 2015 la cobertura de bosque disminuyó, aunque manteniéndose en porcentajes muy similares.

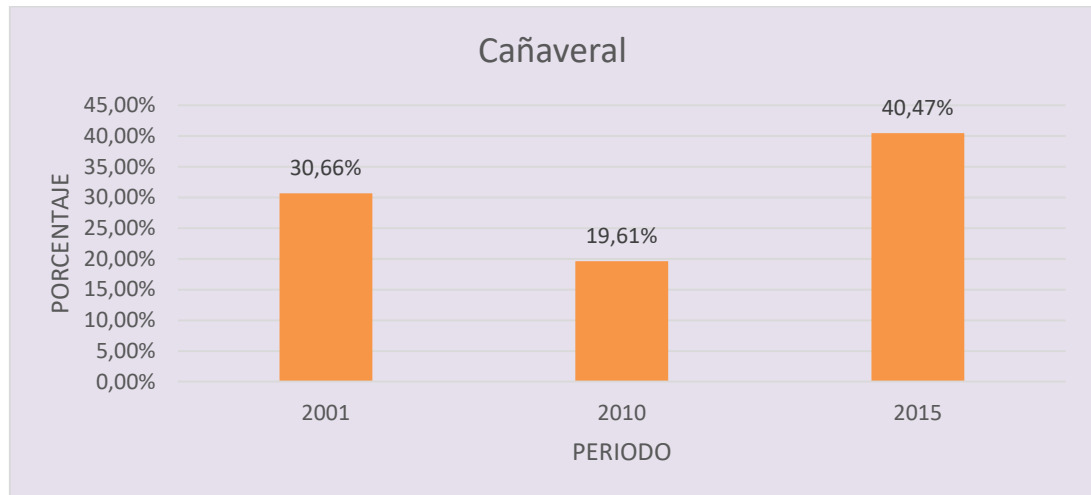
GRÁFICA 7. Variación de los porcentajes del área de la cuenca Chanco cubierta con bosque.



Fuente: Los Autores.

Aunque para el periodo 2001-2010 se observa una disminución en la cuenca Chanco, hubo recuperación en el año 2015, superando incluso la cobertura boscosa del año 2001.

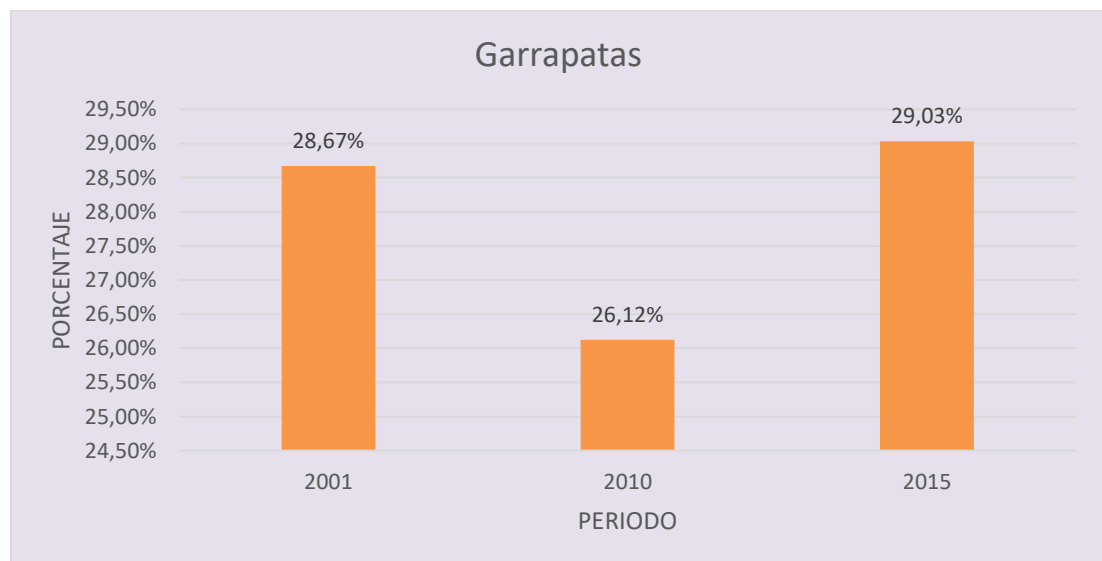
GRÁFICA 8. Variación de los porcentajes del área de la cuenca Cañaverl cubierta con bosque.



Fuente: Los Autores

En la cuenca cañaverl se observa una fuerte dinámica en la cobertura de bosque con variaciones negativas y positivas muy marcadas, que para el caso del 2015 representó una fuerte recuperación.

GRÁFICA 9. Variación de los porcentajes del área de la cuenca Garrapatas cubierta con bosque.



Fuente: Los Autores

A pesar de ser la cuenca con mayor extensión de bosque en el área de estudio, en *Garrapatas* hubo una fuerte presión sobre el bosque en el periodo 2001-2010 que redundó en una disminución considerable, pero con un aumento significativo en el año 2015.

**Grado de conservación de los relictos boscosos.**

Adicionalmente, se utilizó el programa ArcGis para realizar una intersección de las áreas de bosque, obteniendo los siguientes resultados:

CUADRO 8. Áreas de intersección de las coberturas boscosas

PERIODO	ÁREA EN BOSQUE (ha)	DIFERENCIA (ha)	ÁREA DE INTERSECCIÓN 2001-2010 (ha)	ÁREA DE INTERSECCIÓN 2010-2015 (ha)
2001	24080.38		11674.63	
2010	22425.53	-1654.85		12855.84
2015	26654.93	4229.40		

Fuente: Los Autores

Del cuadro 8 se concluye que entre los años 2001 y 2010, aunque se perdieron 1654.85 ha de bosque natural, de las 24080,38 ha existentes en 2001, se mantuvieron en bosque 11674.63 ha, es decir que no sufrieron ningún cambio.

De igual manera, entre los años 2010 y 2015 las áreas en bosque aumentaron 4229.4 ha, y 12855.84 se mantuvieron sin cambios.

**Grado de protección de las áreas forestales protectoras.**

La normatividad vigente establece que las franjas de 30 m a cada lado de las corrientes hídricas hacen parte de las zonas forestales protectoras, y que por lo tanto deberían permanecer con cobertura de bosque, por ello, con el fin de determinar el grado de protección que tienen estas franjas se hizo una intersección de los capas de bosque en cada uno de los años de análisis con la capa de los drenajes y cuerpos de agua con sus respectivos “buffer”. Así, se determinó que el total de estas áreas forestales protectoras es de 35758.75 ha, y se obtuvieron los siguientes resultados:

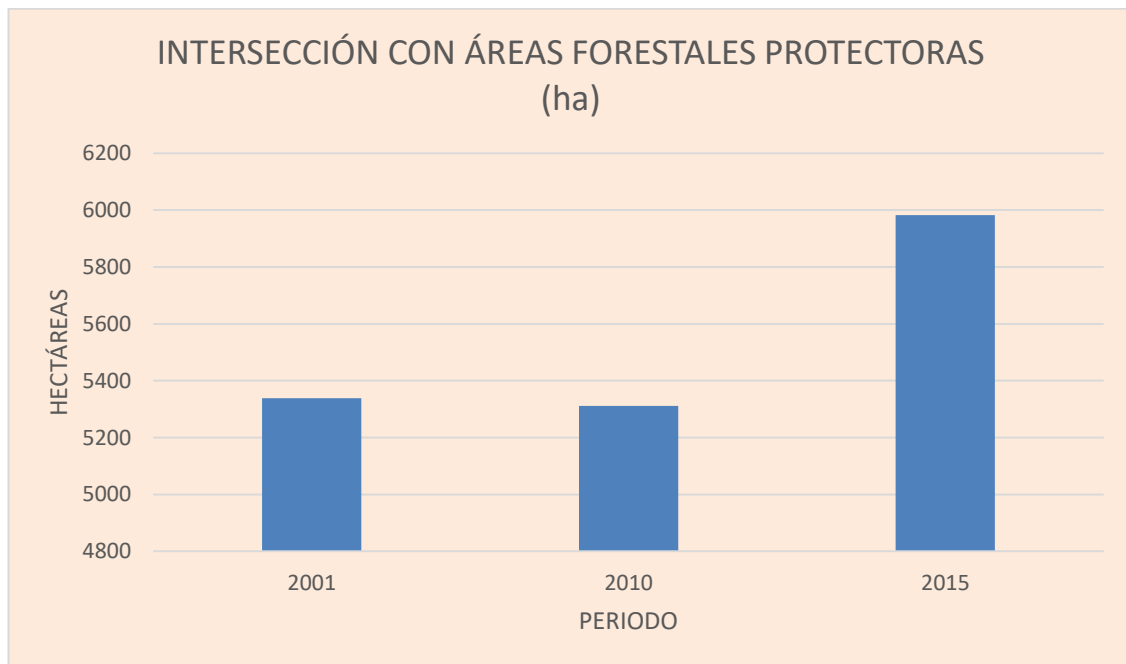
CUADRO 9. Intersección de las áreas forestales protectoras con relictos boscosos

AÑO	INTERSECCIÓN CON ÁREAS FORESTALES PROTECTORAS (ha)	PORCENTAJE DE COBERTURA
2001	5338.69	14.93%
2010	5311.63	14.85%
2015	5982.55	16.73%

Fuente: Los Autores

De esta información se infiere que en el área de estudio, en promedio solo el 15,5% de las áreas forestales protectoras de las corrientes hídricas se mantienen con cobertura forestal, pero que este valor varió en proporciones similares al área en bosque de toda la región norte del Valle del Cauca.

GRÁFICA 10. Intersección de las áreas forestales protectoras con relictos boscosos.



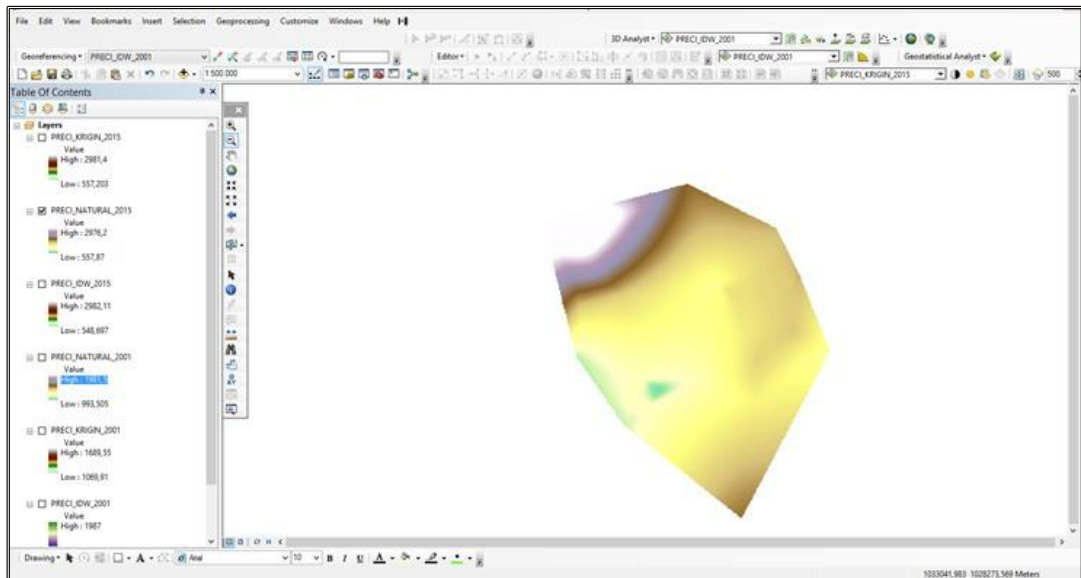
Fuente: Los Autores.

De lo anterior, se concluye que las áreas forestales protectoras de las corrientes de agua sufrieron una dinámica de cambio similar a la observada en los relictos boscosos de toda el área de estudio, en la cual, se presentó disminución de la cobertura para el periodo 2001-2010, y aumento para el periodo 2010-2015.

## 6.1.2. Balance hídrico

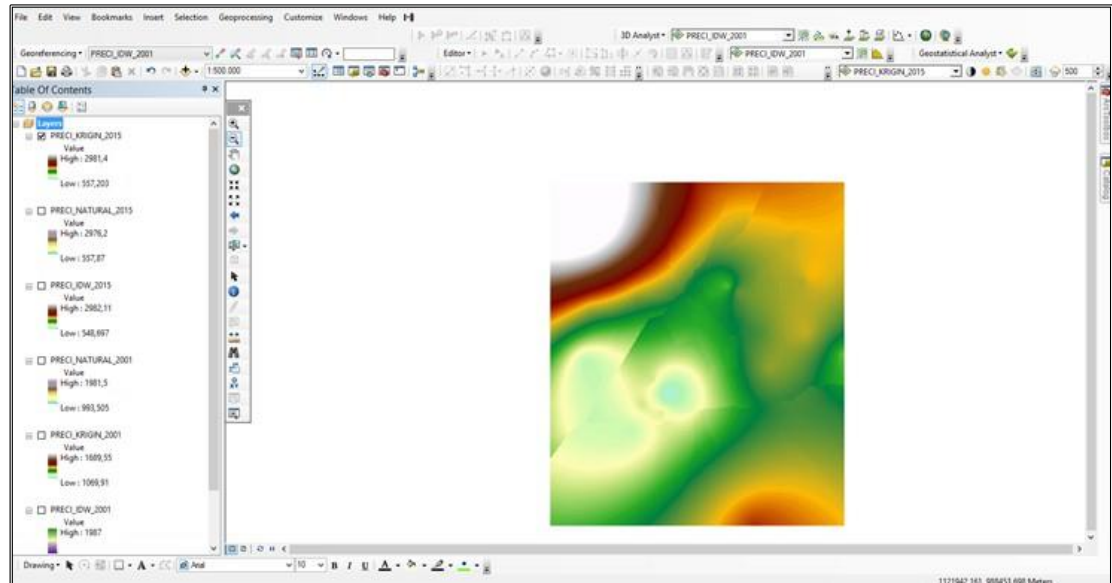
Para el cálculo del balance hídrico, previamente se analizaron los métodos de Kriging, IDW y Natural Neighbor, para determinar el que mejor se ajustara a la información disponible, obteniendo las siguientes capas:

FIGURA 12. Ejemplo de interpolación de precipitación con el método “Natural Neighbor”



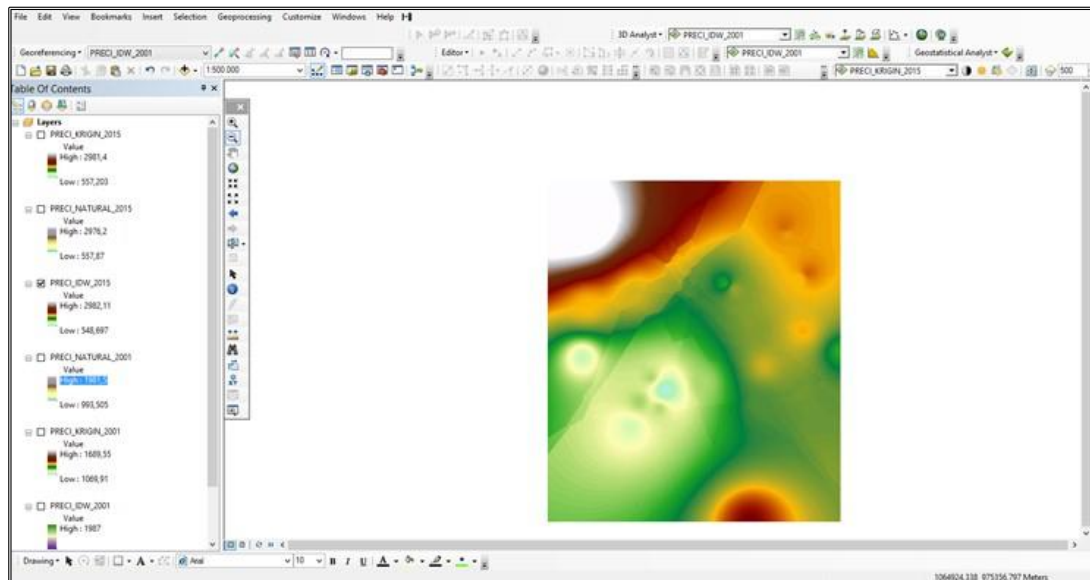
Fuente: Los autores.

FIGURA 13. Ejemplo de interpolación de precipitación con el método “Kriging”



Fuente: Los autores.

FIGURA 14. Ejemplo de interpolación de precipitación con el método “IDW”



Fuente: Los autores.



Utilizando la información de las estaciones meteorológicas tanto de la CVC como del IDEAM se construyeron los mapas de isolíneas de precipitación (Isoyetas) y de evapotranspiración, y se convirtieron a polígonos, cuyos resultados se muestran en las figuras 15 a 23.

Con base en la información de la tabla de atributos de estos *shapefiles*, se obtuvo el siguiente resumen:

CUADRO 10. Cantidad y porcentaje del total del área de estudio por zonas de balance hídricos en el años 2001.

BALANCE	ÁREA	PORCENTAJE
Déficit	66706.51	53.74%
Equilibrio	32945.91	26.54%
Exceso	24467.16	19.71%

GRÁFICA 11. Cantidad y porcentaje del total del área de estudio por zonas de balance hídricos en el año 2001.

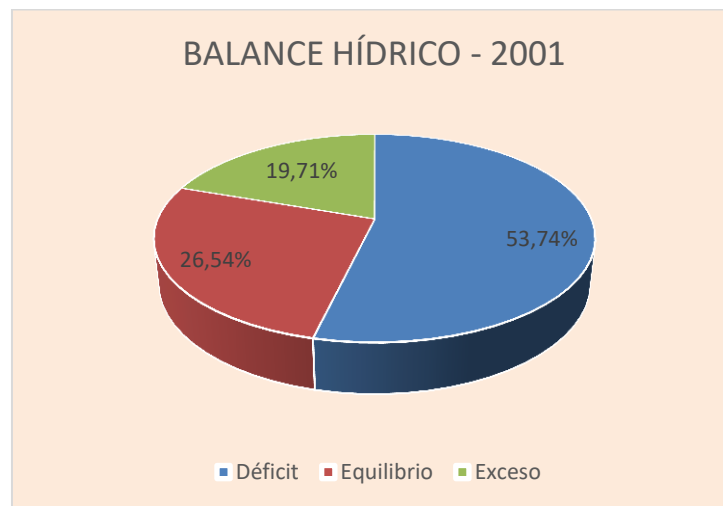
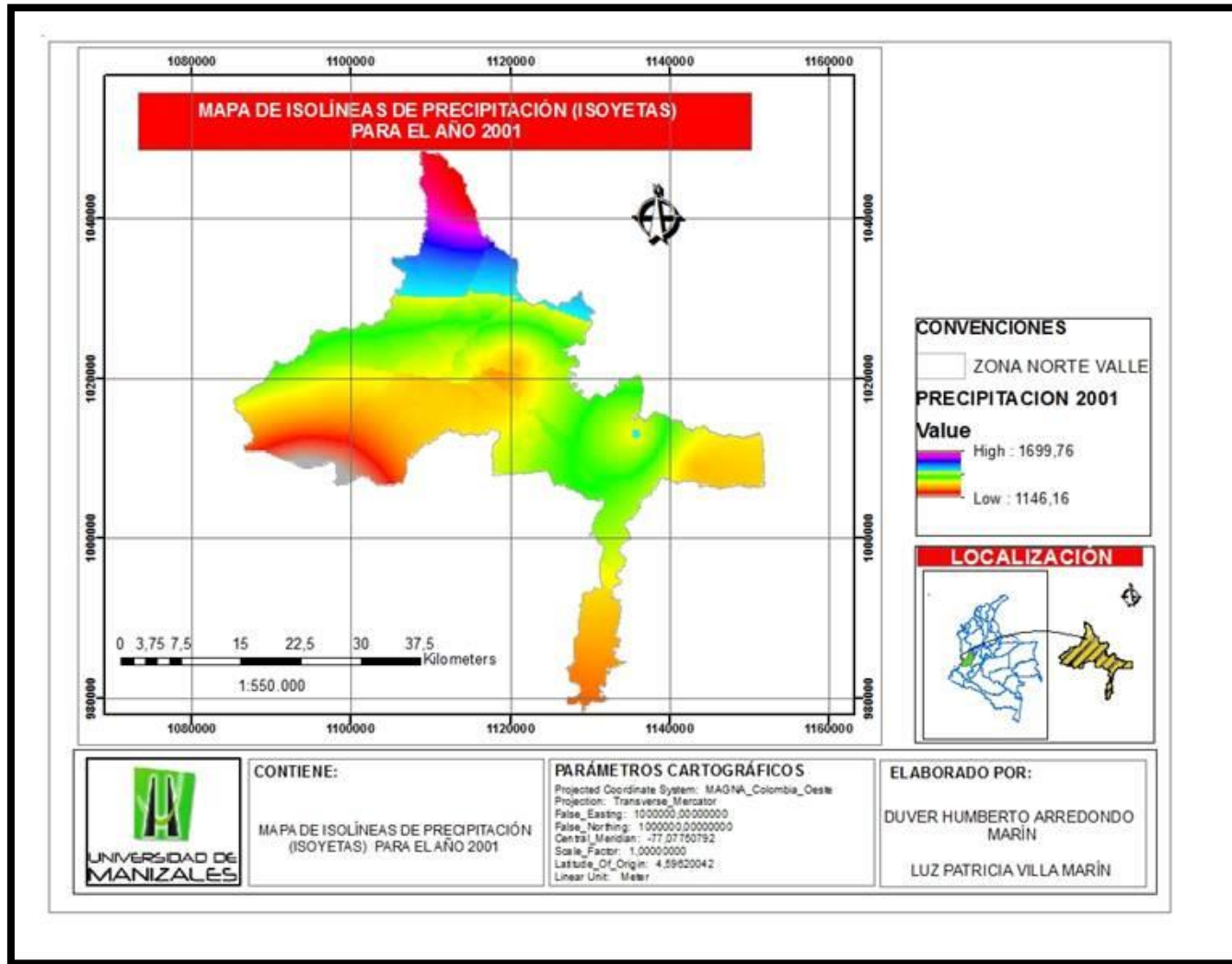
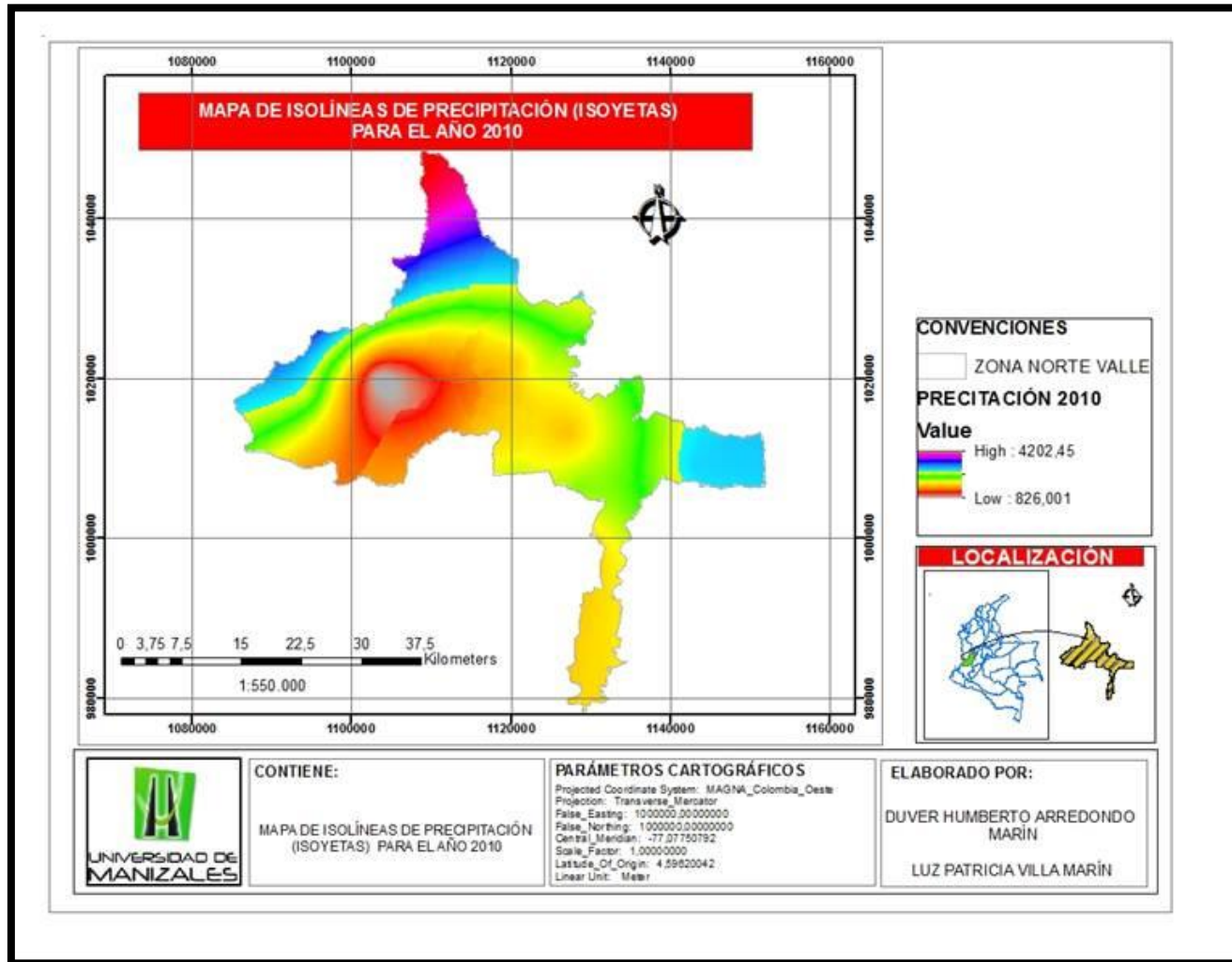


FIGURA 15. Mapa de isolíneas de precipitación (isoyetas) para el año 2001



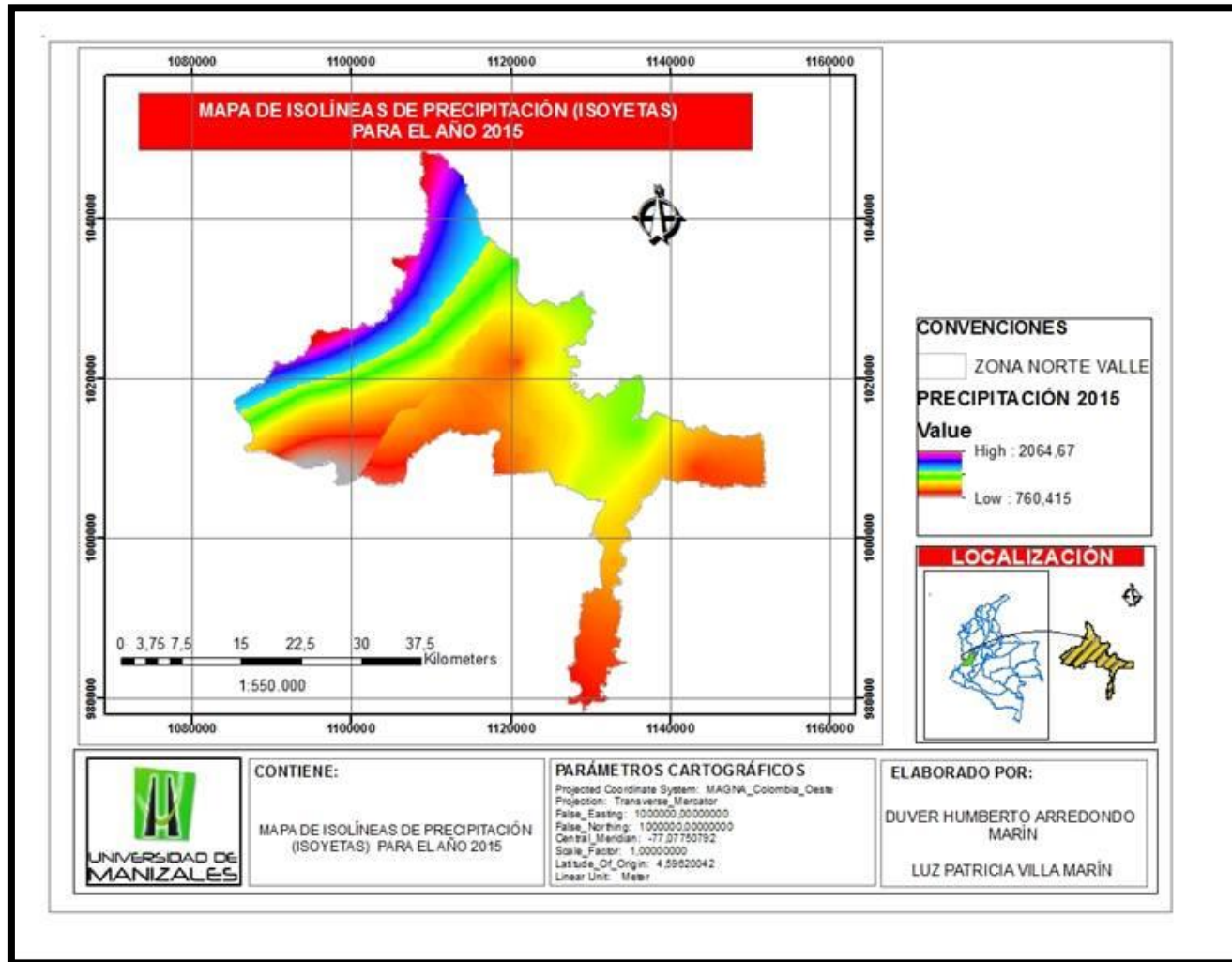
Fuente: Los Autores

FIGURA 16. Mapa de isolíneas de precipitación (isoyetas) para el año 2010.



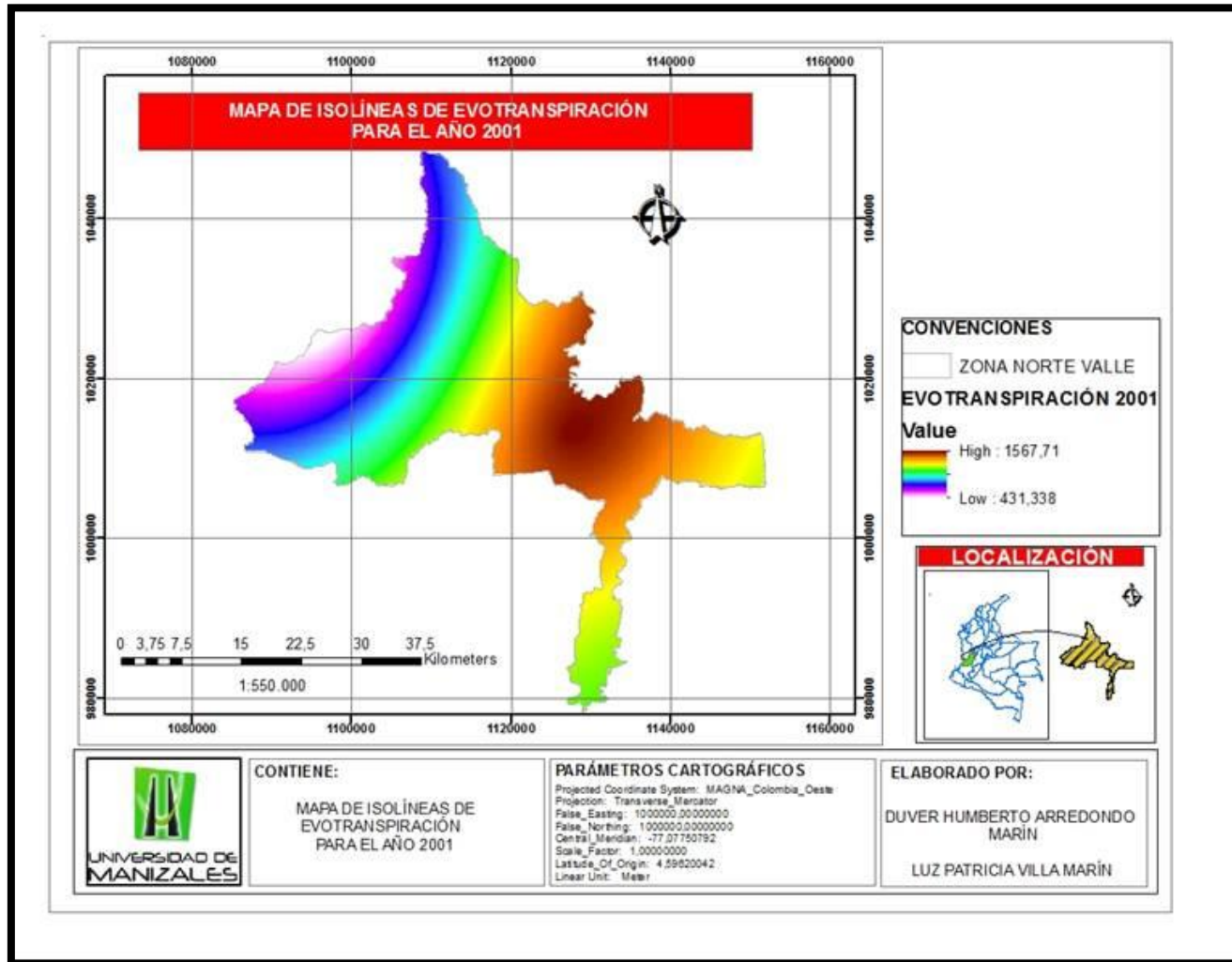
Fuente: Los Autores

FIGURA 17. Mapa de isolíneas de precipitación (isoyetas) para el año 2015.



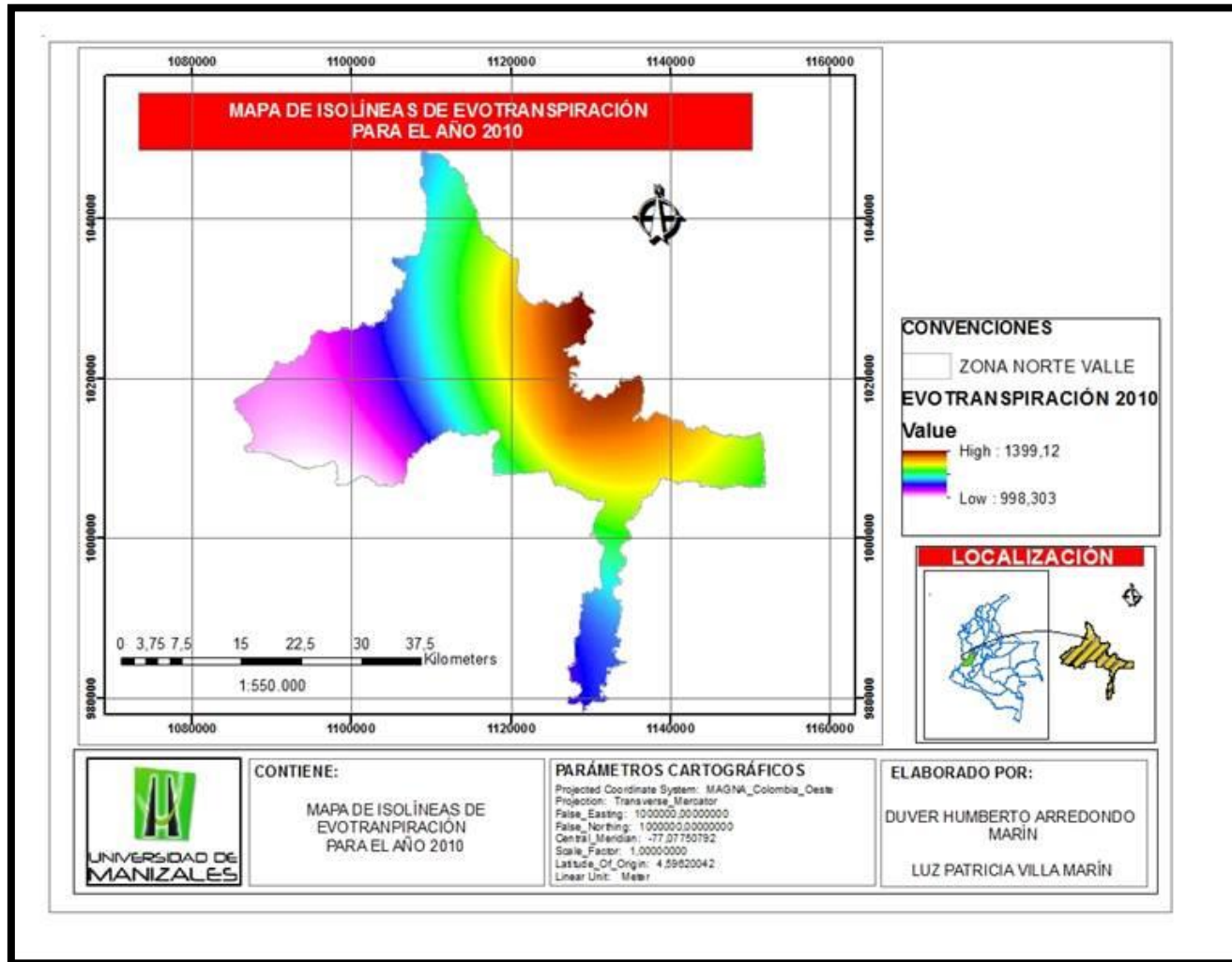
Fuente: Los Autores

FIGURA 18. Mapa de isólinas de evapotranspiración para el año 2001.



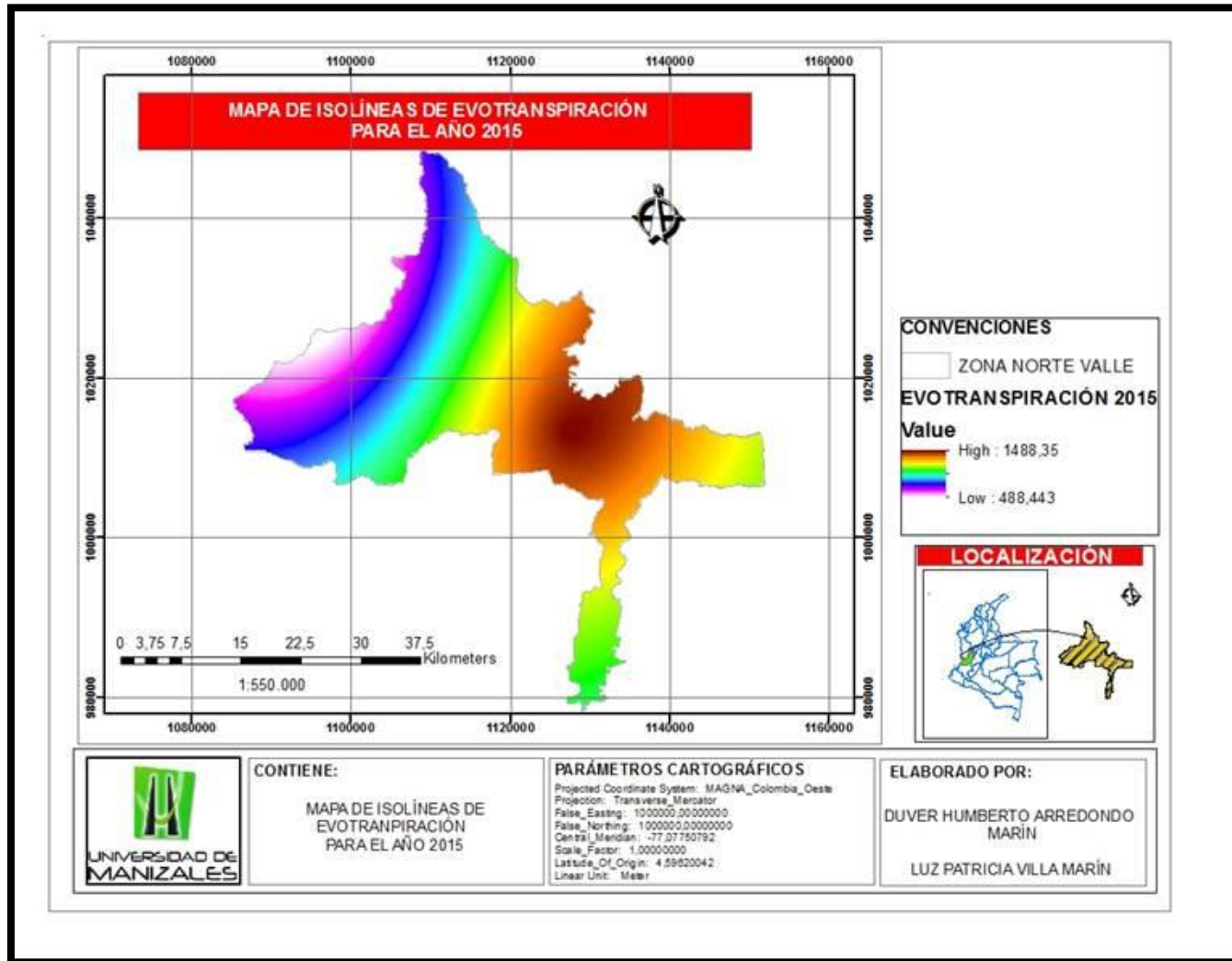
Fuente: Los Autores

FIGURA 19. Mapa de isolíneas de evapotranspiración para el año 2010.



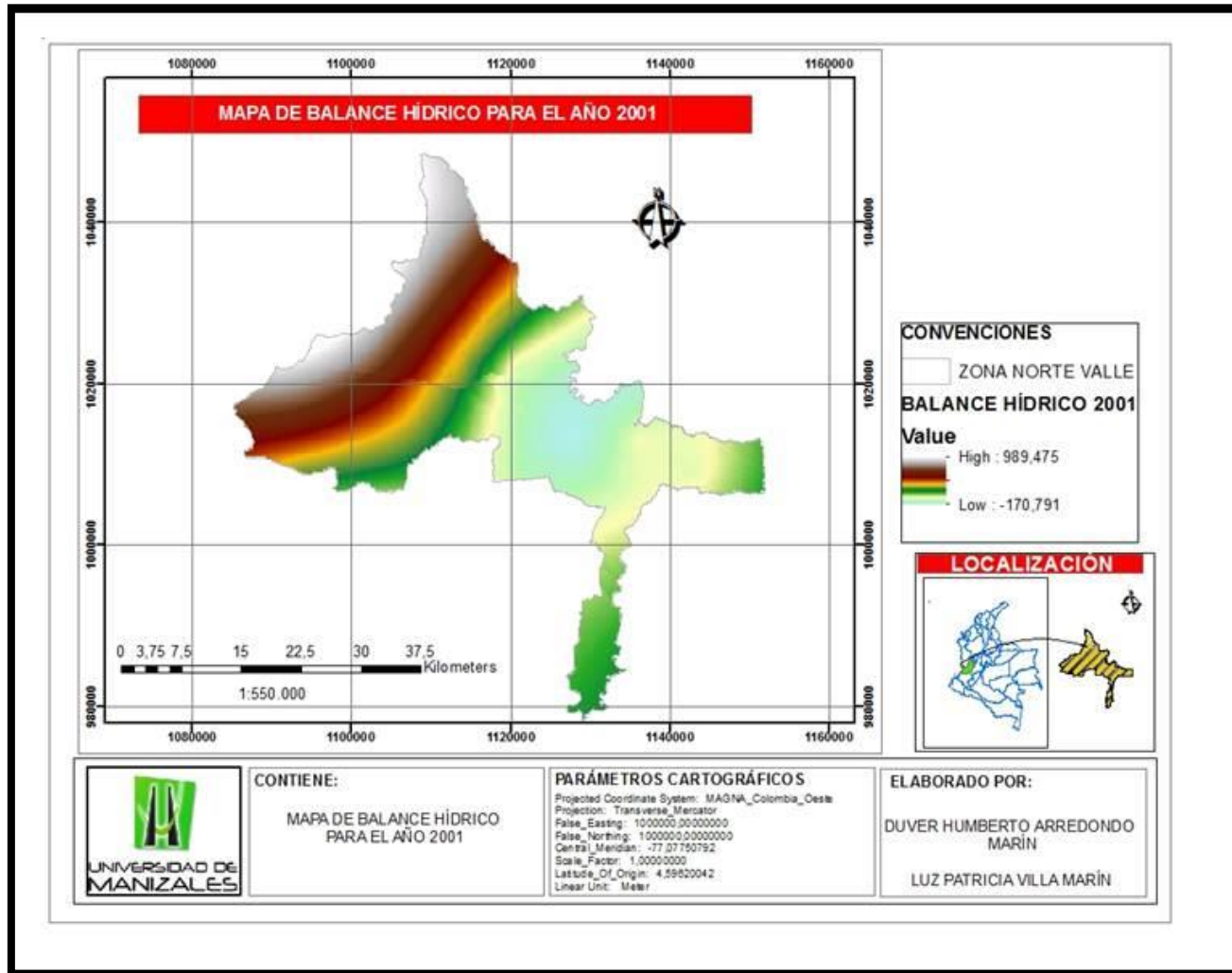
Fuente: Los Autores

FIGURA 20. Mapa de isolíneas de evapotranspiración para el año 2015.



Fuente: Los Autores

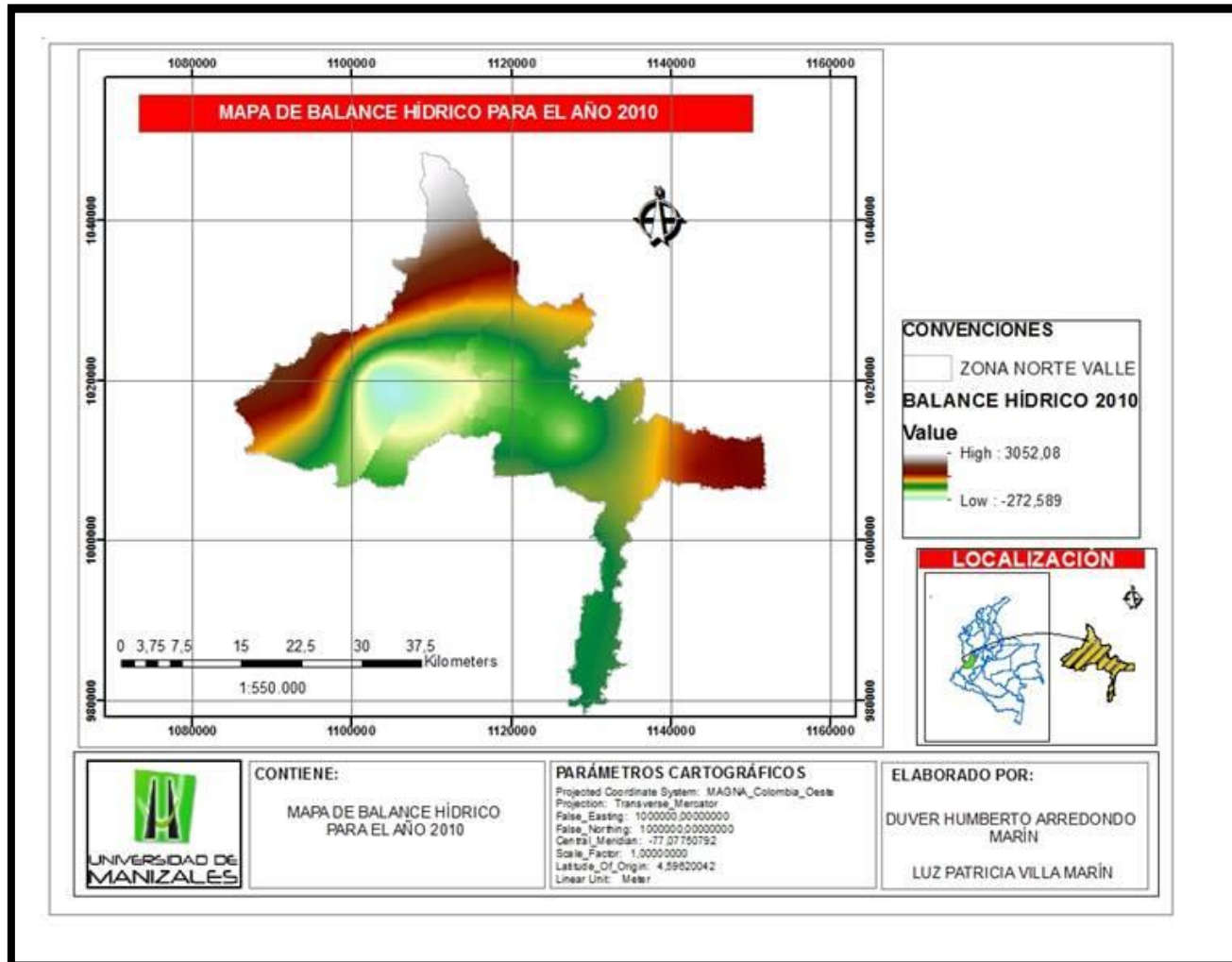
FIGURA 21. Mapa de balance hídrico para el año 2001



Fuente: Los Autores

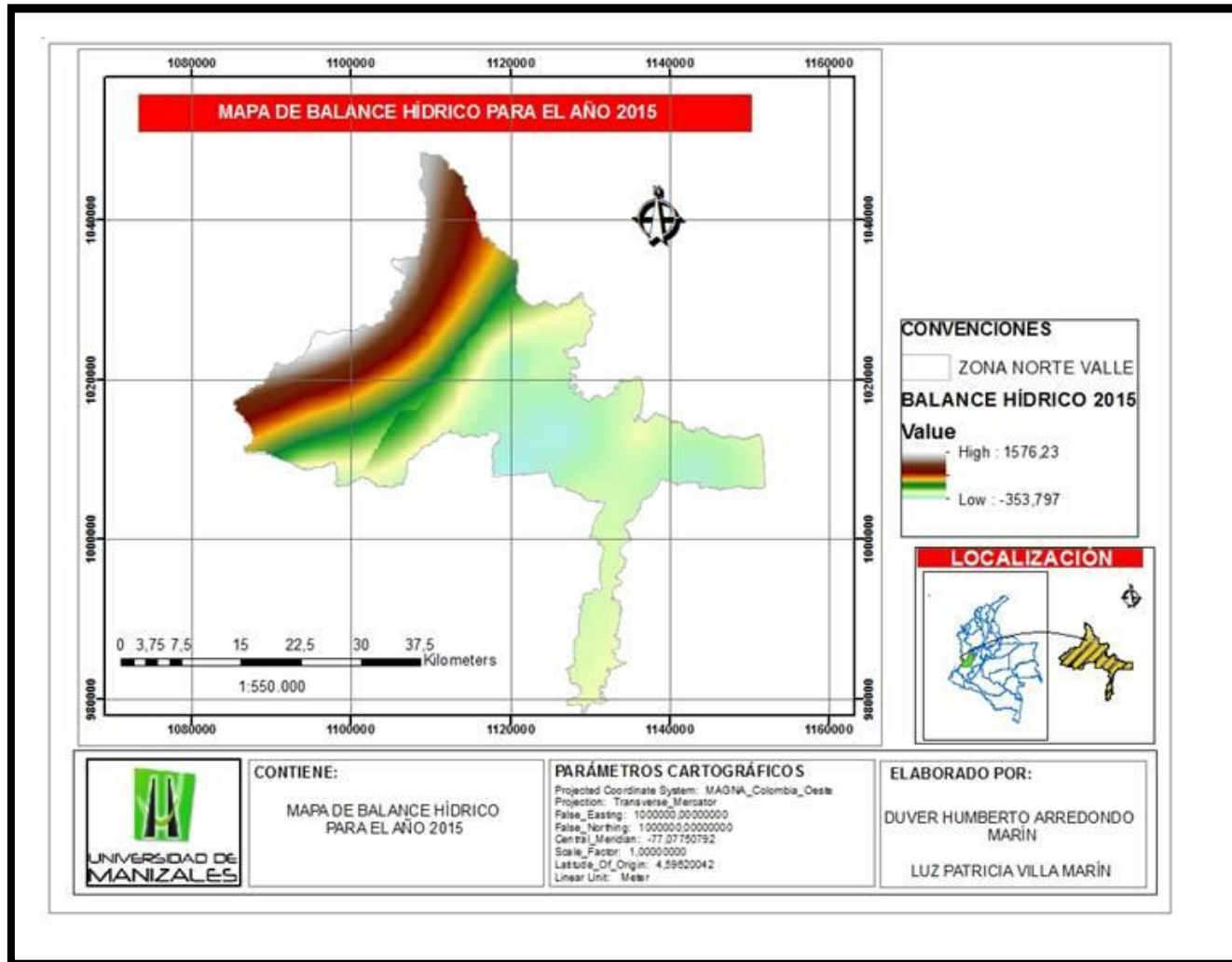


FIGURA 22. Mapa de balance hídrico para el año 2010



Fuente: Los Autores

FIGURA 23. Mapa de balance hídrico para el año 2015



Fuente:

Los

Autores

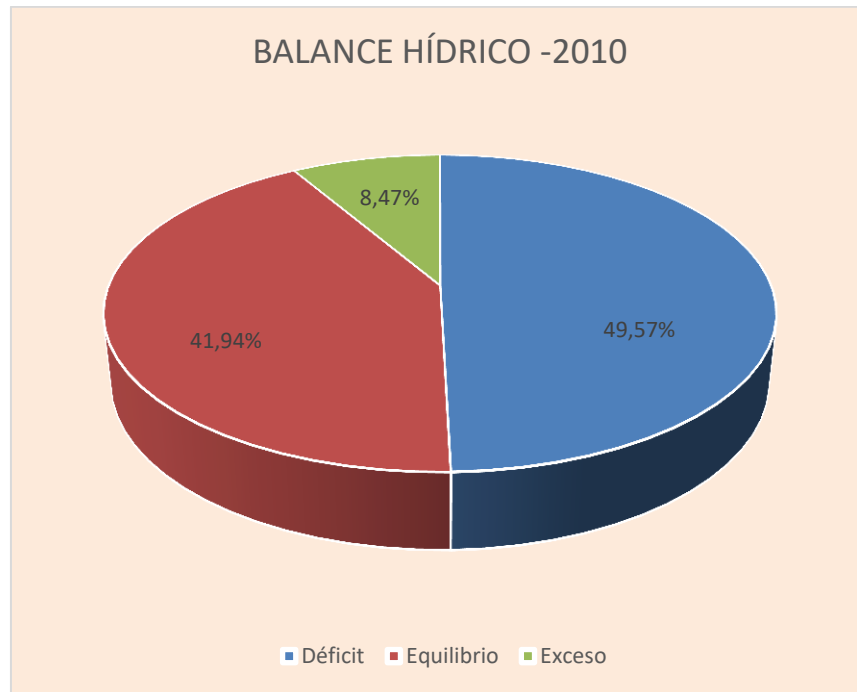
Del proceso de reclasificación se obtuvieron los mapas mostrados en las Figuras 24 a 26.

CUADRO 11. Cantidad y porcentaje del total del área de estudio por zonas de balance hídricos en el año 2010.

BALANCE	ÁREA	PORCENTAJE
Déficit	61521.72	49.57%
Equilibrio	52053.79	41.94%
Exceso	10517.09	8.47%

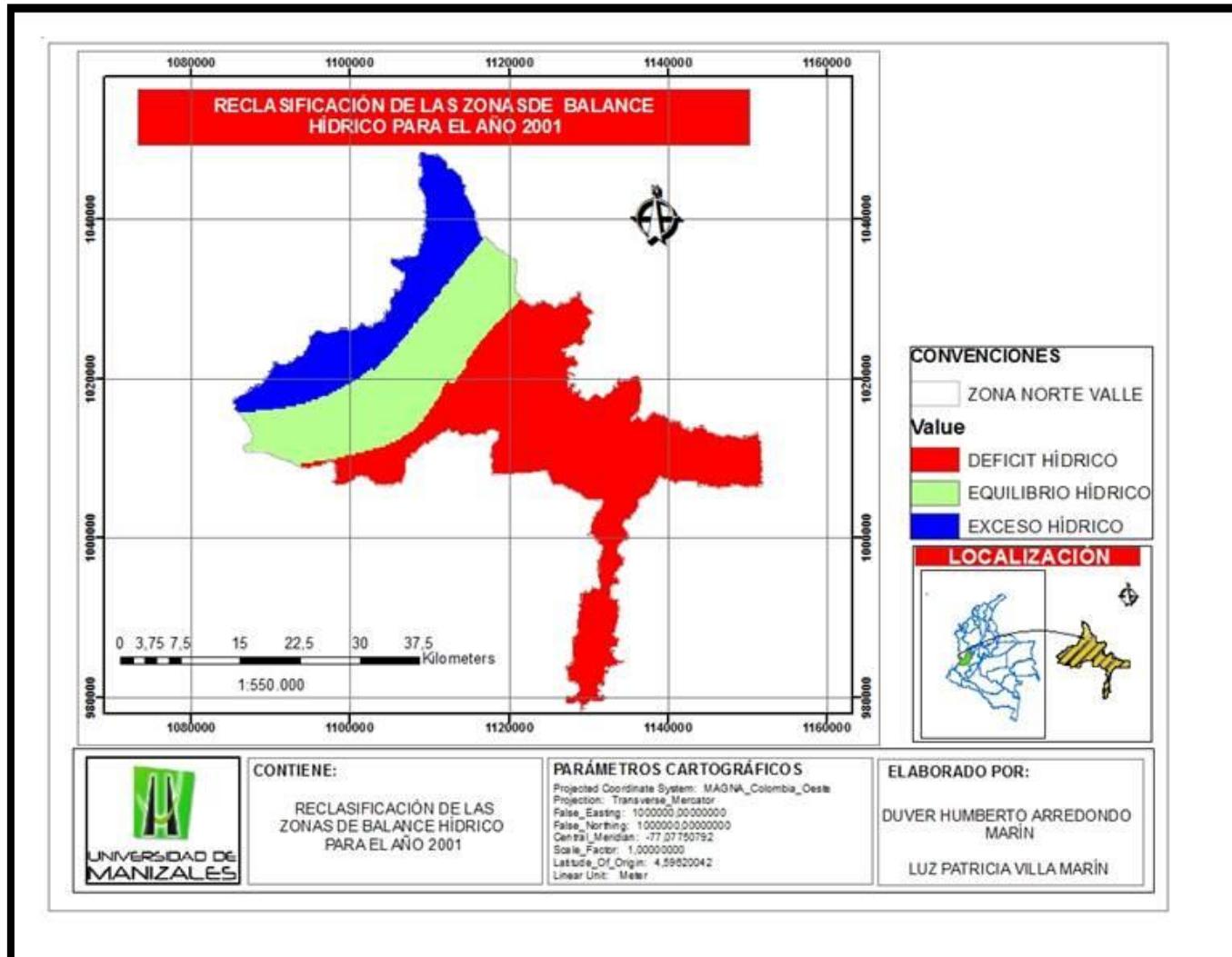
Fuente: Los Autores

GRÁFICA 12. Cantidad y porcentaje del total del área de estudio por zonas de balance hídricos en el año 2010.



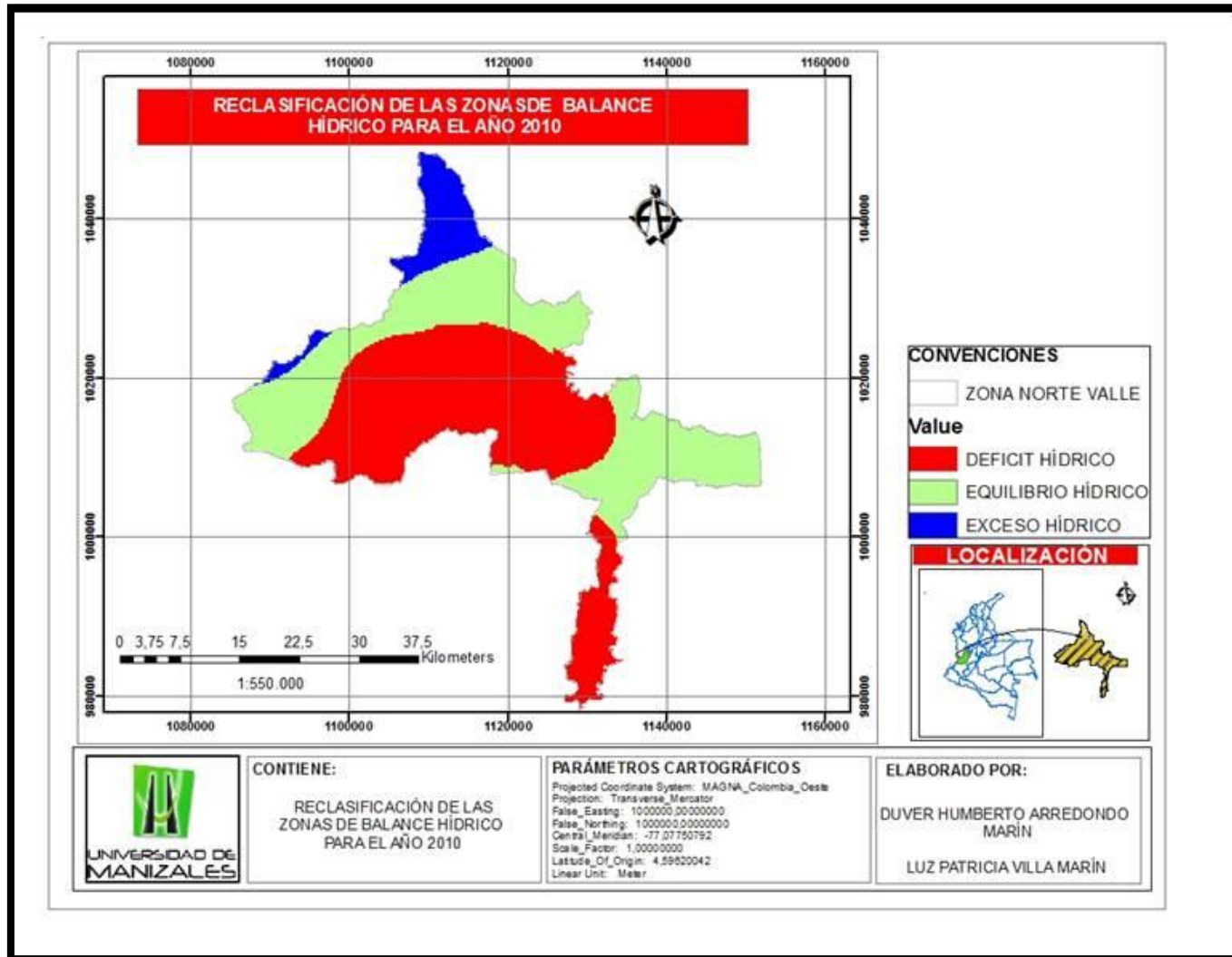
Fuente: Los Autores

FIGURA 24. Mapa de reclasificación de las zonas de balance hídrico para el año 2001.



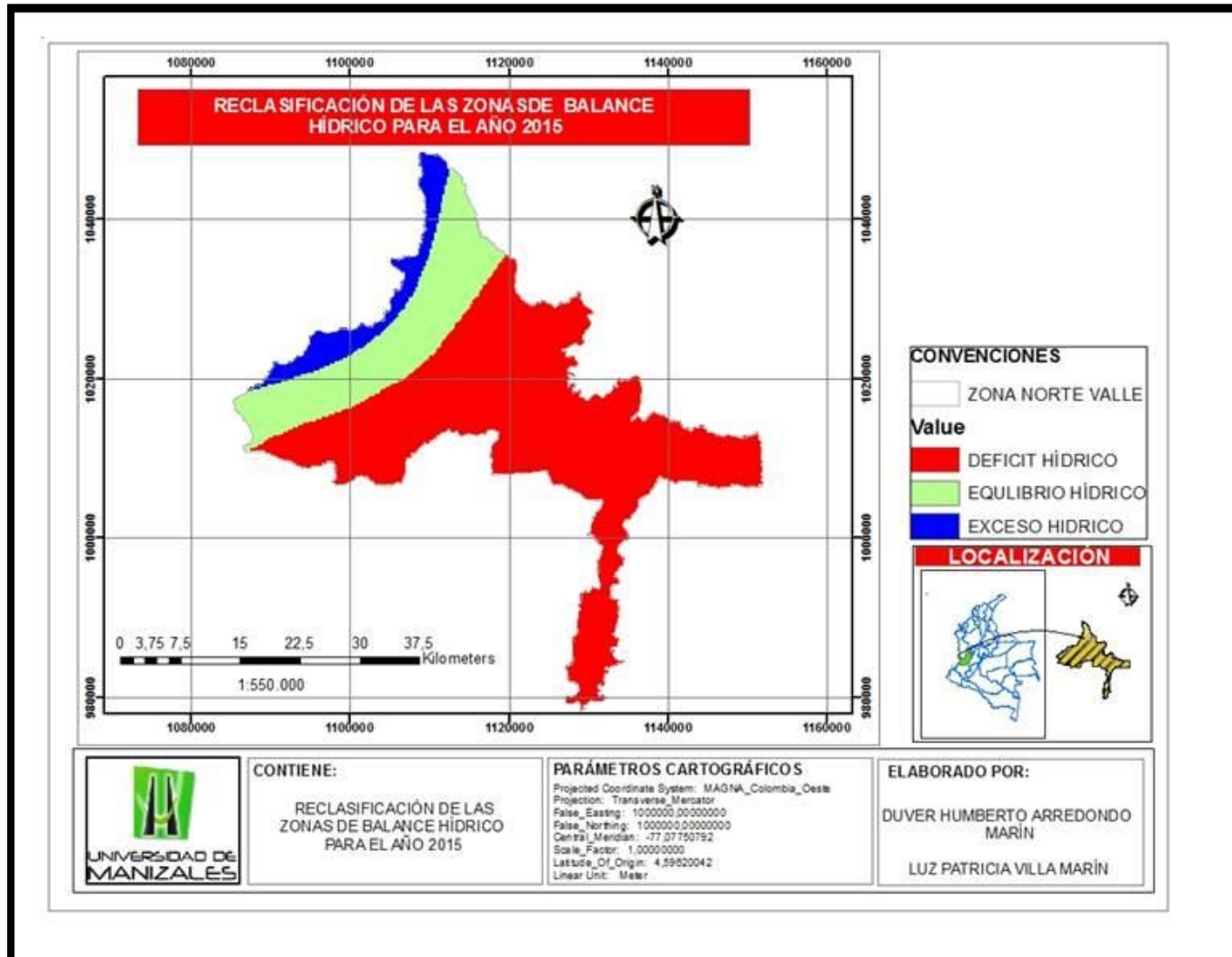
Fuente: Los Autores

FIGURA 25. Mapa de reclasificación de las zonas de balance hídrico para el año 2010.



Fuente: Los Autores

FIGURA 26. Mapa de reclasificación de las zonas de balance hídrico para el año 2015.

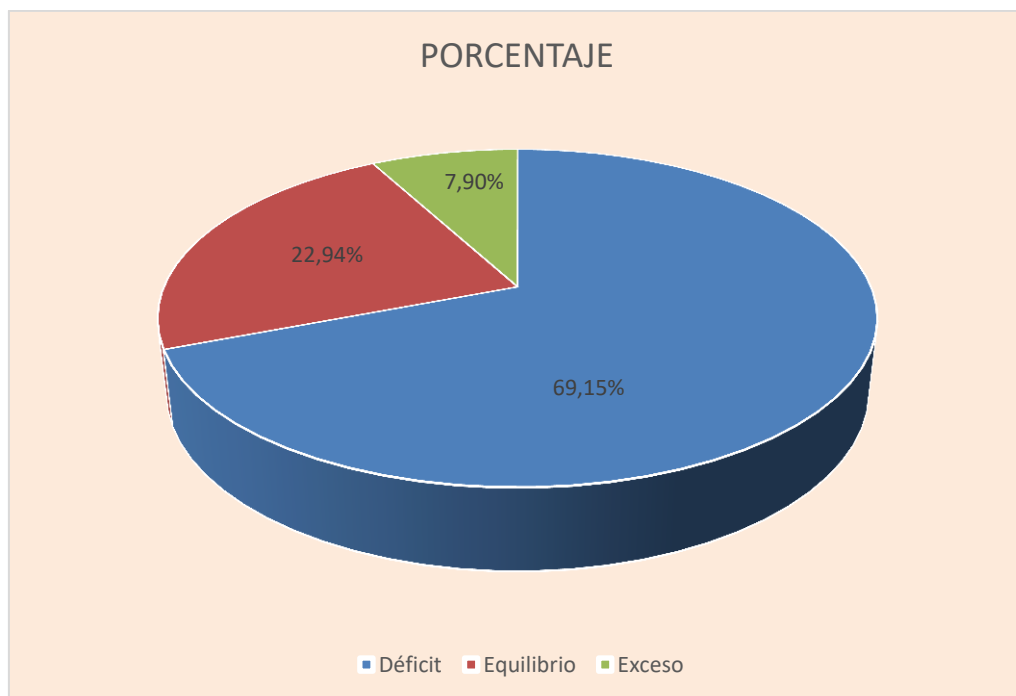


Fuente: Los Autores

CUADRO 12. Cantidad y porcentaje del total del área de estudio por zonas de balance hídricos en el año 2015.

BALANCE	ÁREA	PORCENTAJE
Déficit	85837.71	69.15%
Equilibrio	28484.46	22.94%
Exceso	9808.93	7.90%

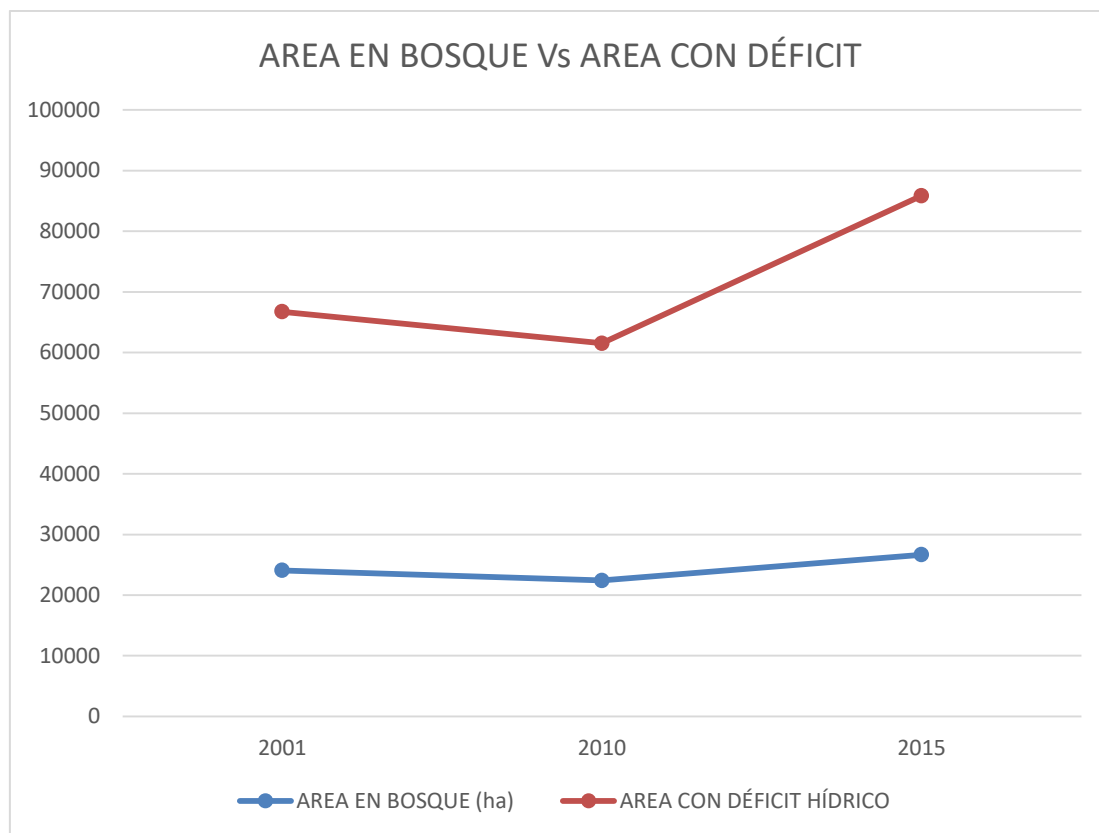
GRÁFICA 13. Cantidad y porcentaje del total del área de estudio por zonas de balance hídricos en el año 2015.



CUADRO 13. Comparación del área en bosque con el área en déficit hídrico por año

PERIODO	ÁREA BOSQUE (ha) EN	ÁREA DÉFICIT CON HÍDRICO	ÁREA EN EQUILIBRIO O EXCESO
2001	24080.38	66706.51	57413.07
2010	22425.53	61521.72	62570.88
2015	26654.93	85837.71	38293.39

GRÁFICA 14. Comparación del área en bosque con el área en déficit hídrico por año





De acuerdo con esta información, para todos los años analizados en la zona de estudio hubo predominancia de zonas con déficit de humedad en el suelo, presentándose una disminución considerable en el año 2010 en este déficit, lo que probablemente guarde relación con la “ola invernal” que se presentó en el país durante ese año.

Por otro lado, algo que resalta de estos resultados es que, como puede observarse en la gráfica 14, contrario a lo que podría esperarse es que de manera global en el área de estudio, la cantidad de bosque es directamente proporcional al déficit hídrico, es decir, que por ejemplo, en el periodo 2001-2010 la cantidad de bosque disminuyó, e igualmente el área con déficit hídrico, también disminuyó.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la distribución de las áreas boscosas en el área de estudio no es uniforme, presentándose zonas con alta densidad boscosa y otras con escasa o nula presencia de relictos boscosos.

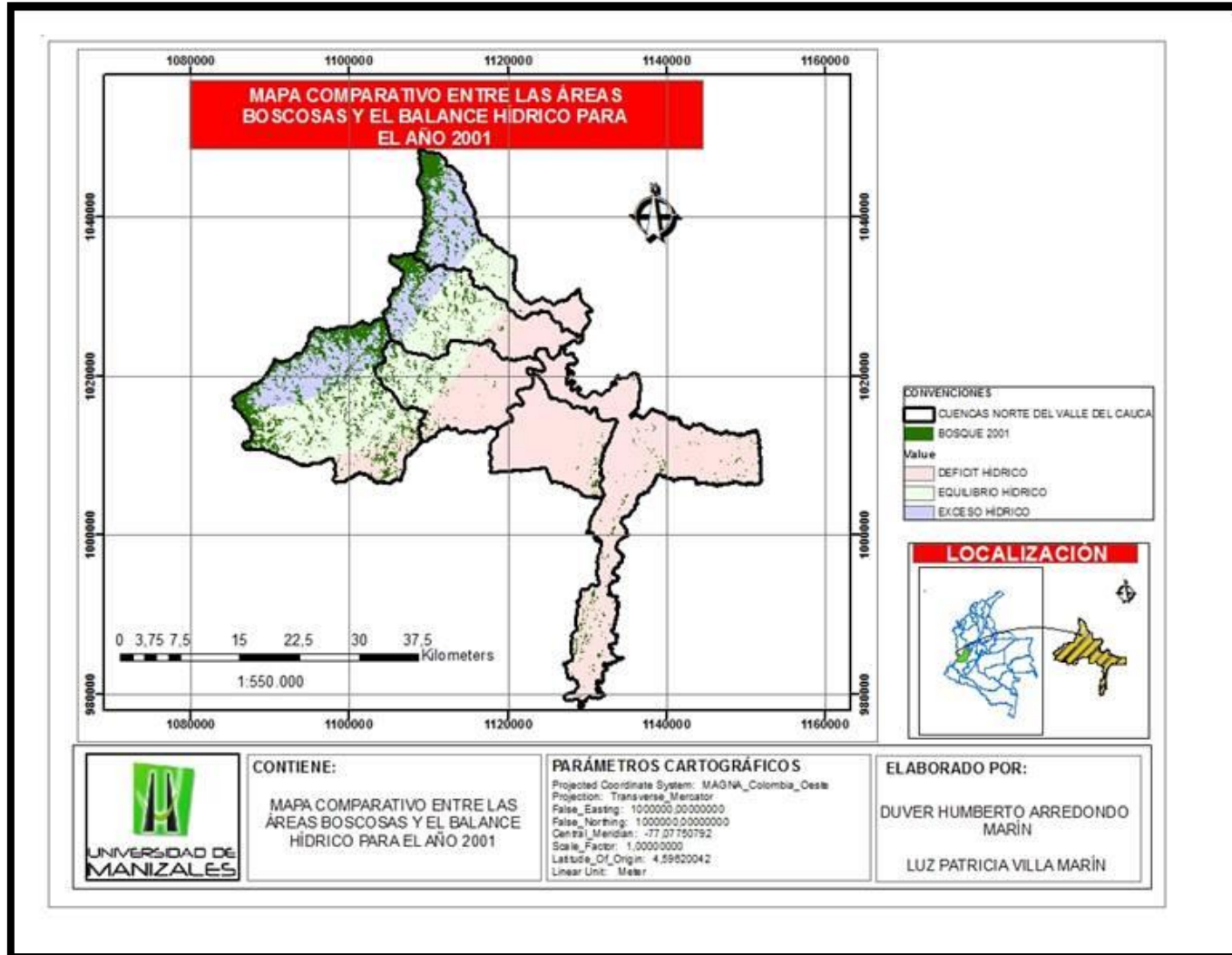
Por ello, se realizó una superposición de los *shapfiles* de cobertura boscosa, balance hídrico y las cuencas del área de estudio, obteniendo los mapas de las figuras 27 a 29.

Para el caso del año 2001, la cantidad de agua en el suelo guarda una relación directa con la densidad de relictos boscosos, presentándose déficit en la zona con menor cantidad de cobertura, mientras que las “franjas” con equilibrio y exceso de humedad coinciden con las zonas de mediana y alta cantidad de bosque. (Figura 27). Esta situación se evidencia igualmente en el cuadro 14, en los cuales se aprecia que la zona de exceso hídrico coincide con la mayor cantidad de bosque.

CUADRO 14. Área boscosa por zonas de balance hídrico

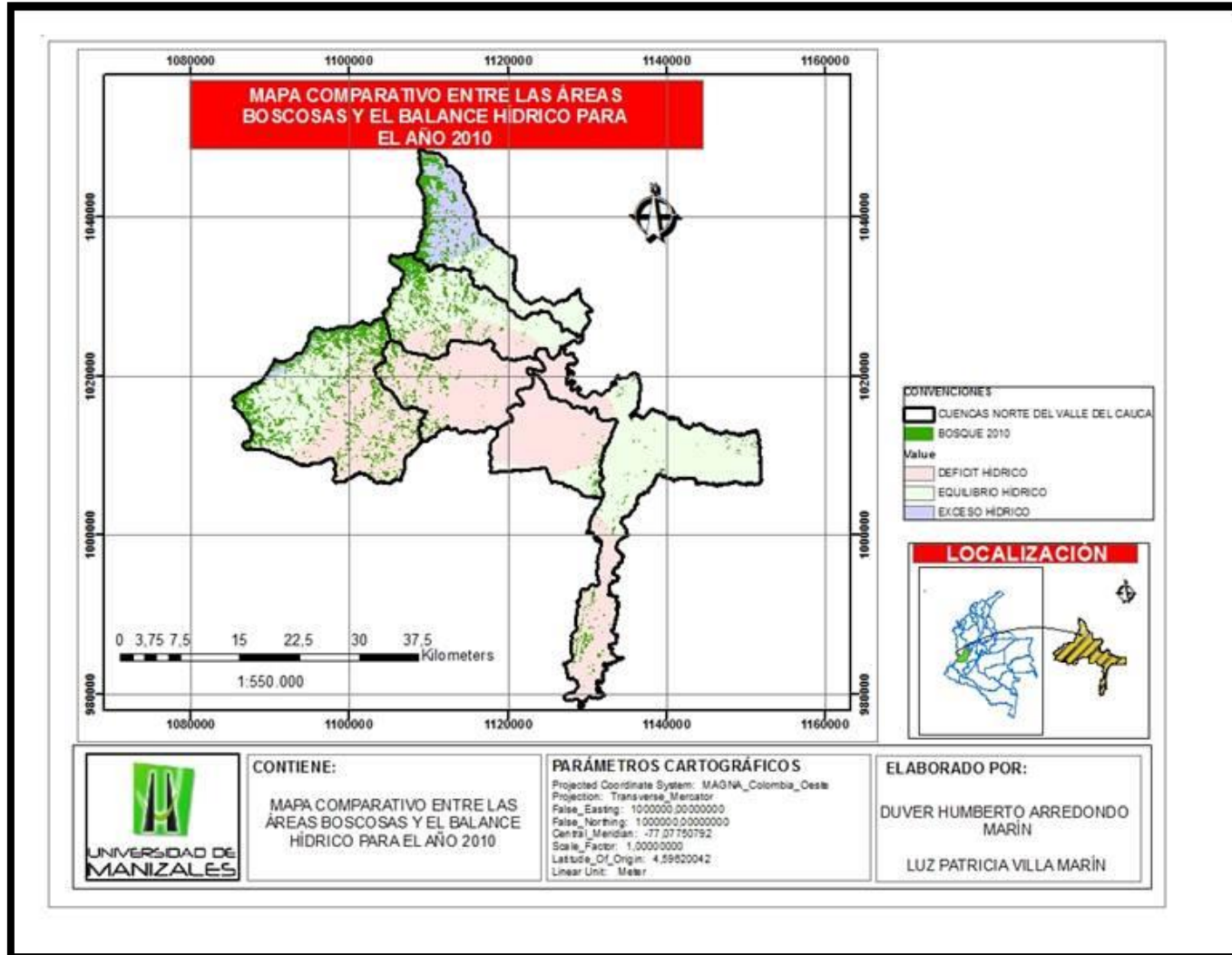
AÑO	ZONA CON DÉFICIT	ZONA EN EQUILIBRIO	ZONA CON EXCESO
2001	2157.85	4977.37	9112.75
2010	4969.14	6679.17	4093.48
2015	4692.55	7247.18	6597.26

FIGURA 27. Mapa comparativo entre las áreas boscosas y el balance hídrico para el año 2001.



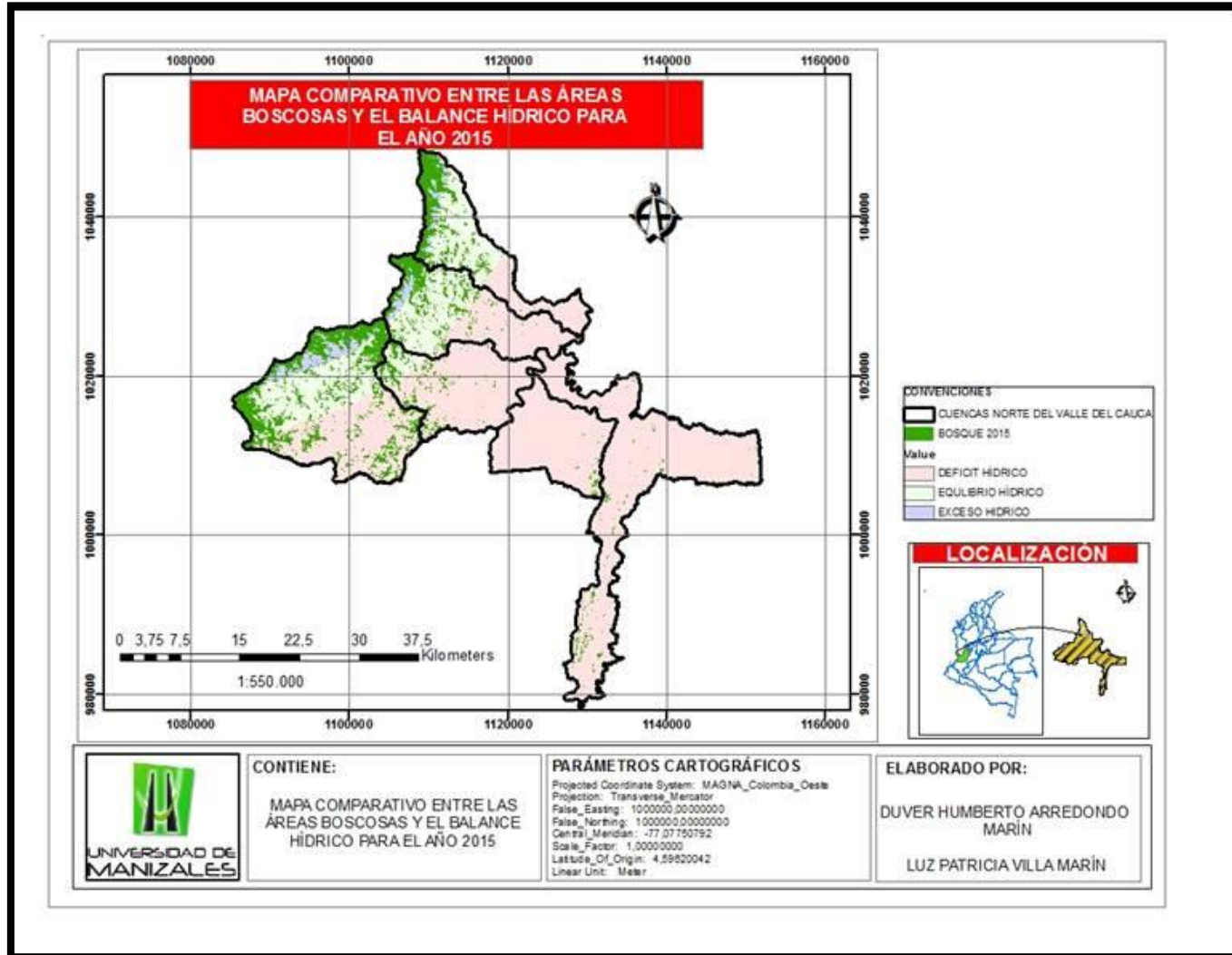
Fuente: Los autores.

FIGURA 28. Mapa comparativo entre las áreas boscosas y el balance hídrico para el año 2010.



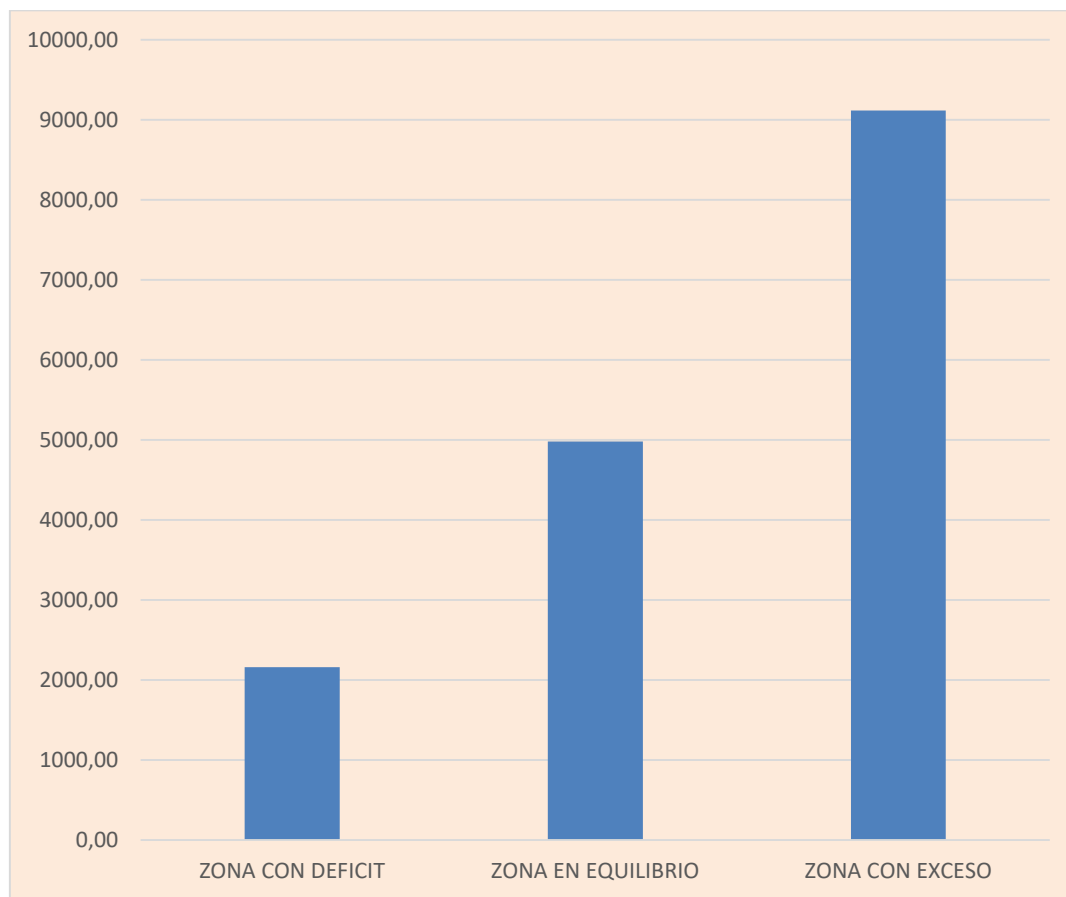
Fuente: Los Autores.

FIGURA 29. Mapa comparativo entre las áreas boscosas y el balance hídrico para el año 2010.



Fuente: Los Autores

GRÁFICA 15. Áreas boscosas por zonas de balance hídrico para el año 2001

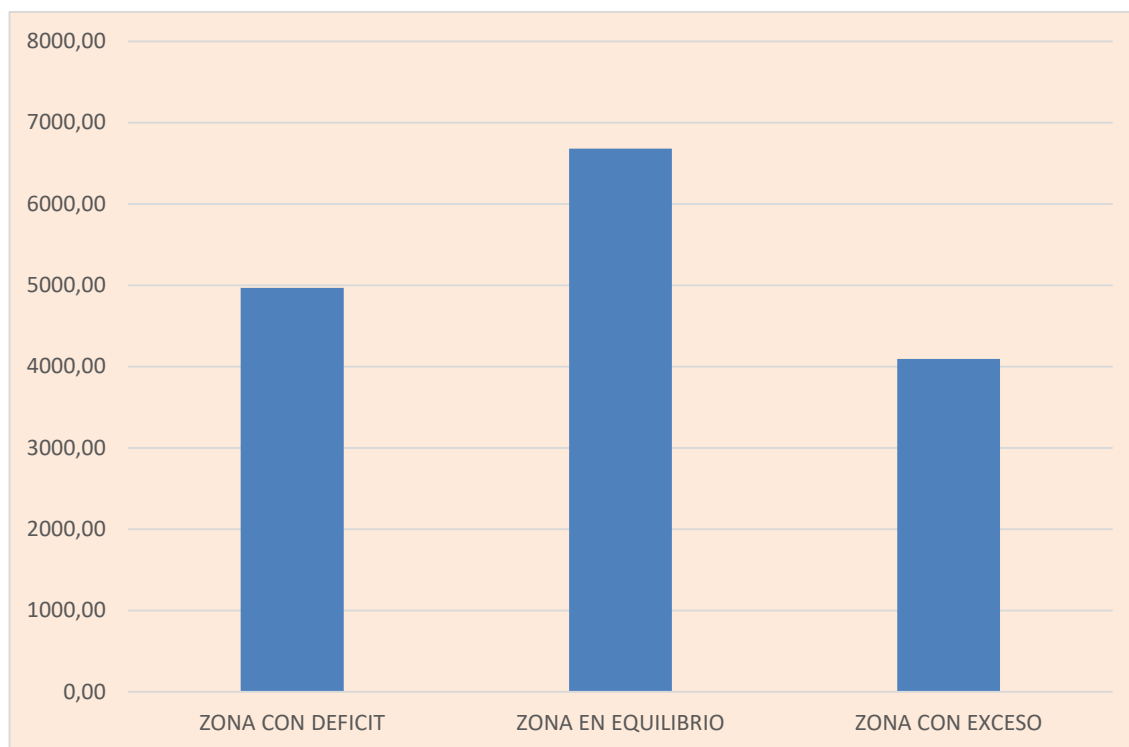


Fuente: Los Autores

De esta manera se observa que las cuencas con mayor déficit en su balance hídrico en el año 2001 son: La Vieja, Obando y Chanco

No obstante, esta situación cambia para el año 2010, en el cual los municipios de Alcalá y Ulloa (Zona de pie de monte de la cuenca La Vieja) pasaron de tener déficit a estar en equilibrio hídrico, mientras que las cuencas Chanco y Garrapatas aumentaron su zona de déficit, quedando reducida la zona de exceso a la parte alta de la cuenca Cañaverl, en donde se ubica el Parque Nacional Natural Tatamá. (Figura 28).

GRÁFICA 16. Áreas boscosas por zonas de balance hídrico para el año 2010



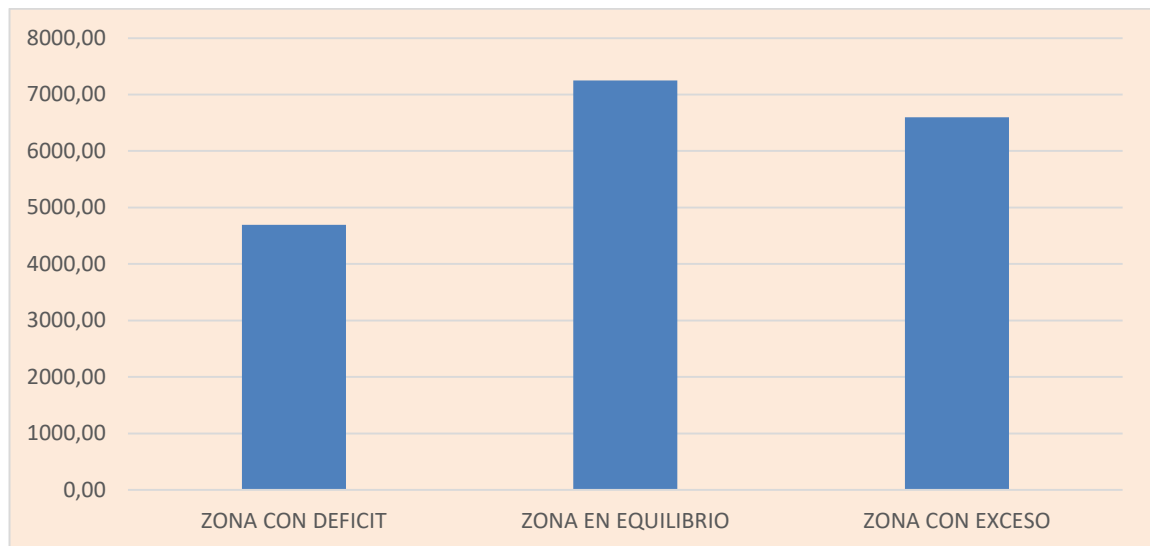
Fuente: Los Autores.

En el gráfico 16 se observa que efectivamente la zona de equilibrio hídrico corresponde a la que mayor cantidad de cobertura boscosa posee.

Para el año 2015 la distribución de las zonas hídricas recupera la distribución “por franjas” que poseía en el año 2001, aunque se presenta un desplazamiento de estas franjas hacia la zona de cordillera por el aumento de las zonas con déficit y equilibrio hídrico.

Con esta situación las cuencas más afectadas son: La Vieja, Obando, Chanco y Catarina.

GRÁFICA 17. Áreas boscosas por zonas de balance hídrico para el año 2015



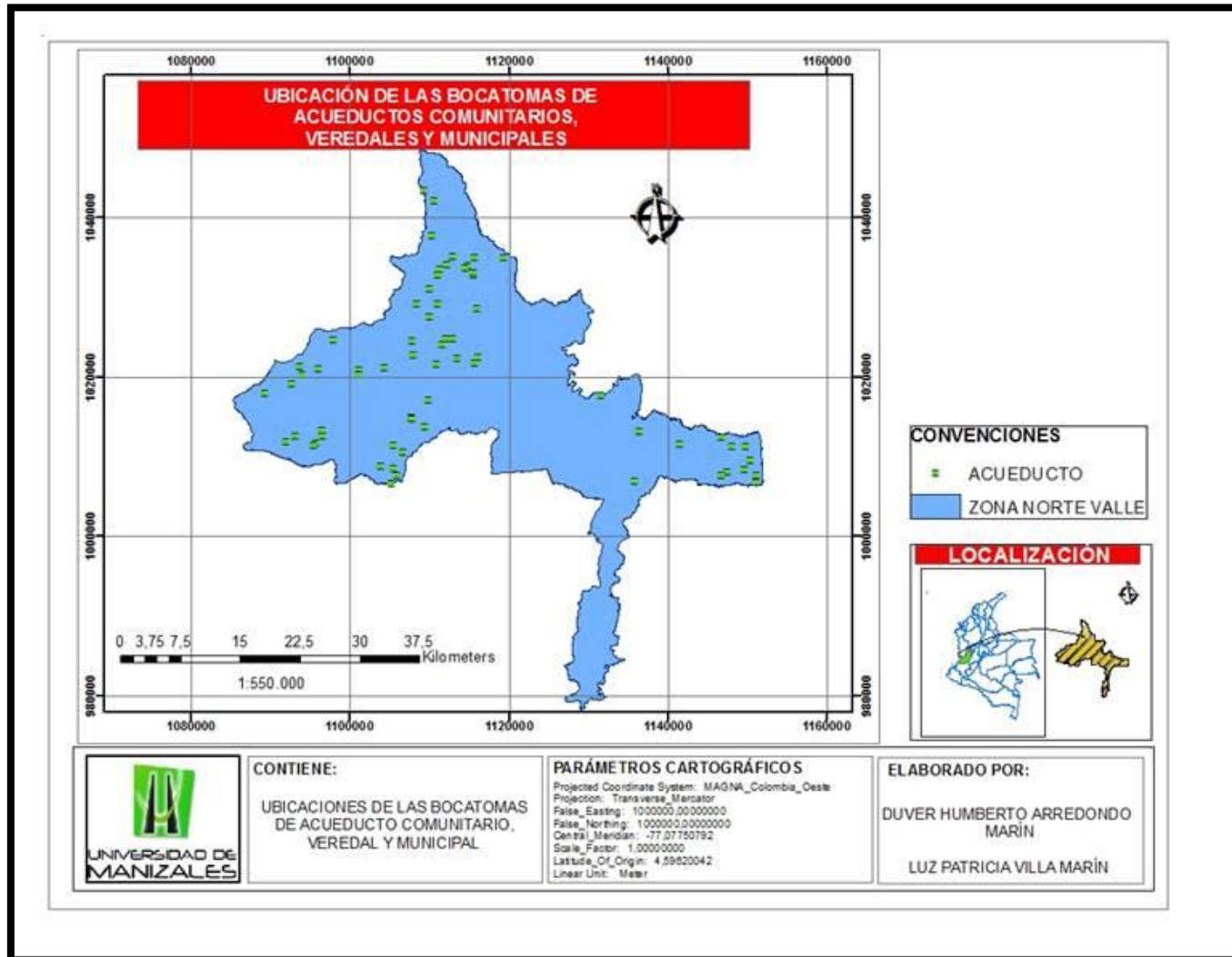
Fuente: Los Autores

### Acueductos veredales y municipales

Con la información obtenida de las coordenadas de los acueductos veredales se elaboró el respectivo *shapefile*, el cual se cruzó con la división de las cuencas, obteniéndose la figura 30.

Para realizar un mejor análisis, esta información se construyó el cuadro 15, en el cual se observa que la mayor cantidad de acueductos se ubican en la cuenca Garrapatas, seguida por la cuenca La Vieja. Sin embargo, para mejorar la comprensión de la presión (demanda de agua) se hizo el cálculo de la densidad de acueductos, esto es dividir el número de bocatomas en el área de la cuenca.

FIGURA 30. Ubicación de las bocatomas de los acueductos comunitarios, veredales y municipales.



Fuente: Los Autores

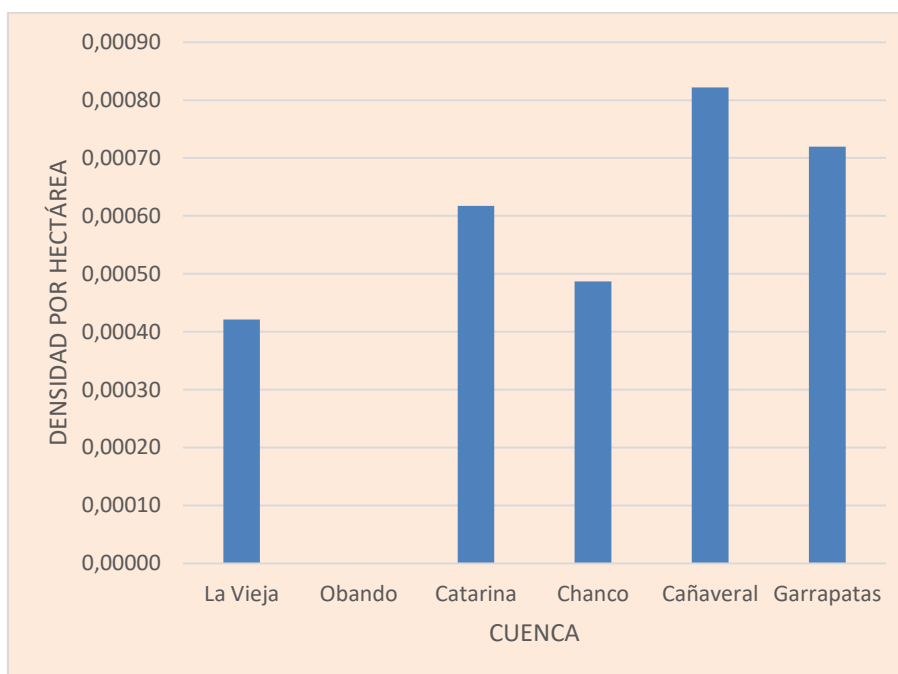


CUADRO 15. Cantidad, porcentaje y densidad de acueductos por cuenca

CUENCA	CANTIDAD ACUEDUCTOS	PORCENTAJE	ÁREA CUENCA (ha)	DENSIDAD ACUEDUCTOS POR ha
La Vieja	13	20%	30874.41	0.00042
Obando	0	0%	13829.91	0.00000
Catarina	11	17%	17820.24	0.00062
Chanco	8	12%	16435.15	0.00049
Cañaverl	12	18%	14601.81	0.00082
Garrapatas	22	33%	30563.49	0.00072
TOTAL	66	100%		

Fuente: Los Autores

GRÁFICA 18. Densidad de acueductos por hectárea por cuenca



Fuente: Los Autores

Se observa que la mayor densidad de acueductos por unidad de área la tiene la cuenca cañaverl, seguida por las cuencas Garrapatas y Catarina.

Con base en la información anterior, se hace un análisis de vulnerabilidad de al desabastecimiento hídrico, teniendo como factores de ponderación la deforestación, las variaciones del balance hídrico y la demanda de agua por acueductos, asignando valores en escala de 1 a 5, en donde 1 equivale los factores de riesgo más bajos, y 5 a los valores más altos, así:

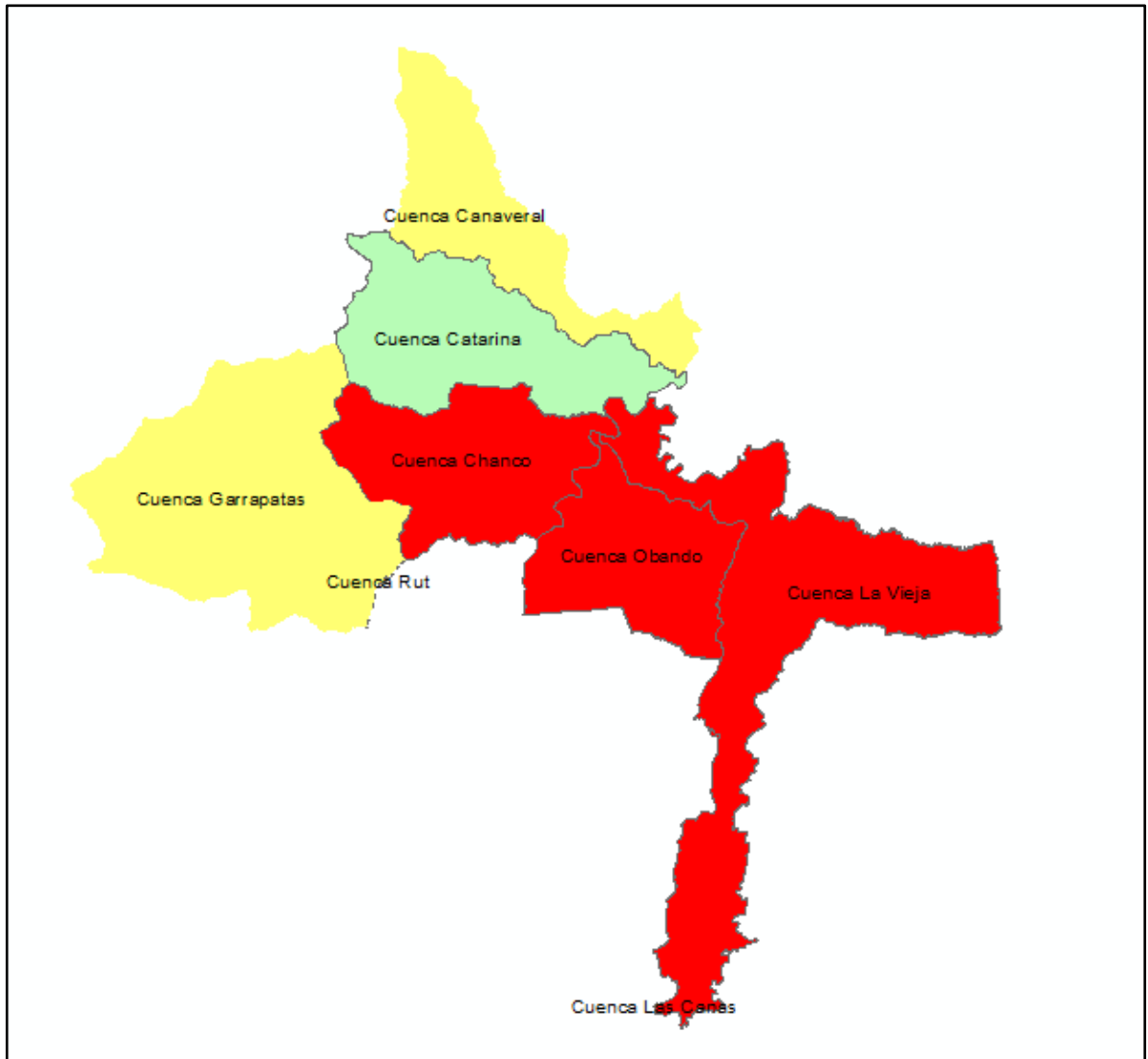
Cuadro 16. Análisis de la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico

<b>CUENCA</b>	<b>DEFORESTACION</b>	<b>BALANCE HÍDRICO</b>	<b>DEMANDA POR ACUEDUCTOS</b>	<b>CALIFICACION</b>
La Vieja	5	5	2	12
Obando	5	5	0	10
Catarina	1	2	3	6
Chanco	3	5	2	10
Cañaveral	1	3	4	8
Garrapatas	3	2	3	8

Fuente: Los Autores

De esta manera, los valores más altos en la columna de calificación corresponden a la mayor vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico, y en la figura se muestra gráficamente esta calificación, en donde el color rojo corresponde a las vulnerabilidad más alta y el verde a la mas baja:

Figura 31. Vulnerabilidad hídrica de las cuencas del Norte del Valle



## 6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el análisis realizado a la dinámica de las coberturas boscosas de forma global para toda el área de estudio se observa disminución en el periodo 2001-2010 y aumento para el periodo 2010-2015. No obstante, el análisis llevado a cabo para cada una de las cuencas de manera individual muestra que este comportamiento no es generalizado y que cada cuenca tiene sus particularidades.

Por otro lado, las cuencas La Vieja y Obando, son las que menor cantidad de cobertura boscosa presentan, por lo cual es importante resaltar que la zona plana de estas dos cuencas hace parte del valle geográfico del Río Cauca, en donde se presenta una fuerte presión sobre los bosques para la expansión de la frontera agrícola, en especial para el cultivo de la Caña de Azúcar, cuya industria domina el uso de la tierra.

Las zonas boscosas de mayor dimensión se ubican en las partes altas de la cordillera occidental en las cuencas Cañaverál, Catarina, Chanco y Garrapatas, en zona limítrofe con el departamento del Chocó, y tienen la particularidad de NO ser relictos boscosos, sino que hacen parte de una gran masa forestal continua que no se refleja en la cartografía utilizada para este trabajo por efectos de la división política departamental y del área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC-.

Lo anterior, resalta además que el bosque en el área de estudio presenta un alto grado de fragmentación, es decir está constituido por pequeñas áreas aisladas, que las hacen más vulnerables a las presiones socioeconómicas, y tienen grandes limitantes para cumplir con su papel de conectividad biológica.

La notable recuperación evidenciada en la cuenca Cañaverál está concentrada en la parte alta, en donde se encuentra el Parque Nacional Natural Tatamá, lo que puede mostrar un alto grado de efectividad de los programas de educación ambiental, inversiones ambientales y control y vigilancia, desarrollados tanto por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC- y la Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales en el área del parque y en su zona amortiguadora.

Para el caso de la cuenca Garrapatas, en la cual se observaron las mayores cantidades de bosque natural, debe tenerse en cuenta que esta cuenca hace parte de la Zona de Reserva Forestal del Pacífico establecida por la Ley 2 de 1959, la cual, si bien no limita el uso del suelo a funciones conservacionistas, sí condiciona en gran medida las actividades productivas que allí se desarrollan, favoreciendo esto la cobertura forestal.

La situación de las cuencas La Vieja y Obando requiere un especial manejo, puesto que además de ser las cuencas con menor cantidad de bosque, presentaron disminución de esta cobertura al año 2015.

Sin embargo, también es necesario definir prioridades al interior de estas dos cuencas, ya que en términos de demanda hídrica para acueductos, en la cuenca Obando no se presentan bocatomas, y aunque en la zona plana de la cuenca La Vieja se ubica la bocatoma con mayor demanda de agua como es la del acueducto de Cartago, su dinámica no solo depende de la porción de cuenca que se encuentra en el Departamento del Valle del Cauca, sino que la mayoría de la

cuenca se ubica en el Departamento del Quindío, y por lo tanto depende de los cambios en las coberturas de este departamento.

Entre las cuencas de la zona de cordillera, en el año 2015 la que menor porcentaje de suelo en bosque presentó fue Chanco (26.9%), lo cual reviste gran relevancia porque es allí en donde se encuentran las dos bocatomas de la cabecera del municipio de Ansermanuevo.

Las cuencas que mostraron una fuerte recuperación de la cobertura boscosa para el periodo 2010-2015 corresponden a las ubicadas en la zona cordillera. Lo anterior refleja una situación que realmente se evidencia en el territorio, como lo es el abandono de muchas fincas por motivos económicos, sociales y de orden público que se ha presentado en los últimos años en la región.

Aunque de manera global en el área de jurisdicción de la Dirección Ambiental Regional Norte de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC- , no se encontró una relación entre la disminución de la cobertura boscosa y el aumento en las zonas con déficit en su balance hídrico, en análisis realizado por cada una de las cuencas, sí se encontró una relación directa entre la cantidad de bosque y el balance hídrico, de tal manera que las zonas con mayor cobertura boscosa se encontraron en exceso o equilibrio hídrico. Sin embargo, se observó una leve variación de esta relación en el año 2010 por efecto de la temporada invernal atípica que ocasionó el llamado “Fenómeno de la Niña” en el país.

## 7. CONCLUSIONES

Aunque la dinámica de las cuencas en los tres años analizados ha sido muy particular para cada una, tomando como referencia el periodo completo del 2001-2015, todas las cuencas mostraron aumento en sus áreas boscosas, excepto las cuencas La Vieja y Obando, en las cuales se han presentado una pérdida acumulada de 174.21 ha y 13.48 ha, respectivamente.

No obstante, es de resaltar que la Cuenca Chanco es la que menor cobertura boscosa en términos relativos presenta entre las demás cuencas de la Cordillera Occidental.

Los predios abandonados por coyunturas socioeconómicas inician un proceso sucesional en cual pasan a ser terrenos cubiertos con vegetación tipo rastrojo, para luego convertirse en matorrales altos, que captados con las fotografías satelitales, según la clasificación *Corine Land Cover*, entran en la categoría de bosque natural.

Sin embargo, esta situación hace que esta nueva “cobertura boscosa” no sea de características muy estables, puesto están sujetas a posibles adecuaciones de terreno para recuperar las zonas de cultivo, con lo cual, la probabilidad de que un nuevo análisis de la cobertura boscosa en el corto plazo muestre una considerable disminución.

Del análisis del grado de conservación de los relictos boscosos entre cada año de análisis se concluye que existe una fuerte dinámica de conversión de zonas de cultivo en bosque y viceversa, lo que denota un alto grado de inestabilidad en las coberturas boscosas.

Las áreas forestales protectoras se constituyen en un gran potencial para aumentar mediante proyectos de reforestación y/o restauración las áreas con cobertura boscosa, y mejorar la conectividad ecológica de la región.

**Según la ponderación de los factores de vulnerabilidad , se concluye que las cuencas La Vieja, Obando y Chanco son las más vulnerables al desabastecimiento de agua en el Norte del Departamento del Valle de Cauca**

Las cuencas con mayor demanda de uso del agua son Cañaveral, Garrapatas y Catarina, no obstante debe tenerse en cuenta que para el presente estudio sólo se incluyeron las bocatomas de los acueductos veredales o municipales, y no todas las concesiones otorgadas a propietarios de predios rurales, que al ser incluidas, y

analizando los respectivos caudales otorgados podría modificar sustancialmente este panorama de demanda del recurso hídrico.

En relación con los Sistemas de Información Geográfica, se concluye que en este tipo de estudios, se constituyen en herramientas de una gran importancia y utilidad para el procesamiento y análisis de información climatológica y para el cálculo de tasas de deforestación, sin embargo, para la toma de decisiones relacionadas con la implementación de herramientas de manejo del paisaje, es necesario utilizar una escala más detallada que permita un análisis a nivel veredal o predial

## 8. RECOMENDACIONES

Los esfuerzos y las inversiones de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC- en el norte del Departamento deben estar enfocados hacia las cuencas La Vieja, Obando y Chanco, mediante acciones de restauración de la cobertura forestal, sensibilización ambiental y control y vigilancia de los recursos naturales.

Para el caso específico de la cuenca La Vieja, la mayor atención por parte de la Corporación debe dirigirse hacia la zona de colinas bajas de la cordillera central en donde se hallan los municipios de Alcalá y Ulloa, y se presenta una alta densidad de acueductos, y por ende una mayor demanda de agua.

En relación con la cuenca Chanco, la prioridad debe ser la zona alta que drena sus aguas a las bocatomas del acueducto de la cabecera municipal.

En los procesos de recuperación de la cobertura boscosa las zonas forestales protectoras de las corrientes hídricas se constituyen en áreas de especial importancia, no solo por su efecto en la regulación hídrica, sino también por su impacto positivo en la conectividad ecológica de los relictos boscosos existentes.

Como una situación particular, la CVC debe priorizar esfuerzos de deforestación evitada principalmente en la cuenca Cañaveral ya que es donde se presenta de manera notoria el fenómeno de potencial inestabilidad de las zonas en recuperación de la cobertura boscosa y en donde existe una mayor densidad de acueductos veredales.

Es imperioso para la Corporación iniciar un proceso de georreferenciación de todas las concesiones de agua otorgadas, en aras de dar un mayor alcance al análisis de la demanda hídrica, que combinada esta información con los datos de la oferta hídrica y los caudales otorgados, se pueda llegar a la reglamentación del recurso para las cuencas de la Dirección Ambiental Regional Norte.

Las herramientas geoinformáticas utilizadas en el estudio realizado le permiten a la Corporación tomar decisiones sobre hacia cuáles cuencas encaminar sus prioridades de inversión en materia forestal y de conservación del recurso hídrico; sin embargo, para obtener una mayor precisión en cuanto a la priorización de unidades de intervención (por ejemplo a nivel veredal o predial) se recomienda este tipo de análisis se realice con información cartográfica de una escala con mayor detalle (p.e 1:25.000)



## BIBLIOGRAFÍA

ARANGO C, Román Adolfo, y otros. Análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Popayán, Cauca entre los años 1989, 2002 y 2014. Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de Especialista en Información Geográfica. Universidad de Manizales. 2016. 61 p.

BREÑA P, Agustín Felipe - Jacobo V, Marco Antonio. Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 2006. 289 p.

FONSECA PERALTA, Héctor. Efectos de la deforestación sobre la dinámica hídrica de una selva nublada en la cuenca del río Cusiana, Colombia. 2004.

Hernández R, Olga Patricia. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio del Distrito Central años 1987 y 2006. Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de Master en Ordenamiento y Gestión del Territorio.

IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

Ocampo López, Olga Lucía (2012) Análisis de vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático = Chinchina river basin vulnerability analysis for stationary conditions and climate change. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.

Palacios B, Erika. Análisis multitemporal en la cobertura boscosa de la zona norte del departamento del Chocó, 1990 – 2014. Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de Especialista en Información Geográfica. Universidad de Manizales. 2015. 51 p.

TORRES C, Lina María. Análisis de la evaporación de corrientes hídricas usando métodos de interpolación espacial en Antioquia. 49 p. 2017

TORRES P, Iván Camilo – CASTRO R, María Andrea. Estudio de cambios de coberturas y usos del suelo en la cuenca del Río Hacha, Florencia – Caquetá. 63 p.



**ANEXO A**  
**METADATO DE LA IMAGEN LANDSAT 7**

<b>Data Set Attribute</b>	<b>Attribute Value</b>
Landsat Product Identifier	LE07_L1TP_009057_20150103_20161030_01_T1
Landsat Scene Identifier	LE70090572015003EDC00
Acquisition Date	03/01/2015
Scan Line Corrector	OFF
Collection Category	T1
Collection Number	1
Sensor Mode	BUMPER
WRS Path	9
WRS Row	57
Date L-1 Generated	30/10/2016
Start Time	2015:003:15:17:14.1746875
Stop Time	2015:003:15:17:40.9286249
Station Identifier	EDC Sioux Falls, South Dakota, USA (aka LGS)
Day/Night Indicator	Day
Land Cloud Cover	22
Scene Cloud Cover	22
Ground Control Points Model	52
Ground Control Points Version	4
Geometric RMSE Model	5.233
Geometric RMSE Model X	3.474
Geometric RMSE Model Y	3.914
Image Quality VCID 1	9
Image Quality VCID 2	9
Gain Band 1	H
Gain Band 2	H
Gain Band 3	H
Gain Band 4	L
Gain Band 5	H
Gain Band 6 VCID 1	L
Gain Band 6 VCID 2	H
Gain Band 7	H
Gain Band 8	L
Gain Change Band 1	HH

<b>Data Set Attribute</b>	<b>Attribute Value</b>
Gain Change Band 2	HH
Gain Change Band 3	HH
Gain Change Band 4	LL
Gain Change Band 5	HH
Gain Change Band 6 VCID 1	LL
Gain Change Band 6 VCID 2	HH
Gain Change Band 7	HH
Gain Change Band 8	LL
Processing Software Version	LPGS_12.8.2
Calibration Parameter File	LE07CPF_20150101_20150331_01.02
Full Aperture Calibration	N
Sun Elevation	51.63571548
Sun Azimuth	136.2329559
Gap Phase Source	DE
Gap Phase Statistic	10.164752
Data Type Level-1	L1TP
Output Format	GEOTIFF
Ephemeris Type	DEFINITIVE
Corner UL Latitude Product	5.28897 (5°17'20.29"N)
Corner UL Longitude Product	-77.09963 (77°05'58.67"W)
Corner UR Latitude Product	5.29252 (5°17'33.07"N)
Corner UR Longitude Product	-74.92600 (74°55'33.60"W)
Corner LR Latitude Product	3.40084 (3°24'03.02"N)
Corner LR Longitude Product	-74.92618 (74°55'34.25"W)
Corner LL Latitude Product	3.39856 (3°23'54.82"N)
Corner LL Longitude Product	-77.09441 (77°05'39.88"W)
Panchromatic Lines	13941
Panchromatic Samples	16061
Reflective Lines	6971
Reflective Samples	8031
Thermal Lines	6971
Thermal Samples	8031
Map Projection Level-1	UTM
UTM Zone	18

<b>Data Set Attribute</b>	<b>Attribute Value</b>
Datum	WGS84
Ellipsoid	WGS84
Grid Cell Size Panchromatic	15
Grid Cell Size Reflective	30
Grid Cell Size Thermal	30
Scan Gap Interpolation	2
Orientation	NORTH_UP
Resampling Option	CUBIC_CONVOLUTION
Center Latitude	4°20'05.14"N
Center Longitude	76°00'32.00"W
NW Corner Lat	5°16'00.98"N
NW Corner Long	76°41'13.42"W
NE Corner Lat	5°01'12.97"N
NE Corner Long	74°59'08.41"W
SE Corner Lat	3°24'10.01"N
SE Corner Long	75°19'54.59"W
SW Corner Lat	3°38'56.36"N
SW Corner Long	77°01'48.14"W
Center Latitude dec	4.33476
Center Longitude dec	-76.00889
NW Corner Lat dec	5.26694
NW Corner Long dec	-76.68706
NE Corner Lat dec	5.02027
NE Corner Long dec	-74.98567
SE Corner Lat dec	3.40278
SE Corner Long dec	-75.33183
SW Corner Lat dec	3.64899
SW Corner Long dec	-77.03004