

**DETERMINACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES PARA EL DESARROLLO DE
BOSQUE SECO EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS**

JENIFFER CATHERINE GARCÍA LÓPEZ



**UNIVERSIDAD DE
MANIZALES®**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2020**

**DETERMINACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES PARA EL DESARROLLO DE
BOSQUE SECO EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS**

JENIFFER CATHERINE GARCÍA LÓPEZ

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

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2020**

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos a:

Jhonny Perea Álvarez, Ingeniero Topográfico y Especialista en Sistemas de Información Geográfica, por sus aportes y acompañamiento como asesor del trabajo.

Fabián Gaviria Ortiz, Biólogo especialista en Sistemas de Información Geográfica y Msc. en Ciencias Biológicas, por sus aportes y acompañamiento como asesor.

Luis Carlos Correa Ortiz, Docente de la Universidad de Manizales por la asesoría en el desarrollo de este trabajo.

CONTENIDO

GLOSARIO	7
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	11
1. AREA PROBLEMÁTICA	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. MARCO TEORICO	15
4.1 EL BOSQUE SECO TROPICAL.....	15
4.2 IMPORTANCIA DE LOS BOSQUES SECOS	16
4.3 SITUACIÓN DE LOS BOSQUES SECOS EN COLOMBIA	16
4.4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	17
5. MARCO REFERENCIAL	18
6. MARCO CONTEXTUAL	20
7. MARCO JURÍDICO	21
8. METODOLOGÍA	23
8.1 ÁREA DE ESTUDIO	23
8.2 MANEJO DE INFORMACIÓN Y SISTEMA DE REFERENCIA.....	25
8.3 PARÁMETROS DEFINIDOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL BOSQUE SECO	25
8.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA.....	25
8.5 CORRECCIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (DEM)	29
8.6 RECLASIFICACIÓN DE LAS ALTURAS DEL DEM.....	29
8.7 GENERACIÓN DE LA SUPERFICIE DE PRECIPITACIÓN	30
8.9 INTERSECCIÓN DE CAPAS	35
8.10 COMPLEMENTACIÓN CON INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL IAVH	36
9. RESULTADOS	37
9.1 MODELACIÓN CLIMÁTICA Y TOPOGRÁFICA	37
9.2 ÁREAS POTENCIALES PARA EL DESARROLLO DE BOSQUES SECOS	41
9.3 BOSQUE SECO TROPICAL EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS	42
10. CONCLUSIONES	52
11. RECOMENDACIONES	53
12. BIBLIOGRAFÍA	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del área de estudio: Departamento de Caldas.	24
Figura 2. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el desarrollo del presente estudio.	28
Figura 3. Alturas comprendidas entre 0 y 1300 m (áreas en verde), obtenidas a partir de la reclasificación del DEM.	29
Figura 4. Modelo de Precipitación (interpolación IDW) generado a partir de los valores de precipitación total.	30
Figura 5. Proceso de reclasificación del modelo de precipitación.	31
Figura 6. Precipitación total anual comprendida entre 250 y 2000 mm (áreas en azul), obtenida a partir de la reclasificación del modelo de precipitación.	32
Figura 7. Distribución espacial de las estaciones climatológicas con datos de temperatura.	33
Figura 8. Piso térmico cálido (áreas en naranja) extraído del DEM reclasificado.	34
Figura 9. Capas intersectadas para la generación de áreas potenciales para el desarrollo del bosque seco en el departamento de Caldas.	35
Figura 10. Mapa de distribución del bosque seco en el departamento de Caldas. Fuente: IAvH, 2014.	36
Figura 11. Mapa de precipitación total anual comprendida entre 250 y 2000 mm.	38
Figura 12. Mapa de alturas comprendidas entre 0 y 1300 m.s.n.m.	39
Figura 13. Mapa de piso térmico con temperaturas mayores a 24°C.	40
Figura 14. Mapa de áreas potenciales para el desarrollo de bosque seco en el departamento de Caldas a partir del cruce de variables climáticas y topográficas.	41
Figura 15. Mapa de áreas potenciales de bosque seco tropical en el departamento de Caldas.	43
Figura 16. Área potencial de bosque seco en el municipio de Aguadas.	45
Figura 17. Área potencial de bosque seco en el municipio de Anserma.	45
Figura 18. Área potencial de bosque seco en el municipio de Belalcázar.	46
Figura 19. Área potencial de bosque seco en el municipio de Filadelfia.	46
Figura 20. Área potencial de bosque seco en el municipio de La Dorada.	47
Figura 21. Área potencial de bosque seco en el municipio de La Merced.	47
Figura 22. Área potencial de bosque seco en el municipio de Marmato.	48
Figura 23. Área potencial de bosque seco en el municipio de Neira.	48
Figura 24. Área potencial de bosque seco en el municipio de Pacora.	49
Figura 25. Área potencial de bosque seco en el municipio de Riosucio.	49
Figura 26. Área potencial de bosque seco en el municipio de Salamina.	50
Figura 27. Área potencial de bosque seco en el municipio de Supía.	50
Figura 28. Área potencial de bosque seco en el municipio de Victoria.	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Definiciones del ecosistema de bosque seco.	15
Tabla 2. Ubicación geográfica del departamento de Caldas.....	23
Tabla 3. Sistema de referencia espacial para la zona de estudio.....	25
Tabla 4. Parámetros climáticos y topográficos que definen el ecosistema de bosque seco para el departamento de Caldas.	25
Tabla 5. Georreferenciación de las estaciones meteorológicas ubicadas en el departamento de Caldas.	26
Tabla 6. Clasificación de pisos térmicos para el departamento de Caldas (Fuente: IGAC, 2014)	34
Tabla 7. Resultados obtenidos en el desarrollo de cada actividad propuesta.	37
Tabla 8. Área potencial de bosque seco tropical en el departamento de Caldas .	44

GLOSARIO

Bosque seco tropical: Bioma forestal que se presenta en tierras bajas de zonas tropicales y se caracteriza por presentar una estacionalidad marcada de lluvias con varios meses de sequía.

Cobertura vegetal: Atributo de la tierra que ocupa una porción de la superficie y se origina de ambientes naturales, producto de la evolución ecológica o a partir de ambientes artificiales creados y mantenidos por el hombre.

Decidua: Plantas que presentan una marcada tendencia a botar sus hojas en épocas secas; por el contrario, son frondosas en periodos húmedos.

Ecosistema: Complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos que interactúan como unidad funcional materializada en un territorio, el cual presenta homogeneidad en sus condiciones biofísicas y antrópicas.

Endemismo: Valor ecológico e histórico dependiente de la escala geográfica de un área de distribución restringida de un taxón o especie en específico.

Estado de conservación: Medida que verifica la posibilidad de que cierta especie o hábitat continúe existiendo, teniendo en cuenta las tendencias que se han dado a lo largo de la historia y posibles amenazas del entorno.

Frontera agrícola: Límite visible entre el establecimiento de dos coberturas, una de tipo natural y otra de tipo antrópico.

IDW: Método de interpolación de predicción que asume implícitamente la continuidad de la variable, pues se basa en un conocido principio de las ciencias de la tierra que postula que “los valores cercados son probablemente más similares que los que se encuentran más separados”.

Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt (IAvH): Entidad colombiana orientada a la investigación científica sobre biodiversidad, incluyendo los recursos hidrobiológicos y genéticos.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC): Entidad encargada de producir el mapa oficial y la cartografía básica de Colombia; elaborar el catastro nacional de la propiedad inmueble; realizar el inventario de las características de los suelos, entre otras funciones.

Modelo de elevación digital (DEM): Representación digital de la altitud como variable continua sobre una superficie bidimensional.

Neotrópico: Nombre que recibe una extensión de territorio, ecosistemas, fauna y flora que se extiende desde México hasta el sur de Brasil, abarcando la totalidad de Centroamérica, el Caribe y casi toda América del Sur, aunque algunos estudios incluyen la totalidad del Cono Sur.

Precipitación: Cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (llovizna o lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo).

Sensores remotos: Instrumentos para captar información de un objeto a distancia.

Servicios ecosistémicos: Contribuciones directas o indirectas que hacen los ecosistemas al bienestar humano, lo cual se ve representado en elementos o funciones derivadas de los ecosistemas que son percibidas, capitalizadas y disfrutadas por el ser humano como beneficios que incrementan su calidad de vida.

Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP): Conjunto de áreas protegidas, actores sociales y estrategias e instrumentos de gestión que las articulan, para contribuir como un todo al cumplimiento de los objetivos de conservación del país. Incluye todas las áreas protegidas de gobernanza pública, privada o comunitaria, y del ámbito de gestión nacional, regional o local.

Sistema Regional de Áreas Protegidas (SIRAP): Unidad básica del SINAP que busca articular las iniciativas de conservación del nivel regional y local dentro de un sistema que permita atender las necesidades de conservación de la biodiversidad y asegurar la oferta de bienes y servicios ambientales.

Sistemas de Información geográfica (SIG): Conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica con el fin de cumplir ciertos propósitos.

Variable: Propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de adoptar diferentes valores, los cuales pueden medirse u observarse.

Xerofítica: Formación vegetal constituida por especies arbustivas o suculentas, propias de áreas áridas y semiáridas.

Zonobioma: Bioma delimitado por unos amplios y peculiares caracteres climáticos, edáficos y de vegetación zonal.

RESUMEN

Con el fin de determinar las áreas potenciales de desarrollo del bosque seco en el departamento de Caldas, se tuvieron en cuenta variables climáticas como la precipitación, temperatura y la altitud como variable topográfica. Se utilizaron registros de precipitación provenientes de 39 estaciones meteorológicas pertenecientes a la Red Climática de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ubicadas en el departamento de Caldas. Se utilizó el modelo de elevación digital tanto para la definición de rangos altitudinales como para la definición de los pisos térmicos según la clasificación de Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Se aplicó el método determinístico IDW para predecir los valores de precipitación en aquellos lugares que no contaban con datos meteorológicos. La información obtenida a partir de variables climáticas y topográficas fue cruzada para determinar las áreas potenciales del ecosistema de bosque seco en el departamento. Este resultado fue complementado con la capa de ecosistemas de bosque seco desarrollado por el Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt (2014). Se registraron 13 municipios de Caldas que presentan distribución de áreas potenciales para el desarrollo del bosque seco, estos son: Aguadas, Anserma, Belalcázar, Filadelfia, La Dorada, La Merced, Marmato, Neira, Pácora, Riosucio, Salamina, Supía y Victoria.

PALABRAS CLAVE: Área potencial, Bosque seco, Departamento de Caldas, IDW, Modelo de elevación digital, Precipitación, Rango altitudinal, Temperatura.

ABSTRACT

In order to determine the potentials areas for development of the dry forest in the department of Caldas, climatic variables such as precipitation, temperature and altitude like topographic variable were taken into account. Rainfall records from 39 meteorological stations belonging to the Climate Network of the Colombian National Coffee Growers Federation and the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies located in the department were used. The digital elevation model was used for the definition of both altitudinal ranges and thermal floors according to the classification of the Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). The deterministic IDW method was used to predict precipitation values in those places where meteorological data was not available. The information obtained from climatic and topographic variables was cross-referenced to determine potential areas of the dry forest ecosystem in the department of Caldas. This result was complemented with the layer of dry forest ecosystems developed by the Research Institute Alexander von Humboldt. Thirteen municipalities of Caldas which present distribution of potential areas for the development of dry forest were registred, these are: Aguadas, Anserma, Belalcázar, Filadelfia, La Dorada, La Merced, Marmato, Neira, Pácora, Riosucio, Salamina, Supía and Victoria.

KEY WORDS: Altitudinal range, Department of Caldas, Digital elevation model, Dry forest, IDW, Potential area, Precipitation, Temperature.

INTRODUCCIÓN

El bosque seco tropical se define como aquella formación vegetal que se distribuye en tierras bajas con piso térmico cálido, presentando uno o dos periodos marcados de sequía al año (Espinal & Montenegro, 1977). Como respuesta a la estacionalidad climática, los bosques secos presentan altos niveles de endemismo, ya que los organismos que lo habitan se han adaptado a condiciones climáticas muy particulares (Dryflor, 2016). Asimismo, este ecosistema ofrece importantes servicios para la sociedad humana, entre ellos la captura de carbono, regulación del clima y disponibilidad de agua y nutrientes (Wall *et al.*, 2011).

A pesar de la importancia ecológica de los bosques secos, hoy en día son considerados como uno de los ecosistemas más amenazados del neotrópico (Janzen, 1988); por supuesto Colombia no ha sido ajeno a esta problemática. Los bosques secos nacionales se enfrentan a fuertes presiones, derivadas principalmente de los efectos negativos que conlleva la ampliación de la frontera agrícola (Pizano *et al.*, 2017). Sin embargo, la información sobre distribución y cartografía es limitada, lo cual ha invisibilizado este ecosistema en el país, dificultando su integración en los instrumentos de planeación y ordenamiento territorial, claves para la toma de acciones concretas que aseguren su conservación.

La degradación desmedida del bosque seco y su conocimiento reducido en comparación con su homólogo el bosque húmedo, obliga a su inmediato estudio como estrategia para conservar la biodiversidad en Colombia. La implementación de cartografía disponible mediante las herramientas que ofrecen los sistemas de información geográfica, aporta información valiosa para diseñar herramientas que aseguren la gestión integral de este importante ecosistema tanto a escala nacional como local.

El presente trabajo busca determinar las áreas potenciales para el desarrollo de bosque seco en el departamento de Caldas mediante el uso de herramientas que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica.

1. AREA PROBLEMÁTICA

El bosque seco se caracteriza por presentar una estacionalidad marcada de lluvias que incluye varios meses de sequía (Pennington *et al.*, 2009). Por lo tanto, los organismos que lo habitan han adquirido adaptaciones morfológicas, fisiológicas y de comportamiento que les permiten tolerar la limitación de agua (Dirzo *et al.*, 2011), lo cual conlleva a altos niveles de endemismo regional. Sin embargo, pese a la importancia que tienen estos ecosistemas, actualmente se encuentran en un estado crítico de fragmentación, donde se ha perdido más del 90% de su cobertura vegetal a nivel nacional (Pizano & García, 2014). La rápida transformación del bosque seco pone en grave riesgo a su biodiversidad asociada, a los procesos ecológicos que aseguran su funcionalidad y a los servicios ecosistémicos que proporciona a la población humana.

En Colombia la distribución del bosque seco está directamente relacionada con los procesos de deforestación y colonización que se han desarrollado desde las primeras ocupaciones humanas en el país (Etter *et al.*, 2008). No obstante, en el departamento de Caldas, la problemática que enfrenta este ecosistema aún no se aborda desde la mirada espacial y temporal. Es entonces donde radica la importancia de incrementar los esfuerzos de investigación mediante el uso de las herramientas que ofrecen los sistemas de información geográfica, a fin de generar productos finales como mapas de distribución potencial actual del bosque seco para orientar las decisiones de conservación de este importante ecosistema.

Teniendo en cuenta la limitada información que existe acerca de la distribución de los bosques secos en el departamento de Caldas, se propone el uso de las herramientas SIG para determinar aquellas áreas que presenten condiciones favorables para el desarrollo del ecosistema en estudio, mediante el cruce de información climática y topográfica concreta. Además, la integración de información cartográfica existente proveniente de fuentes verificadas complementará los resultados obtenidos. Dichos resultados permitirán a los municipios y corporaciones regionales identificar las causas de la transformación del bosque seco, favoreciendo la formulación y actualización de planes de ordenamiento territorial y proyectos forestales, además fortalecer el manejo integral de este importante ecosistema.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las áreas potenciales para el desarrollo del bosque seco en el departamento de Caldas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información topográfica y climática existente de precipitación y temperatura en el departamento de Caldas entre 2008 y 2018.
- Generar superficies de precipitación, pisos térmicos y rango altitudinal.
- Generar el cruce de la información de las superficies de precipitación, pisos térmicos y rango altitudinal.
- Complementar el cruce de la información con la capa de ecosistemas de bosque seco desarrollada por el Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt.
- Generar salidas gráficas de las áreas potenciales de bosque seco para cada municipio.

3. JUSTIFICACIÓN

El bosque seco presta servicios fundamentales como la regulación hídrica, la retención de suelos y la captura de carbono, y sostiene una diversidad única de plantas, animales y microorganismos que se traduce en altos grados de endemismo. Sin embargo, su cobertura original ha sufrido una notable reducción, ocasionando una distribución altamente fragmentada. Por lo cual, es posible que no exista un bosque seco completamente “virgen”. Debido a diferentes presiones antrópicas, muchas de las regiones que presentan las condiciones climáticas idóneas para el desarrollo de bosque seco, se mantienen como pastizales y sabanas, ya que una vez eliminado el bosque, es muy difícil que retome su forma original.

A pesar de que el bosque seco es uno de los ecosistemas más amenazados a nivel nacional, se encuentra poco representado por las medidas de conservación del SINAP y no existen datos consolidados de cuál es la distribución real del bosque seco en Colombia. El dato que se maneja actualmente es que Colombia mantiene sólo el 1,5% de la cobertura original de bosque seco, pero se requieren estudios actualizados que verifiquen su distribución actual. La falta de información sobre distribución y la limitada información cartográfica del bosque seco ha invisibilizado este ecosistema en el país, dificultando su integración en los instrumentos de planeación y ordenamiento territorial, claves para la toma de acciones concretas que aseguren su conservación.

Este trabajo está orientado a la determinación de áreas potenciales para el desarrollo de los bosques secos en el departamento de Caldas mediante información climática y topográfica. De este modo se muestra cómo las herramientas que ofrecen los SIG constituyen un sistema único capaz de combinar necesidades, facilitando la solución de una amplia variedad de problemas geográficos en investigaciones ecológicas.

4. MARCO TEORICO

4.1 El bosque seco tropical

Definir el bosque seco con exactitud representa un problema, ya que la comunidad científica y las autoridades ambientales no han caracterizado el ecosistema ni han estandarizado los valores y cualidades que lo representan. En consecuencia, no existe una definición única y acertada de bosque seco a nivel local, regional y global, originando limitaciones a la hora de identificar el ecosistema y dando como resultado esfuerzos de conservación poco eficientes. La definición y por ende la delimitación del bosque seco ha tenido varias interpretaciones, dependiendo del autor (Tabla 1). Las variables que normalmente se utilizan para delimitar al bosque seco son: 1) El rango altitudinal; 2) La precipitación total anual; 3) La temperatura media anual; 4) La duración del periodo seco, y 5) Las características deciduas de la vegetación.

Tabla 1. Definiciones del ecosistema de bosque seco.

BOSQUE SECO TROPICAL		
PARÁMETRO	DEFINICIÓN	AUTOR
Precipitación total anual	700 – 2000 mm	Murphy & Lugo, 1986; IAvH, 1998.
	250 – 2000 mm	Holdridge, 1996; Sánchez-Azofeifa <i>et al.</i> , 2005; Arcila-Cardona <i>et al.</i> , 2012.
	1000 – 2000 mm	Espinal 1967; Chacón de Ulloa <i>et al.</i> , 2012.
	1000 – 1800 mm	Alvarado-Solano & Otero-Ospina, 2015.
Temperatura media anual	Mayor a los 17°C	Arcila-Cardona <i>et al.</i> , 2012.
	Mayor a los 18°C	Alvarado-Solano & Otero-Ospina, 2015.
	Mayor a los 24°C	Espinal 1967; IAvH, 1998; Torres <i>et al.</i> , 2012; Arcila-Cardona <i>et al.</i> , 2012; Chacón de Ulloa <i>et al.</i> , 2012; FAO, 2014.
	Mayor a los 25°C	Holdridge, 1996; Sánchez-Azofeifa <i>et al.</i> , 2005.
Duración del periodo seco	3 meses o más	Murphy & Lugo, 1986; Sánchez-Azofeifa <i>et al.</i> , 2005.
	5 o 6 meses	Pizano & García, 2014.

Vegetación	Decidua	Murphy & Lugo, 1986; Sánchez-Azofeifa <i>et al.</i> , 2005.
Rango altitudinal	0 – 1000 m.s.n.m	Espinal, 1967; IAvH, 1998; IDEAM, 2010; FAO, 2014.
	900 - 1200 m.s.n.m	Arcila-Cardona <i>et al.</i> , 2012.
	900 – 1100 m.s.n.m	Chacón de Ulloa <i>et al.</i> , 2012.
	500 – 1300 m.s.n.m	Alvarado-Solano & Otero-Ospina, 2015.

Teniendo en cuenta que no existe una definición estandarizada y precisa de bosque seco, se propone una base conceptual establecida a partir de definiciones previas para el desarrollo del presente estudio. Por lo tanto, se define al bosque seco como un tipo de vegetación que se desarrolla en climas cálidos, con temperaturas mayores a 24°C en alturas comprendidas entre los 0 y 1300 metros, presentan una precipitación total anual de 250 a 2000 mm y uno o dos periodos de sequía al año.

4.2 Importancia de los bosques secos

Como resultado de las presiones de selección asociadas a la estacionalidad marcada del bosque seco, este ecosistema presenta niveles muy altos de endemismo (Dryflor, 2016). La combinación de esta increíble concentración de especies endémicas y una alta biodiversidad de plantas y animales hace que el bosque seco sea de altísima prioridad para la conservación (Dirzo & Raven, 2006). Los bosques secos en Colombia tienen casi 2600 especies de plantas, de las cuales 83 son endémicas; 230 especies de aves, de las cuales 33 son endémicas y 60 especies de mamíferos, de los cuales 3 son endémicos (Pizano & García, 2014). Además, son fuente importante de especies vegetales útiles para el hombre. Es el caso de varias especies de leguminosas forrajeras, ornamentales y frutales originarias de esta formación vegetal (FAO, 2014). Igualmente, cabe mencionar los diferentes servicios fundamentales que ofrece a las comunidades humanas, como lo son regulación hídrica, retención de suelos y captura de carbono, entre otros (Wall *et al.*, 2011).

4.3 Situación de los bosques secos en Colombia

A nivel nacional, los bosques secos se distribuyen en la región norandina, Santander y Norte de Santander, en el valle geográfico del río Cauca, en los piedemontes de la Cordillera Occidental y al norte de la Central, en el valle geográfico del río

Magdalena, Huila, Tolima, Cundinamarca y en el norte del departamento de Caldas, en la región de los Llanos, Vichada y Arauca, en el valle del río Patía, en el departamento del Cauca y el Caribe (Pizano *et al.*, 2017). Sin embargo, tan solo una pequeña parte de la extensión total de bosque seco que aún persiste se encuentra protegida bajo algún grado de conservación. Su representatividad ha aumentado principalmente en las áreas regionales, en donde solo un 6,4% está representado en el Sistema Nacional de Áreas protegidas - SINAP. Los relictos de bosque seco se encuentran principalmente en las orillas de los ríos, en zonas de pendiente o de difícil acceso y en pequeñas islas rodeadas por desarrollos urbanísticos, recreacionales y casas de descanso.

4.4 Sistemas de información geográfica

Un sistema de información geográfica es una colección organizada de hardware, software y datos geográficos diseñados para la eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, análisis espacial y despliegue de todo tipo de información geográficamente referenciada (NCGIA, 1990). El componente más importante para un SIG es la información. Se requieren de datos idóneos de soporte para que el SIG pueda resolver problemas y contestar a preguntas de la forma más acertada posible. Una de las funciones básicas y quizás la principal de procesamiento de un SIG es la del análisis y modelamiento espacial, que se realiza con información de datos espaciales y no espaciales previamente almacenados y estructurados en el sistema para generar nueva información que permita dar solución a problemas específicos mediante ciertas operaciones de cálculo sobre las entidades espaciales como longitud de una línea, perímetros, áreas y volúmenes, hasta análisis de redes, intersección de polígonos y modelos digitales del terreno (IGAC, 1998).

Durante décadas los SIG y los sensores remotos se han aplicado a cuestiones relacionadas con el medio ambiente, siendo una herramienta de trabajo clave, ya que constituyen un sistema único capaz de combinar necesidades. El desarrollo de investigaciones ecológicas ha estado fuertemente respaldado por el uso de la teledetección, puesto que gracias a la identificación de coberturas, se ayuda a caracterizar el paisaje (Cabello & Paruelo, 2008), establecer su localización y distribución en el espacio, factores fundamentales a la hora de estudiar especies, comunidades y ecosistemas.

5. MARCO REFERENCIAL

Actualmente existen grandes vacíos en el conocimiento de los bosques secos no solo en Colombia sino también en Latinoamérica y, son escasas las estimaciones sobre la distribución y el estado de conservación de los bosques secos en diferentes regiones del neotrópico. Se han llevado a cabo varios estudios con el objeto mapear los bosques secos en el neotrópico (Olson *et al*, 2001; Miles *et al*, 2006; Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010). El más reciente de estos es la investigación realizada por Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa (2010), en la cual se estimó que los bosques secos en el neotrópico tienen una extensión aproximada de 520 km², con una pérdida del 66% basada en los cálculos originales llevados a cabo por Olson y colaboradores en el 2001. Dicha estimación se basó en la clasificación supervisada de imágenes MODIS corregidas con imágenes Landsat y con puntos de verificación en campo.

Hoy en día existen redes internacionales de investigación en bosques secos, entre estas se destaca la red *Tropi-Dry*, la cual se enfoca en estudiar la dimensión espacial y otras variables del bosque seco tropical desde México hasta Bolivia, información útil para entender la respuesta del bosque seco a cambios ambientales y presiones de disturbio.

En Colombia, el bosque seco ha sido poco valorado. Recientemente la comunidad científica ha empezado a mirar el ecosistema. La mayoría de la literatura publicada se refiere a descripciones en zonas muy específicas en temas como la diversidad vegetal y animal, cambios de uso del suelo y ecología de roedores (Romero & Giraldo, 2012). A pesar de la falta de información, la investigación en bosques secos a nivel nacional ha sido posible y exitosa gracias a la formación de una red de instituciones e investigadores que participan activamente en la investigación y la conservación de este ecosistema. Como caso específico se cita la Red de Monitoreo e Investigación en Bosque Seco Tropical Nacional, la cual se encuentra integrada con el Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt - IAvH y más de 30 instituciones regionales y nacionales.

Una de las investigaciones pioneras en mencionar la presión antrópica ejercida sobre los bosques secos del país, fue llevada a cabo en el año 1998 por el Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental - GEMA, perteneciente al IAvH, la cual abordó el estado de los bosques secos en Colombia y, desde el punto de vista geográfico-ambiental se obtuvo que la localización del ecosistema coincide con áreas de intenso uso agrícola y ganadero. Más adelante, Etter y colaboradores en el 2008, evaluaron el proceso de transformación del paisaje en los Andes colombianos, mediante una reconstrucción cronológica de los patrones de asentamiento humano. Los autores concluyeron que los bosques secos son uno de los ecosistemas con mayores cambios en su cobertura debido al impacto demográfico de la colonización, la introducción del ganado y con esto la expansión de pastizales.

En el año 2014 se consolidó el mapa con la distribución espacial del bosque seco tropical en el territorio nacional por el Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt (IAvH). Este mapa evidencia que para el año 2014 tan solo persistía el 8% de la cobertura original de bosques secos en el país.

Para el 2015, Alvarado-Solano y Otero-Ospina emplearon técnicas de geoprocésamiento y análisis geoespacial con información cartográfica y satelital, con el fin de determinar la distribución espacial del ecosistema en el departamento del Valle del Cauca, en el cual se evidenció un avanzado deterioro de las coberturas de los bosques secos. De esta manera se puede apreciar cómo la aplicación de los sistemas de información geográfica, así como la información obtenida por medio de sensores remotos ha sido ampliamente utilizada.

Finalmente, se crea la Agenda de Investigación y Monitoreo en Bosques Secos de Colombia (Pizano *et al*, 2017), con el fin de fortalecer la gestión integral de este ecosistema a partir del conocimiento científico. En esta se analizan tres líneas de investigación para el monitoreo a largo plazo y el manejo integral del bosque seco en el país, entre las cuales se encuentra su distribución espacial y estado de conservación.

6. MARCO CONTEXTUAL

El bosque seco ha soportado históricamente grandes asentamientos humanos, por lo cual en la actualidad es considerado como uno de los ecosistemas tropicales más amenazados. Dicha situación pone en grave riesgo a su biodiversidad asociada y a los servicios ecosistémicos brindados a la comunidad en general (Sánchez-Azofeifa *et al*, 2005). El limitado conocimiento acerca del bosque seco a nivel nacional y departamental constituye una falta de lineamientos claros que promuevan su uso sostenible, conservación y restauración (Pizano & García, 2014).

Los profundos valles transversales de la región andina, especialmente los de las cordilleras oriental y occidental, desarrollan condiciones climáticas locales muy particulares con respecto a la humedad del aire y a la pluviosidad. Estos valles se constituyen en enclaves secos donde prospera una vegetación propia de zonas subhúmedas y en ocasiones de xerofíticas. En las áreas más bajas se encuentran parches de bosque seco en su mayoría riparios y en avanzado estado de degradación.

Los bosques secos presentes en el departamento de Caldas se encuentran dentro de los distritos biogeográficos del valle alto del río Magdalena y el cañón del valle medio del río Cauca (IAvH, 1998). A lo largo del valle del río Magdalena, se destacan los bosques secos al sur y su transición gradual hacia bosques húmedos tropicales, como los del Zonobioma Húmedo Tropical del Magdalena Caribe (SIRAP, 2014). Este zonobioma está ubicado al oriente del departamento de Caldas y norte del Tolima. Los ecosistemas presentes en el valle del Magdalena están muy fragmentados, pero existen remanentes con alta prioridad por su baja representatividad. Sin embargo, son escasas las estimaciones sobre extensión y distribución del bosque seco en el departamento de Caldas. Se sabe que los remanentes que aún persisten se encuentran inmersos en matrices de cultivos y ganadería, lo cual pone de manifiesto un desequilibrio regional que requiere de una respuesta inmediata.

7. MARCO JURÍDICO

El marco legal aplicable al ecosistema de bosque seco a nivel nacional y departamental se puede resumir en:

Constitución política de Colombia: En la cual se dictan disposiciones acerca de los derechos colectivos y del medio ambiente, donde el Estado es responsable de la protección del medio ambiente. Establece como deber de las personas la protección de los recursos culturales y naturales del país y de velar por la conservación de un ambiente sano.

Ley 99 de 1993: Conformar el Sistema Nacional Ambiental a través del cual se responsabiliza a todos y cada uno de los actores del desarrollo de la tarea de conservar y aprovechar de manera racional los recursos naturales y el ambiente. Define las autoridades que en materia ambiental serán las responsables de formular y verificar el cumplimiento de las políticas y normas ambientales. Por medio de esta se crean todos los mecanismos de conservación ambiental dentro de la legislación colombiana.

Decreto Ley 2811 de 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Define normas generales de política ambiental y detalla los medios para el desarrollo de la política ambiental. Entre otras competencias, asigna responsabilidades para la ejecución de obras de infraestructura y desarrollo, conservación y ordenamiento de cuencas, control y sanciones.

Decreto 1600 de 1994: Por el cual se reglamenta parcialmente el Sistema Nacional Ambiental - SINA en relación con los Sistemas Nacionales de Investigación Ambiental y de Información Ambiental. Regula la legislación ambiental en forma general y de fácil acceso para todas las reservas y manejo ambiental.

Decreto 1277 de 1994: Por el cual se organiza y establece el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Asigna al IDEAM elaborar un balance anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales para cuantificar la disponibilidad del recurso hídrico.

Decreto 1996 de 1999: Por el cual se reglamentan los artículos 109 y 110 de la Ley 99 de 1993 sobre Reservas Naturales de la Sociedad Civil. Se le da potestad a las reservas creadas por iniciativa de la sociedad para el buen manejo de los bosques.

Decreto 2372 de 2010: Por el cual se reglamenta el Decreto Ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto Ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones. Dentro de las áreas protegidas y las categorías de manejo se pueden incluir las reservas naturales de la Sociedad Civil.

Decreto 1449 de 1997: Establece obligaciones a los propietarios de predios para la conservación, protección y aprovechamiento de las aguas. Para los propietarios de los predios en los que se tenga un cuerpo de agua se debe realizar la protección de este.

Resolución 471 del 30 de diciembre de 2009: La Corporación Autónoma Regional de Caldas - CORPOCALDAS define la estructura ecológica principal del territorio de su jurisdicción, establece el Sistema Regional de Áreas Protegidas - SIRAP y dicta normas sobre los elementos constitutivos naturales del espacio público.

8. METODOLOGÍA

8.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde al departamento de Caldas (Figura 1), el cual cuenta con una superficie de 7.888 km². Limita con los departamentos de Antioquia (al norte), Boyacá (al noreste), Cundinamarca (al este), Tolima (al sureste) y Risaralda (al oeste y suroeste). El territorio caldense se ve atravesado en su totalidad por las cordilleras andinas Central y Occidental. La topografía del departamento está dada entre los 170 y 5.400 m.s.n.m, siendo el Nevado del Ruíz el punto más alto y el municipio de La Dorada el más bajo. Estas alturas también originan variedad en climas y paisajes como páramos y planicies del valle interandino del Magdalena, el valle del Risaralda y cañones como el del Cauca.

La temperatura del departamento varía de acuerdo con la altitud y el relieve, alterada por los vientos alisios del noreste y del sureste. Sobre el flanco oriental de la cordillera Central se localizan los sectores más lluviosos, entre los 1.200 y 1.600 m de altura, donde la precipitación supera los 3.000 mm anuales. Los sectores con menos de 1.500 mm anuales se ubican sobre los 3.500 m de altura, en el parque nacional natural los Nevados, que incluye las máximas alturas del departamento. La distribución de los pisos térmicos es cálido el 32% del total del departamento, templado el 36% y el piso bioclimático de páramo 9% (Gobierno de Caldas, 2017). La ubicación geográfica del departamento se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Ubicación geográfica del departamento de Caldas.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
LATITUD	LONGITUD
05°47'42.18"N	75°55'1.81"W
05°47'51.89"N	74°35'51.55"W
04°47'51.70"N	74°36'43.05"W
04°47'14.21"N	75°56'43.47"W

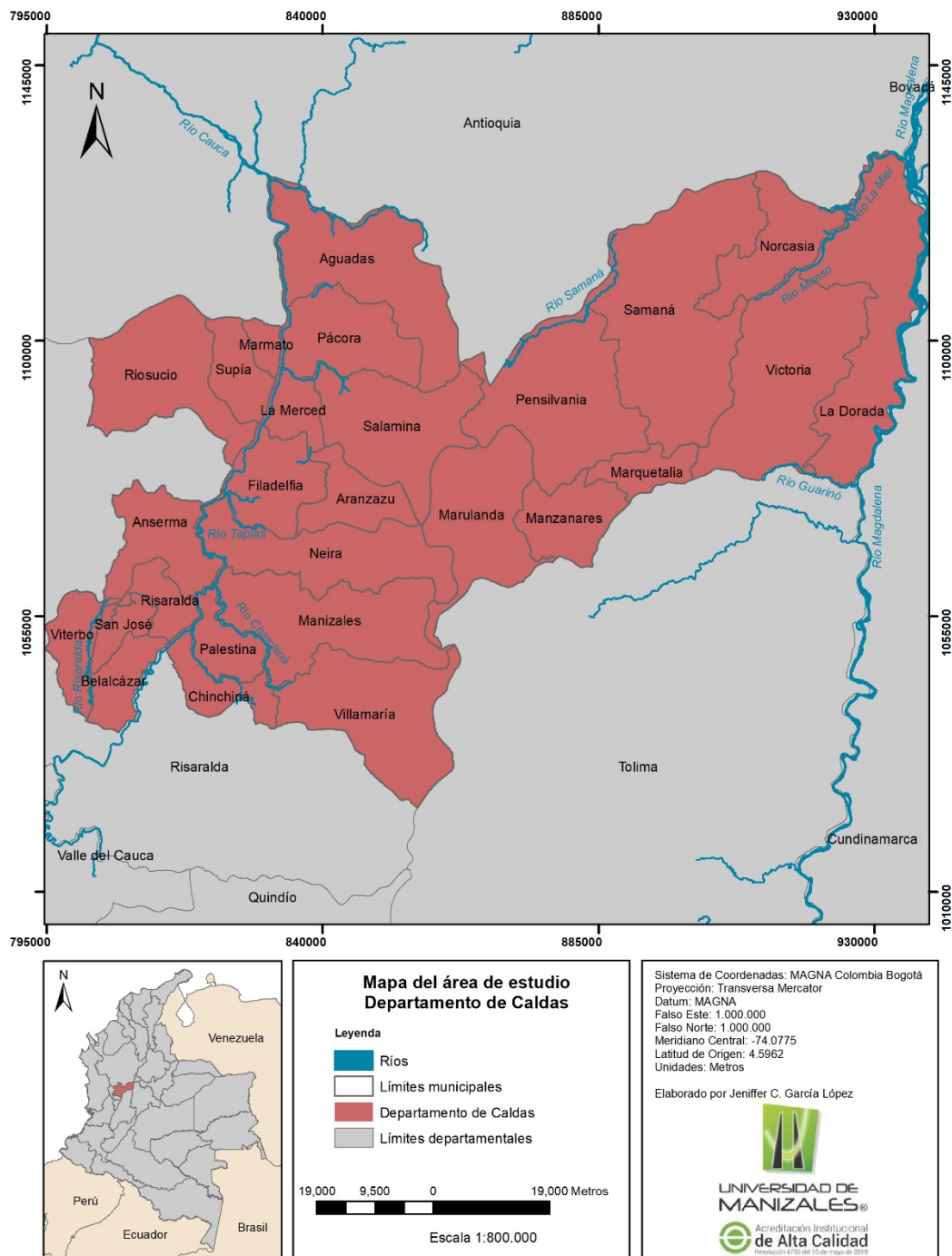


Figura 1. Mapa del área de estudio: Departamento de Caldas.

8.2 Manejo de información y sistema de referencia

El software SIG utilizado para el manejo de la información fue ArcGIS versión 10.5. La cartografía se elaboró con base en el sistema de referencia espacial Magna-Sirgas Colombia origen Bogotá, siguiendo la directriz del IGAC (Tabla 3).

Tabla 3. Sistema de referencia espacial para la zona de estudio.

SISTEMA DE REFERENCIA	
Sistema de coordenadas	MAGNA Colombia Bogotá
Datum	MAGNA - SIRGAS
Proyección	Transversa Mercator
Falso Norte	1.000.000
Falso Este	1.000.000
Meridiano Central	-74.0775
Latitud de Origen	4.5962
Unidad Lineal	Metros

8.3 Parámetros definidos para la caracterización del bosque seco

Para la determinación de las áreas potenciales de bosque seco en el departamento de Caldas, se tomaron en cuenta los parámetros establecidos para el desarrollo del presente estudio y elaborados a partir de definiciones previas, considerando principalmente las descripciones establecidas por el Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros climáticos y topográficos que definen el ecosistema de bosque seco para el departamento de Caldas.

PARÁMETRO	DEFINICIÓN
Temperatura media anual	Mayor a 24°C
Precipitación total anual	250 – 2000 mm
Rango altitudinal	0 – 1300 m.s.n.m.

8.4 Análisis de la información recopilada

Con el propósito de reconocer áreas potenciales de bosque seco en el departamento de Caldas, se procedió a modelar las variables climáticas (temperatura y precipitación) y la variable topográfica (altitud).

Para la modelación topográfica se dispuso del modelo digital de elevaciones (DEM) para el departamento de Caldas con una resolución de 30 metros suministrado por la Universidad de Manizales en uno de los cursos de la especialización en SIG.

La modelación climática se realizó con el uso de datos de 39 estaciones meteorológicas presentes en el departamento de Caldas y pertenecientes a la Red Climática de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC) y al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (Tabla 5). Estas estaciones seleccionadas fueron aquellas que contaban con registros mensualmente completos en el periodo comprendido entre 2008-2018, con el fin de generar estimaciones más precisas.

Con base en los datos diarios de precipitación, se generaron series de lluvia a escala anual para todas las estaciones meteorológicas. Se calcularon los promedios anuales de precipitación con el fin de obtener un valor de precipitación total para los 11 años.

Tabla 5. Georreferenciación de las estaciones meteorológicas ubicadas en el departamento de Caldas.

ESTACION	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	ENTIDAD
AGRONOMIA	MANIZALES	5.05000	-75.50000	FNC
ALMACAFE LETRAS	MANIZALES	5.05000	-75.33333	FNC
BELLO HORIZONTE	VILLAMARIA	4.98333	-75.55000	FNC
CENICAFE	CHINCHINÁ	5.00000	-75.60000	FNC
CUATRO ESQUINAS	AGUADAS	5.66667	-75.41660	FNC
EL CIPRES	SALAMINA	5.41900	-75.50000	FNC
EL MIRADOR	FILADELFIA	5.23333	-75.56660	FNC
EL TABUYO	ANSERMA	5.25000	-75.78330	FNC
GRANJA LUKER	PALESTINA	5.06667	-75.68333	FNC
HOGAR JUVENIL	PENSILVANIA	5.50000	-75.18330	FNC
IDEMA	LA DORADA	5.47919	-74.67617	IDEAM
LA ARGENTINA	RIOSUCIO	5.46667	-75.70000	FNC
LA CASCADA	PACORA	5.46667	-75.55000	FNC
LA ESMERALDA	VITERBO	5.08333	-75.90000	FNC
LA GAVIOTA	SALAMINA	5.10100	-75.48330	FNC

ESTACION	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	ENTIDAD
LA LINDA	PACORA	5.55000	-75.53330	FNC
LA MANUELITA	RIOSUCIO	5.36600	-75.68330	FNC
LA PALMITA	RISARALDA	5.08330	-75.76660	FNC
LA PELADA	AGUADAS	5.57875	-75.34478	IDEAM
LA PRADERITA	BELALCÁZAR	5.01667	-75.78330	FNC
LA VICTORIA	VICTORIA	5.32108	-74.91464	IDEAM
LAS COLINAS	MANIZALES	5.10000	-75.56660	FNC
LLANO GRANDE	NEIRA	5.18333	-75.56660	FNC
MANZANARES	MANZANARES	5.26561	-75.14408	IDEAM
MARQUETALIA	MARQUETALIA	5.29892	-75.05747	IDEAM
MARULANDA	MARULANDA	5.27817	-75.26714	IDEAM
NARANJAL	CHINCHINÁ	4.96667	-75.65000	FNC
CAÑAVERAL	VICTORIA	5.32842	-74.94197	IDEAM
NORCASIA RADIO	NORCASIA	5.57447	-74.89169	IDEAM
PACHECHO	ARANZAZU	5.25000	-75.53330	FNC
PIAMONTE	NEIRA	5.18333	-75.51660	FNC
RAFAEL ESCOBAR	SUPIA	5.45000	-75.63333	FNC
SAMANÁ	SAMANÁ	5.41944	-74.99922	IDEAM
SAN LUCAS	RISARALDA	5.11667	-75.75000	FNC
GRANJA KENNEDY	PENSILVANIA	5.33333	-75.10000	FNC
SANTA FE	ANSERMA	5.18333	-75.78330	FNC
SANTA HELENA	MARQUETALIA	5.31667	-75.00000	FNC
SANTA TERESA	MANIZALES	5.11667	-75.53330	FNC
SANTAGUEDA	PALESTINA	5.06667	-75.66667	FNC

Posteriormente, se examinó la distribución espacial de las estaciones meteorológicas seleccionadas y se creó un archivo shape de puntos a partir de

datos de coordenadas geográficas validando la ubicación de las estaciones en el área de estudio dentro del sistema de referencia espacial previamente definido (Fig. 2).

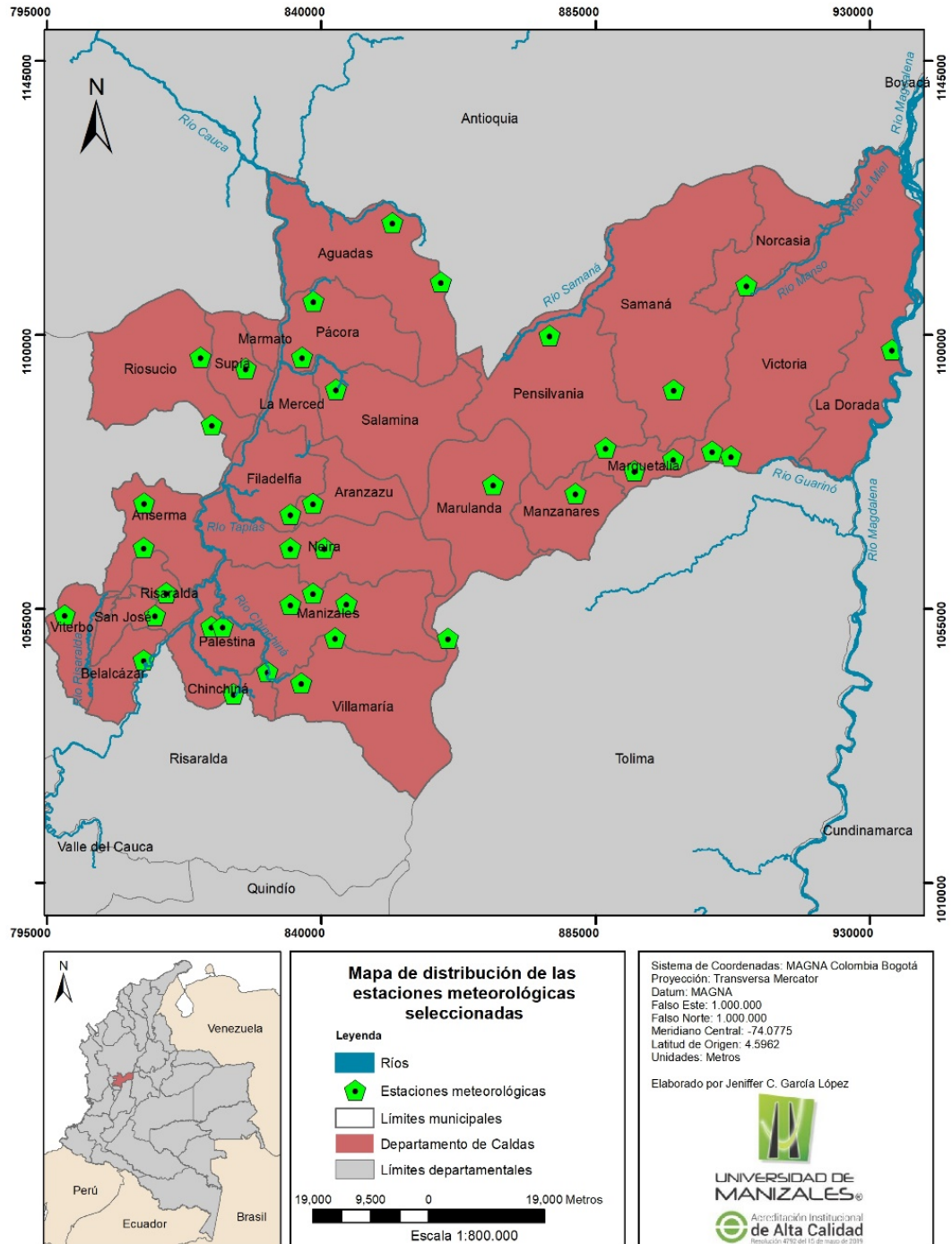


Figura 2. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el desarrollo del presente estudio.

8.5 Corrección del modelo digital de elevaciones (DEM)

Un DEM (Digital Elevation Model, por sus siglas en inglés), es una representación digital de la topografía basada en una sola elevación que representa el área objeto de estudio. Su calidad en formato ráster depende de los errores presentes en los datos con los que se ha construido y, es necesario tener en cuenta las depresiones que puede presentar, por lo cual el DEM obtenido para el departamento de Caldas fue sometido a una corrección hidrológica usando el comando *Fill* del software ArcGIS 10.5 para eliminar las concavidades indeseadas y así generar un DEM “sin depresiones”.

8.6 Reclasificación de las alturas del DEM

Una vez llevado a cabo el proceso de corrección y relleno de sumideros del DEM, se procede a la reclasificación de aquellas altitudes que definen el bosque seco. Este procedimiento posibilita la conversión de los datos en escala de intervalos y de razón a una clasificación ordinal, mediante la herramienta *Reclassify* del software ArcGIS 10.5, seleccionando el rango de alturas en que se distribuye el ecosistema de bosque seco (0 – 1.300 m.s.n.m) (Tabla 4; Fig. 3).

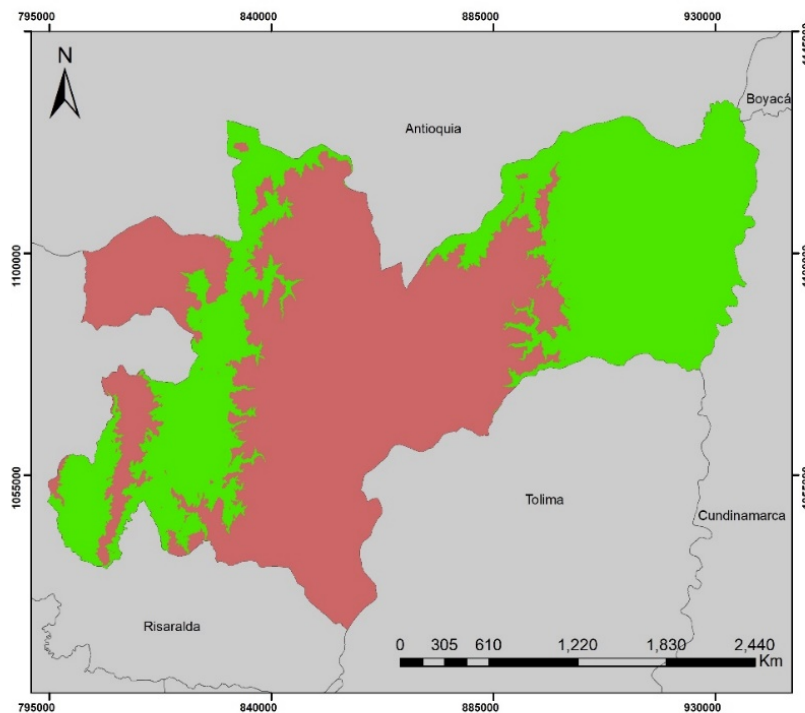


Figura 3. Alturas comprendidas entre 0 y 1300 m (áreas en verde), obtenidas a partir de la reclasificación del DEM.

El ráster reclasificado resultante es convertido a formato shape, con el fin de extraer los polígonos que presentan las alturas que definen la distribución de los bosques secos. Se verifican los valores en la tabla de atributos del shape creado y se descartan aquellos que no son objeto de estudio

8.7 Generación de la superficie de precipitación

La superficie de precipitación fue generada con el método de interpolación determinístico IDW utilizando los datos de precipitación total anual de las estaciones climatológicas como variable de predicción, mediante la herramienta *Spatial Analyst Tools* del software ArcGIS 10.5 (Fig. 4). Es importante mencionar que los métodos determinísticos formulan unas suposiciones generales y habitualmente o no contrastadas sobre el carácter general de la superficie a interpolar y en función de ellas establecen la función matemática de interpolación (métodos directos). El método determinístico IDW incluye un número máximo de 15 vecinos y un mínimo de 10, generando la predicción en el eje X y en Y, luego permite la construcción del modelo matemático y la regresión, en este caso simple.

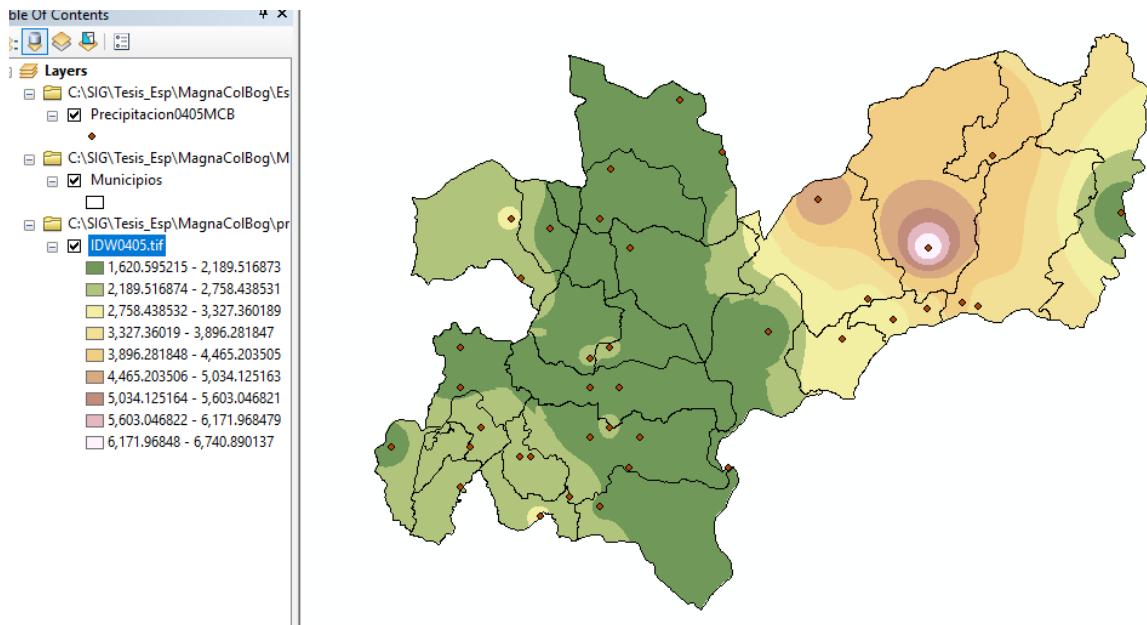


Figura 4. Modelo de Precipitación (interpolación IDW) generado a partir de los valores de precipitación total.

Una vez obtenido el modelo de precipitación, se llevó a cabo la reclasificación en los rangos definidos (Tabla 4), con el fin de establecer un intervalo con los valores de precipitación que delimitan el bosque seco. Estos valores están comprendidos

en el rango de precipitación total anual de 250 mm – 2000 mm. Para este procedimiento se utiliza la herramienta *Reclassify* del software ArcGIS 10.5, asignando 2 intervalos para la precipitación (Fig. 5)

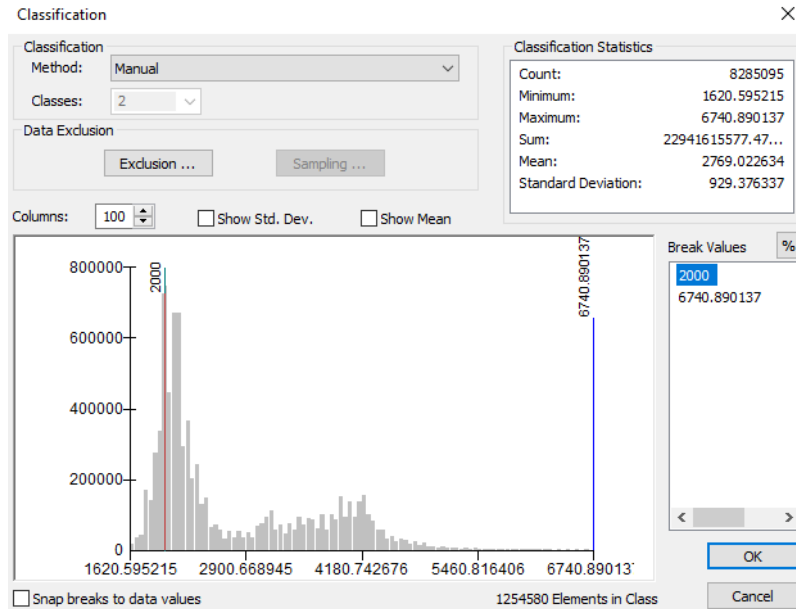


Figura 5. Proceso de reclasificación del modelo de precipitación.

El ráster reclasificado resultante es convertido a formato shape, con el fin de extraer los polígonos que presentan precipitación total anual comprendida entre 250 – 2000 mm. Se verifican los valores en la tabla de atributos del shape creado y se descartan aquellos que no son objeto de estudio (Fig. 6)

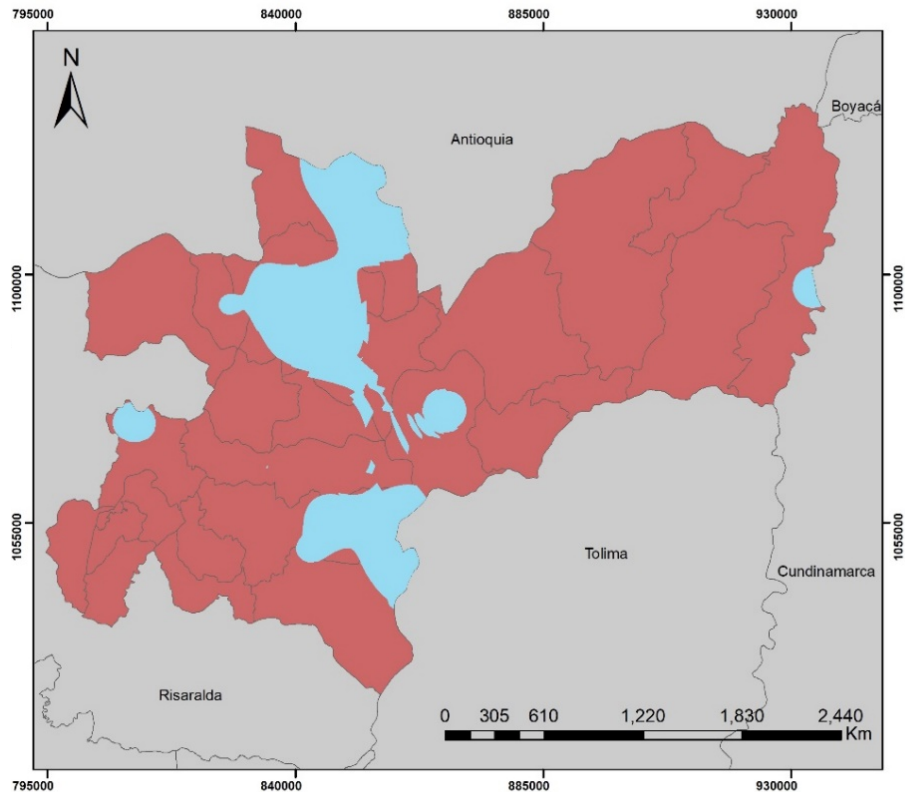


Figura 6. Precipitación total anual comprendida entre 250 y 2000 mm (áreas en azul), obtenida a partir de la reclasificación del modelo de precipitación.

8.8 Generación de la superficie de temperatura

Debido a que la mayoría de estaciones presentes en el departamento de Caldas son de tipo pluviométrico, los datos de temperatura estaban disponibles para muy pocas estaciones, distribuidas de forma poco uniforme en el área departamental (Fig. 7). Por tal motivo y evitando generar sesgos por la distribución poco homogénea de las estaciones, se utilizó el DEM para obtener el gradiente vertical de las temperaturas respecto a la altura sobre el nivel del mar. Este procedimiento se realizó tomando como referencia la clasificación de pisos térmicos de Caldas (IGAC, 2014) (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación de pisos térmicos para el departamento de Caldas (Fuente: IGAC, 2014)

Rango de altura (sobre el nivel del mar)	T(°C)	Tmed	Piso térmico
0 – 1000	$T > 24$	23,81	Cálido
1001 – 2000	$24 > T > 17,5$	19,72	Templado
2001 – 3000	$17,5 > T > 12$	16,66	Frío
3001 – 3700	$12 > T > 7$	9,50	Muy frío
Mayor a 3701	$T < 7$	2,40	Extremadamente frío

Para el proceso de obtención de las temperaturas respecto a las altitudes, se llevó a cabo la reclasificación del DEM en 2 valores. El primer valor fue reemplazado por 1000, que representa la altura máxima en metros en donde se establece el piso térmico cálido con temperaturas mayores a 24°C y el segundo valor se deja por defecto. Posteriormente, este ráster generado se convierte a formato shape con el fin de extraer los polígonos que presentan la temperatura idónea para la distribución del bosque seco (Tabla 4). Se verifican los valores en la tabla de atributos del archivo shape creado y se descartan aquellos que no son objeto de estudio (Fig. 8).

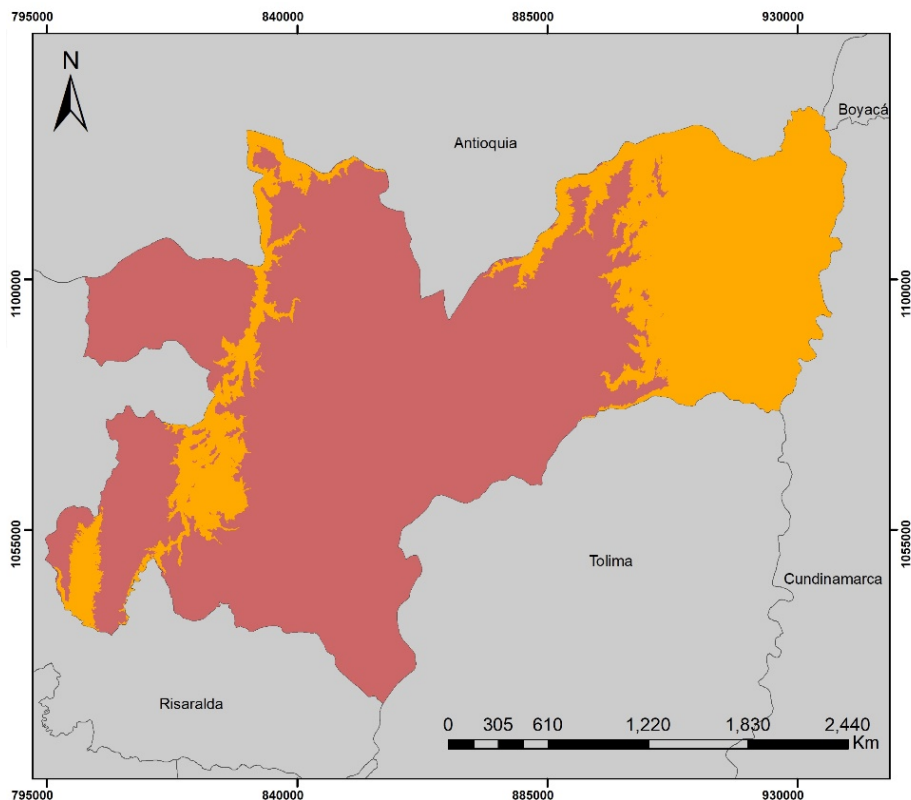


Figura 8. Piso térmico cálido (áreas en naranja) extraído del DEM reclasificado.

8.9 Intersección de capas

Se realiza la intersección de la capa de relieve que contiene los valores de altura del terreno, con la capa de precipitación que contiene los valores de precipitación total anual comprendidos entre 250 y 2000 mm y la de temperatura que contiene el piso térmico cálido con temperaturas mayores a los 24°C, todas estas generadas con los valores de interés del estudio citados en la Tabla 4. Mediante el uso de la herramienta *Intersect* del software ArcGIS 10.5 se genera la intersección de capas, dando como resultado la capa de las áreas potenciales para el desarrollo del bosque seco tropical en el departamento de Caldas (Fig. 9). Esta herramienta calcula la intersección geométrica de cualquier cantidad de capas, en donde las porciones de las entidades que son comunes a todas las entradas generan la clase de entidad de salida.

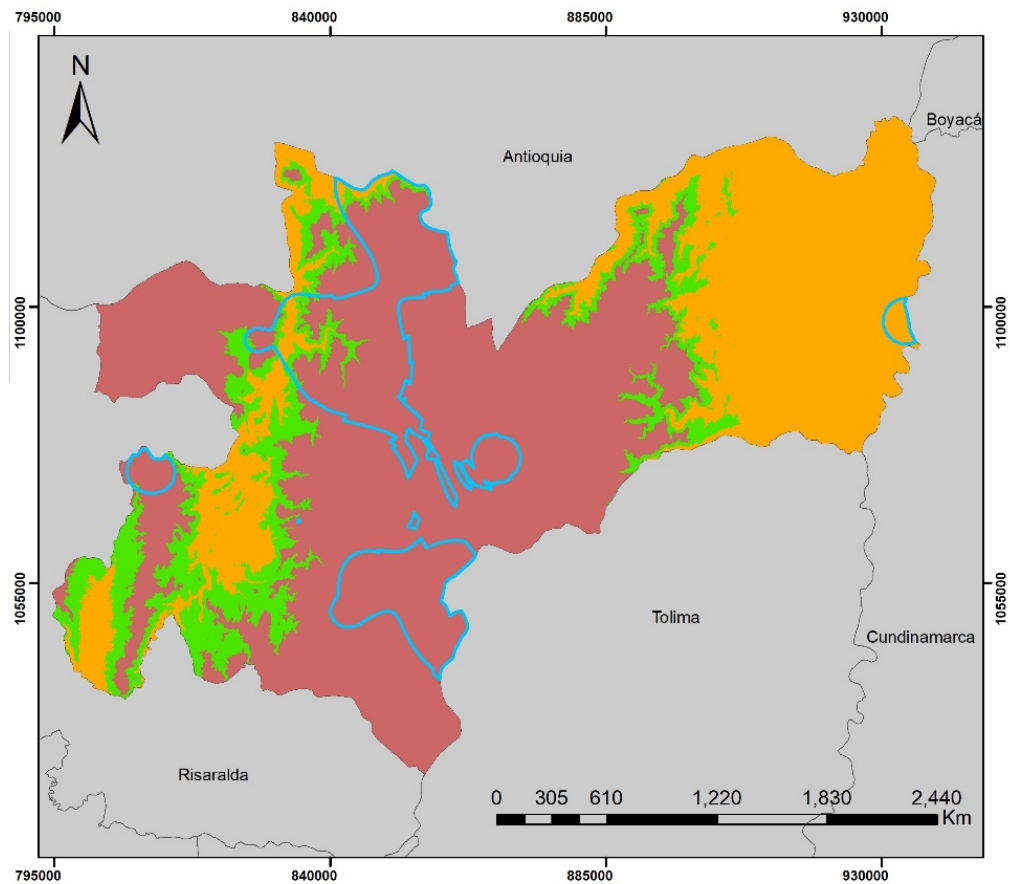


Figura 9. Capas interseccionadas para la generación de áreas potenciales para el desarrollo del bosque seco en el departamento de Caldas.

8.10 Complementación con información suministrada por el IAvH

Por último, la información obtenida a partir de la intersección de capas es complementada con la capa de ecosistemas de bosque seco tropical desarrollada por el Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt (IAvH, 2014; Fig. 10). Este procedimiento se realiza con el uso de la herramienta *Merge*, la cual combina entradas del mismo tipo de datos en un nuevo dataset de salida único.

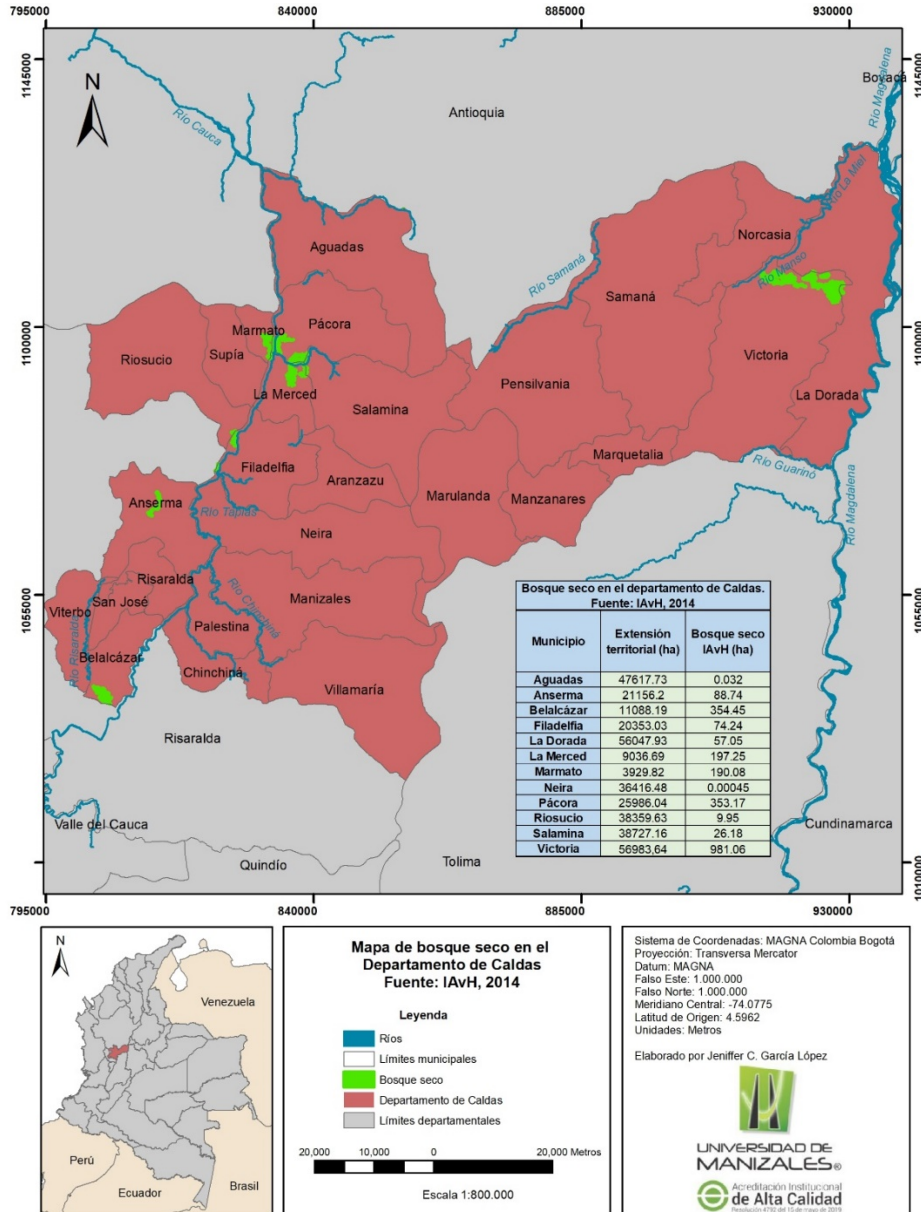


Figura 10. Mapa de distribución del bosque seco en el departamento de Caldas.
Fuente: IAvH, 2014.

9. RESULTADOS

Tabla 7. Resultados obtenidos en el desarrollo de cada actividad propuesta.

ACTIVIDAD	RESULTADO
Recopilación de la información climática entre el periodo 2008-2018	Valores de precipitación total anual para cada estación meteorológica en un archivo shape.
Generación del modelo de precipitación	Modelo de precipitación utilizando el método de interpolación IDW en un archivo ráster.
Reclasificación del modelo de precipitación	Rango de precipitaciones comprendidas entre 250 y 2000 mm en un archivo shape.
Reclasificación del modelo de elevación digital en rangos altitudinales	Rango de altitudes comprendidas entre 0 – 1300 m.s.n.m en un archivo shape.
Reclasificación del modelo de elevación digital en pisos térmicos	Rango de piso térmico cálido con temperaturas mayores a los 24°C en un archivo shape.
Intersección de capas generadas para precipitación, temperatura y rango altitudinal	Áreas potenciales para el desarrollo del bosque seco en un archivo shape.
Combinación con capa de ecosistemas de bosque seco desarrollada por el IAvH (2014)	Áreas potenciales para el desarrollo del bosque seco en el departamento de Caldas en un archivo shape

9.1 Modelación climática y topográfica

La información obtenida expone que el departamento de Caldas presentó una precipitación anual que oscila entre 1307,9 y 5575,4 mm en el periodo comprendido entre los años 2008-2018. Las mayores precipitaciones se observan en las elevaciones propias de las cordilleras y las mínimas precipitaciones se ubican en las zonas más planas (Fig. 11). Además, presenta un rango altitudinal que varía entre 200 y 5432 m.s.n.m (Fig. 12).

En cuanto a la temperatura, el departamento presenta gran variedad de pisos térmicos. Las temperaturas mayores a los 24°C se presentan principalmente en la

franja aleadaña al río Magdalena y al occidente del departamento, sobre la cuenca del río Cauca (Fig. 13).

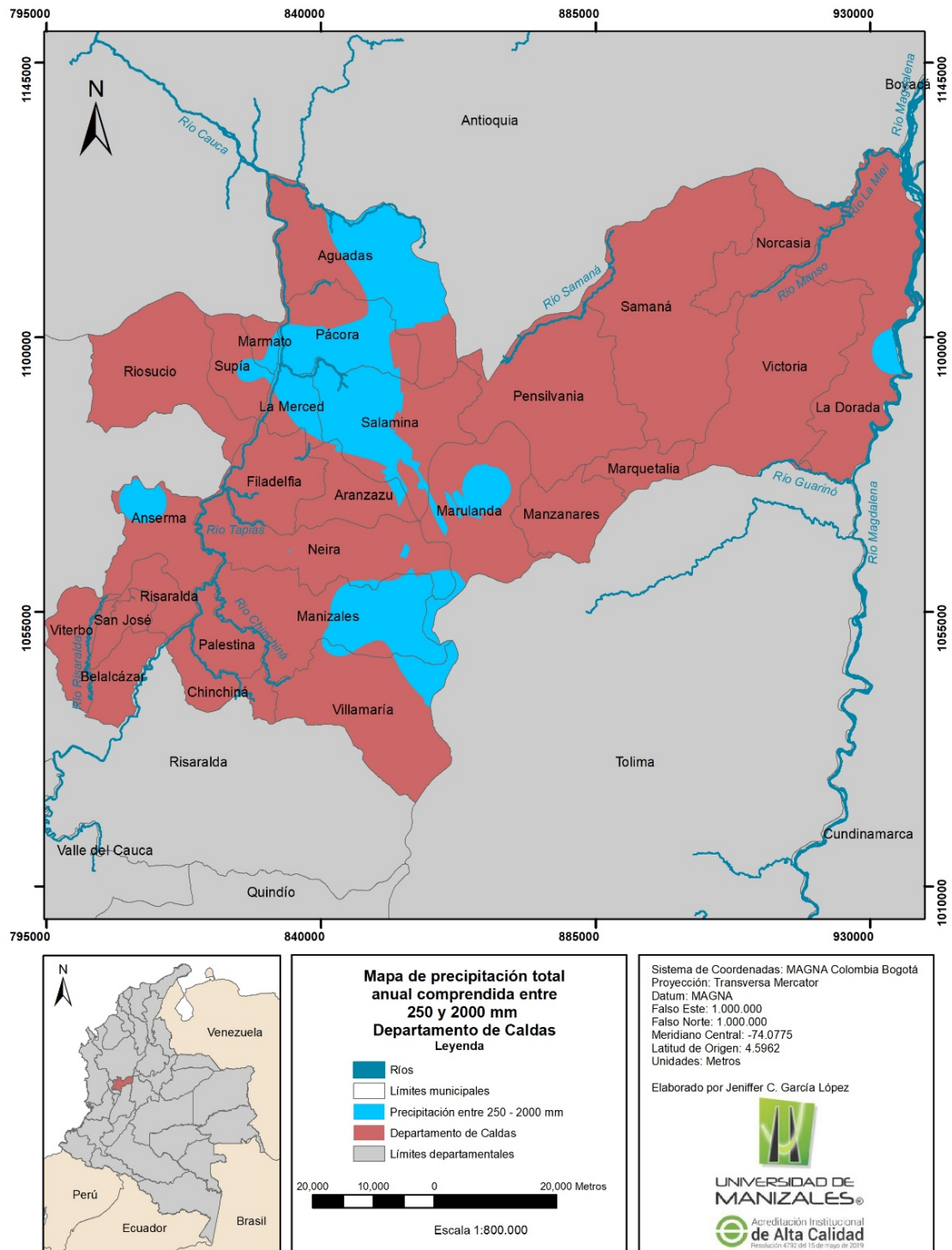


Figura 11. Mapa de precipitación total anual comprendida entre 250 y 2000 mm.

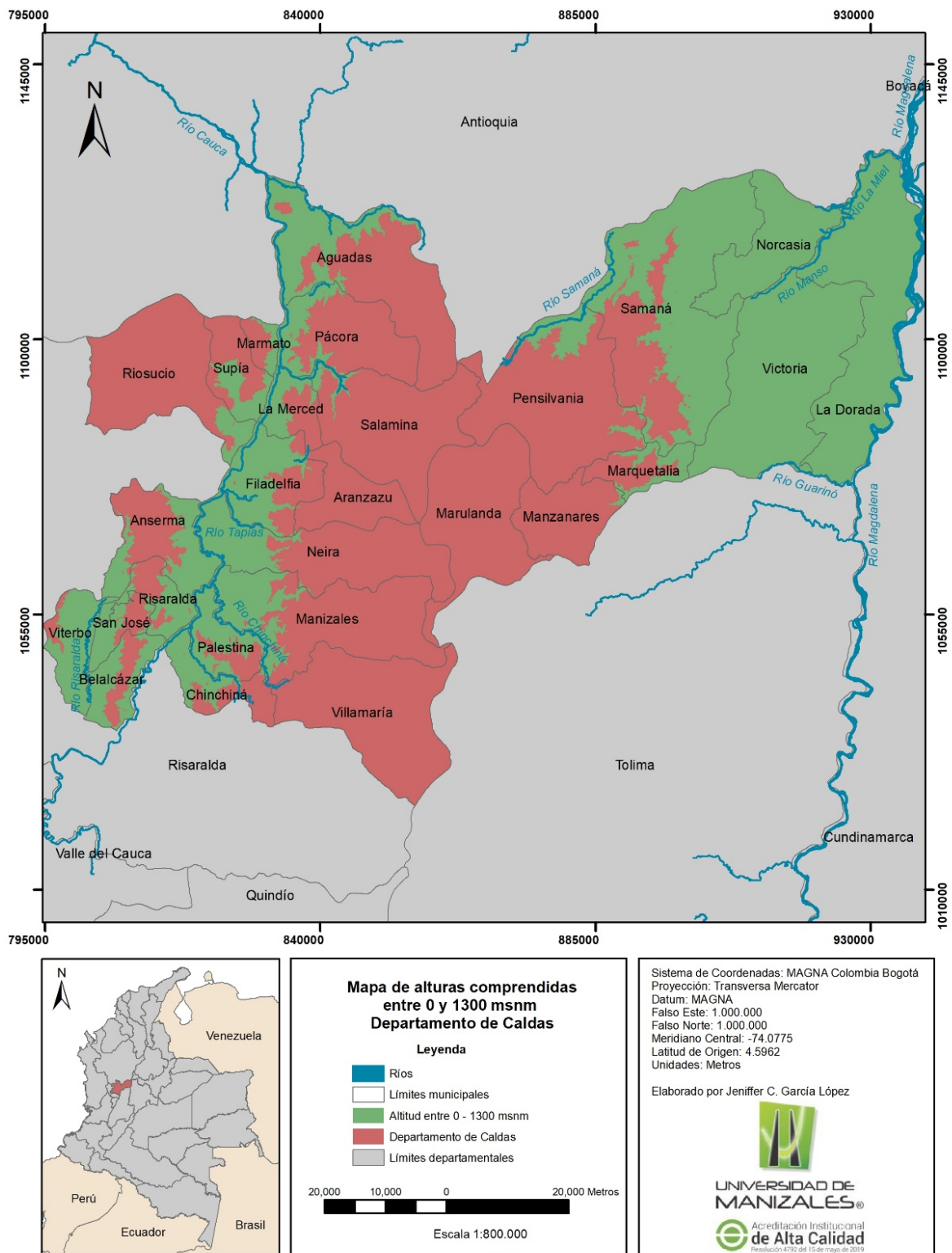


Figura 12. Mapa de alturas comprendidas entre 0 y 1300 m.s.n.m.

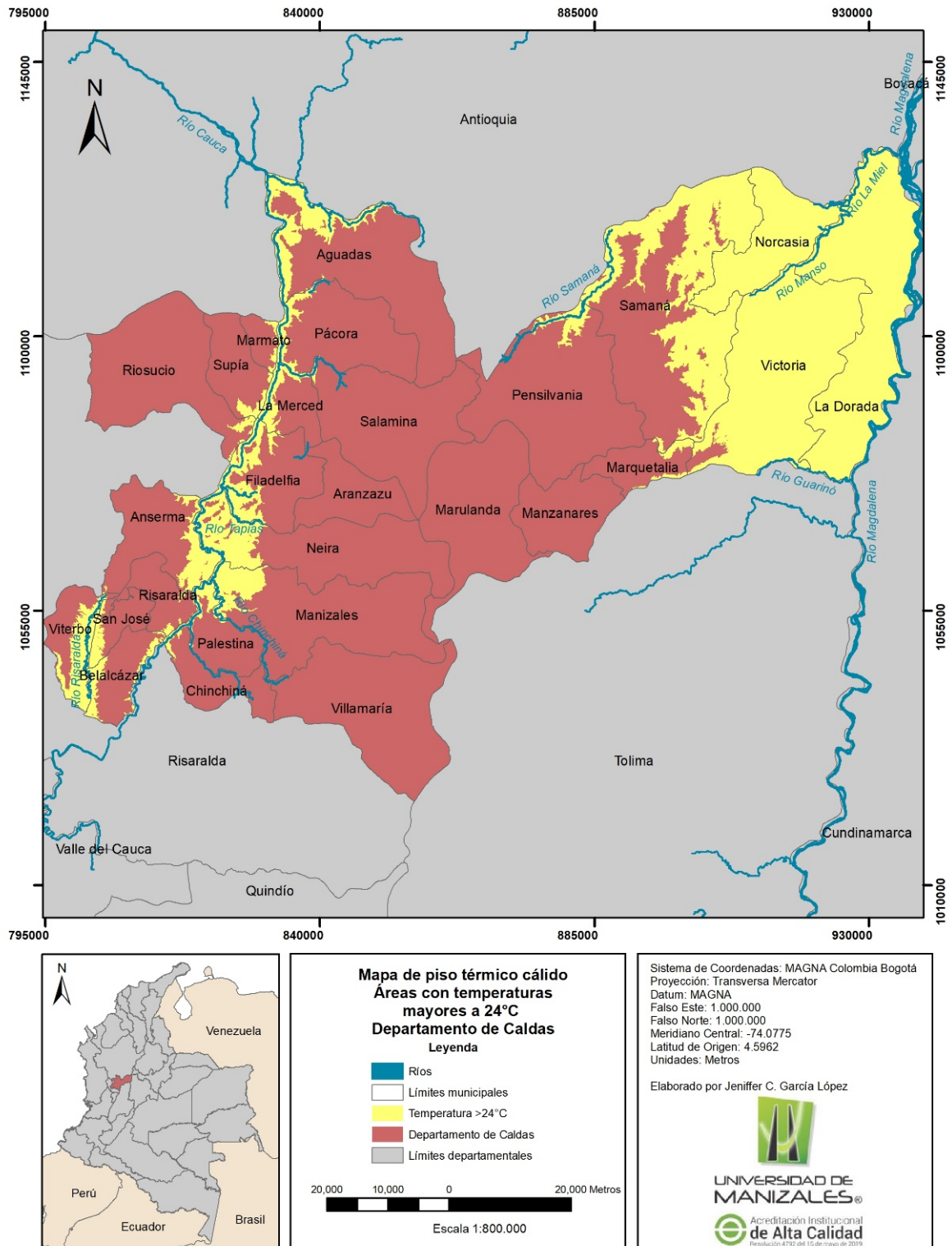


Figura 13. Mapa de piso térmico con temperaturas mayores a 24°C.

9.2 Áreas potenciales para el desarrollo de bosques secos

A partir de la intersección de capas de variables climáticas y topográficas, se obtuvo como resultado las áreas potenciales para el desarrollo de bosque seco en el departamento. Estas áreas comprenden un total de 7315,64 hectáreas y se encuentran en los municipios de Aguadas, La Dorada, La Merced, Marmato, Pácora, Salamina y Supía (Fig. 14).

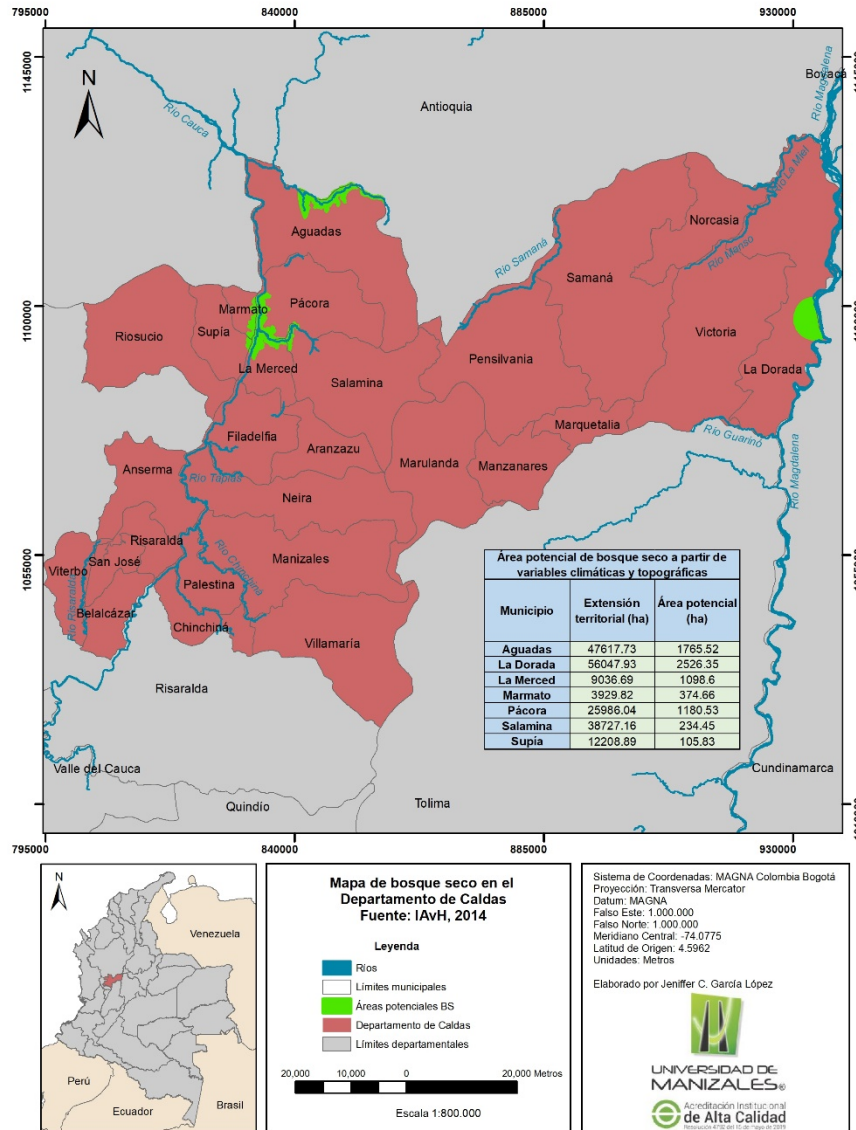
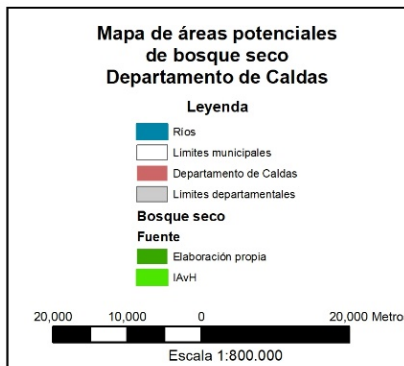
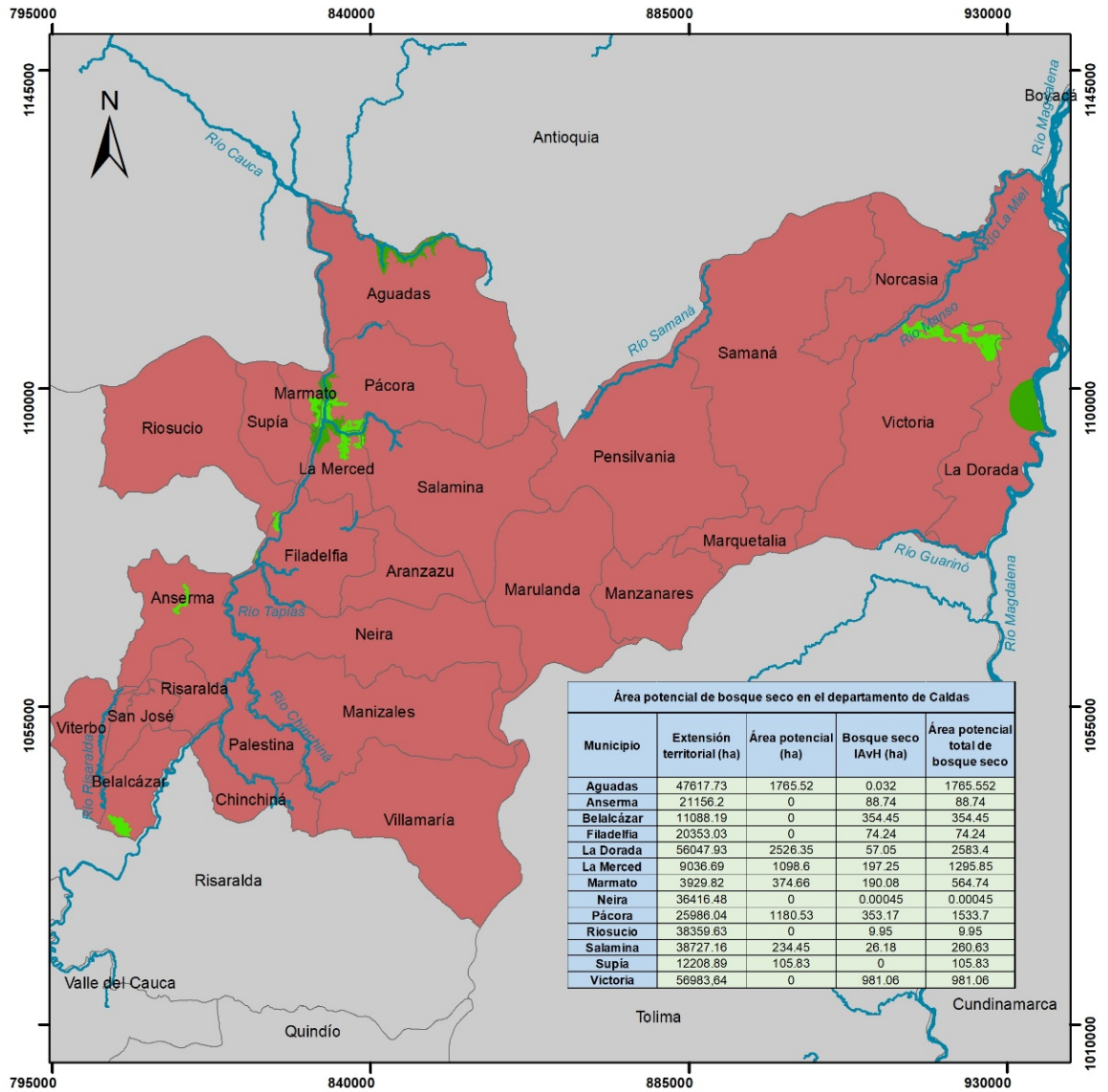


Figura 14. Mapa de áreas potenciales para el desarrollo de bosque seco en el departamento de Caldas a partir del cruce de variables climáticas y topográficas.

9.3 Bosque seco tropical en el departamento de Caldas

Al complementar la información obtenida a partir las áreas potenciales para el desarrollo de bosque seco con la capa elaborada por el Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt (IAvH, 2014) (Fig. 15), se obtiene que este ecosistema se encuentra presente en 13 municipios del departamento de Caldas (Tabla 8). Los valores mayores de área potencial se registran en los municipios de La Dorada con 2583,4 ha, seguido de Aguadas (1756,552 ha), Pácora y La Merced (1533,7 y 1295,85 ha respectivamente). Los municipios que registran menor área potencial para el desarrollo de bosque seco son Neira (0,00045 ha) y Riosucio (9,95 ha).



Sistema de Coordenadas: MAGNA Colombia Bogotá
Proyección: Transversa Mercator
Datum: MAGNA
Falso Este: 1.000.000
Falso Norte: 1.000.000
Meridiano Central: -74.0775
Latitud de Origen: 4.5962
Unidades: Metros

Elaborado por Jeniffer C. García López

UNIVERSIDAD DE MANIZALES®
Acreditación Institucional de Alta Calidad
Resolución 4130 del 15 de mayo de 2010

Figura 15. Mapa de áreas potenciales de bosque seco tropical en el departamento de Caldas

Tabla 8. Área potencial de bosque seco tropical en el departamento de Caldas

Municipio	Extensión territorial (ha)	Área potencial (ha)	Bosque seco IAvH (ha)	Área potencial total de bosque seco	Figura
Aguadas	47617,73	1765,52	0,032	1756,552	Fig. 16
Anserma	21156,20	-	88,74	88,74	Fig. 17
Belalcázar	11088,19	-	354,45	354,45	Fig. 18
Filadelfia	20353,03	-	74,24	74,24	Fig. 19
La Dorada	56047,93	2526,35	57,05	2583,4	Fig. 20
La Merced	9036,69	1098,60	197,25	1295,85	Fig. 21
Marmato	3929,82	374,66	190,08	564,74	Fig. 22
Neira	36416,48	-	0,00045	0,00045	Fig. 23
Pácora	25986,04	1180,53	353,17	1533,7	Fig. 24
Riosucio	38359,63	-	9,95	9,95	Fig. 25
Salamina	38727,16	234,45	26,18	260,63	Fig. 26
Supía	12208,89	105,83	-	105,83	Fig. 27
Victoria	56983,64	-	981,06	981,06	Fig. 28
Total		7315,94	2332,21	9618,14	

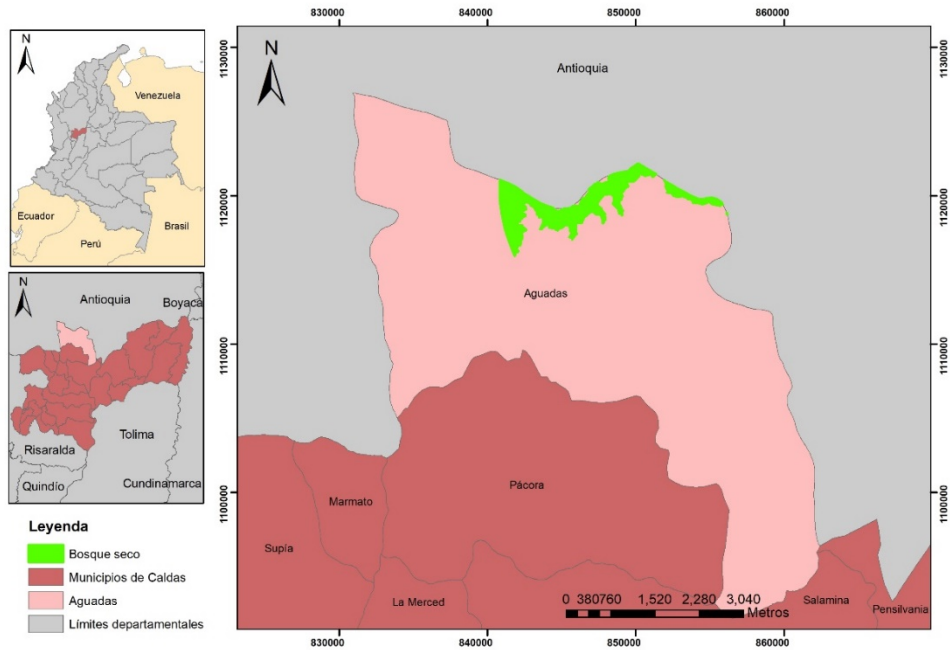


Figura 16. Área potencial de bosque seco en el municipio de Aguadas

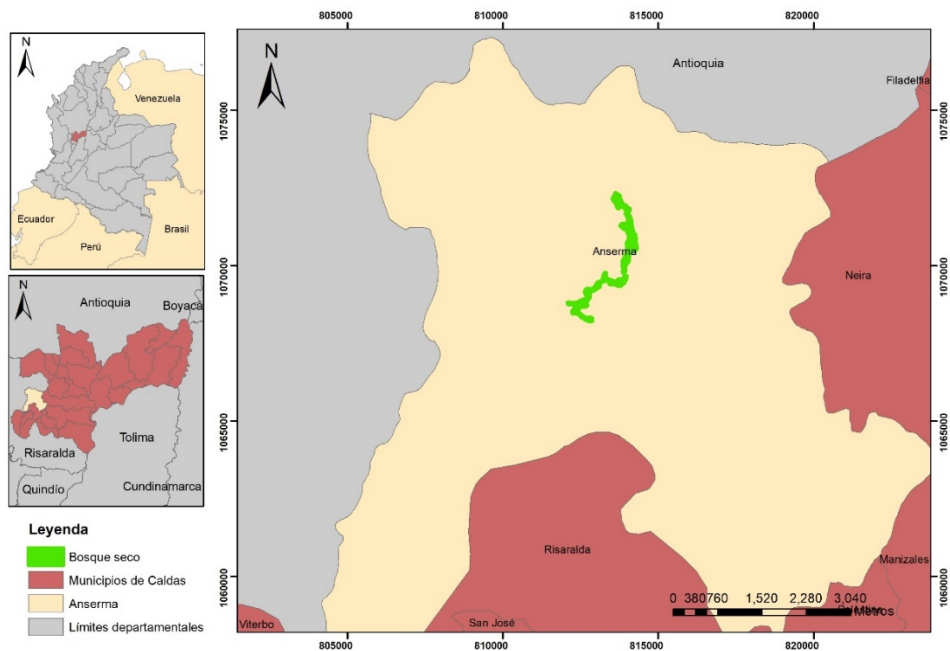


Figura 17. Área potencial de bosque seco en el municipio de Anserma.

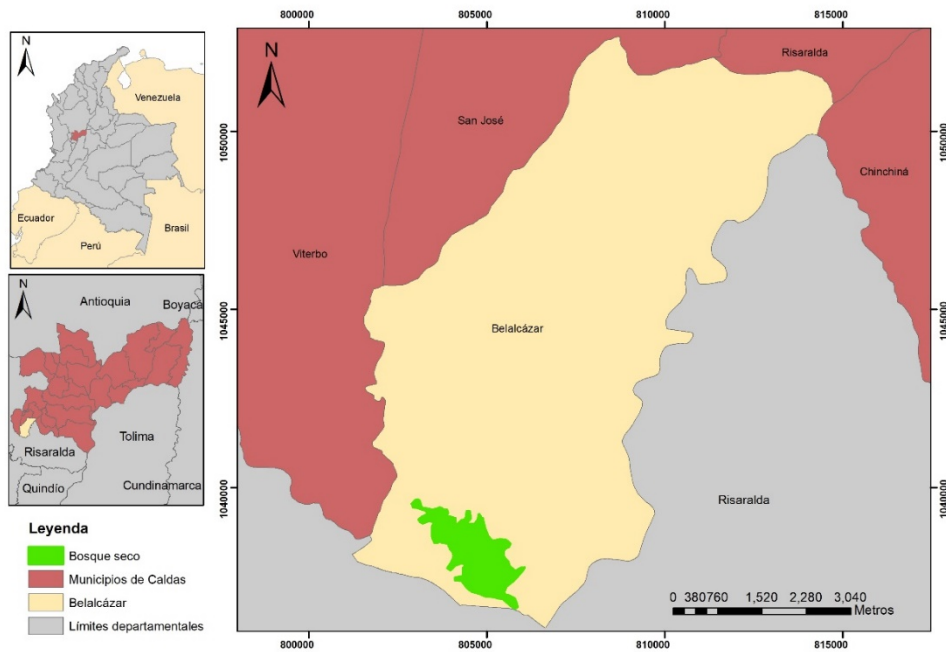


Figura 18. Área potencial de bosque seco en el municipio de Belalcázar.

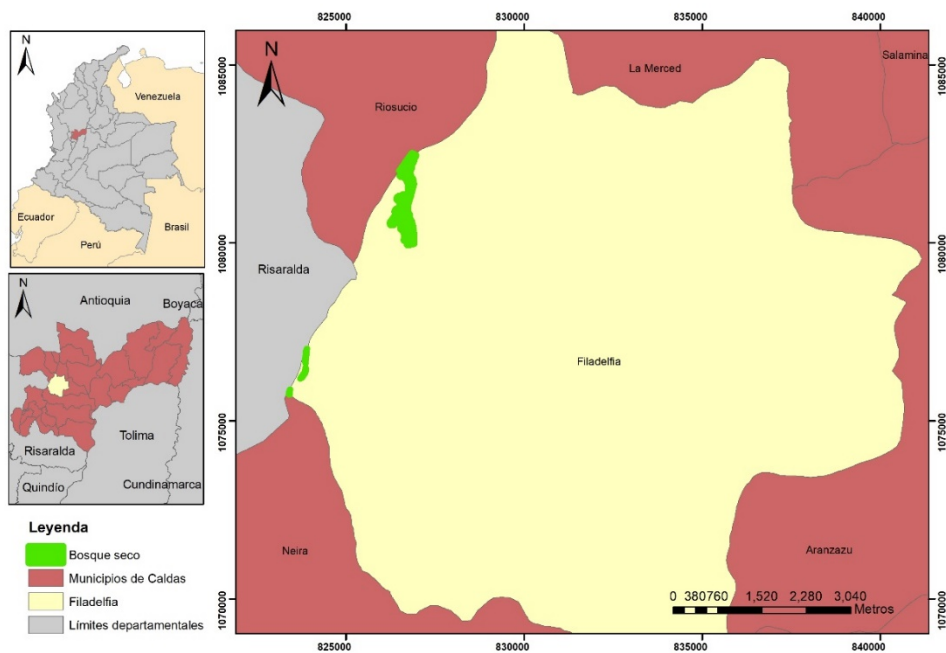


Figura 19. Área potencial de bosque seco en el municipio de Filadelfia.

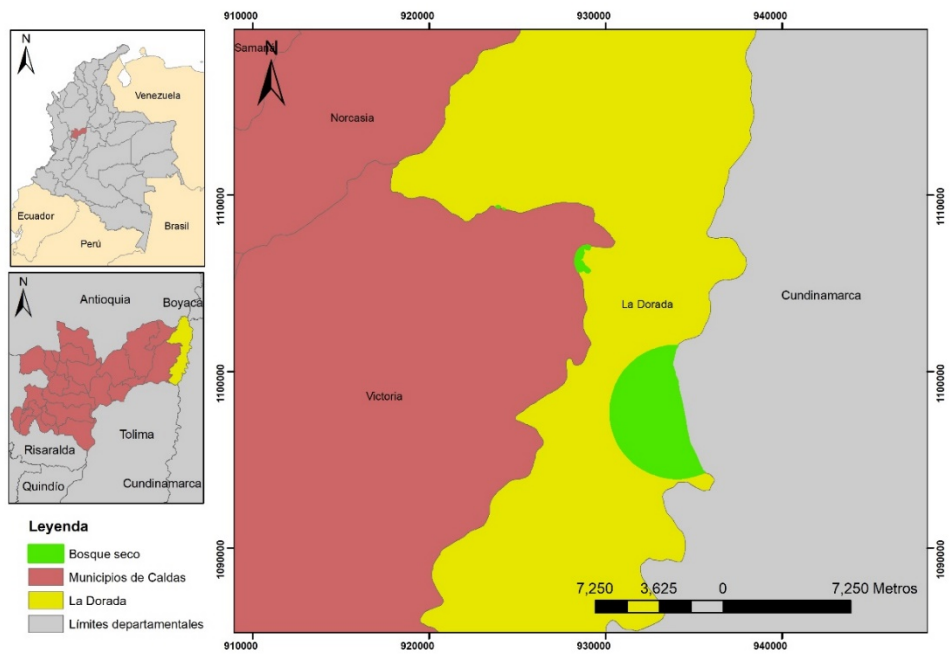


Figura 20. Área potencial de bosque seco en el municipio de La Dorada.

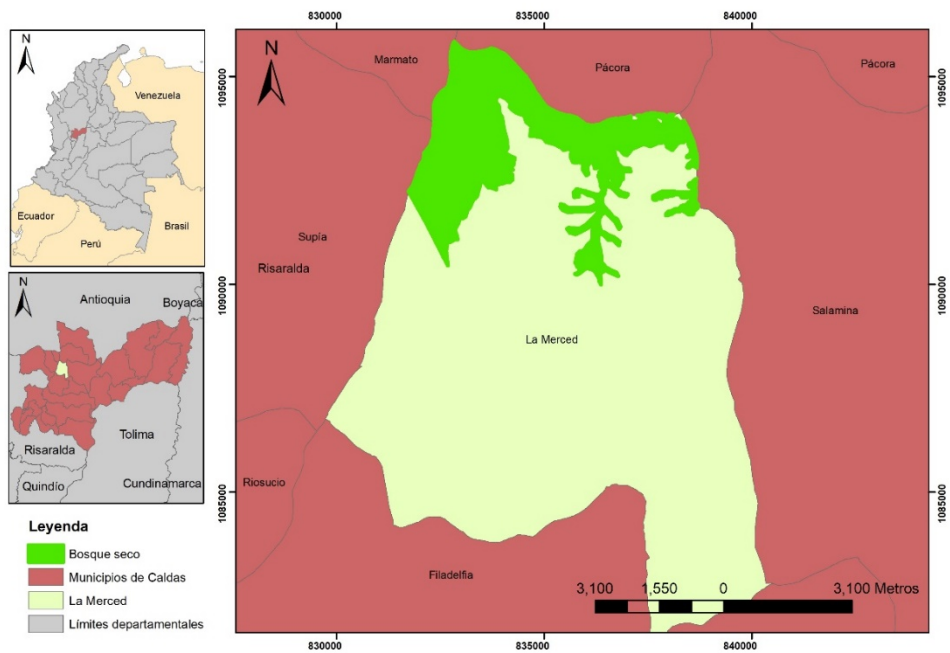


Figura 21. Área potencial de bosque seco en el municipio de La Merced.

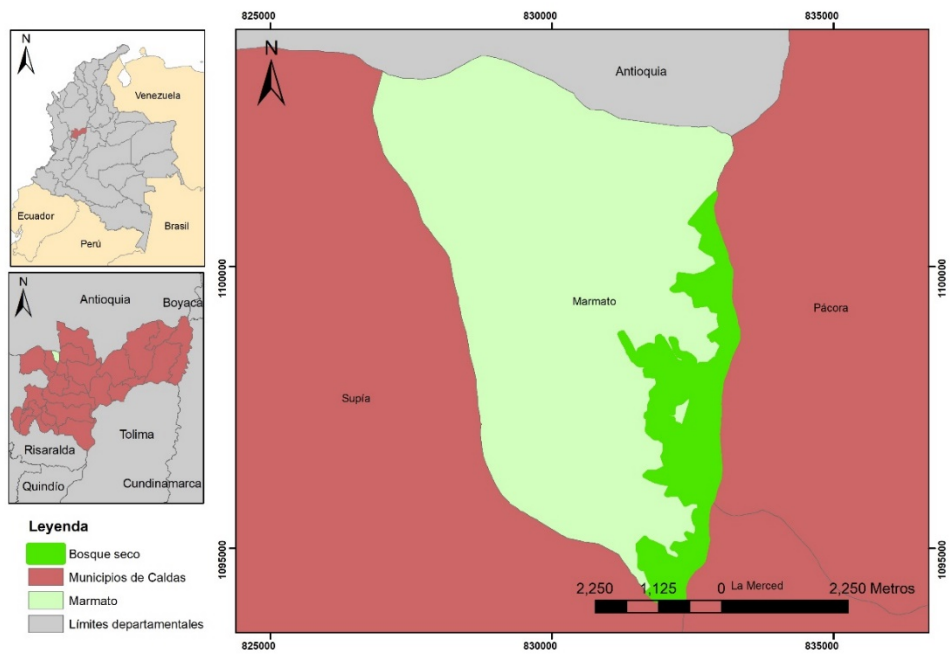


Figura 22. Área potencial de bosque seco en el municipio de Marmato.

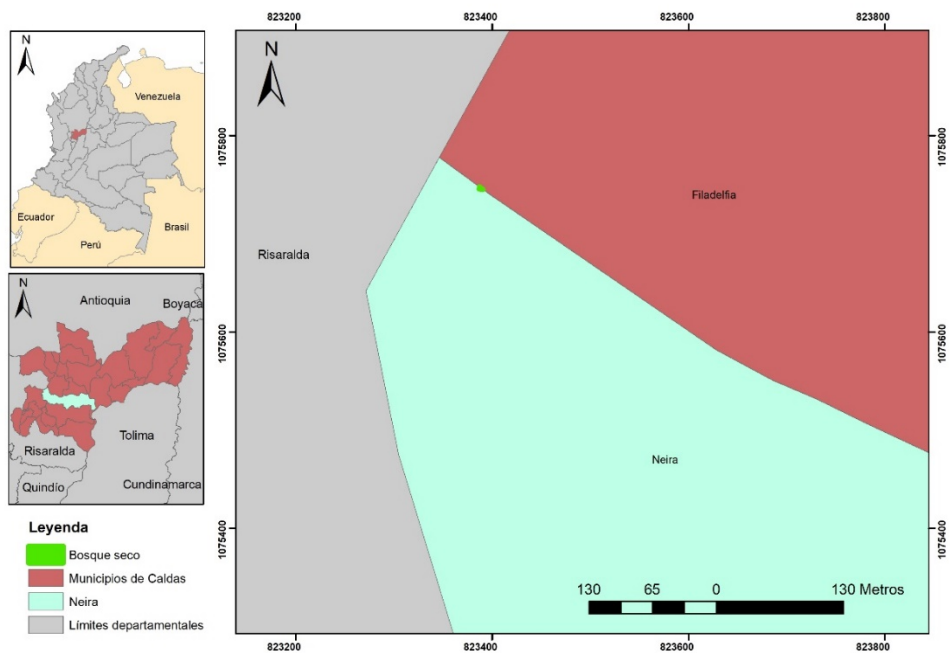


Figura 23. Área potencial de bosque seco en el municipio de Neira.

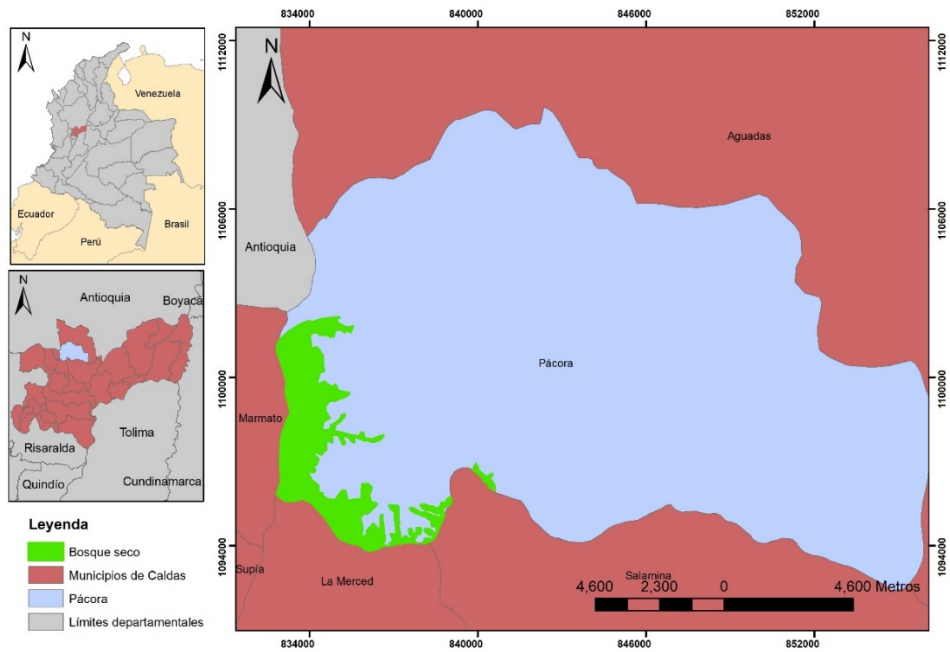


Figura 24. Área potencial de bosque seco en el municipio de Pacora.

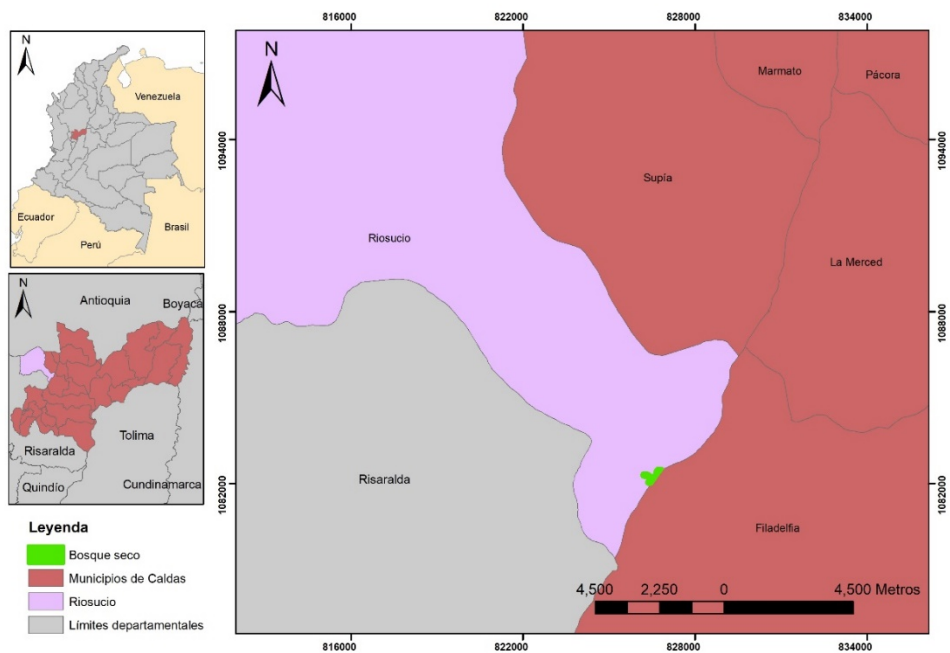


Figura 25. Área potencial de bosque seco en el municipio de Riosucio.

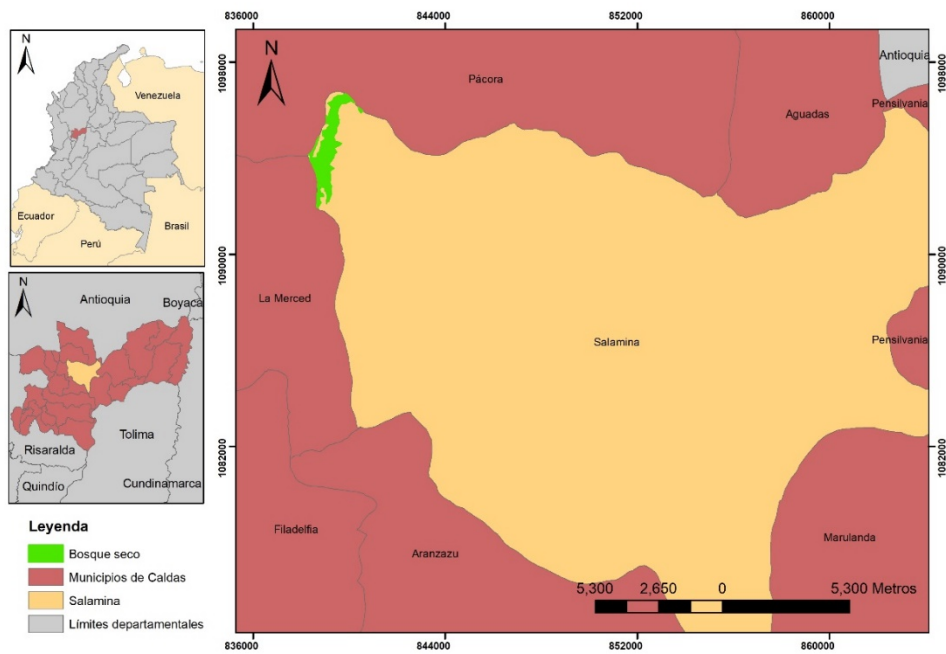


Figura 26. Área potencial de bosque seco en el municipio de Salamina.

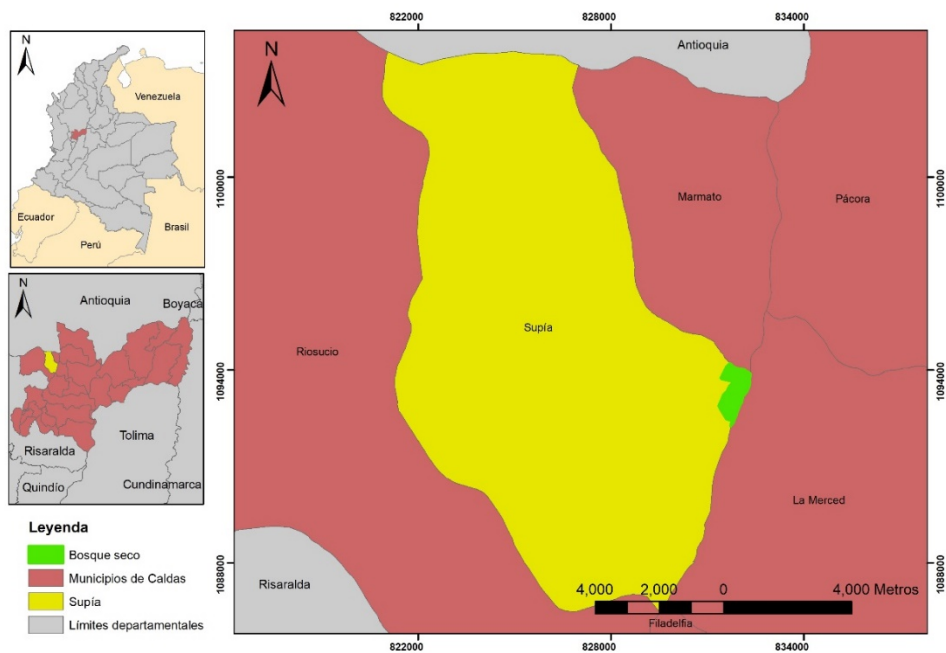


Figura 27. Área potencial de bosque seco en el municipio de Supía.

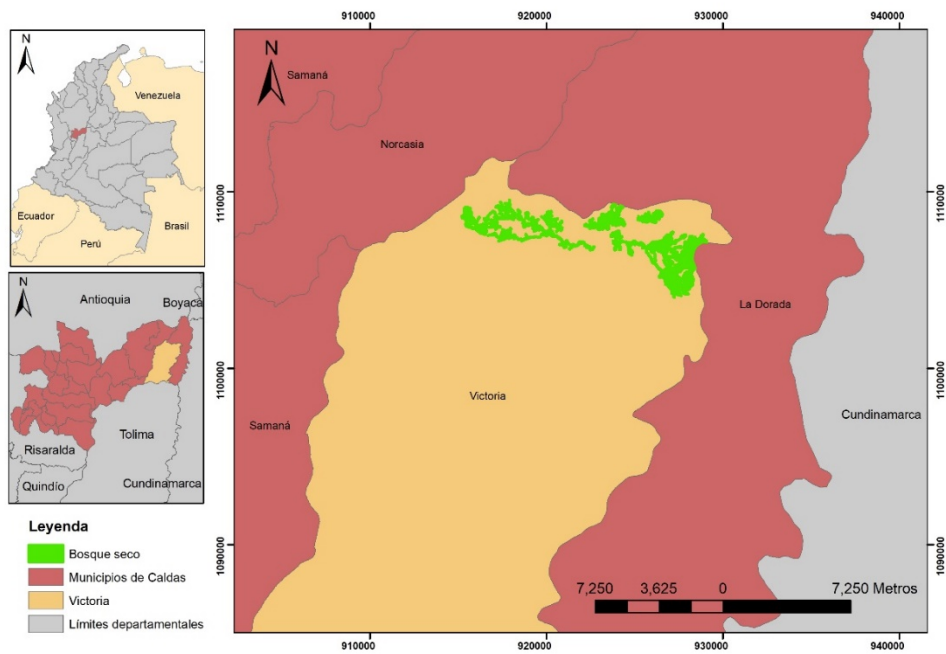


Figura 28. Área potencial de bosque seco en el municipio de Victoria.

10. CONCLUSIONES

- Se determinaron las áreas potenciales para el desarrollo de coberturas de bosque seco en el departamento de Caldas en base a información climática y topográfica; complementando los resultados obtenidos con información proveniente del Instituto Alexander von Humboldt.
- En total 13 municipios del departamento de Caldas presentan condiciones climáticas idóneas para el desarrollo potencial y distribución de bosques secos, entre los cuales se encuentran: Aguadas, Anserma, Belalcázar, Filadelfia, La Dorada, La Merced, Marmato, Neira, Pácora, Riosucio, Salamina, Supía y Victoria.
- Las áreas potenciales determinadas en el presente estudio representan la línea base para futuras investigaciones enfocadas en la conservación y gestión integral del ecosistema de bosque seco en jurisdicción de CORPOCALDAS.
- La ausencia de estaciones meteorológicas con datos de temperatura en algunas zonas del departamento de Caldas dificulta el análisis de la información climática.
- El uso de métodos de interpolación es de gran importancia al momento de generar predicciones de tipo climático, ya que los datos provenientes de estaciones meteorológicas solo proporcionan fuentes puntuales de comportamiento climático.
- La aplicación de metodologías basadas en la intersección de capas temáticas permite visibilizar la variabilidad espacial de las diferentes unidades climáticas que conforman los ecosistemas en áreas geográficas específicas.

11.RECOMENDACIONES

- Se recomienda complementar los resultados obtenidos en el presente estudio con el análisis de imágenes satelitales que muestren claramente la ubicación de los bosques secos en el departamento y así poder llevar a cabo análisis de conectividad y métricas del paisaje que sirvan de base para la generación de estrategias de conservación y gestión integral de dicho ecosistema.
- Se recomienda a la Corporación Autónoma Regional- CORPOCALDAS realizar el respectivo levantamiento de la información en campo para verificar la presencia de coberturas boscosas en las áreas potenciales determinadas.
- Futuras investigaciones de bosque seco en el departamento de Caldas deben dirigirse hacia estudios detallados de la estructura, composición y función de las áreas que presentan condiciones favorables para el desarrollo de estas formaciones vegetales.
- Las administraciones de aquellos municipios que presentan área potencial para el desarrollo de bosque seco deben incorporar en sus POT el ecosistema de bosque seco como un área de preservación y en aquellas zonas en donde se presenten conflictos de uso del suelo, adelantar procesos de concertación.
- Se recomienda a la Corporación autónoma Regional- CORPOCALDAS y a las administraciones municipales adelantar programas de capacitación a los habitantes de los municipios que presenten áreas potenciales de bosque seco en Caldas, a fin de sensibilizarlos con respecto al papel que cumple este ecosistema como centros de biodiversidad.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado-Solano, D., & Otero-Ospina, J. (2015). Distribución espacial del Bosque Seco Tropical en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta biológica Colombiana*, 20(3): 141-153.
- Arcila-Cardona, A., Valderrama-Ardila, C., & Chacón de Ulloa, P. (2012). Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca. *Biota Colombiana Vol.13*.
- Cabello, J., & Paruelo, J. (2008). La teledetección en estudios ecológicos. *Ecosistemas, revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 17(3),1-3.
- Chacón de Ulloa, P., Osorio-García, A., Achury, R., & Bermúdez-Rivas, C. (2012). Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del Bosque seco Tropical (Bs-T) de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 13(2):165-181.
- Dirzo, R., & Raven, P. (2006). Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environmental Resources*, 28:137-167.
- Dirzo, R., H.S, Y., H.A, M., & G, C. (2011). Seasonally dry Tropical Forests. *Island Press*, Washington D.C. EE.UU.
- Dryflor. (2016). Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. *Science*, 353: 1383 - 1387.
- Espinal, L. (1967). Apuntes sobre ecología colombiana. *Universidad del Valle. Cali. Colombia*.
- Espinal, L., & Montenegro, E. (1977). Formaciones vegetales de Colombia. *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*, pp 201.
- Etter, A., Clive, M., & Hugh, P. (2008). Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: A regionalized spatial approach. *Annals of the Association of American Geographers*, 98(1); 2-23.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. *Luxemburgo, Luxemburgo: Comisión Europea; Oficina de Publicaciones de la Unión Europea*.
- Gobierno de Caldas. (2017). Obtenido de <https://caldas.gov.co/index.php/portfolio-2/informacion-general/geografia-de-caldas>
- Holdridge, L. (1996). Ecología basada en Zonas de Vida. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. San José de Costa Rica*, 225.

IAvH - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (1998). El bosque seco tropical (Bs-T) en Colombia. *Bogotá D.C., Colombia: GEMA - Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental.*

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., 72.*

IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1998). Guía metodológica para la formulación del plan de ordenamiento territorial urbano. *Modelo de datos.*

IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2014). Instructivo de Zonificación Climática para el departamento de Caldas. *Grupo interno de trabajo de levantamientos agrológicos.*

Janzen, D. (1988). Tropical dry forests: the most endangered major tropical ecosystems. Pags 130-136. *En: E.O. Wilson, eds. Biodiversity. National Academy Press, Washington D.C. EE.UU.*

Miles, L. A., Newton, C., R.S. D., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Gordon. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33: 491-505.

Murphy, P., & Lugo, A. (1986). Ecology Tropical Dry Forest. *Ann Rev Ecol Syst.*, 17:67-88.

NCGIA.(1990).Obtenido de <http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GISTheory.htm>

Olson, D., Dinerstein, E., Wikramanayake, E., Burgess, N., Powell, G., Underwood, E., Kasem, K. (2001). Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience*, 51(11): 933-938.

Pennington, R., Lavin, M., & Oliveira-Filho. (2009). Woody plant diversity, evolution and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 40:437-457.

Pizano, C., & García, H. (2014). El Bosque Seco Tropical en Colombia. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Bogotá D.C, Colombia.*

Pizano, C., González-M, R., Hernández-Jaramillo, A., & García, H. (2017). Agenda de investigación y monitoreo en bosques secos de Colombia (2013-2015): Fortaleciendo redes de colaboración para su gestión integral en el desarrollo. *Biodiversidad en la Práctica. Documentos de trabajo del Instituto Humboldt*, Vol 2. No. 1 - 48-86.

Pizarro, R. R., & C, F. J. (2003). Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones reales anuales en períodos extremos. *Comparison*

analyses of five mean areal rainfall estimation methods in widely varying years, BOSQUE 24(3):31-38. NOTA TÉCNICA.

Portillo-Quintero, C., & Sánchez-Azofeifa, G. (2010). Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation*, 143:144-155.

Romero, L., & Giraldo, C. (2012). Tropical Dry Forest in the upper Magdalena river basin (Colombia). Structure, diversity and conservation status. *Bogotá D.C. Colombia: U.D.C.A. - Universidad de Ciencias Aplicadas y ambientales*.

Sanchez-Azofeifa, G., Quesada, M., Rodríguez, J., Nassar, M., Stoner, K., Castillo, A., Cuevas-Reyes, P. (2005). Research priorities for Neotropical dry Forests. *Biotropica*, 37:477-485.

SIRAP Eje Cafetero. (2014). Clasificación de Ecosistemas Naturales Terrestres del Eje Cafetero. *Análisis de Representatividad del Sistema Regional de Áreas Protegidas*, Santiago de Cali, Colombia.

Torres, A., Adarve, J., Cárdenas, M., Vargas, J., Londoño, V., Rivera, K., & Home, J. (2012). Dinámica sucesional de un fragmento de bosque seco tropical del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 13(2):66-85.

Wall, D., González, G., & Simmons, B. (2011). Seasonally dry tropical forest soil diversity and functioning, pp. 61-70. *En: Dirzo R, H. S. Youn, H.A. Mooney, y G. Ceballos (eds). Seasonally Dry Tropical Forests*, Island Press, Washington D.C., EE.UU.