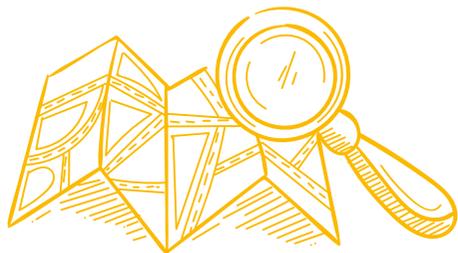


Identificación de las zonas de ladera aptas para el cultivo de piña MD2 en el territorio del Valle del Cauca



Andrés Jines León
Anton Eitzinger



Financian



Apoyan



Organiza

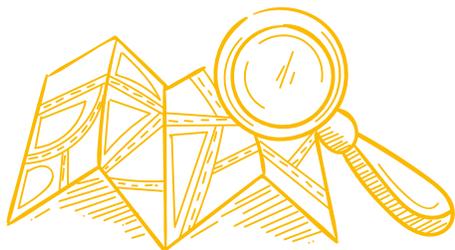


Identificación de las zonas de ladera aptas para el cultivo de piña MD2 en el territorio del Valle del Cauca



Andrés Jines León
Anton Eitzinger

Identificación de las zonas de ladera aptas para el cultivo de piña MD2 en el territorio del Valle del Cauca



Andrés Jines León
Anton Eitzinger

Financian



Apoyan



Organiza



Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Jinés León, Andrés

Identificación de las zonas de ladera aptas para el cultivo de piña MD2 en el territorio del Valle del Cauca / Andrés Jinés León, Anton Eitzinger. — Primera edición. — Bogotá : Editorial Universidad Nacional de Colombia ; Palmira : Universidad Nacional de Colombia. Proyecto Incremento de la Competitividad Sostenible, 2021.

74 páginas : ilustraciones (principalmente a color), diagramas, mapas

Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-794-609-3 (rústica). — ISBN 978-958-794-610-9 (e-book)

1. Zonificación de suelos 2. Piña — Cultivo — Valle del Cauca — Colombia 3. Ananás comosus 4. Investigación agrícola para el desarrollo 5. Desarrollo de la comunidad I. Eitzinger, Anton II. Título

CDD-23 631.4786152 / 2021

© Universidad Nacional de Colombia

© Proyecto Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, occidente

Primera edición, agosto del 2021

ISBN impreso: 978-958-794-609-3

ISBN digital: 978-958-794-610-9

Preparación editorial

Editorial Universidad Nacional de Colombia

Av. El Dorado # 44A-40

Hemeroteca Nacional Universitaria

Bogotá D.C., Colombia

(+57 1) 316 5000 Ext. 20040

direditorial@unal.edu.co

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

Sede Principal y Oficina Regional para América

Latina y el Caribe

Km 17 Recta Cali-Palmira. C. P. 763537

A. A. 6713, Cali, Colombia

Teléfono: +57 2 4450000

Punto focal: Jhon Jairo Hurtado

Correo electrónico: j.hurtado@cgiar.org

Página web: www.ciat.cgiar.org

Coordinación editorial

Angélica María Olaya Murillo

Corrección de estilo

Hernán Rojas

Diseño de la colección

Andrea Kratzer

Diseño de cubierta

Juan Carlos Villamil N.

Diagramación

Martha Echeverry

Este documento hace parte de una serie de volúmenes estratégicos desarrollados en el marco de proyecto “Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, occidente”, financiado por el Sistema General de Regalías (SGR) y coordinado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

Fotografías de cubierta Pedro José Arango Dussan

Viñeta de cubierta diseñada por ikatod / rawpixel / Freepik, tomada de: www.freepik.es

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso y hecho en Bogotá, D. C., Colombia



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual

CC BY-NC-SA

AGRADECIMIENTOS

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) agradece a la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, por habernos permitido liderar este proceso de zonificación de cultivos de relevancia socioeconómica en el departamento. Del mismo modo, expresamos nuestra gratitud con la Gobernación del Valle del Cauca y el Sistema General de Regalías como financiadores del proyecto. Asimismo, a la Sociedad de Agricultores y Ganaderos del Valle del Cauca (SAG) y a la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) por las contribuciones de información que, como fuente de consulta secundaria, sirvieron como cimiento para la construcción de nuevos conocimientos.

Por último, extendemos un especial agradecimiento al equipo de trabajo de la UNAL y del CIAT por su compromiso y apoyo con esta investigación, y de forma particular a:

Alejandra Galvez, Lizette Diaz, Natalia Gutierrez y Mark Lundy (CIAT)

Carlos Germán Muñoz, Eyder Daniel Gómez, Herney Darío Vasquez y Raúl Saavedra (UNAL)

Mónica Cifuentes (joven investigadora, UNAL)

CONTENIDO

Introducción.....	11
1. Objetivos.....	12
1.1. Objetivo general.....	12
1.2. Objetivos específicos.....	12
2. Marco de referencia.....	12
2.1. Antecedentes.....	12
2.2. Singularidades del cultivo de piña MD2.....	13
2.3. Alcances y limitaciones de la zonificación.....	14
3. Marco de conceptos generales.....	15
3.1. Zonificación edafoclimática.....	15
3.2. Componentes físicos.....	15
3.2.1. Clima.....	15
3.2.2. Suelos.....	17
3.2.3. Geomorfología.....	18
3.3. Criterios socioecosistémicos.....	18
3.4. Criterios socioeconómicos.....	18
3.5. Cambio climático.....	19
4. Metodología.....	19
4.1. Recolección y producción de datos.....	23
4.1.1. Identificación de la zona de estudio.....	23
4.1.2. Obtención de variables climáticas.....	24
4.1.3. Obtención de variables de suelo.....	26
4.1.4. Obtención de las variables geomorfológicas.....	26
4.1.5. Obtención de los requerimientos para el cultivo de piña MD2.....	26
4.1.6. Obtención de información socioecosistémica a nivel departamental.....	27
4.1.7. Información socioeconómica a nivel departamental derivada del Tercer Censo Nacional Agropecuario de 2014.....	28
4.2. Ajuste de datos. Reclasificación de las variables.....	29
4.3. Superposición ponderada.....	30
4.4. Categorización.....	31
4.5. Vinculación de información socioecosistémica y socioeconómica.....	33
5. Resultados.....	35
5.1. Zonificación edafoclimática para la piña MD2.....	35
5.2. Validación de resultados de la zonificación edafoclimática.....	39
5.3. Información socioecosistémica y socioeconómica asociada con las áreas de zonificación edafoclimática.....	40
5.4. Información socioeconómica asociada con las áreas de zonificación edafoclimática.....	51
5.5. Aptitud climática basada en escenarios de cambio.....	54
Conclusiones.....	68
Referencias.....	68
Anexos.....	70

INTRODUCCIÓN

En Colombia, es necesario que los productores adquieran conocimientos y desarrollen capacidades en temáticas concernientes a las cadenas de valor y, de este modo, bajo propuestas de carácter incluyente, accedan a los mercados. Así, a partir de esta base, se ha desarrollado el proyecto de regalías: “Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente”, el cual, mediante un enfoque participativo de aprendizaje en dichas temáticas, ha fomentado la circulación de conocimiento y el intercambio de información.

A través de una perspectiva de construcción conjunta e inclusión activa de los actores de la cadena de la piña MD2, se ha delineado una visión a futuro con una serie de estrategias y herramientas que apuntan al mejoramiento del desarrollo rural, bajo lineamientos de competitividad integral y de sostenibilidad. Así, en el ámbito de esta investigación, se ha llevado a cabo el análisis de la zonificación edafoclimática, en escenarios de cambio climático, y la revisión de las condiciones socioecosistémicas y socioeconómicas. Con este aporte, se espera apoyar con mayor precisión a la planeación, las políticas de fomento, la gestión y la toma de decisiones, tanto para el sector público como para el privado.

En cuanto a la implementación del análisis de zonificación, este se basa en el uso de herramientas de sistemas de información geográfica para el tratamiento y evaluación de la información de las variables (edáficas y climáticas) inscritas en el componente físico. A partir de este, se determina, según sea el interés, la aptitud del territorio para soportar cierto tipo de producción. Por su parte, en el componente socioecosistémico se identifica las variables que permiten obtener una interpretación aproximada de las dinámicas ecológicas que condicionan la actividad productiva. Finalmente, en el componente socioeconómico se analiza los criterios que involucra la competitividad y las condiciones sociales que delimitan la actividad. A partir de estos, se obtienen las áreas de aptitud en la zona de ladera en el departamento donde potencialmente se podría desarrollar el cultivo de piña MD2. En este caso, en particular, la zonificación se ha proyectado a una escala 1:100.000 con limitantes de altitud (a partir de los 1100 m s. n. m.), considerando que este corte de elevación es el que define el carácter de ladera de las zonas de estudio.

Según lo anterior, en este documento se presenta los resultados obtenidos en el ejercicio de identificación de las áreas aptas para el cultivo de piña MD2 en Colombia. Para la realización de la zonificación, tal y como se describe en el flujograma del proceso de zonificación, el estudio comenzó con la adquisición de los datos a partir de la definición de los criterios y los lineamientos de exclusión, paralelamente se realizaron los primeros análisis, que corresponden a la proyección del cambio climático para el cultivo de piña MD2. La segunda fase del estudio inició a partir del proceso de reclasificación, categorización, ponderación y generación de zonas de exclusión, las cuales se aplicaron a los mapas resultantes de los modelos ponderados. A su vez, a los modelos de cambio climático se les aplicó las capas de exclusión.

En la etapa final, se realizó la validación de los modelos generados con puntos de presencia reales tomados en campo. En consecuencia, el producto final de este estudio corresponde a los mapas a nivel de las zonas de ladera y a las tablas de resultados en los cuales se presentan los diferentes niveles de aptitud, en aspectos climáticos, edafológicos, geomorfológicos. Para la integración de los datos socioecosistémicos y socioeconómicos, se llevó a cabo una intersección con las áreas de aptitud de la zonificación edafoclimática. Por último, con relación a los resultados obtenidos, estos se aplicaron a nivel municipal, debido a que, para efectos de toma de decisiones, tanto en el ámbito público como en el privado —a escala regional—, estas unidades son las más adecuadas.



1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Elaborar la zonificación agrícola del cultivo la piña MD2 en el marco del proyecto “Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente”, del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTel) del Sistema General de Regalías (SGR).

1.2. Objetivos específicos

- Identificar los requerimientos ambientales para el desarrollo eficiente del cultivo de a piña MD2.
- Identificar las variables (suelos, clima, terreno) existente para las zonas de ladera en el departamento.
- Identificar las variables de los componentes físico, socioecosistémico y socioeconómico adyacentes e involucradas con el cultivo de piña MD2 en ladera que sean relevantes para este estudio.
- Determinar (indicar) las diferentes aptitudes de las zonas de ladera del Valle del Cauca respecto a las proyecciones de cambio climático para el año 2050.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes

Fortalecer las iniciativas de competitividad del sector hortofrutícola es un elemento fundamental para apuntalar estrategias vinculadas a la seguridad alimentaria y al desarrollo socioeconómico del país y de la región. Las iniciativas de zonificación como herramientas de conocimiento dirigidas al mejoramiento de la toma de decisiones en este campo tienen, a nivel nacional, en el caso de la piña MD2 una serie de aproximaciones que dan cuenta del panorama y las condiciones del sector. A continuación, se hace una reseña de estas iniciativas.

En Colombia, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MARD), en la búsqueda del mejoramiento de la cadena productiva de los cultivos potenciales para exportación, desarrolló la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) y creó una metodología de estudio para el cultivo de piña a escala 1:100.000, en especial, para la variedad MD2. Los estudios se centran en esta variedad, pues es la que mejor responde en el país a los requerimientos de exportación, por ello se ha buscado una mejor planificación en el uso del suelo. Dentro de esta, se considera la aptitud y la tendencia pecuaria, agrícola, forestal, acuícola y pesquera de carácter productivo en el territorio colombiano.

En el año 2015, Bancoldex y UTCF realizaron un ejercicio de zonificación a nivel nacional en el que se informó que el 17 % de la superficie nacional cuenta con aptitudes para la siembra y el desarrollo del cultivo de piña MD2; este porcentaje equivale a 20.283.799 ha, en el se incluye las tres categorías de aptitud (alta, media y baja). De acuerdo con esta zonificación, el departamento del Valle del Cauca cuenta solo con 295.850 ha aptas (26 % con aptitud baja, 60 % con aptitud media y el 14 % con aptitud alta). Por su parte, los departamentos del Meta, Caquetá, Magdalena, Córdoba y Cesar muestran ser los departamentos con mayor aptitud geográfica.

A su vez, a partir de la realización de un análisis en cuanto a las variables físicas, socioecosistémicas y socioeconómicas a nivel nacional, se validaron las cifras presentadas a través de la memoria técnica de la zonificación de aptitud para el cultivo comercial de piña híbrido MD2 en Colombia realizado por UPRA en 2017 (UPRA, 2017). En este informe se resaltó que el Valle del Cauca cuenta con un total de



370.629 ha, de las que el 26,5 % corresponde a las áreas con buenas condiciones para el establecimiento del cultivo (98.260 ha), el 60 % con limitaciones moderadas (221.898 ha) y, por último, el 13,5 % con baja aptitud (50.471 ha). Asimismo, este documento reveló que en el país existen 17.026.805 ha aptas para la siembra comercial de la fruta, lo cual equivale al 14,9 % del territorio nacional.

En lo concerniente a otro de los estudios a nivel local, Lozano y Rosero (2016) afirmaron, de modo puntual, que en la zonificación agroecológica realizada por la Sociedad de Agricultores y Ganaderos del Valle del Cauca (SAG) los municipios productores alcanzaron a registrar unas 272.041 ha de aptitud alta y 273.852 ha de aptitud media; estas cifras corresponden relativamente a las entregadas por Bancoldex y UPRA.

2.2. Singularidades del cultivo de piña MD2

Con respecto a la piña (*Ananas comosus*), esta es una de las frutas tropicales de mayor consumo a nivel mundial después del mango, el banano y la naranja. En cuanto a su origen, este se centra en América del Sur y existen indicios de unos primeros usos domésticos próximos a las zonas entre Brasil y Uruguay. Se estima que de esta área se ha propagado a otros países del continente, y posteriormente a Europa y Asia. En términos de producción, la piña ocupa el segundo lugar en importancia, con un porcentaje del 28 % en 2017, gracias a la fuerte demanda internacional (FAO, 2017). La producción de piña en América del sur, América central y el Caribe durante el año 2010 fue de 6,98 millones de toneladas, y representó el 35 % de la producción mundial gracias a las condiciones favorables del trópico. En Colombia, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) informó que en 2018 las zonas de Santander y Norte de Santander fueron las mayores zonas de producción (12.027 ha), lo cual equivale al 47 % de la producción nacional; adicionalmente informó también que los departamentos del Valle de Cauca, Meta, Quindío y Cundinamarca concentran más del 50 % del área sembrada en el país (MADR, 2018).

En el ejercicio de caracterizar este fruto tropical, el DANE señala que la especie de la cual procede la piña pertenece a la familia de las bromeliáceas, es de tipo herbáceo y perenne, cuyas raíces normalmente se desarrollan en los primeros 15 centímetros del horizonte del suelo. El tallo es corto y las hojas (de color verde oscuro, delgadas y largas, pueden alcanzar más de un metro de longitud) están dispuestas en forma espiral. El fruto, de forma cilíndrica, es una agrupación de frutos, es carnoso y termina en una agrupación de hojas. La pulpa, que es la parte comestible, es amarilla (sus tonalidades dependen de la variedad), es fibrosa y con un buen aroma, y está rodeada de brácteas de color verde que se tornan amarillas al madurar (DANE, 2016).

En cuanto a la piña Gold MD2, esta contiene un alto porcentaje de minerales (cobre, potasio, magnesio, manganeso y yodo) y vitaminas (A, B1, B6, C y E), distribuidos entre la fibra y el 85 % de agua que contiene. Los ácidos cítrico, fólico, málico y oxálico contribuyen a dar el grado de acidez al fruto. Estos componentes hacen que la fruta cuente con propiedades deseables para la incluirla en las dietas diarias, pues, además de sus otros beneficios, es categorizada como diurética, antiséptica, desintoxicante, antiácida y vermífuga.

Con respecto al cultivo de piña, esta demanda unas condiciones climáticas y suelos convenientes, además de un especial manejo para su desarrollo. En este sentido, entre sus requerimientos edafoclimáticos está el ser cultivada entre los 800 y los 1200 m s. n. m. No obstante, por tener un origen tropical, puede desarrollarse bien entre los 0 y los 1400 m s. n. m., según la variedad y la selección de la semilla apropiada para la siembra. La semilla vegetativa, que puede ser obtenida de diferentes partes de la planta, debe ser obtenida de un mismo cultivo para posteriormente ser seleccionada (estas plantas presentan homogeneidad en su crecimiento), con el fin de tener un manejo adecuado del cultivo. Con relación a las aplicaciones de insumos, se destaca el uso de los inductores de floración.

En lo concerniente a las singularidades de la variedad MD2, otro aspecto para resaltar es el cuidado durante su exposición al sol, con el fin de reducir pérdidas relevantes en la producción. Otras particularidades son el control de plagas y enfermedades, el cual determina, de forma natural, el incremento o el decrecimiento de las poblaciones —a causa de la frecuencia e intensidad del cultivo—,



y las condiciones ambientales que se presentan en cada lugar. Así mismo, es importante una fertilización adecuada, labores de cultivo, cosecha y transporte apropiados, ya que estos factores pueden contribuir con la producción de una mejor cosecha.

En Colombia, en términos de poscosecha, el 49 % de este fruto se vende fresco en el mercado nacional, otro 49 % es utilizado para la fabricación de zumos, mermeladas, siropes y similares; solo el 2 % restante se exporta (MADR, 2018). En lo relativo a los cultivos de piña, estos se distribuyen principalmente en los departamentos de Santander, Valle del Cauca, Risaralda, Cauca y Meta, donde las variedades perolera, manzana y cayena son las más cultivadas en el país. Sin embargo, en la última década, el cultivo de la variedad Gold MD2 ingresó con éxito al mercado nacional dadas sus características propias y diferenciales, que gustaron en el mercado, entre estas: su sabor, su consistencia y su tamaño. En la actualidad, esta variedad se ha convertido en una oportunidad para ingresar a nuevos mercados, como el internacional, debido a su buena respuesta adaptativa en los principales departamentos productores, junto con la generación de una oferta tecnológica, lo que ha resultado en esta aceptación.

En 2016 y 2017, las condiciones climáticas adversas causaron trastornos considerables en la producción mundial de las frutas tropicales principales. En el caso de la piña, esta se ha visto afectada a causa de las inclemencias del tiempo, dado que cada planta produce solo un fruto al año, y, según la FAO (2017), ha sufrido daños ocasionados por las inundaciones en los principales países productores en América central y América del sur.

2.3. Alcances y limitaciones de la zonificación

El desarrollo de la zonificación para el cultivo de piña MD2 en la zona de ladera del Valle del Cauca apunta al entendimiento, por parte de las organizaciones y cultivadores de las zonas de ladera en el departamento, de la forma en que los aspectos físicos, climáticos y geomorfológicos, articulados con los aspectos socioeconómicos y socioecosistémicos, impactan el presente y el futuro (proyecciones al año 2050) del sector agrícola focalizado en la piña MD2. Con esto, se espera que puedan realizarse estudios más específicos en lo concerniente a las medidas de adaptabilidad que los agricultores deben aplicar, así como respecto al apoyo institucional o sectorial que debe implementarse. Otra utilidad que se evidencia con la zonificación es la posibilidad que se le presenta a distintas empresas que promueven el cultivo de esta fruta, prestan asistencia y llevan a cabo programas de extensión para la cadena de la piña MD2, dado que, al tener referentes de aptitud por zonas y referentes climáticos presentes y futuros, pueden llevar a cabo una planeación estratégica mucho más concreta.

Por otra parte, el estudio de zonificación presenta tres limitaciones principales:

- 1) En esencia, la zonificación es una herramienta que señala, de modo general, la aptitud de un cultivo, en este caso, bajo ciertas restricciones y sujeto a la escala y resolución de los datos utilizados. Es relevante entender que, para mejorar la predicción de la aptitud y ser más concretos al determinar localmente las condiciones para llevar a cabo proyectos productivos, se debe acudir a análisis más específicos, tal como la agricultura específica por sitio, que respondan a las especificidades de cada lugar, en especial, en el aspecto edafológico.
- 2) Otra limitante de la zonificación está definida por la coincidencia con las zonas de aptitud de otros cultivos. No se puede definir a través de la zonificación si se debe priorizar un cultivo por encima de otro. Esto debe definirse a través de otras herramientas que incluyan elementos de la cadena de valor de la piña MD2, tales como la competitividad y la variación de los precios internacionales —o de los precios de cultivos sustitutos o complementarios—. Adicionalmente, la inversión, la tradición y los arraigos culturales; que también pueden definir finalmente la opción que será adoptada.
- 3) La zonificación se ve limitada a la hora de responder concreta y específicamente a la preocupación de algunos productores que ven cómo sus tierras quedan fuera de las zonas de aptitud. Este hecho puede llegar a restringir el acceso a medios de financiación, programas de extensión, inversión y contratación de seguros, entre otros.



3. MARCO DE CONCEPTOS GENERALES

3.1. Zonificación edafoclimática

De acuerdo con los planteamientos generales de la FAO, esta clase de estudios se han enfocado, concretamente, en la identificación de áreas semejantes en cuanto a potencial y limitantes. Por otra parte, un enfoque de la zonificación vinculado al ámbito agrícola ayuda a una mejor planificación y gestión de los sistemas productivos, al mejorar con ello el aprovechamiento de los recursos y esfuerzos de los diversos programas encaminados a formar enclaves de desarrollo en las zonas vistas con potencial.

Al incorporarse elementos de los suelos, la fisiografía y el clima a los procesos de análisis, se obtiene una aproximación denominada zonificación agroecológica (ZAE). De acuerdo con la FAO,

Los parámetros particulares usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y en los sistemas de manejo bajo los que éstos se desarrollan. Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea al incrementar la producción o limitar la degradación de los recursos. (1997b p. 1)

En el presente estudio, se articularon elementos climáticos, de suelos y de geomorfología, por tanto, esta zonificación tiene esencialmente una aproximación edafoclimática en la búsqueda por detectar áreas semejantes en cuanto a clima y características edafológicas, las que, a su vez, están determinadas por los requerimientos básicos del cultivo objeto de estudio.

3.2. Componentes físicos

En lo que concierne a los componentes físicos, estos son fundamentales porque ayudan a determinar el potencial de aptitud que podría tener una zona o región para sustentar un determinado sistema productivo, de lo cual dependen los rendimientos y calidad final de los productos agrícolas. En cuanto a la definición de los criterios y variables de clima, suelos y geomorfología, estos se basaron en los expuestos en las zonificaciones llevadas a cabo por Bancoldex y UTCF (2015) y UPRA (2017).

• 3.2.1. Clima

De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), el clima se agrupa en un conjunto de condiciones que predominan en la atmósfera o, dicho de otro modo, en las condiciones meteorológicas correspondientes a un espacio geográfico específico. Estas se expresan a partir de variables como la temperatura, la humedad relativa y la precipitación.

- *Temperatura*: en términos ambientales, esta variable se define como el estado térmico del aire respecto a su capacidad de transmitir calor en el entorno. En las zonas tropicales, esta capacidad de transmisión está determinada por la altura sobre el nivel del mar (m m. s. n.), tomando como referencia la localización de un punto geográfico determinado.
- *Humedad relativa*: es la cantidad de vapor de agua que se encuentra presente en el aire.
- *Precipitación*: es la media de la cantidad de lluvia que puede caer en un lugar, área o región específicos.

Para llevar a cabo el análisis de cambio climático, las variables utilizadas fueron temperatura y precipitación, que son las únicas vinculadas a las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés).



En cuanto a las RCP, estas son escenarios que se enfocan esencialmente en las emisiones antropogénicas y no incluyen cambios en los impulsores naturales. Estas pueden representar una variedad de políticas climáticas; es decir, cada RCP puede ser el resultado de diferentes combinaciones de futuros económicos, tecnológicos, demográficos, políticos e institucionales. Así, las diferentes RCP representan varios escenarios de emisiones a futuro. Consecuentemente, la 2,6 representa un escenario de mitigación, la 4,5 y 6,0 son escenarios de estabilización de emisiones, y la 8,5 corresponde a un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero continuo hasta el año 2100 (ver figura 1). A pesar de las diferencias, las variaciones más notables pueden empezar a apreciarse a partir del año 2050, razón por la cual se tomó esta fecha como referente para el análisis.

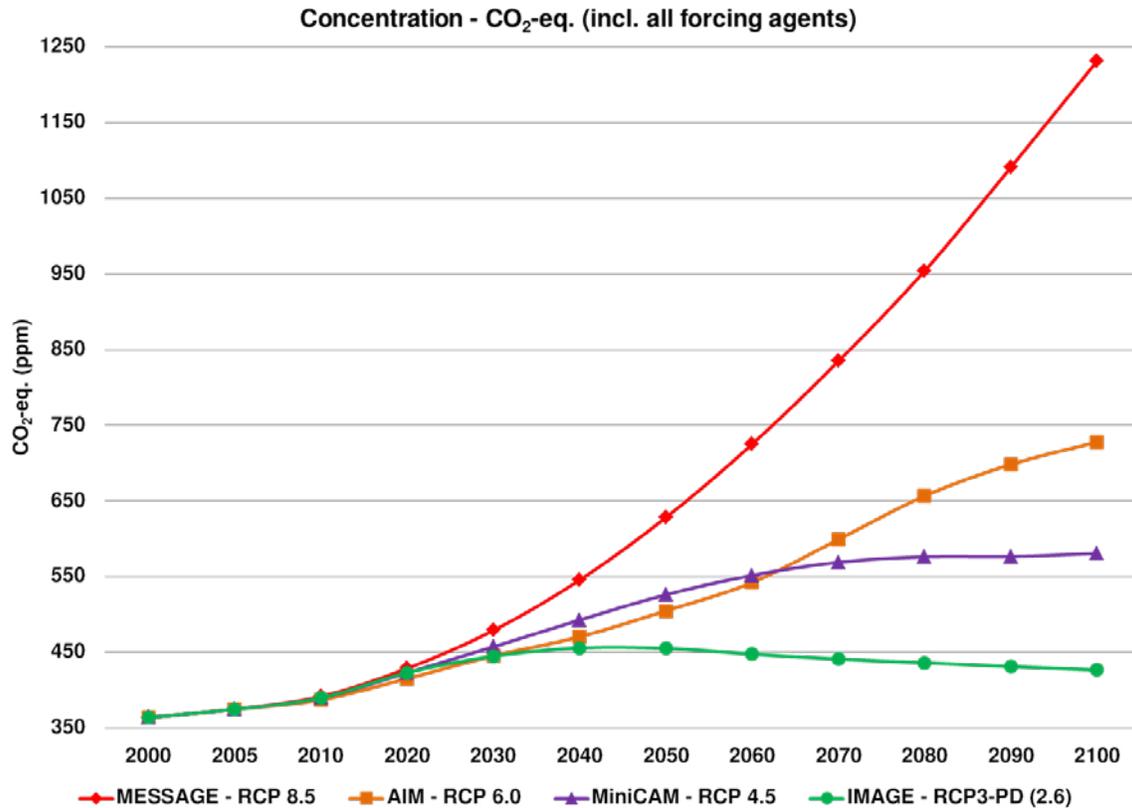


Figura 1. Gráfica comparativa de todos los agentes atmosféricos impulsores de acuerdo con las cuatro Trayectorias de Concentración Representativas (RCP)

Fuente: elaboración propia.

En lo que respecta a las dos RCP utilizadas para el análisis, estas presentan las siguientes características:

RCP 4.5 - Emisiones intermedias

Esta RCP fue desarrollada por el Laboratorio Nacional del Pacífico Noroeste en los Estados Unidos. Aquí el forzamiento radiativo se estabiliza poco después del año 2100 y es consistente con un futuro en que la reducción de emisiones es relativamente ambiciosa.

Este futuro está fundado en los siguientes aspectos:

- Menor intensidad de energía.
- Programas de reforestación fuertes.



- Disminución del uso de tierras de cultivo y pastizales debido a los incrementos de rendimiento y los cambios en la dieta.
- Políticas climáticas estrictas.
- Emisiones estables de metano.
- Las emisiones de CO₂ aumentan solo ligeramente antes de que comience el declive alrededor del año 2040.

RCP 8.5 - Altas emisiones

Esta RCP es consistente con un futuro sin cambios de política para reducir las emisiones. Fue desarrollada por el Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados en Austria y se caracteriza por el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, que conducen a altas concentraciones de estos gases a lo largo del tiempo.

Este futuro está fundado en los siguientes aspectos:

- Tres veces las emisiones actuales de CO₂ en el año 2100.
- Rápido aumento en las emisiones de metano.
- Mayor uso de las tierras de cultivo y los pastizales impulsado por un aumento de la población.
- Una población mundial de 12 mil millones para el año 2100.
- Menor tasa de desarrollo de tecnología.
- Gran dependencia de los combustibles fósiles.
- Alta intensidad energética.
- La no implementación de políticas climáticas.

• 3.2.2. Suelos

En cuanto al componente edáfico, está caracterizado esencialmente como un ecosistema en el cual intervienen elementos de entrada al sistema, por citar algunos: la materia orgánica, los microorganismos, los minerales, el agua, el aire y otra cantidad de nutrientes; y procesos de salida, en particular, los que intervienen durante la absorción de los nutrientes por parte de las plantas, en la escorrentía natural de estos materiales o mediante procesos erosivos. En el análisis de este componente, se utilizaron las siguientes variables:

- *Textura*: variable que indica el contenido referente a partículas de arena, limo y arcilla de diferente tamaño contenidas en una porción del suelo. La textura determina la posibilidad de labranza del suelo, así como el flujo de aire y de agua que se transportan o retienen a través del mismo.
- *pH*: es la concentración de iones de hidrógeno en una solución de agua. Sucintamente se puede describir como la tendencia a que un suelo sea más ácido o más alcalino. La variación del pH puede llegar a alterar el grado de solubilidad de los minerales en los suelos. En consecuencia, dado que las plantas dependen de la disolución de estos para poder ser absorbidos, esta variable se vuelve fundamental para la buena respuesta de las plantas a los nutrientes presentes en el suelo. En general, se espera que los suelos tengan un pH entre 5,5 y 6,5 para que permitan la correcta absorción de los nutrientes.
- *Profundidad efectiva*: esta variable está relacionada directamente con la capacidad de desarrollo radicular de la planta sin que encuentre ningún obstáculo. En suelos más profundos, las plantas pueden sobrellevar mejor los eventos de sequía, pues en dichos suelos se presenta una mayor retención de humedad.
- *Fertilidad del suelo*: es una variable que se compone de otras, entre ellas: los nutrientes, la saturación de sales y el carbono orgánico. Esta variable cambiará su composición según el enfoque de estudio o de la fuente de la cual provenga.



• 3.2.3. Geomorfología

La geomorfología comprende diversas variables que son valiosas para el cultivo de las plantas, entre ellas:

- *Pendiente*: variable mediante la cual se mide la inclinación del terreno. Es fundamental a la hora de determinar el uso o vocación de un terreno. También es una variable restrictiva en el momento de evaluar las posibilidades agronómicas. Su medición se hace al calcular la tangente del terreno y, a partir de esta, se puede obtener valores en porcentajes o grados de pendiente. Los tipos de pendientes se pueden clasificar del siguiente modo:
 - Fuertemente escarpada o inclinada (>75 %)
 - Moderadamente escarpada o empinada (50-75 %)
 - Ligeramente escarpada o empinada (25-50 %)
 - Fuertemente inclinada (12-25 %)
 - Moderadamente inclinada (7-12 %)
 - Ligeramente inclinada (3-7 %)
 - Ligeramente plana (0-3 %)
- *Erosión*: entendida como el proceso mediante el cual hay alteración, pérdida física y mecánica del suelo debido a procesos naturales. El factor fundamental de la erosión es, entre otros, el hídrico, ya sea por efectos de la lluvia o por procesos de estancamiento que provocan infiltración en los terrenos y posterior desplazamiento. Este tipo de procesos alteran la composición de los suelos, los despoja de nutrientes y provoca la pérdida de fertilidad que, a largo plazo, afectará la producción agrícola.

3.3. Criterios socioecosistémicos

Con relación a los criterios antes mencionados, estos vinculan estrechamente el entorno social y cultural de los individuos y las comunidades con los bienes naturales, servicios ecosistémicos y la bioriqueza de un entorno. Su intención es determinar un aprovechamiento de estos recursos, dentro de una dinámica de sostenibilidad. Al mismo tiempo, con la inclusión de esta variable, se espera identificar las potencialidades del entorno y los límites de ese aprovechamiento. Esto significa, a su vez, la inclusión de los ecosistemas generadores de servicios para el desarrollo del quehacer de la cultura en sus varias facetas. Se espera que, con la vinculación de variables como el uso del suelo, la vocación de uso y la vulnerabilidad ambiental, se pueda entender mejor la situación de los entornos potenciales de una zonificación, de manera que las limitaciones y potencialidades puedan entenderse mejor a la hora de tomar decisiones para el desarrollo de programas de fomento agrícola. A su vez, se protege el patrimonio cultural, material e inmaterial del país y el derecho a la autodeterminación de los territorios colectivos de las comunidades étnicas y campesinas.

3.4. Criterios socioeconómicos

Estos criterios están centrados esencialmente en develar el entorno social y económico, ya sea de una localidad, región, país, de uno o varios individuos. A través de estos criterios, se pretende mostrar la situación económica, las relaciones sociales, las formas de vida, los medios de trabajo, la tenencia de la propiedad, el acceso a servicios públicos, la educación, entre otros factores, como elementos que permiten la descripción del ambiente en el cual está inmerso el objeto de estudio. En el caso particular de una zonificación que esté enfocada en la productividad de un sector específico del agro, se espera que el componente socioeconómico muestre, por medio del análisis de las variables, las condiciones de acceso a sistemas de riego, la existencia de maquinaria agrícola, el acceso a asistencia o asesoría, y las fuentes de crédito y financiamiento. De este modo, es posible determinar si existen las bases necesarias u óptimas para enfrentar la producción y los retos de competitividad de la región frente a los mercados a nivel nacional o internacional.



Así, a partir del punto de vista socioeconómico y de la identificación de patrones geográficos aptos para el desarrollo del cultivo de piña MD2, es posible vincular, de forma pragmática, los estudios de competitividad y zonificación, y ofrecer derroteros para el desarrollo económico de la región.

3.5. Cambio climático

El cambio climático global sin duda está operando transformaciones de profundo impacto que difieren con el espíritu de desarrollo de la sociedad, en especial, de aquellas que se hallan en ciertos contextos geográficos, lo que determina, en mayor o menor grado, la severidad de los retos a afrontar en este escenario.

De acuerdo con los modelos predictivos planteados por el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, por sus siglas en inglés), las temperaturas podrían subir entre 0,15 y 0,3 grados por década. Como resultado, se presentarán grandes impactos en los regímenes de lluvias, en la captación de recursos hídricos y en altos niveles de evapotranspiración, lo cual provocará un incremento del estrés en los organismos, tanto en plantas como en animales. A su vez, el aumento del nivel del mar por efecto del deshielo de los casquetes polares y, por supuesto, el cambio en la presión del aire y el aumento de las temperaturas del mar. Estas últimas harán que cada vez sean más frecuentes las tormentas de mayor intensidad, lo cual afectará los asentamientos humanos costeros.

En este contexto, se hace necesario acudir a los análisis de cambio climático para establecer las variaciones que puedan suceder en una región de interés que, en este caso, es la zona de ladera en el departamento del Valle del Cauca. De esta forma, con la determinación de los cambios y grados de aptitud, se puede plantear procesos de adaptabilidad y mitigación, que permitan, por una parte, sugerir estrategias para hacer frente a la inminencia de estos cambios climáticos y, por otra, diseñar estrategias que coadyuven a aminorar el impacto de las actividades que inciden en el incremento del problema.

4. METODOLOGÍA

Como punto de partida dentro del esquema de trabajo, en primer lugar, fue necesario llevar a cabo una revisión de los planteamientos, conceptos y metodología que se desarrollaron a lo largo del análisis de zonificación para la piña MD2, dentro del marco del proyecto. Específicamente, este repaso sirvió para determinar la clase de datos y modelos predictivos que se utilizarían para obtener las zonas de aptitud de cultivos, desde lo edafoclimático y desde el enfoque de cambio climático.

El presente estudio de zonificación se construyó desde el planteamiento que define las zonas de aptitud como una combinación de los suelos, la geomorfología y las características climáticas. Así, “Los parámetros particulares usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos, y en los sistemas de manejo bajo los que estos se desarrollan” (FAO, 1997a). En el caso particular de esta investigación, se tomó como punto de partida una base edafoclimática para la asociación posterior con los factores socioeconómicos y socioecosistémicos presentes en la región.

El desarrollo del proceso de la zonificación edafoclimática se dio a través de cuatro etapas principales que se detallan a continuación (ver figura 2):

- a) Recolección y producción de datos.
- b) Ajuste de datos: los datos espaciales recolectados y producidos se ajustaron a los requerimientos de los cultivos, tanto para la zonificación edafoclimática como para la definición de aptitud en el contexto de cambio climático, mediante la reclasificación con el uso de herramientas SIG.
- c) Superposición ponderada de datos: procesos de ponderación de los componentes físicos de suelos y geomorfológicos e intersección de rangos climáticos presentes y futuros con el uso de herramientas SIG.



- d) Categorización: en este componente del proceso se asignan unas categorías (apta, moderada) a los códigos relacionados con las zonas que resultan de la superposición ponderada y que representan la zonificación edafoclimática final.
- e) Validación: la zonificación edafoclimática y el cambio climático fueron validados y contrastados con información *in situ* referidas a las zonas categorizadas para obtener una respuesta respecto a la confiabilidad de los procesos.



FLUJOGRAMA PROCESO ZONIFICACIÓN

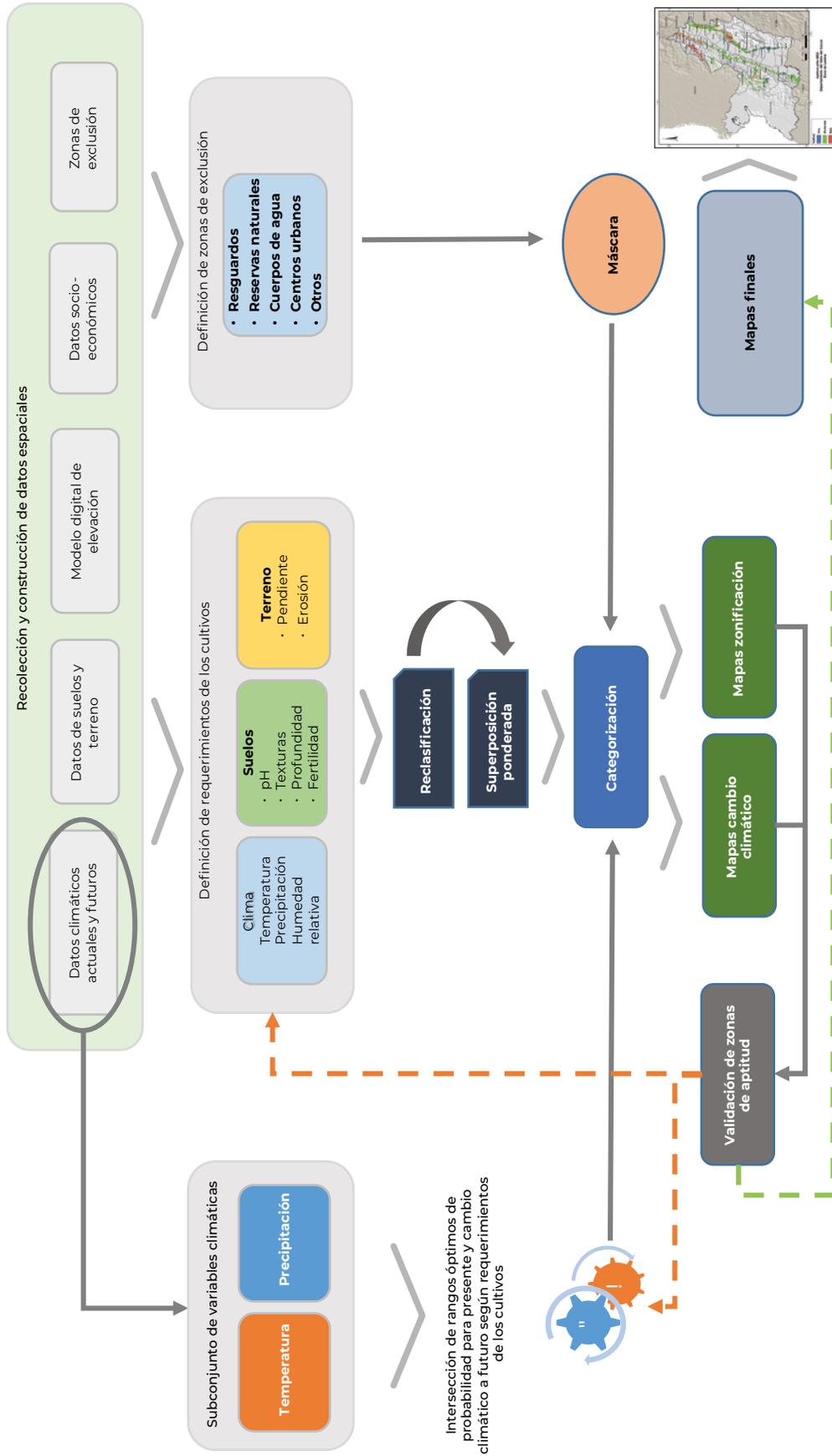


Figura 2. Flujoograma de trabajo para realizar la zonificación edafoclimática

Fuente: basado en CVC y CIAT (2016).



La asociación de los componentes socioeconómicos presentes, particularmente en cada municipio, se llevó a cabo mediante un proceso de intersección entre las bases de datos de la zonificación edafoclimática con las bases de datos de la información correspondientes a los datos del Censo Nacional Agropecuario de 2014. Por otra parte, para vincular los componentes socioecosistémicos presentes en la región, se realizó la intersección de los datos espaciales de la zonificación edafoclimática con los datos obtenidos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), referentes a los conflictos del uso de suelos, vocación de uso y vulnerabilidad ambiental (ver figura 3).

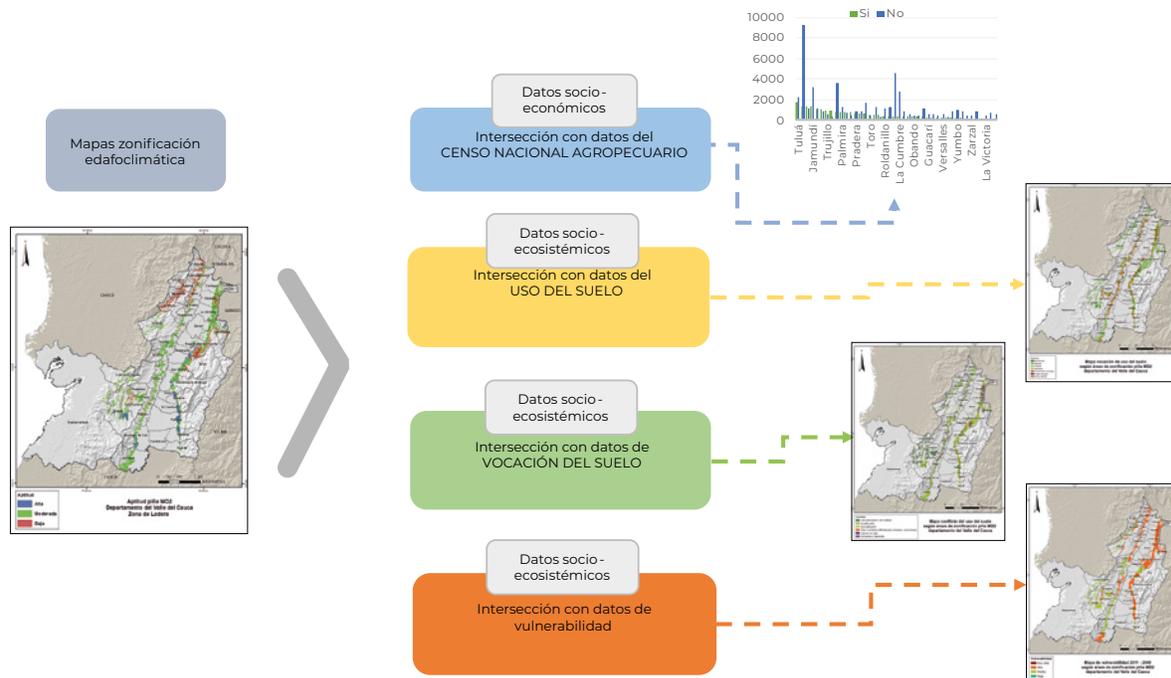


Figura 3. Flujo de la vinculación de la zonificación edafoclimática con los datos socioeconómicos y socioecosistémicos

Fuente: elaboración propia.

En paralelo al proceso de la zonificación edafoclimática, se llevó a cabo un análisis de aptitud exclusivamente con factores climáticos (temperatura y precipitación) para el escenario presente y para las proyecciones a futuro en el año 2050. Este tiene como fundamento la necesidad de observar los cambios que pueden suceder a nivel climático en las áreas de aptitud determinadas en el estudio de zonificación, solo con las variables de temperatura y precipitación, que son la base de las proyecciones de los escenarios a futuro. En este caso, con relación a los escenarios de cambio derivados de las proyecciones climáticas de los modelos globales —dados por el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, por sus siglas en inglés)— estos sirven como soporte para mostrar la situación hasta el presente y los cambios a futuro (2050). Cabe destacar que no se realizaron mapas de aptitud de suelos, ya que los factores edáficos para el análisis no están disponibles en escenarios con proyecciones futuras.

Para lograr este análisis, se usó la herramienta *Targeting Tools*, desarrollada en Python para el entorno de ArcGIS. Esta herramienta considera los rangos de los requerimientos climáticos de los cultivos y se enfoca, en especial, en la intersección de temperatura y precipitación dentro de unos rangos absolutos (0 hasta 100 %), y un rango óptimo en los cuales se desarrolla el cultivo (ver figura 4).

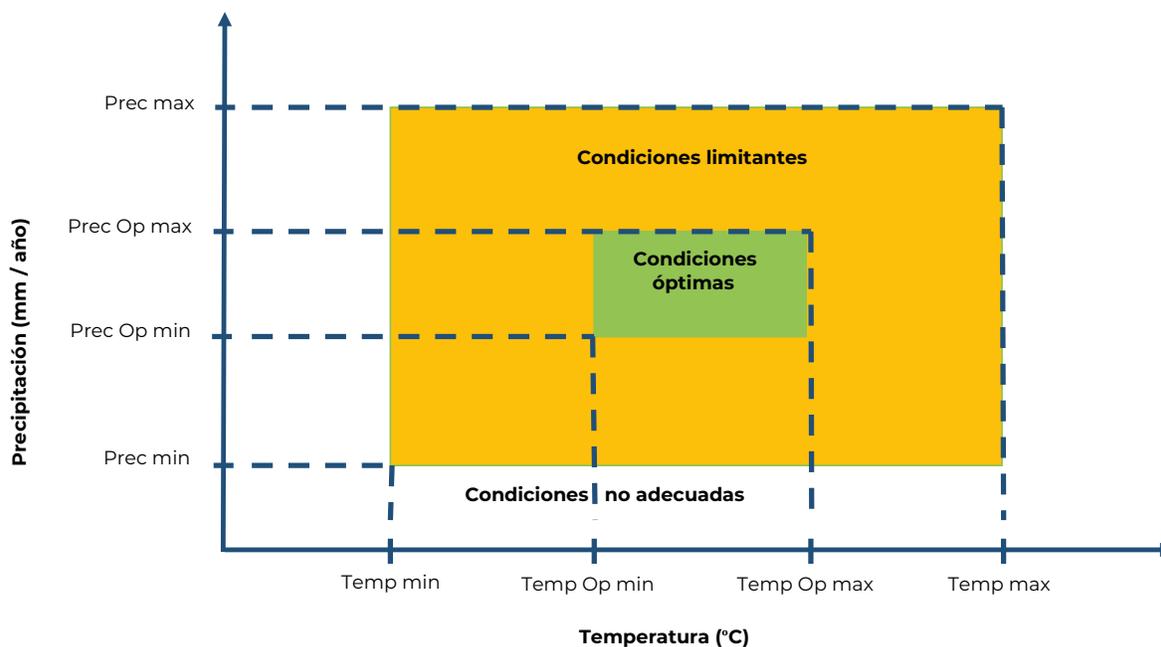


Figura 4. Rangos óptimos (Op) y absolutos para determinar el porcentaje de aptitud

Fuente: elaboración propia.

4.1. Recolección y producción de datos

En esta sección se hace una descripción de la zona de estudio y se describen las fuentes de donde se obtuvieron los datos de clima, suelos, geomorfología, socioeconómicos y socioecosistémicos. Por último, se cierra con el cuadro final de requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de piña MD2.

• 4.1.1. Identificación de la zona de estudio

Para delimitar dicha zona, se tomó como límite inferior los 1100 m s.n.m. y se tuvo como referencia la ciudad de Cali, ubicada a una altitud promedio de 1020 m s.n.m. Para obtener los datos de elevación se acudió a la plataforma del *Cgiar Consortium for Spatial Information* (Cgiar-CSI, 2017). Se obtuvieron de ella los datos digitales de elevación mundiales, a partir de los cuales se extrajeron los correspondientes al Valle del Cauca. En la figura 5, se presenta la zona de estudio demarcada en el mapa del departamento.

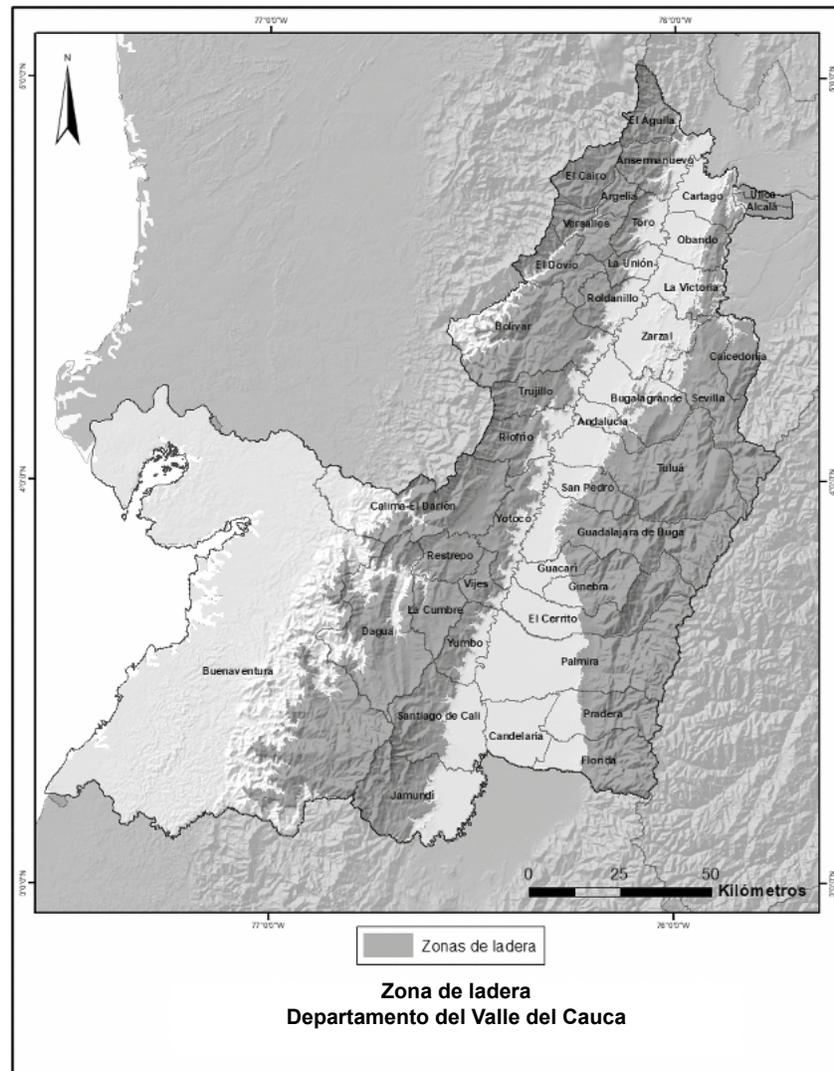


Figura 5. Mapa de zonas de ladera en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.

• 4.1.2. Obtención de variables climáticas

Al seguir con el esquema propuesto y con el objetivo final de identificar zonas de aptitud edafoclimáticas para la piña MD2, se dio inicio al proceso de zonificación con la producción y obtención de los conjuntos de datos climáticos.

a) Producción de datos climáticos ajustados a la región hasta el presente

Frente a la necesidad de incorporar datos climáticos ajustados y acordes con el resto de las variables relativas al estudio de zonificación de la piña MD2 en el departamento del Valle del Cauca, fueron necesarias la producción y obtención de datos climáticos proyectados sobre el escenario presente, que tuvieran como base estaciones climatológicas ubicadas en la geografía departamental.

Para esto, se obtuvo una base de datos de estaciones climatológicas desde el portal catalogador de información geográfica del Instituto Alexander Von Humboldt (2017). En este conjunto de datos, se incluye la información mensual vinculada a la precipitación y la temperatura hasta el año 2012.



Con estos datos se procedió a realizar la interpolación con el uso del algoritmo para su suavizado llamado *Thin plate splines* (TPS) (Columbia University, 2018). Este último es incorporado en el paquete Anusplin (Australian National University, 2018) y, a su vez, es utilizado en la construcción de datos climáticos de *Worldclim* (Hijmans et al., 2005). Por su parte, los datos de humedad relativa se obtuvieron desde la *geodatabase* construida en el marco del convenio n.º 256 de 2009, con el fin de

aunar esfuerzos técnicos y económicos para realizar el análisis preliminar de la representatividad ecosistémica, a través de la recopilación, clasificación y ajuste de la información primaria y secundaria con rectificaciones de campo del mapa de ecosistemas de Colombia, para la jurisdicción del Valle del Cauca [de la CVC y la Fundación Agua Viva].

b) Obtención de datos climáticos globales con escenarios futuros, para determinar el cambio en las zonas de aptitud

Para ello, se tomaron como fuente las variables climáticas de *Worldclim* para los escenarios presente y a futuro. En el primero de los casos, los datos climáticos para el presente derivan del uso del procedimiento *Thin plate splines*, mientras que el segundo grupo de datos climáticos procede de la aplicación del *downscaling*, procedimiento que toma los datos climáticos de gran resolución y los lleva a una menor escala para hacer predicciones locales a futuro (ver figura 6). Con respecto a los procedimientos, para realizar el *downscaling* de los datos climáticos, existen dos principales: el dinámico y el estadístico. El primero utiliza principios físicos resueltos mediante el uso de ecuaciones diferenciales a partir de los datos observables o resultados de modelos climáticos globales, los cuales aportan unas condiciones iniciales de entorno con una limitante de resolución (Guanuchi, 2015). Por otro lado, el procedimiento estadístico se compone de dos procesos base:

- 1) El desarrollo de las relaciones estadísticas entre las variables climáticas locales (p. ej., temperatura del aire de la superficie y precipitación) y los predictores de gran escala (p. ej., campos de presión).
- 2) La aplicación de tales relaciones al resultado de los experimentos de los modelos de clima global se utiliza para simular las características del clima local en el futuro (NCAR GIS Program, 2018).

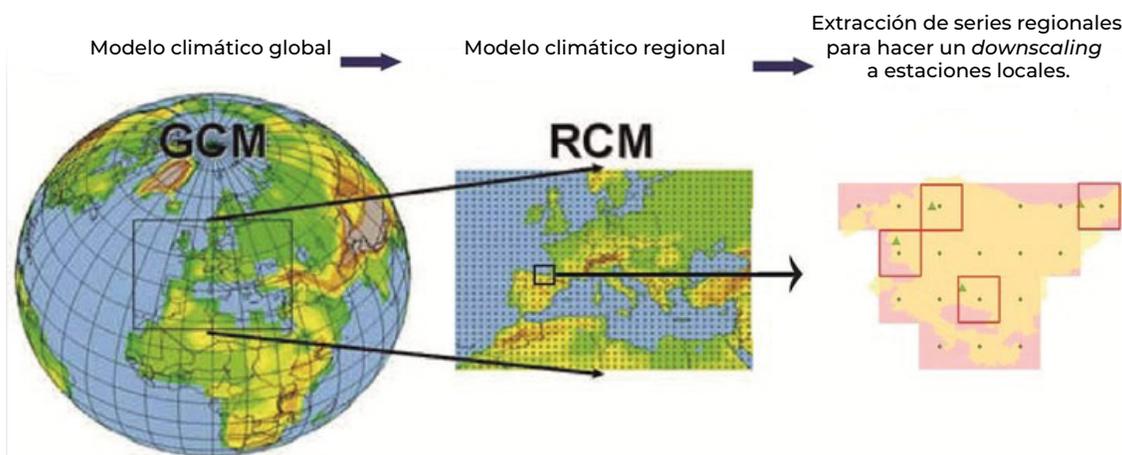


Figura 6. Downscaling de datos climáticos

Fuente: Giorgi (2008).

Con respecto a los resultados del *downscaling*, estos tienen una resolución de 30 arcsec, lo que equivale a un conjunto de datos *raster* con una resolución de 1 km por 1 km para cada pixel.



Luego, el procedimiento consistió en la identificación de las variables más significativas para los componentes de suelos y terreno existentes en las zonas de ladera en el departamento del Valle del Cauca.

- **4.1.3. Obtención de variables de suelo**

- *Textura del terreno*: variable derivada del inventario de suelos del Valle del Cauca (IGAC y CVC, 2004). Esta capa puede tener una desventaja, pues las texturas están supeditadas al porcentaje de probabilidad de que un perfil de suelo sea el más predominante según la zona. Otro factor que determina la textura del terreno es la profundidad del suelo antes del horizonte rocoso que, de acuerdo con los datos, varía en función de la profundidad a la cual se halla dicho horizonte.
- *Profundidad efectiva del suelo*: variable derivada igualmente del inventario de suelos del departamento del Valle del Cauca, altamente relacionada con la morfología determinada para cada perfil en este estudio (IGAC y CVC, 2004).
- *pH del suelo*: variable adquirida de la plataforma SoilGrids (2018). Al igual que la variable textura, el pH presenta diferentes valores según el horizonte del suelo y, por lo tanto, también presenta una gran variabilidad en zonas de montaña donde los perfiles son altamente cambiantes.
- *Fertilidad del suelo*: variable adquirida de los geoservicios de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC, 2017). En términos de la FAO, “Un suelo es fértil cuando tiene los nutrientes necesarios, es decir, las sustancias indispensables para que las plantas se desarrollen bien” (FAO Montes, 1996). Además de esta base conceptual sobre la fertilidad, se asume que las áreas determinadas, según su grado de fertilidad, están dadas en términos de unas características básicas como las siguientes: profundidades aptas para desarrollo y fijación de raíces, nutrientes básicos necesarios, óptima absorción y retención de agua, y buena capacidad de oxigenación.

- **4.1.4. Obtención de las variables geomorfológicas**

- *Erosión*: capa adquirida también de los geoservicios de la CVC. Con esta capa se puede determinar el desgaste que se presenta a nivel regional, ya sea por causas naturales o antrópicas (CVC, 2017).
- *Pendiente*: esta capa deriva del modelo de elevación digital adquirido del sitio web de Cgiar Consortium for Spatial Information (Cgiar CSI, 2017).

- **4.1.5. Obtención de los requerimientos para el cultivo de piña MD2**

Junto con las fuentes de información bibliográficas, el uso de fuentes secundarias, la realización de entrevistas a profesionales de campo y la asistencia a reuniones de comité, en las que se tuvo contacto con los productores directamente, se realizó el acopio de la información para los requerimientos del cultivo en función de todas las variables tenidas en cuenta para la zonificación. Estos requerimientos se usaron para la reclasificación de las variables en categorías de aptitud (ver figura 1).



Tabla 1. Cuadros de variables y rangos de aptitud requeridos

Variable	Aptitud			
	Alta	Moderada	Baja	No apto
Clima				
Temperatura (°C)	23-30	19-23	19-23/30-34	<19-3<
Precipitación (mm año)	1.200-1.600	700-1.200	1.600-2.000	<700- 2.000 <
Humedad (%)	75-85	65-75	55-65	< 55-85 <
Suelo				
Textura	Franca, franca limosa, limosa, franca arenosa	Franca arcillosa, franca arcillosa arenosa, arenosa, areno	Franca arcillosa limosa, arcillosa, arenosa	Arcillosa, arcillosa limosa
Profundidad efectiva (m)	0,5<	0,40-0,50	0,40-0,30	<0.30
pH	5,5-6,5	4,5-5,5	6,5-7,5	<4,5 a <7,5
Fertilidad del suelo	Alta- muy alta	Moderada	Baja	Muy baja
Terreno				
Erosión	Ligera	Moderada		Severa - muy severa
Pendiente (%)	0-7	7-15	15-30	30<

Fuente: basado en Basantes y Chasipanta (2012), Bancoldex y UTCF (2014), Centa (2011), DANE (2016), Fundación Universidad del Valle (2015) y Lozano y Rosero (2016).

• 4.1.6. Obtención de información socioecosistémica a nivel departamental

a) Áreas de productividad (vocación de uso del suelo)

En la consecución de esta información se hizo énfasis especial, pues permite determinar de manera global las posibilidades de las zonas de aptitud para la piña MD2 de acuerdo con el escenario de la vocación y usos principales del suelo. De este modo, esto permite analizar la viabilidad de las áreas resultantes de la zonificación edafoclimática. De acuerdo con el IGAC, la vocación de uso del suelo se define como “las tierras que, por sus características de suelos, permiten el establecimiento de sistemas de producción agrícola, con plantas cultivadas de diferentes ciclos de vida y productos” (IGAC, 2017). Así, el objetivo principal de esta variable es determinar el uso óptimo y apropiado que pueden tener los suelos en el territorio colombiano. Esto último se inscribe en un contexto de producción sostenible y con un respeto total por los recursos naturales.

En cuanto a la información vectorial sobre la vocación de uso del suelo, esta se adquirió con los geoservicios del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2017).

b) Conflictos por el uso del suelo

Esta información socioecosistémica es relevante en la medida que permite visualizar con perspectiva la problemática subyacente entre los usos que la sociedad hace de los medios naturales y el entendimiento que de esos usos “debería tener de acuerdo con sus potencialidades y restricciones ambientales, ecológicas, culturales, sociales y económicas, y por el grado de armonía que existe entre la conservación de la oferta ambiental y el desarrollo sostenible del territorio” (IGAC, 2017).



c) Índice de vulnerabilidad al cambio climático (2011-2040)

Se incorpora esta información como componente en la sección socioecosistémica, pues en su construcción se articularon variables climáticas, ecosistémicas, de suelos y socioeconómicas.

Esta capa contiene en su base: información de los multimodelos de precipitación generados para el período 2011-2040, el índice de sensibilidad (ISA) y el índice relativo de afectación (IRA). Con respecto al índice de sensibilidad (ISA), esta es una variable que surge

a partir de la caracterización de los suelos, la cobertura vegetal, los ecosistemas transformados, el índice de aridez y la erosión en las zonas secas. El índice es definido como el grado en que un sistema puede ser afectado positiva o negativamente, por los estímulos relacionados con el clima. (Ideam, 2010)

Así como mediante el índice relativo de afectación (IRA) es una variable obtenida a partir del consenso entre diferentes profesionales de diversas áreas y experticias que se enfocaron en “identificar cada una de las coberturas, ecosistemas o territorios que podrían resultar impactados por los eventos adversos de cambio climático en su peor escenario” (Ideam, 2010). Dentro de los elementos socioeconómicos que se integraron al análisis se pueden destacar los siguientes: la capacidad de adaptación que deriva de la integración de las condiciones socioeconómicas e institucionales (base Sisben) y las capacidades técnicas de las regiones.

• 4.1.7. Información socioeconómica a nivel departamental derivada del Tercer Censo Nacional Agropecuario de 2014

Para complementar el análisis de zonificación era necesario identificar de algunas variables socioeconómicas, las cuales permitieran llevar a cabo una visualización general del estado de la base productiva agropecuaria en el departamento del Valle del Cauca. Para tal fin, se procedió a la obtención de los microdatos del Tercer Censo Nacional Agropecuario de 2014¹ a partir del catálogo general de datos (DANE, 2018).

Una vez ubicados los microdatos específicos para el Valle del Cauca, se continuó con la selección de las variables a representar. En particular, se tomaron cuatro variables principales: sistema de riego, existencia de maquinaria agrícola, acceso a asistencia o asesoría, y fuentes de crédito y financiamiento. Para la elección de estas cuatro variables principales, se tomaron en cuenta los datos generales para Colombia del Censo Nacional Agropecuario de 2014, en el cual se destacan, entre las dificultades propias del sector agrario: la precariedad de los agricultores en temas cruciales como la falta de asistencia técnica, la cual llegó al 83,5 % de las Unidades Productoras Agropecuarias (UPA) sin acceso a esta. Por otra parte, un 66,7 % de las UPA no registran acceso a riego, y un 89,3 % no han tenido acceso a crédito para inversión agrícola.

Una vez identificadas las variables, se procedió al arreglo de los datos y se tuvo en cuenta hacerlo con relación a las Unidades Productoras Agropecuarias (UPA). Así, mediante el uso del software estadístico R, se seleccionaron los subconjuntos de información de la base de datos principal que, en este caso, era la Unidad Productora.

Nota: para el departamento del Valle del Cauca, el número total de Unidades Productoras censadas en este departamento fue de 102.704, de las cuales 75.874 eran Unidades Productoras Agropecuarias y 45.830 eran Unidades Productoras no Agropecuarias. Para la obtención de los porcentajes presentados en las tablas, figuras o mapas, se tomaron en cuenta solamente las UPA que presentaban respuestas afirmativas, negativas o que se registraban en alguna categoría de las variables socioeconómicas consideradas. Así, en cada caso, estos números serán susceptibles de variación con respecto al total de las UPA que fueron censadas.

1 Datos entregados a noviembre de 2014 y actualizaciones a 2017.



A continuación, se hace la descripción de las condiciones generales en el departamento de cada una de las variables del Censo Nacional Agropecuario (2014) incluidas en el presente estudio.

- *Sistema de riego*
La tenencia, o no, de uno o más sistemas de riego determina el grado de vulnerabilidad de las regiones y sus productores, ante las eventualidades del cambio climático o fenómenos como El Niño. En este escenario de riesgo, es posible que los cultivos requieran, en momentos determinados, la asistencia en el suministro del preciado líquido, de lo contrario se corre el riesgo de devenir en pérdidas o disminución de rendimientos.
- *Existencia de medios como maquinaria para el desarrollo de las actividades agropecuarias*
Para llevar a cabo de forma eficiente algunas actividades agrícolas se ha hecho necesaria la mecanización de los procesos. Es preciso tener en cuenta tanto la labranza, que es uno de los dos factores de mayor impacto sobre los suelos, como las proyecciones hacia una agricultura de conservación. Sin embargo, a su vez, es crucial observar la necesidad de incorporar cada vez más maquinaria especializada que coadyuve al sostenimiento de los procesos del suelo y la conservación de los espacios agroecológicos (FAO, 2014).
- *Acceso a asistencia o asesoría para el desarrollo de las actividades agropecuarias*
En este aspecto, se ha demostrado que los procesos de asistencia y asesoría se configuran como una oportunidad para enfocar la gestión del saber local, con el propósito de acompañarlo con el conocimiento exógeno a los territorios. Esto significa la integración y construcción de alianzas con instituciones académicas y de investigación que, en muchos casos, se hallan inconexas con las realidades rurales (FAO, 2016).
- *Fuentes de crédito para el desarrollo de las actividades agropecuarias*
En cuanto al acceso de crédito enfocado al sector agrícola, este se ha redefinido por las desuniones de la economía y los mercados a niveles nacionales y globales. De esta forma, las intervenciones estatales derivaron en grandes sobrecostos y cargas fiscales, y muchas entidades captadoras de recursos de donantes internacionales se vieron afectadas por los contrapesos de las crisis financieras. Así, la búsqueda de crédito y servicios financieros en el sector agrario ha abierto una diversa gama de fuentes que va desde los aún supervivientes bancos agrarios y las entidades de microcrédito hasta los préstamos particulares de altos intereses. En este contexto, es necesario entonces identificar qué fuentes predominan mayoritariamente en los territorios nacionales, para así relacionarlas con las posibilidades de producción de los sistemas alimentarios futuros.

4.2. Ajuste de datos. Reclasificación de las variables

El proceso siguiente conduce a la reclasificación de cada una de las variables de acuerdo con los requerimientos básicos del cultivo. De acuerdo con la herramienta de ArcGIS para reclasificación de archivos *raster*,

Al reclasificar por rangos de valores, las herramientas de reclasificación requieren límites inferiores y superiores de los valores existentes en el raster de entrada, y el valor alternativo que se va a asignar al rango de valores. Todos los valores del raster original, que caen en el rango especificado de valores, recibirán el valor alternativo asignado a ese rango. (ArcGIS Pro, 2019) (ver figura 7)

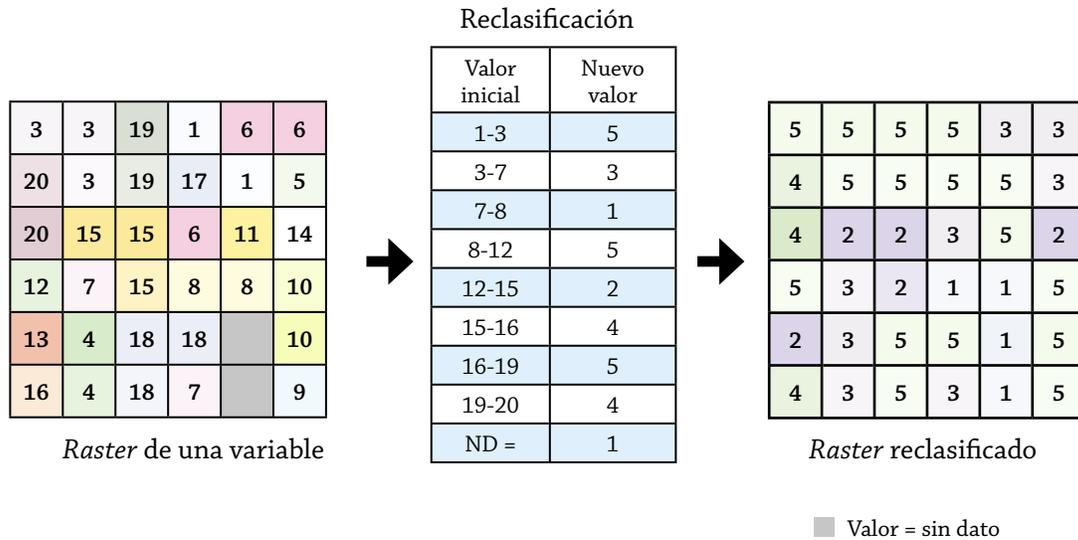


Figura 7. Esquema del proceso de reclasificación de un *raster*

Fuente: elaboración propia.

4.3. Superposición ponderada

Se procedió a aplicar la herramienta de superposición ponderada (ver figura 8) que ubica los rangos predefinidos en la reclasificación de los *raster* (en este caso, la escala es 1 a 4), y realiza un proceso de ponderación de acuerdo con los pesos asignados a dichas clasificaciones, según los grupos de variables (clima, suelo y terreno). De este modo, en la herramienta de ArcGIS,

Las capas se multiplican por el multiplicador correcto y, para cada celda, se agrupan los valores resultantes. La superposición ponderada presupone que los factores más favorables tienen como resultado los valores más altos en el raster de salida; por lo tanto, identifica estas ubicaciones como las mejores. (ArcGIS Desktop, 2017) (ver figura 8)

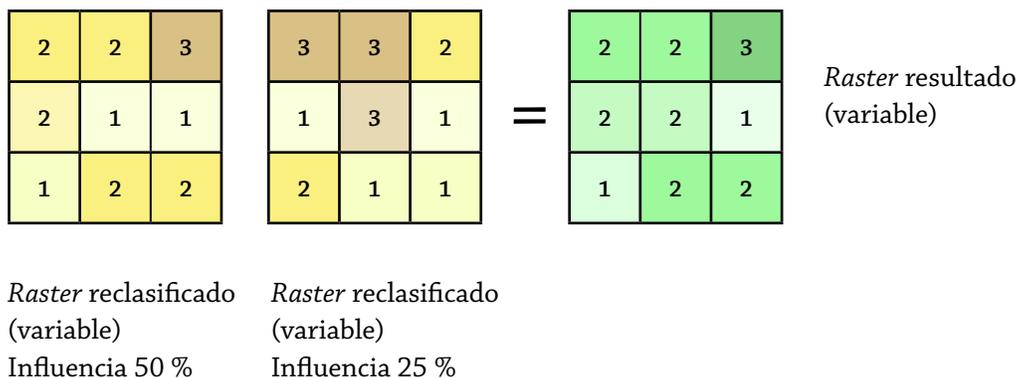


Figura 8. Esquema del proceso de superposición ponderada

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra el modelo general de ponderación de datos aplicado para generar la zonificación edafoclimática (ver figura 9):

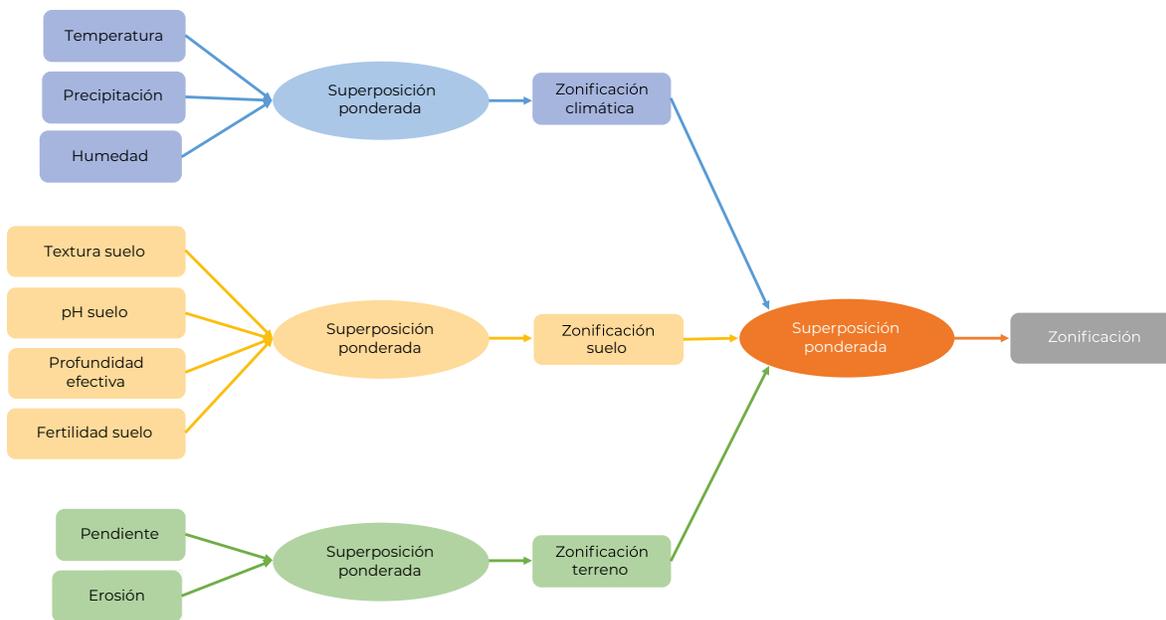


Figura 9. Modelo de superposición ponderada para la zonificación

Fuente: elaboración propia.

4.4. Categorización

La categorización de la zonificación consiste en reasignar a los valores producidos en la reclasificación de los datos espaciales una escala de aptitudes que se vincula posteriormente a las áreas finales de la zonificación (ver tabla 2):

Tabla 2. Escala de aptitud según los valores de reclasificación

1	No apto	Áreas donde no existen las condiciones mínimas que permitan el cultivo. Las inversiones realizadas pueden no derivar en resultados (mínimos).
2	Bajo	Áreas donde existen limitantes y se requiere de grandes inversiones adicionales que permitan la producción del cultivo. El retorno de la inversión puede no cubrir lo invertido.
3	Moderado	Áreas donde se presentan restricciones moderadas, se puede requerir algunas inversiones, pero menores, para posibilitar la producción. Estas áreas se aproximan a lo óptimo.
4	Apto	Áreas donde no existen limitantes y se encuentran las condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo.

Fuente: elaboración propia.

Al finalizar el proceso de superposición ponderada y, según las áreas de zonificación final, se restaron las capas de exclusión o restrictivas, como las siguientes: recursos hídricos, áreas protegidas, infraestructura y sustracciones de ley (ver figura 10). En la figura 11 se ilustra el mapa de la capa de áreas de exclusión.



Figura 10. Esquema de las capas de exclusión y restricción por grupos

Fuente: elaboración propia.

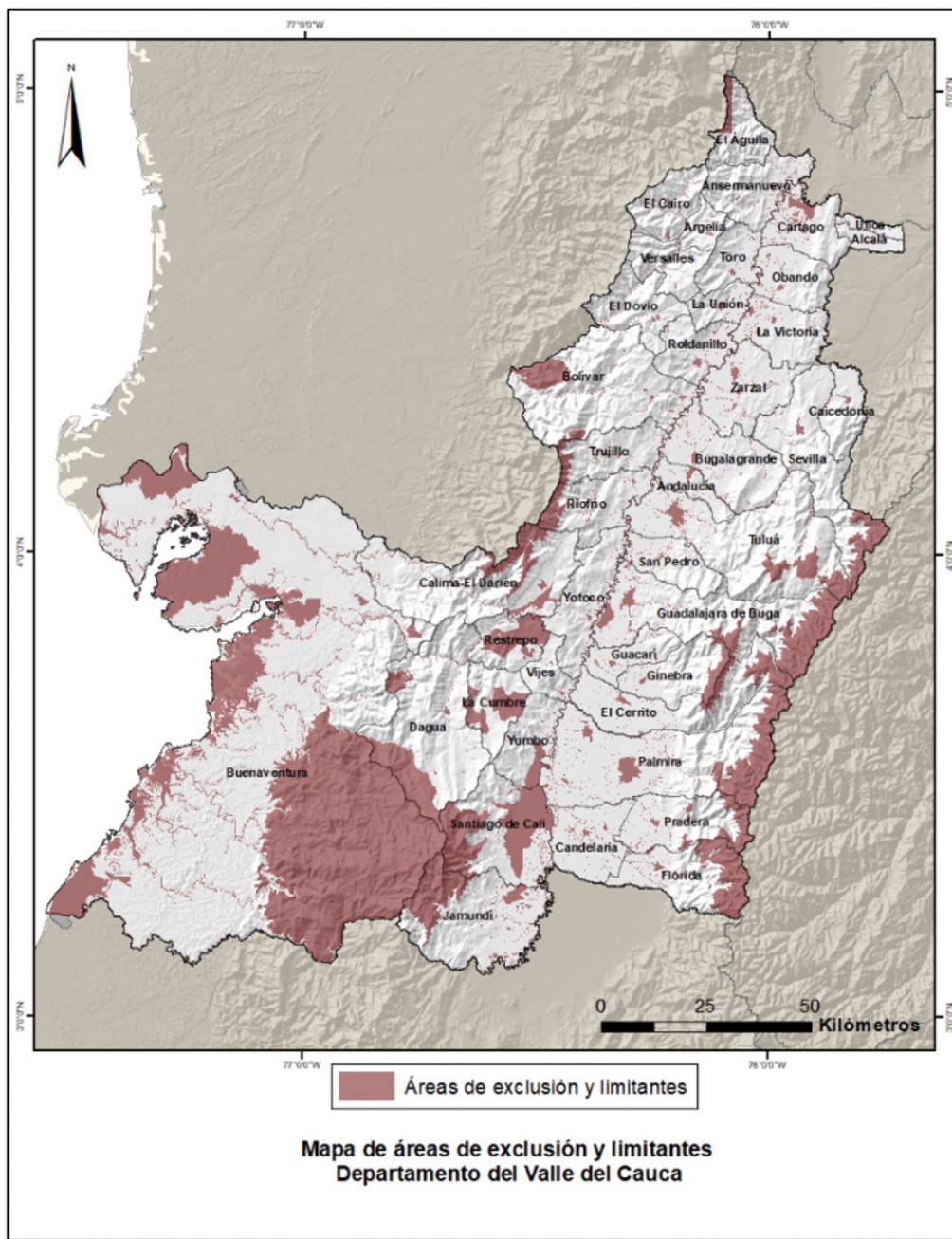


Figura 11. Mapa de las capas de exclusión y restricción en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.

4.5. Vinculación de información socioecosistémica y socioeconómica

Para asociar la información socioecosistémica a las áreas de la zonificación edafoclimática, se realizó un proceso de intersección de datos espaciales con ayuda del software especializado (ArcGIS). El objetivo de este proceso era extraer la información de uso del suelo, vocación de uso del suelo y vulnerabilidad ambiental, con circunscripción exclusiva a las áreas finales de la zonificación (ver figura 12).

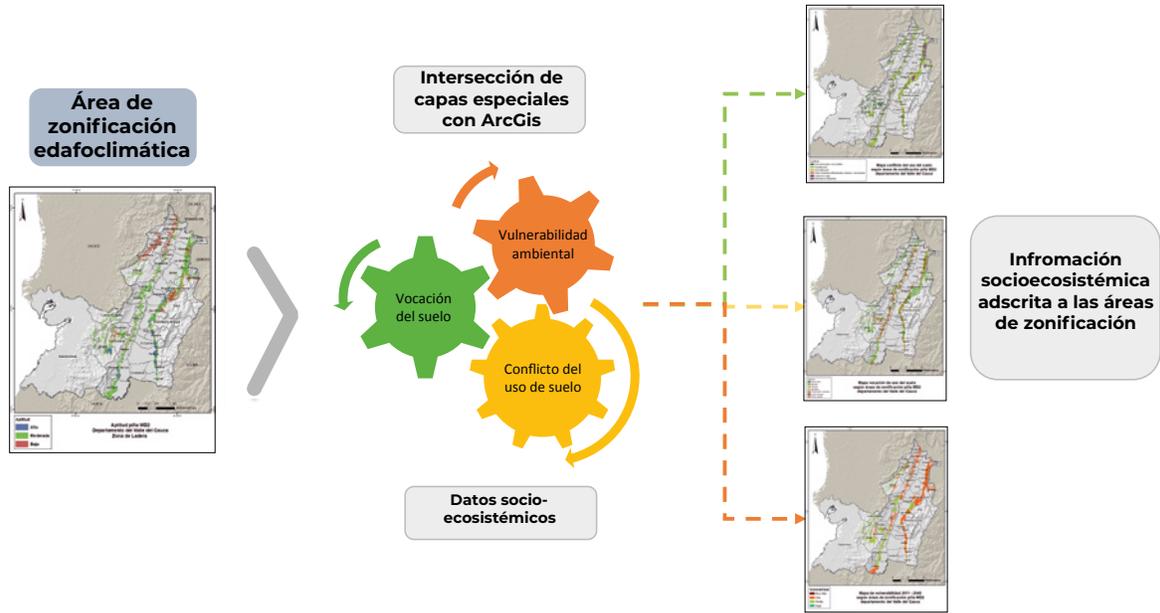


Figura 12. Flujograma para la información socioecosistémica adscrita a las áreas de zonificación

Fuente: elaboración propia.

Para vincular la información socioeconómica con la zonificación edafoclimática, se filtraron los microdatos del Censo Nacional Agropecuario (2014). Como se mencionó en la parte metodológica, los resultados de este cruce de bases de datos se limitan al orden municipal, es decir, que al final se muestra el comportamiento de las variables socioeconómicas elegidas con relación al orden de importancia de los municipios, según las áreas de aptitud final de la zonificación (ver figura 13).

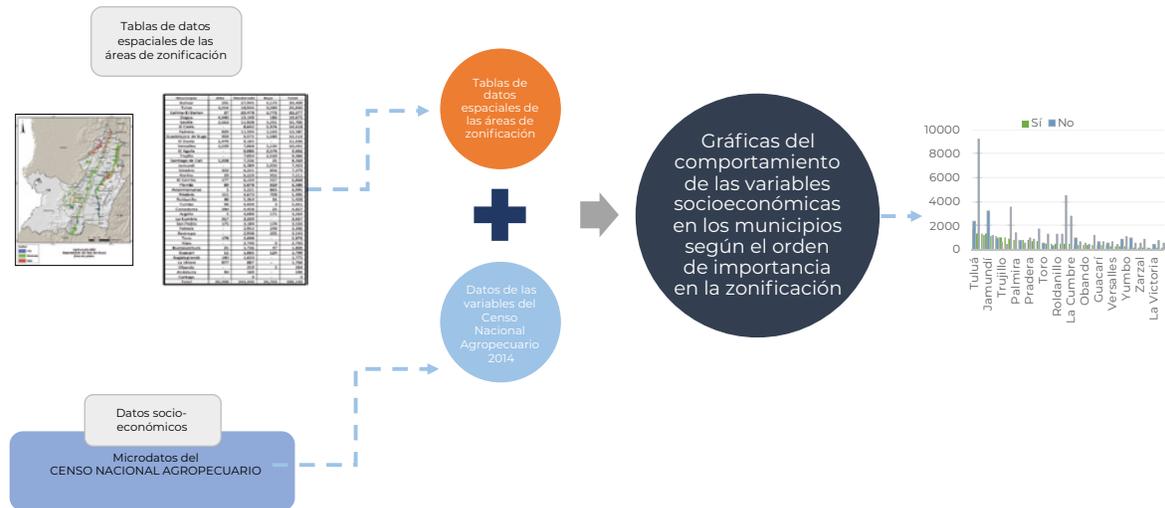


Figura 13. Flujograma para la información socioeconómica adscrita a las áreas de zonificación

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para llevar a cabo el análisis de cambio climático, se procedió al uso de *Targeting Tools* con el fin de producir las capas de probabilidad de aptitud climática para el escenario presente y para el escenario futuro en 2050, según las RCP 4.5 y 8.5 definidas por el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2018). En la figura 14, se muestra de manera sucinta el flujo del proceso para este análisis.

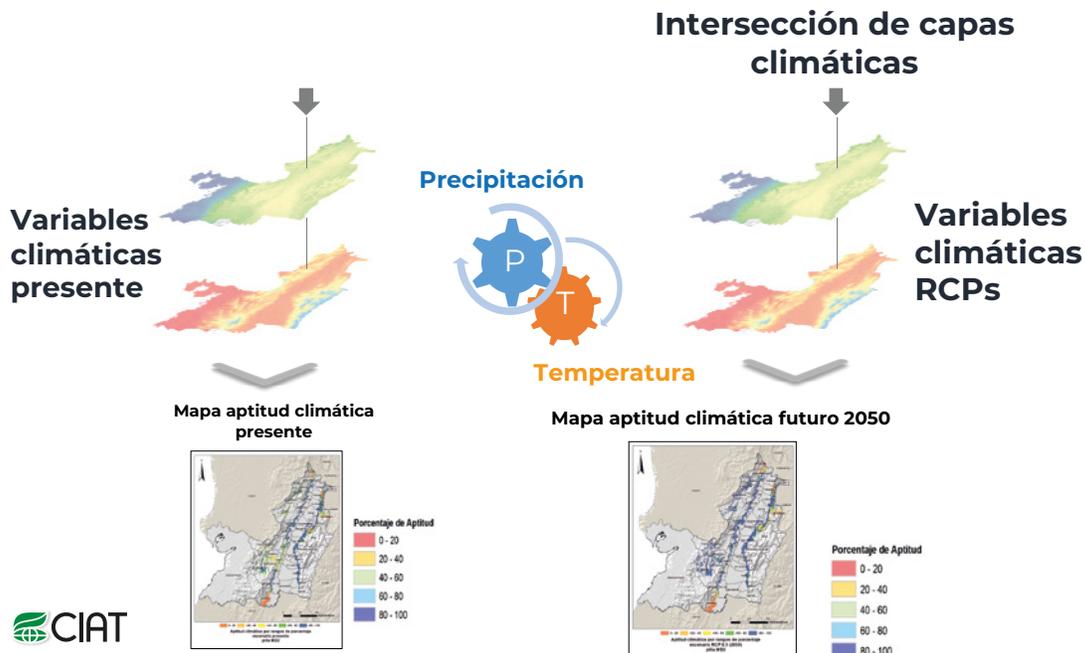


Figura 14. Intersectos de los pixeles de las capas climáticas.

Fuente: elaboración propia.

5. RESULTADOS

5.1. Zonificación edafoclimática para la piña MD2

En términos generales, en el mapa de zonificación final para la piña MD2 se puede apreciar una tendencia al predominio de las zonas de aptitud moderada, seguidas por las zonas de aptitud baja y, por último, las de aptitud alta. Las zonas de mejor aptitud para el cultivo de piña MD2 tienden a ubicarse en el corredor del pie de monte de la cordillera Central, en los municipios de Guadalajara de Buga, Ginebra, El Cerrito, Palmira y Pradera. Otras zonas relevantes se ubican en el municipio de Dagua, en la parte occidental, y más al norte en la zona de ladera de los municipios de Andalucía, Bugalagrande y algunas zonas del municipio de Caicedonia (ver figura 15).

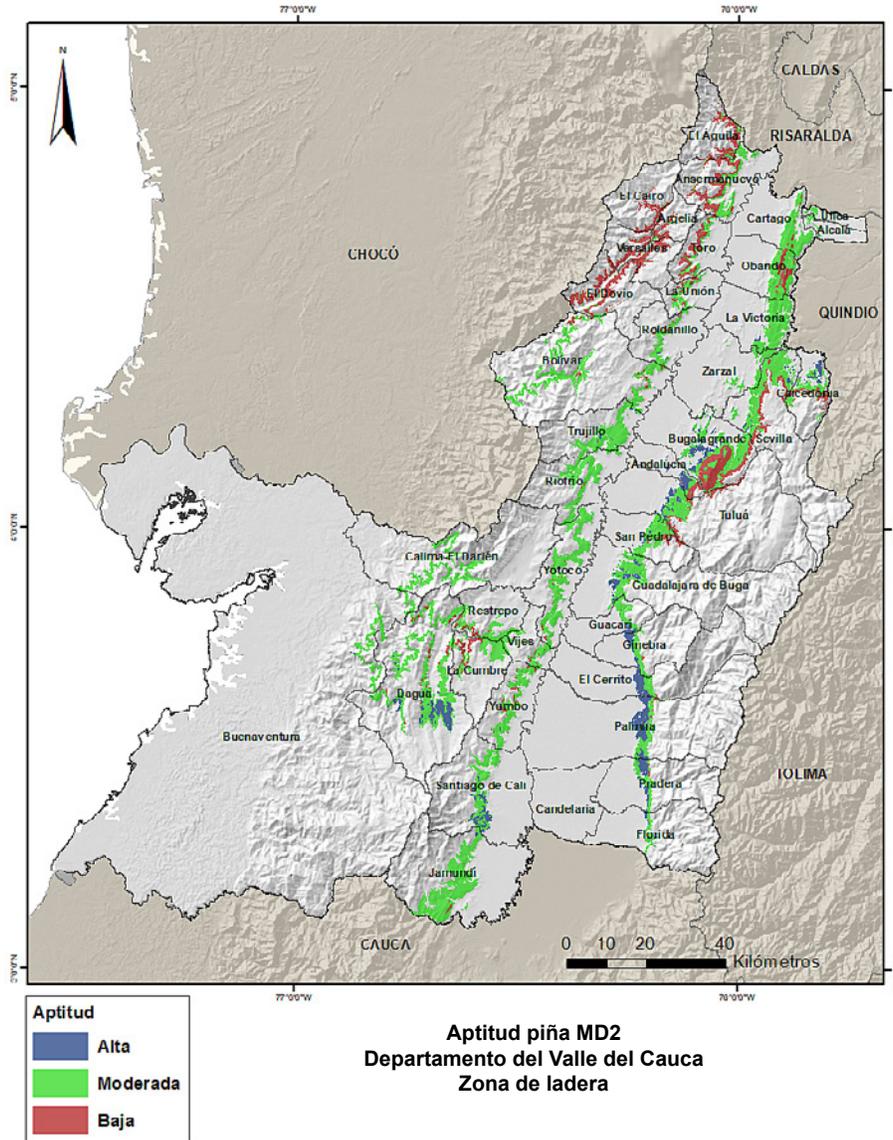


Figura 15. Mapa de zonificación de aptitud para el cultivo de piña MD2 en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la distribución porcentual total de las áreas de aptitud a nivel departamental (ver figura 16), se evidencia que las zonas moderadas alcanzan un 73 % (152.940 ha), las zonas de aptitud baja un 18 % (38.735 ha) y las de zonas aptitud alta unas 18.185 ha (9 %) (ver tabla 3).

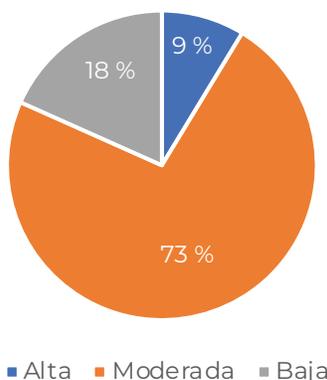


Figura 16. Porcentaje de área por aptitud en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Tamaño de hectáreas por aptitud en el departamento del Valle del Cauca

Aptitud	Área (ha)
Alta	18.185
Moderada	152.940
Baja	38.375
Total	209.500

Fuente: elaboración propia.

A nivel municipal los resultados (ver figura 17) indican que al menos los primeros cinco municipios con mayores áreas totales de aptitud están en el rango entre las 10.000 y 17.000 ha. No obstante, Bugalagrande (el segundo municipio con mayor área de aptitud) tiene, a su vez, un componente destacado de aptitud baja. Al municipio mencionado le siguen en orden de importancia: Ansermanuevo, el Dovio, Versalles, Toro, El Águila y Sevilla, entre otros (ver tabla 4).

Otros municipios que tienen un potencial combinado de aptitud alta/moderada y que se pueden considerar bastante aptos para el cultivo de piña MD2 son los siguientes: Dagua, Yotoco, La Victoria, Santiago de Cali, Trujillo, Guadalajara de Buga y Palmira. No obstante, otros municipios con área total menor presentan un alto potencial para dicho cultivo (ver tabla 4).

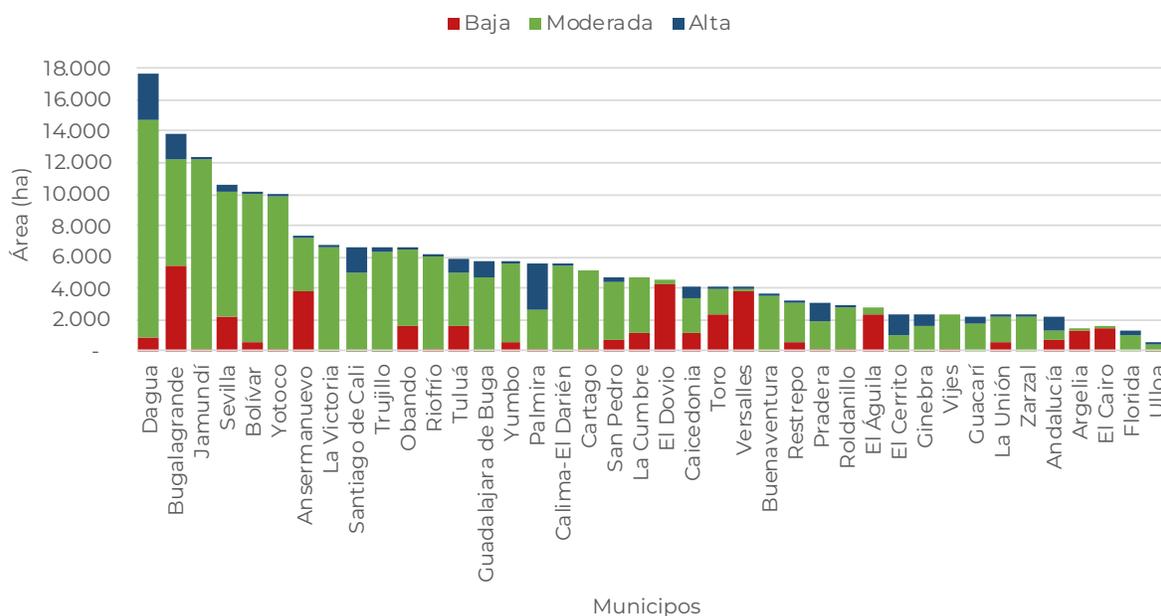


Figura 17. Resultados de la zonificación por municipios en el departamento del Valle del Cauca, con respecto a su importancia por tamaño de área

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Tamaño de áreas (ha) por municipio en el departamento del Valle del Cauca según su aptitud

Municipio	Alta	Moderada	Baja	Total
Dagua	2.944	13.812	897	17.653
Bugalagrande	1.619	6.781	5.487	13.887
Jamundí	73	12.118	147	12.338
Sevilla	447	8.027	2.182	10.657
Bolívar	1	9.433	635	10.069
Yotoco	1	9.622	198	9.821
Ansermanuevo	16	3.432	3.784	7.232
La Victoria	111	6.499	65	6.675
Santiago de Cali	1.499	5.063	5	6.567
Trujillo	198	6.358	8	6.564
Obando	32	4.779	1.659	6.470
Riofrío	8	5.975	79	6.062
Tuluá	878	3.457	1.613	5.948
Guadalajara de Buga	1.142	4.616	27	5.785
Yumbo	38	5.047	545	5.630
Palmira	2.975	2.449	184	5.608
Calima-El Darién	4	5.452	13	5.469
Cartago	-	4.891	190	5.080
San Pedro	175	3.779	698	4.652
La Cumbre	-	-	1.113	4.634



Municipio	Alta	Moderada	Baja	Total
El Dovio	-	410	4.191	4.601
Caicedonia	821	2.229	1.127	4.177
Toro	55	1.563	2.419	4.037
Versalles	1	172	3.758	3.931
Buenaventura	40	3.470	32	3.542
Restrepo	6	2.601	523	3.129
Pradera	1.230	1.822	70	3.121
Roldanillo	87	2.599	137	2.823
El Águila	-	450	2.313	2.763
El Cerrito	1.352	979	53	2.384
Ginebra	777	1.550	46	2.373
Vijes	-	2.182	185	2.367
Guacarí	438	1.795	-	2.232
La Unión	55	1.591	582	2.228
Zarzal	44	2.174	-	2.218
Andalucía	893	562	695	2.150
Argelia	-	189	1.314	1.503
El Cairo	-	80	1.399	1.479
Florida	216	1.039	-	1.256
Ulloa	10	376	0	386
Total	18.185	152.940	38.375	209.500

Fuente: elaboración propia.

5.2. Validación de resultados de la zonificación edafoclimática

Para realizar la validación correspondiente a los resultados obtenidos en la zonificación, se recurrió a una muestra de datos secundarios obtenidos gracias a la colaboración de la Sociedad de Agricultores y Ganaderos (SAG). Cabe anotar que los puntos georreferenciados de productores son solo una muestra de la totalidad de los agricultores de piña MD2 en el Valle del Cauca, pero a través de esta, se puede validar y contrastar los datos obtenidos en la zonificación con los lugares donde se lleva a cabo el cultivo con certeza.

Con respecto a las áreas resultantes del proceso de zonificación, en comparación con los puntos reales de producción, estas dejan ver una intersección de datos significativa en los municipios de Dagua, La Cumbre, Bolívar y La Unión (ver figura 18). De un total de 49 puntos ubicados en las áreas de zonificación, 45 de ellos están en el municipio de Dagua. En su mayoría, estos puntos de producción tienen una aptitud moderada, sin embargo, ocho de estos tienen aptitudes altas y se ubican en las inmediaciones del municipio de Dagua. Los otros puntos de producción están en los municipios de La Cumbre y Restrepo.

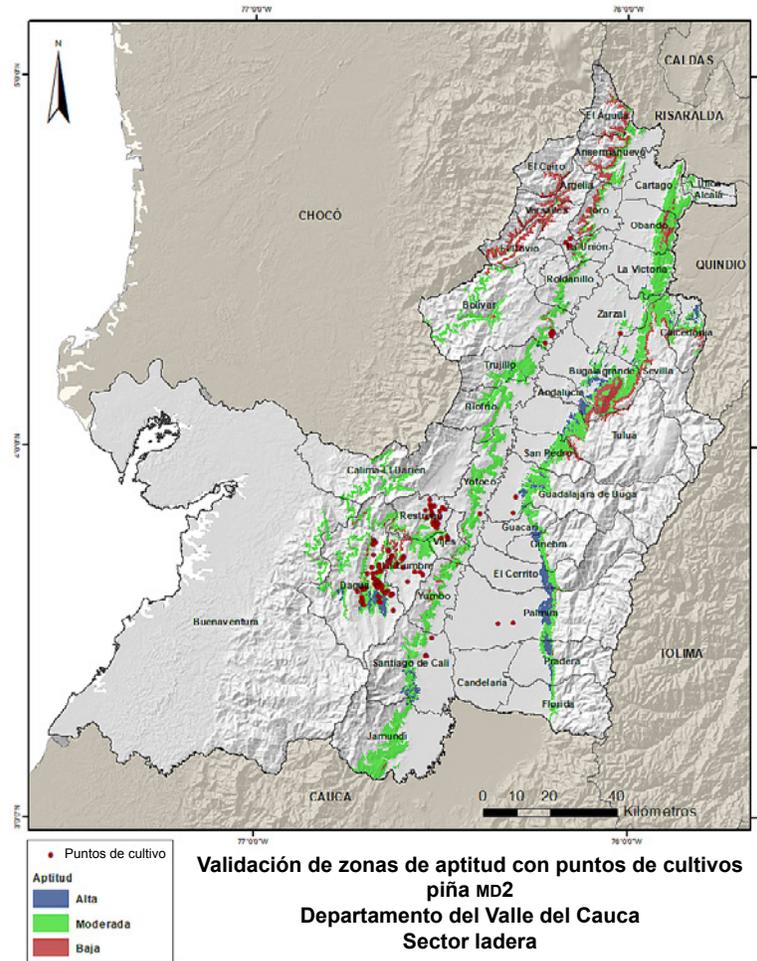


Figura 18. Validación de zonas de aptitud con puntos de cultivos piña MD2

Fuente: elaboración propia.

5.3. Información socioecosistémica y socioeconómica asociada con las áreas de zonificación edafoclimática

a) Conflicto por el uso del suelo según las áreas de zonificación de la piña MD2

A rasgos generales, en el departamento del Valle del Cauca el conflicto por el uso del suelo en las zonas de ladera donde se encuentran las áreas de aptitud para el cultivo de piña MD2 se evidencia en la tendencia a la *sobreutilización* del suelo. Esta llega a un 61,3 % (119.185 ha) (ver figura 19), siendo los municipios con más *sobreutilización* Bolívar y Tuluá (ver tabla 5). En lo que concierne a los *usos adecuados o sin conflicto*, estos representan un 22 % (82.816 ha), siendo los municipios con mayor área en esta categoría Calima-El Darién, Bolívar y Dagua.

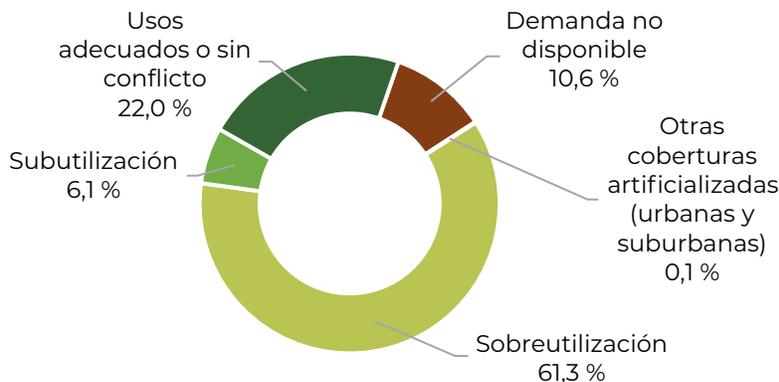


Figura 19. Porcentaje del conflicto por el uso del suelo según las áreas de zonificación

Fuente: elaboración propia.

Con relación a los diez municipios con áreas de aptitud mayores a 10.000 ha se destacan: Bolívar (13.655 ha) Calima-El Darién (15.421 ha) y Dagua (11.494 ha). Estos presentan áreas mayores de *usos adecuados o sin conflicto*. En lo relativo a los municipios con mayores porcentajes de áreas con conflicto por el uso, especialmente respecto a la *sobreutilización*, se encuentra lo siguiente: Bolívar (12.831 ha), Tuluá (12.228 ha) y El Cairo (9055 ha). El resto de los municipios cuentan con menos de 7000 ha sobreutilizadas (ver tabla 5 y figura 20).

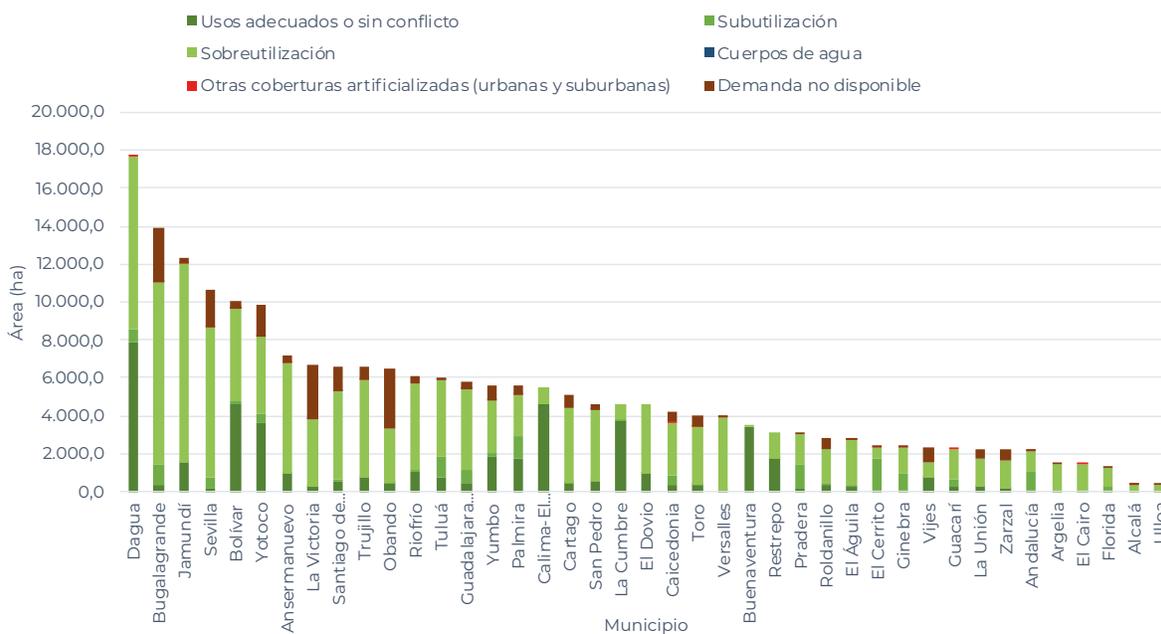


Figura 20. Conflictos por el uso del suelo según las áreas de zonificación, en orden de importancia por municipio, en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.

A continuación, en el mapa de conflicto por el uso del suelo según las áreas de zonificación (ver figura 21), se puede apreciar ciertas tendencias en la distribución geográfica de dichos conflictos. Es evidente la propensión a encontrar los *usos adecuados y sin conflicto* con una mayor concentración en la cordillera Occidental, en particular, en el municipio de Bolívar, a lo largo de las estribaciones de la cordillera Occidental en los municipios de Riofrío, Yotoco, Yumbo y Jamundí.



En el caso de la cordillera Central, los *usos adecuados y sin conflicto* se encuentran dispersos en áreas pequeñas en municipios como Cartago, Obando, La Victoria y Caicedonia, al norte. En el centro están Bugalagrande, Tuluá, San Pedro y Guadalajara de Buga, y, al sur, algunas áreas considerables en Palmira y Pradera. Por otra parte, la categoría de *subutilización* está presente primordialmente en las estribaciones de la cordillera Central en los municipios de Sevilla, Bugalagrande, Andalucía, Tuluá, Ginebra, El Cerrito, Palmira, Pradera y Florida.

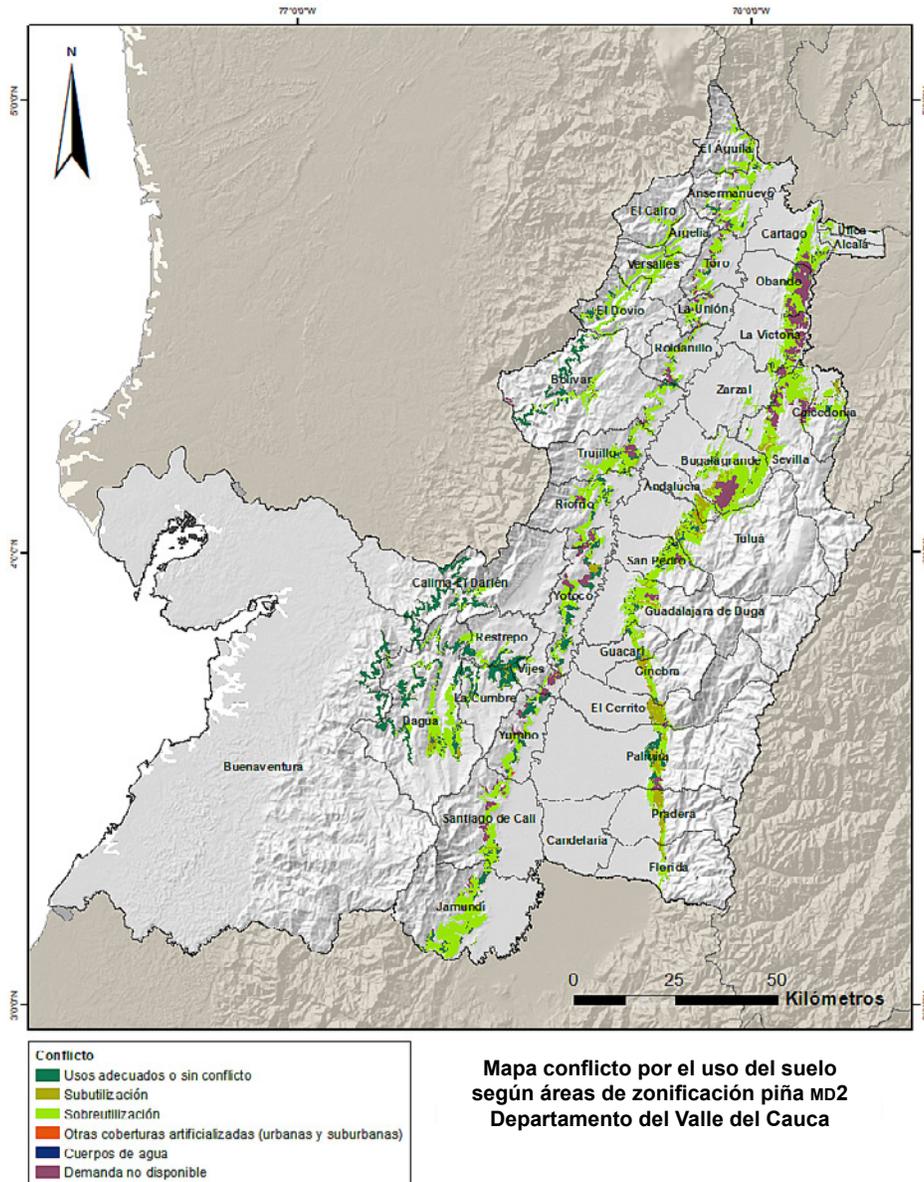


Figura 21. Mapa conflicto por el uso del suelo según las áreas de zonificación para el cultivo de piña MD2 en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.



Tabla 5. Tamaño de área por municipio en el departamento del Valle del Cauca según los conflictos por el uso del suelo

Municipios	Usos adecuados o sin conflicto	Sub-utilización	Sobre-utilización	Cuerpos de agua	Otras coberturas artificializadas (urbanas y suburbanas)	Demanda no disponible	Total
Dagua	7.894,1	662,3	9.088,6		7,7		17.653
Bugalagrande	403,2	1.060,9	9.610,4		3,1	2.809,4	13.887
Jamundí	1.542,8	39,2	10.401,7		7,7	346,3	12.338
Sevilla	167,9	627,5	7.881,0		0,5	1.979,7	10.657
Bolivar	4.644,6	147,5	4.897,8	0,0	0,7	378,2	10.069
Yotoco	3.636,2	443,2	4.078,3		1,6	1.661,7	9.821
Ansermanuevo	956,9	0,2	5.839,9		0,8	433,8	7.232
La Victoria	248,2	0,6	3.611,9		2,7	2.811,5	6.675
Santiago de Cali	542,9	144,9	4.650,4		15,3	1.213,3	6.567
Trujillo	728,2	53,3	5.136,1		8,5	638,1	6.564
Obando	446,9	29,8	2.872,9			3.120,8	6.470
Riofrío	1.096,2	27,0	4.585,7			352,8	6.062
Tuluá	810,4	1.008,9	4.104,0	0,2	15,0	10,1	5.948
Guadalajara de Buga	482,8	653,6	4.304,1		11,0	333,7	5.785
Yumbo	1.895,6	142,6	2.759,3		36,2	796,0	5.630
Palmira	1.746,8	1.186,7	2.159,1		13,0	502,7	5.608
Calima-El Darién	4.610,7		858,4				5.469
Cartago	421,2	80,7	3.923,3			655,2	5.080
San Pedro	554,8	16,5	3.757,3		2,2	321,2	4.652
La Cumbre	3.726,5	87,9	819,7				4.634
El Dovio	968,3	1,9	3.630,3				4.601
Caicedonia	356,7	476,9	2.825,2		21,7	496,4	4.177
Toro	407,6	3,3	3.042,2		11,7	571,7	4.037
Versalles	45,1	65,7	3.788,5		2,0	29,5	3.931
Buenaventura	3.477,2		64,4				3.542
Restrepo	1.750,3	49,2	1.329,4				3.129
Pradera	171,6	1.325,3	1.522,4			101,7	3.121
Roldanillo	367,4	59,3	1.822,9			573,1	2.823
El Águila	270,6	58,2	2.422,9		0,3	10,9	2.763
El Cerrito	89,0	1.693,1	531,0		0,7	70,2	2.384
Ginebra	93,0	890,1	1.335,8		14,3	39,6	2.373
Vijes	746,3	28,0	815,7			777,5	2.367
Guacarí	272,4	384,5	1.574,3		1,3		2.232
La Unión	295,2	3,5	1.469,9			458,9	2.228
Zarzal	186,7	4,2	1.473,4			553,9	2.218
Andalucía	33,5	1.050,3	1.049,3		0,8	16,3	2.150
Argelia	19,9	19,3	1.442,4			21,8	1.503
El Cairo	49,5		1.423,6		6,2		1.479

Continúa



Municipios	Usos adecuados o sin conflicto	Sub-utilización	Sobre-utilización	Cuerpos de agua	Otras coberturas artificializadas (urbanas y suburbanas)	Demanda no disponible	Total
Florida	40,8	262,5	916,4			35,9	1.256
Alcalá	4,3		409,2		0,1	1,4	415
Ulloa	8,1		351,0			27,2	386
Total	46.210	12.789	128.580	0,2	185	22.151	209.915

Fuente: elaboración propia.

b) Vocación de uso del suelo según las áreas de zonificación para la piña MD2

La asociación de esta variable con las áreas de zonificación para el cultivo de piña MD2 evidencia que una gran porción de estas tiene vocación *forestal* (58 %), cuyo porcentaje equivale a 121.780 ha. Mientras que la vocación de *conservación de uso del suelo* (29,9 %) corresponde a 62.711 ha (ver figura 22 y tabla 6), la vocación de uso agrícola solo llega a un 6,8 % (14.211 ha). Esta última se distribuye a lo largo de las áreas de zonificación, donde se destacan municipios como Palmira, Caicedonia, El Cerrito, Ginebra, Bugalagrande y Andalucía (ver figura 23 y tabla 6).

■ Agroforestal ■ Agrícola ■ Forestal ■ Ganadera ■ Cuerpo de agua ■ Zonas urbanas

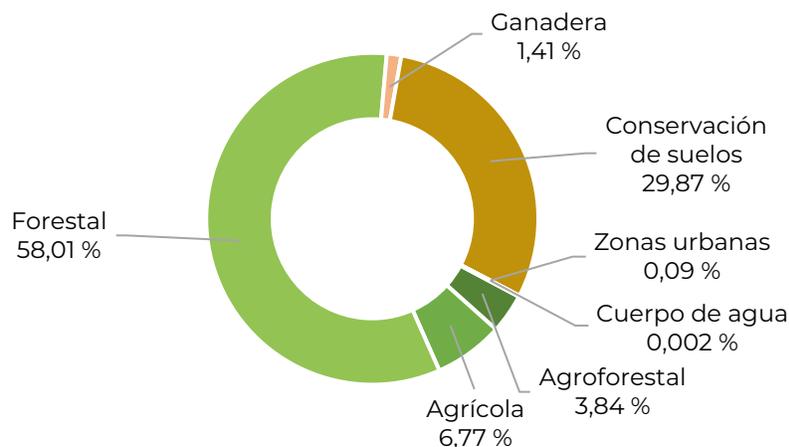


Figura 22. Porcentaje de vocación de uso del suelo según las áreas de zonificación

Fuente: elaboración propia.

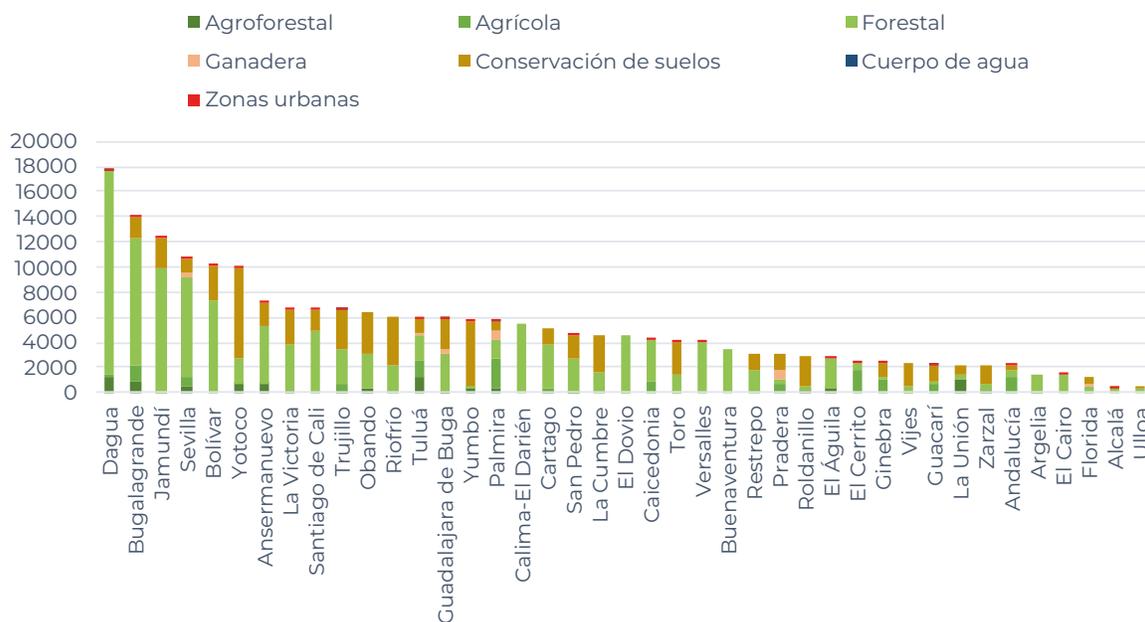


Figura 23. Vocación de uso del suelo según las áreas de zonificación por municipio en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Tamaño de área (ha) por municipio en el departamento del Valle del Cauca según la vocación de uso del suelo

Municipios	Agroforestal	Agrícola	Forestal	Ganadera	Conservación de suelos	Cuerpo de agua	Zonas urbanas	Area (ha)
Dagua	1.178,2	338,9	16.035,4		91,4	0,9	7,9	17.652,7
Bugalagrande	843,5	1.257,8	10.146,3	59,1	1.577,1		3,1	13.887,0
Jamundí		39,2	9.812,1	0,4	2.478,4		7,7	12.337,7
Sevilla	508,4	709,7	7.937,9	365,2	1.134,9		0,5	10.656,6
Bolívar		220,8	7.175,2		2.672,2		0,7	10.068,8
Yotoco	634,2	5,6	2.053,3		7.126,4		1,6	9.821,0
Ansermanuevo	628,8	0,2	4.628,6		1.973,2		0,8	7.231,6
La Victoria	208,6		3.672,5		2.791,1		2,7	6.674,9
Santiago de Cali		199,9	4.711,9	1,0	1.638,6		15,3	6.566,7
Trujillo	111,3	561,4	2.876,1		3.006,8	0,1	8,5	6.564,2
Obando	254,0		2.771,9		3.444,5			6.470,4
Riofrío		59,1	2.077,4		3.925,2			6.061,7
Tuluá	1.305,9	1.222,0	2.115,0	25,5	1.265,1		15,0	5.948,5
Guadalajara de Buga	0,6	176,8	2.837,7	528,1	2.223,9	0,3	17,7	5.785,1
Yumbo	273,2	0,2	207,3		5.112,9		36,2	5.629,8

Continúa



Municipios	Agroforestal	Agrícola	Forestal	Ganadera	Conservación de suelos	Cuerpo de agua	Zonas urbanas	Area (ha)
Palmira	349,0	2.293,6	1.510,2	780,7	661,6	0,3	13,0	5.608,3
Calima-El Darién			5.469,1					5.469,1
Cartago	143,1	228,1	3.425,6		1.283,5			5.080,4
San Pedro	4,8	16,5	2.708,8	0,9	1.918,4		2,8	4.652,1
La Cumbre		90,4	1.593,9		2.949,8			4.634,1
El Dovio		1,9	4.598,6					4.600,5
Caicedonia	876,5	3.278,0					22,4	4.176,8
Toro		3,5	1.436,4		2.584,9		11,7	4.036,5
Versalles		65,7	3.863,1				2,0	3.930,7
Buenaventura			3.541,7					3.541,7
Restrepo		63,8	1.750,8		1.314,4			3.129,0
Pradera		644,3	353,7	891,3	1.231,8			3.121,1
Roldanillo	126,0	5,8	362,0		2.329,0			2.822,8
El Águila	303,4	32,1	2.427,1				0,3	2.762,9
El Cerrito		1.737,7	536,4	109,2			0,7	2.384,0
Ginebra		1.088,6	139,1		1.130,8		14,3	2.372,8
Vijes		37,8	431,3		1.898,4			2.367,5
Guacarí		727,0	241,9		1.260,5	1,8	1,3	2.232,4
La Unión	1.006,3		368,9		852,3			2.227,5
Zarzal	172,9	5,0	433,2		1.607,1			2.218,2
Andalucía		1.279,4	478,4	32,3	359,3		0,8	2.150,2
Argelia		19,3	1.484,1					1.503,4
El Cairo			1.473,1				6,2	1.479,3
Florida		202,9	237,1	169,5	646,2			1.255,7
Alcalá			263,8		151,1		0,1	415,1
Ulloa			315,5		70,8			386,3
Total	8.052,4	14.211,4	121.780,0	2.963,2	62.711,7	3,2	193,2	209.915,2

Fuente: elaboración propia.

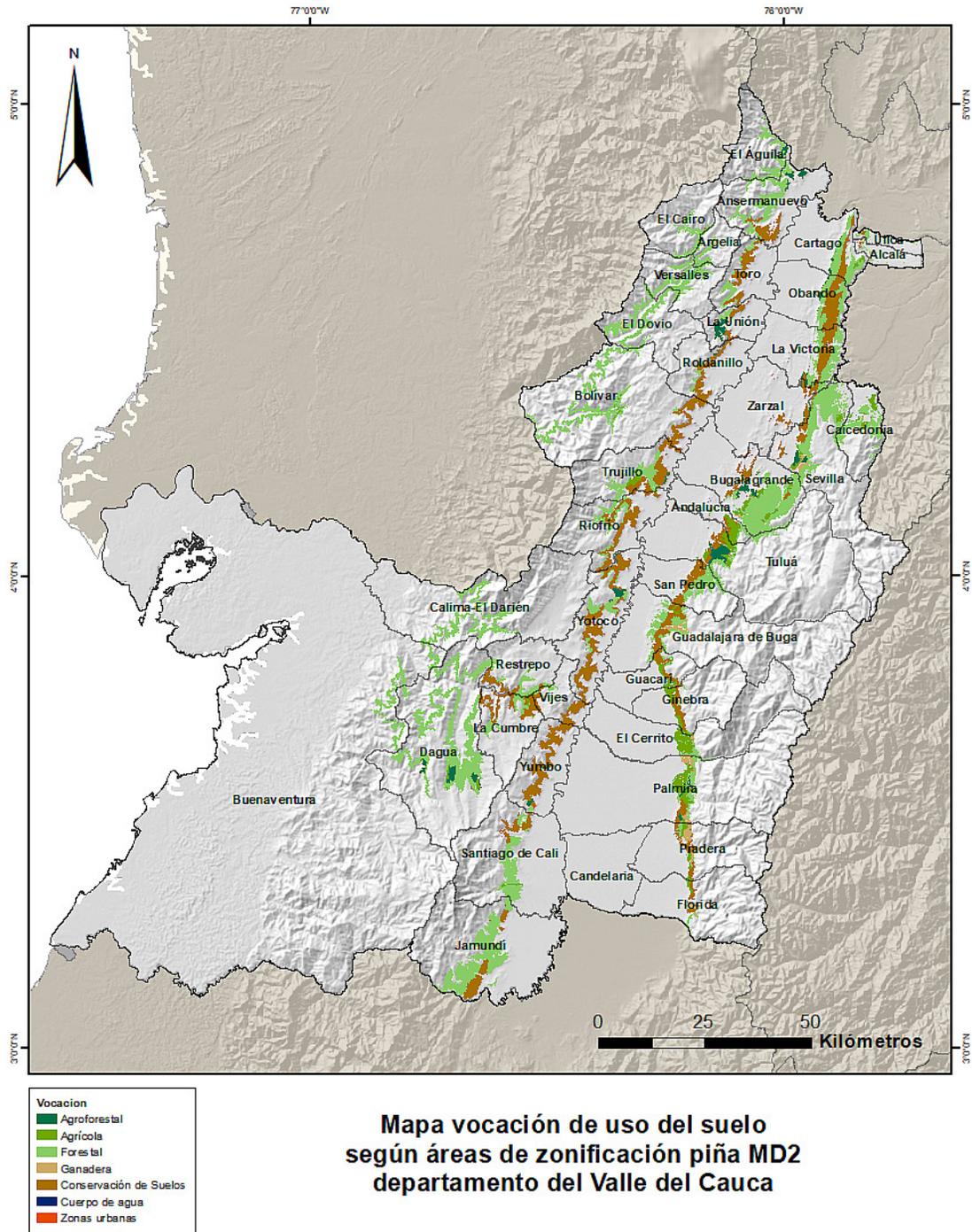


Figura 24. Mapa de vocación de uso del suelo según las áreas de zonificación para el cultivo de piña MD2 en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.

c) Vulnerabilidad al cambio climático según las áreas de zonificación para el cultivo de piña MD2

Con relación a la vulnerabilidad al cambio climático, se verifica que más de la mitad de las áreas resultantes para la zonificación del cultivo de piña MD2 presentarán una vulnerabilidad alta (60,7 %), es decir, 130.453 ha (ver figura 25 y tabla 7). En la gráfica de distribución de la vulnerabilidad



(ver figura 26) se aprecia que solo los municipios Santiago de Cali, Yumbo y Calima-El Darién presentarán vulnerabilidad media. Como contrapartida, los municipios con vulnerabilidad más alta serán Sevilla, Jamundí, Bugalagrande y Ansermanuevo. A partir del tamaño de área total de aptitud se puede afirmar que los municipios más afectados serán, en orden decreciente: Bugalagrande, Sevilla, Jamundí, Yotoco, Ansermanuevo, La Victoria, Obando, Guadalajara de Buga, Cartago, Bolívar, Palmira, Caicedonia, Toro, San Pedro, Trujillo, Pradera, El Águila, Roldanillo, El Cerrito, Ginebra, Tuluá, Zarzal, Guacarí, La Unión (ver figura 26).

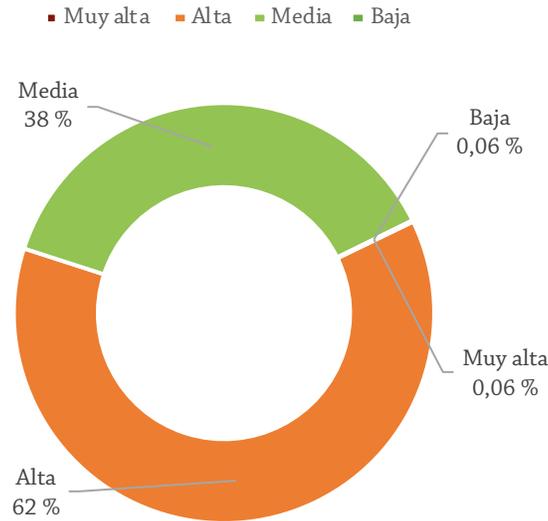


Figura 25. Porcentaje del índice de vulnerabilidad al cambio climático según el área total de la zonificación

Fuente: elaboración propia.

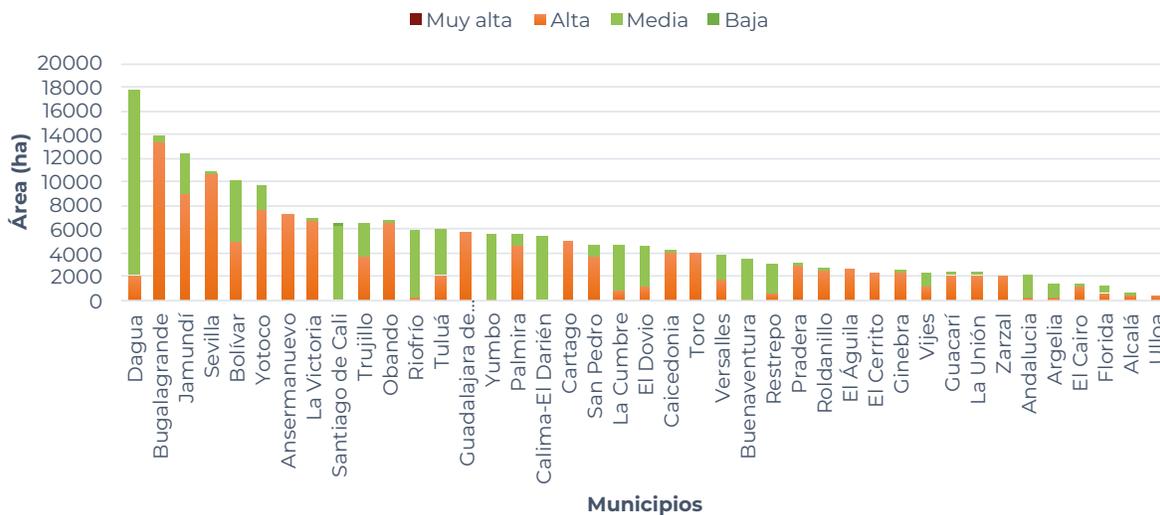


Figura 26. Vulnerabilidad según las áreas de zonificación por municipio en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.



Tabla 7. Tamaño de área (ha) por municipio en el departamento del Valle del Cauca según el índice de vulnerabilidad al cambio climático

Municipios	Muy alta	Alta	Media	Baja	Total
Dagua		2.190,2	15.462,5		17.653
Bugalagrande		13.292,3	594,7		13.887
Jamundí		8.957,3	3.380,4		12.338
Sevilla		10.656,6	-		10.657
Bolívar	1,8	5.046,9	5.020,1		10.069
Yotoco		7.647,3	2.173,8		9.821
Ansermanuevo		7.231,6			7.232
La Victoria		6.674,6	0,3		6.675
Santiago de Cali			6.441,6	125,1	6.567
Trujillo		3.758,9	2.805,3		6.564
Obando		6.470,4	-		6.470
Riofrío		338,8	5.722,9		6.062
Tuluá		2.229,7	3.718,7		5.948
Guadalajara de Buga		5.785,1			5.785
Yumbo		4,0	5.625,8		5.630
Palmira		4.702,1	906,3		5.608
Calima-El Darién			5.469,1		5.469
Cartago		5.080,4			5.080
San Pedro		3.783,9	868,2		4.652
La Cumbre		820,3	3.813,8		4.634
El Dovio		1.226,3	3.374,2		4.601
Caicedonia	8,4	4.147,7	20,7		4.177
Toro		4.036,5			4.037
Versalles		1.736,9	2.193,8		3.931
Buenaventura		73,2	3.468,4		3.542
Restrepo		567,6	2.561,4		3.129
Pradera		2.881,5	239,5		3.121
Roldanillo		2.484,7	338,1		2.823
El Águila		2.762,9			2.763
El Cerrito		2.384,0			2.384
Ginebra		2.343,8	28,9		2.373
Vijes		1.240,2	1.127,3		2.367
Guacarí		2.209,4	23,0		2.232
La Unión		2.198,5	29,1		2.228
Zarzal		2.218,2			2.218
Andalucía		349,6	1.800,5		2.150
Argelia		264,9	1.238,5		1.503
El Cairo		1.251,1	228,3		1.479
Florida	109,8	608,4	537,5		1.256
Alcalá		411,6	3,5		415
Ulloa		386,3			386
Total	120	130.453	79.217	125	209.915

Fuente: elaboración propia.



En el mapa de vulnerabilidad (ver figura 27) según las áreas de zonificación para el cultivo de piña MD2, se puede observar que habrá un fuerte impacto en las áreas de zonificación de la cordillera Central, a excepción de los municipios de Tuluá y Florida. En la cordillera Occidental, se puede verificar un impacto medio en las áreas más occidentales. No obstante, áreas con un alto impacto se observan en las estribaciones de la cordillera, desde Trujillo hasta El Águila, y al sur del municipio de Jamundí.

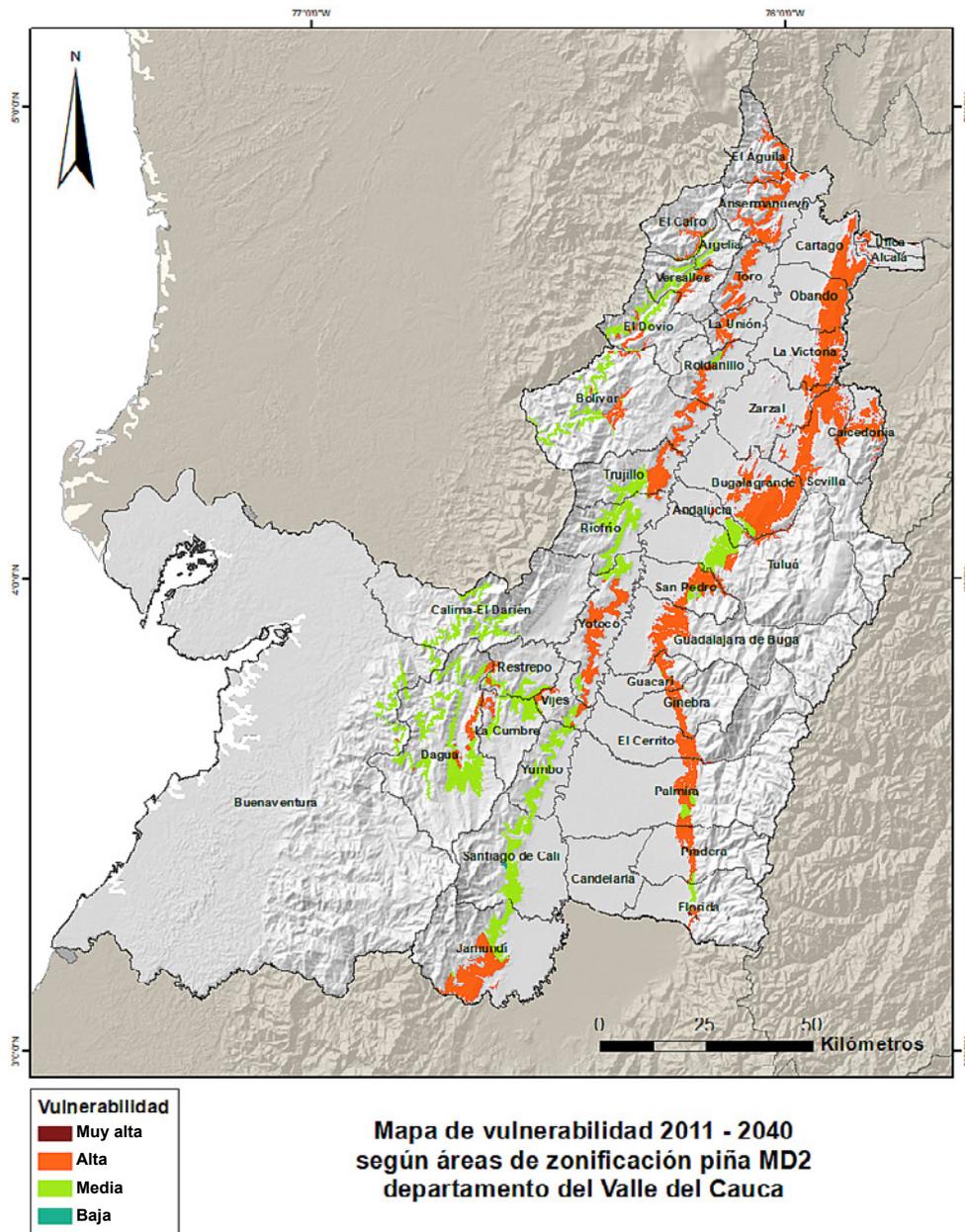


Figura 27. Mapa de vulnerabilidad (período 2011-2040) según las áreas de zonificación para el cultivo de piña MD2 en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.



5.4. Información socioeconómica asociada con las áreas de zonificación edafoclimática

Según la importancia de los municipios, de acuerdo con las áreas determinadas en la zonificación, se hizo el cruce de información con las bases de datos del Censo Nacional Agropecuario (2014). A partir de estas, se obtuvo la información del número de las UPA que dieron respuestas afirmativas o negativas para determinar la tenencia o no de maquinaria, sistema de riego agrícola y el acceso o no a servicios financieros, crediticios, asistencia y asesoría. A través de esta síntesis de datos, se da un contexto general de las cuatro variables en función de la situación particular de los municipios que, a su vez, se han priorizado a través de los resultados de la zonificación según el área total de aptitud de mayor a menor.

a) Tenencia de riego

En cuanto a los datos más generales, las UPA registradas con respuesta representan el 45,5 % del total que hay en el departamento (76.874). Así mismo, un 33 % de estas tiene algún sistema de riego y —del total de municipios que tiene áreas de aptitud para el cultivo de piña MD2— el 40 % cuenta con un número mayor de UPA con, al menos, un sistema de riego.

Con relación a los municipios que presentan un número más alto de UPA con al menos un sistema de riego están Jamundí, El Águila, Cartago y Palmira (ver figura 28). Gran parte de los municipios con grandes áreas de aptitud para el cultivo de piña MD2 presentan números muy bajos de UPA con dicha tenencia. En este contexto, para promover el cultivo de piña MD2 en las zonas de ladera determinadas en la zonificación, es necesario considerar los índices bajos en el número de UPA con tenencia de riego en municipios de alto potencial. Así, en términos de áreas, están Dagua, Sevilla, Yotoco y La Victoria; y, con un potencial medio, Bugalagrande, Bolívar, Ansermanuevo, Santiago de Cali, Trujillo y Obando, entre otros.

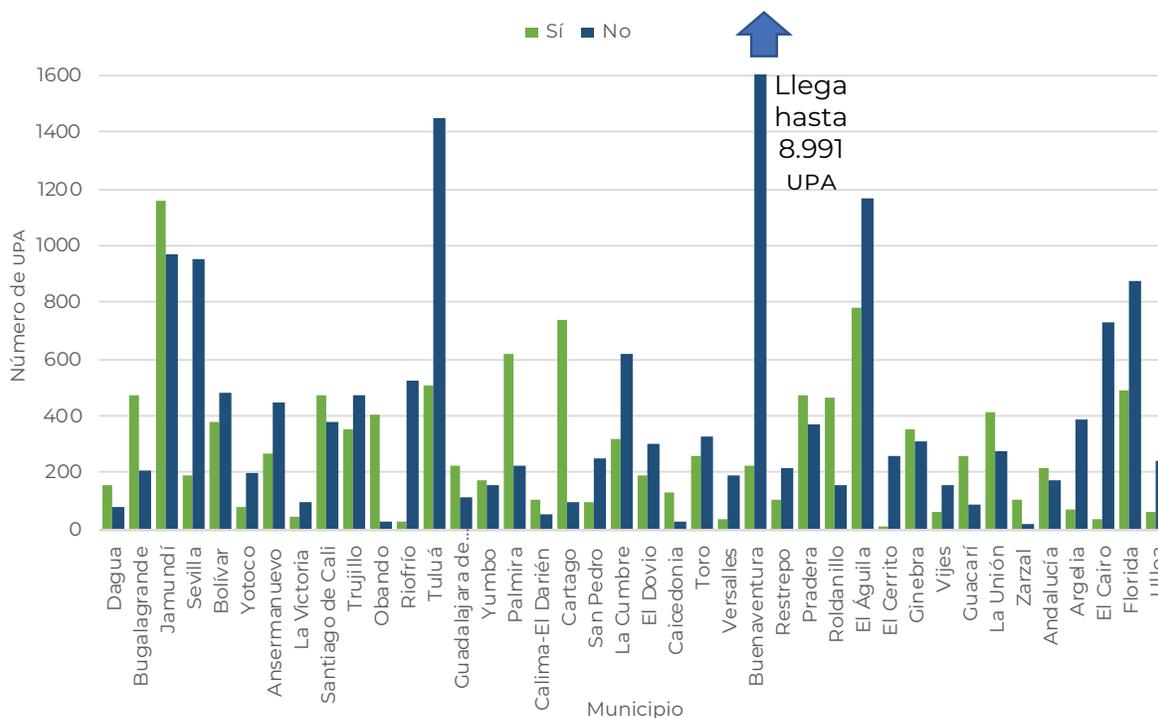


Figura 28. Tenencia de riego por municipio en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.



b) Tenencia de maquinaria

Con respecto a esta variable, los datos más generales muestran que las UPA con respuesta para esta variable representan un 93,2 % del total de 76.874 UPA en el departamento. También evidencian que solo un 27,1 % de estas tienen algún sistema de riego y que, del total de municipios que tienen áreas de aptitud para el cultivo de piña MD2, solo un 12,5 % cuenta con un número mayor de UPA con algún sistema de riego.

En lo que concierne a los municipios con alto potencial en áreas (más de 9000 Ha) para la tenencia de maquinaria (Dagua, Bugalagrande, Jamundí, Sevilla, Bolívar y Yotoco), la tendencia es a carecer de ella. Este hecho es más notorio en los municipios de Dagua y Jamundí, seguidos por Bolívar y Sevilla (ver figura 29).

En un segundo grupo de municipios con menores tamaños de área que el anterior (menos de 8000 y más de 4000 ha) y con aptitud para el cultivo de piña MD2, la tendencia a tener poca maquinaria continúa, sin embargo, las condiciones son mejores. La tenencia de maquinaria para el cultivo de piña es fundamental, pues posibilita hacer más eficiente el proceso de siembra y la preparación del terreno. Por esta razón, el mejoramiento de este aspecto en los municipios con aptitud para el cultivo de piña MD2 es de primer orden.

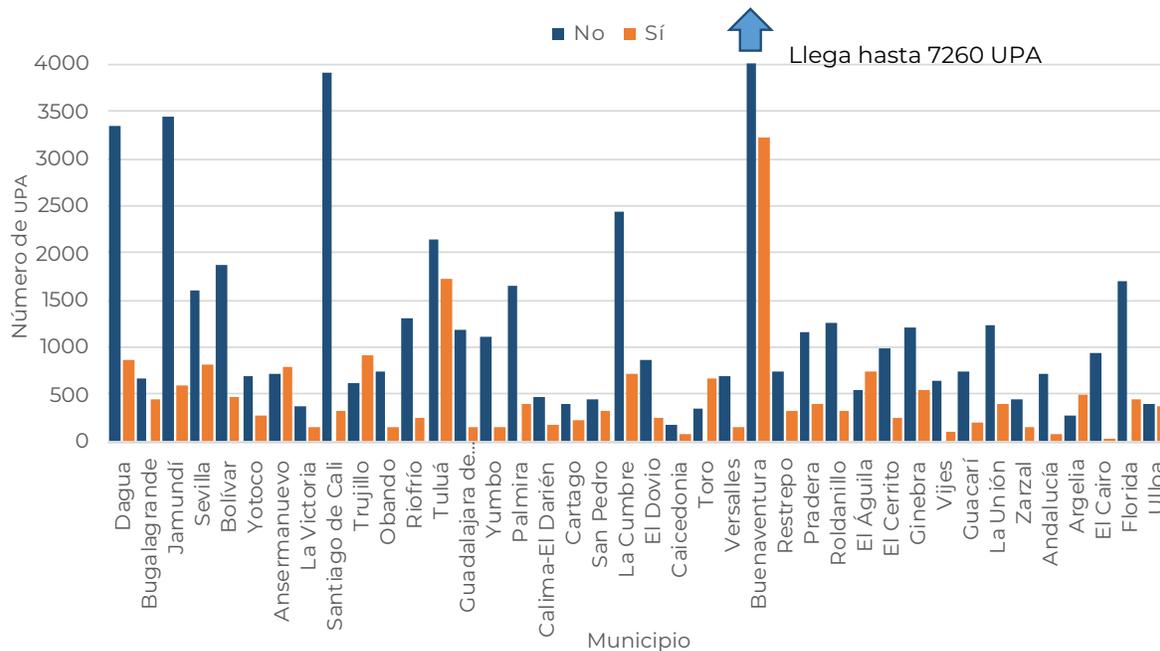


Figura 29. Tenencia de maquinaria por municipio en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.

c) Beneficiarios de asistencia y asesoría

En relación con los datos más generales, estos muestran que las UPA registradas con respuesta para esta variable representan el 98,1 % de un total de 76.874 en el departamento. Así mismo, evidencian que solo un 30,5 % de estas ha accedido a algún tipo de asistencia o asesoría; mientras que, del total de municipios que tienen áreas de aptitud para el cultivo de piña MD2, solo el 17,5 % presenta un número mayor de UPA que han contado con algún tipo de servicio de asesoramiento o asistencia.



A partir de los resultados, se puede concluir que hay necesidad de implementar estrategias para mejorar las condiciones de acceso para los municipios con alto potencial de producción, según el tamaño del área de aptitud que tienen (ver figura 30). A excepción de Sevilla y Jamundí, los demás municipios del grupo con alto potencial en áreas (más de 9000 ha) requieren que el número de UPA con acceso a asistencia y asesoría mejore sustancialmente.

Con respecto al segundo grupo de municipios, con tamaños de área de aptitud menores que 8000 y mayores que 4000 ha, la proporción es relativamente equilibrada solo en los municipios de Ansermanuevo y Toro, el resto tienen una tendencia marcada a no tener acceso a estos servicios; los casos de Santiago de Cali y La Cumbre son críticos.

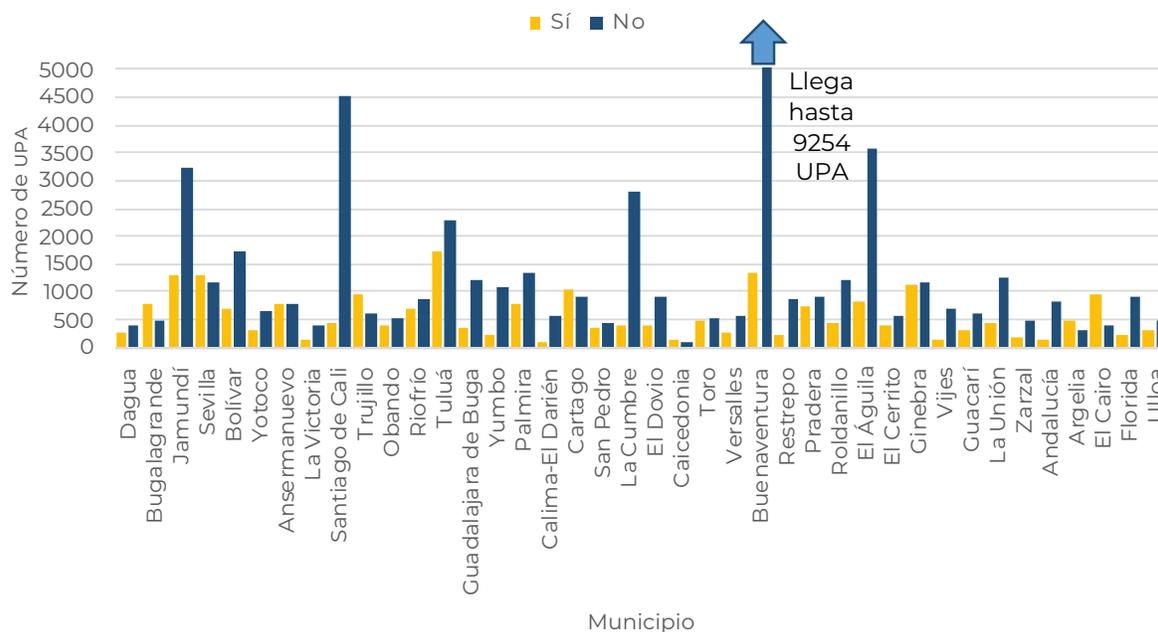


Figura 30. Beneficiarios de asistencia o asesoría según las áreas de zonificación por municipio en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.

d) Crédito y financiamiento

En general, esta variable muestra que las UPA registradas con respuesta representan solo el 14,6 % del total de 76.874 UPA en el departamento. De estas, un 90,7 % han sido beneficiarias de algún crédito o financiamiento. En cuanto al total de municipios que tienen áreas de aptitud para el cultivo de piña MD2, un 92,5 % muestra un número mayor de UPA que han contado con acceso a este tipo de servicios financieros.

De acuerdo con la gráfica de distribución de los datos del censo para el acceso del crédito y financiamiento (ver figura 31) de los municipios con alto potencial en áreas de aptitud (más de 9000 ha), Sevilla, Yotoco y La Victoria tienen un número menor de UPA (200) que registran acceso o beneficio en esta línea de servicio.

En el segundo grupo de municipios con tamaños de área de aptitud menores que 8000 y mayores que 4000 ha, solo los municipios de Santiago de Cali, Tuluá (el más alto con 620 UPA) y Palmira muestran un número de UPA con mayor acceso a, por lo menos, uno de estos servicios financieros. El resto de los municipios en este rango apenas supera las 403, aunque siguen estando por encima del número de UPA que no tiene acceso a estos servicios.

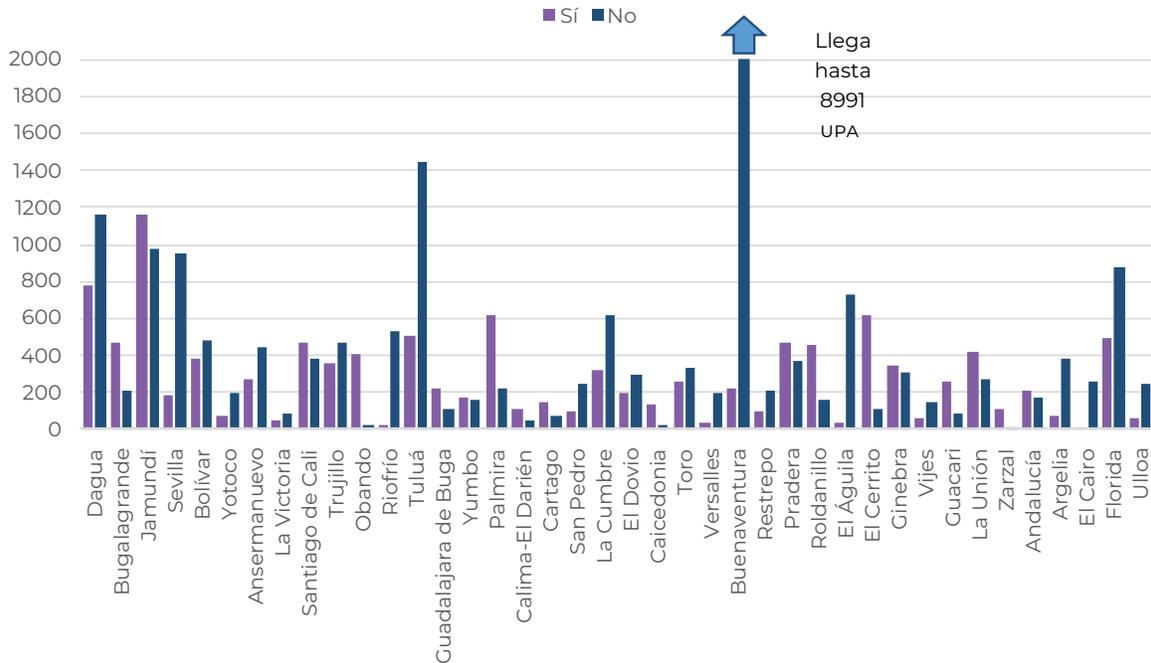


Figura 31. Aprobación de crédito o financiamiento según las áreas de zonificación por municipio en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.

5.5. Aptitud climática basada en escenarios de cambio

A continuación, se presenta los resultados correspondientes al análisis:

- 1) Mapas de aptitud climática, escenario presente y futuro (RCP 4.5 y RCP 8.5), dados en rangos de aptitud.
- 2) Indicador gráfico del porcentaje de aptitud climática general, para el escenario presente y futuro (RCP 4.5 y RCP 8.5) para todo el departamento, dados en cuatro rangos de porcentajes de aptitud.
- 3) Indicador presentado en gráfica de barras sobre la aptitud climática para el escenario presente y futuro (RCP 4.5 y RCP 8.5) por municipios y según los rangos de porcentaje de aptitud.
- 4) Mapas de ganancia, no cambio y pérdida de áreas de aptitud climática de acuerdo con la diferencia entre el escenario presente (menos RCP 4.5) y el presente (menos RCP 8.5).
- 5) Indicadores gráficos de ganancia, no cambio y pérdida de áreas de aptitud climática dados en rangos de porcentaje de aptitud.

En el primer resultado del análisis se observa que los escenarios futuros RCP 4.5 y RCP 8.5 no van a diferenciarse mucho, salvo por algunos pequeños cambios en municipios como Restrepo, Vijes y Sevilla (ver figuras 32 y 33) (en el anexo 1, ver más detalles en las figuras 43, 44 y 45). Sin embargo, sí hay una notable diferencia entre las áreas para los porcentajes de aptitud altos (>80-100 %), pues en el presente estas equivalen a un 47 %, mientras que en el futuro tienen un incremento notable, que alcanza el 72 %.

En el escenario presente, es posible identificar varias zonas con tendencia a cierto tipo de porcentajes de aptitud climática. Aunque es posible identificar una franja notable en las estribaciones de las zonas en la cordillera Occidental para el rango de porcentaje de aptitud climática más alto (>80-100 %), la franja más grande se halla en la cordillera Central, al norte, desde La Victoria, y al sur, hasta el municipio



de Pradera. En cuanto a las zonas más amplias con porcentajes altos y medios, estas reúnen a los municipios de Yotoco, Calima-El Darién, Restrepo, Vijes, Yumbo, La Cumbre y Dagua.

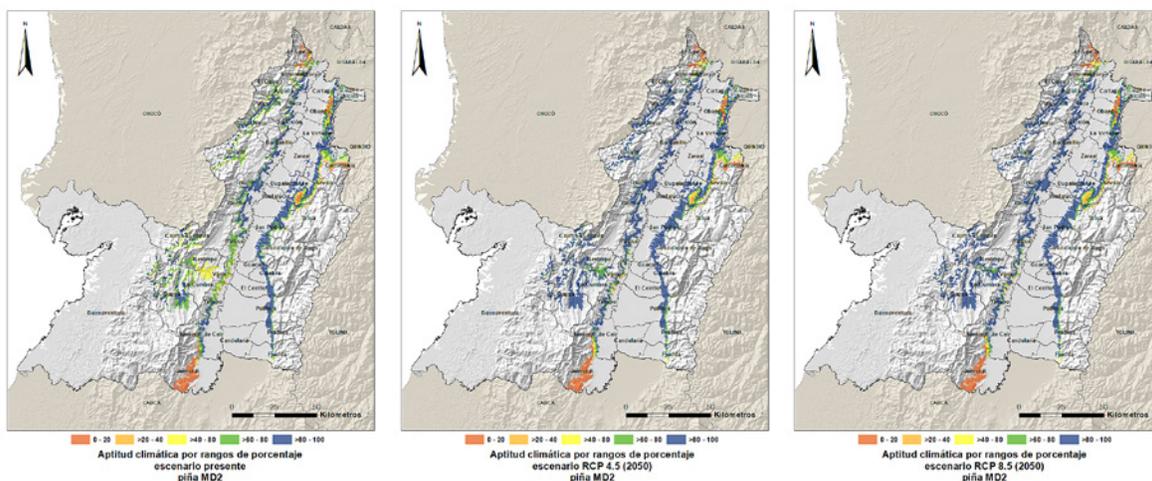


Figura 32. Zonas de aptitud climática para el escenario presente, RCP 4.5 (2050) y RCP 8.5 (2050)

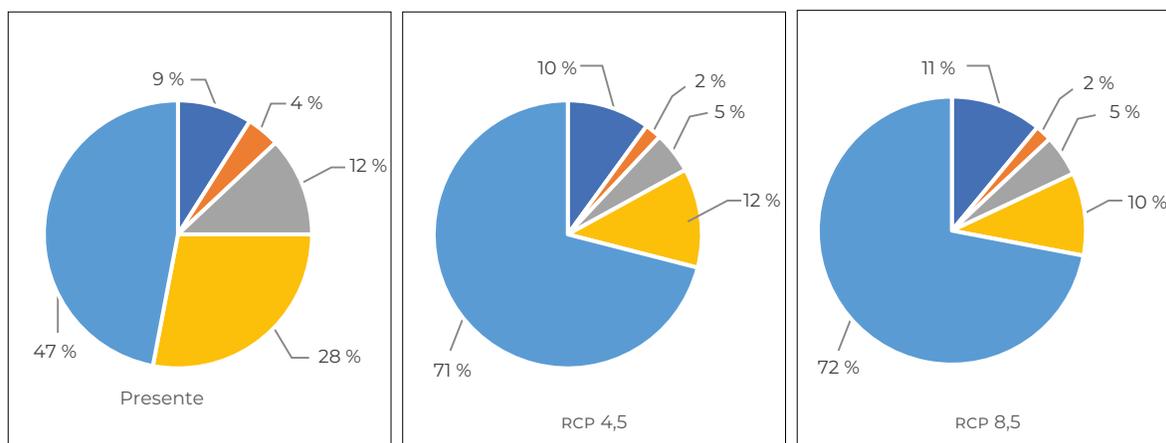


Figura 33. Porcentaje de área según rango de aptitud del escenario presente, RCP 4.5 y RCP 8.5, para el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.

En lo concerniente al análisis particular del escenario presente, se puede observar la particularidad que presenta el municipio de Jamundí: uno de los municipios con más áreas potenciales de aptitud, según la zonificación, si bien, en lo estrictamente climático, tiene un muy bajo porcentaje de aptitud, pues de sus 12.296 ha potenciales, 11.305 están en el rango de porcentaje de aptitud climática más bajo (0-20 %) (ver tabla 8). En lo que respecta a los municipios que se destacan por tener grandes áreas en el rango más alto del porcentaje de aptitud climática (Dagua, Bugalagrande, La Victoria y Trujillo), estos tienen áreas superiores a las 5000 ha. Así mismo, la mayoría de los municipios tienden a presentar rangos de porcentajes de aptitud alta con áreas totales, iguales o menores a las 3500 ha. A su vez, otros municipios destacados por tener áreas considerables en un rango medio alto de aptitud son Sevilla, Bolívar, Yotoco, Yumbo, Calima-El Darién y El Dovio (ver figura 34 y tabla 8)².

² Por la naturaleza de la resolución de los datos, se presentan diferencias entre las áreas finales respecto a la zonificación, debido a la transformación realizada por el software ArcGIS.

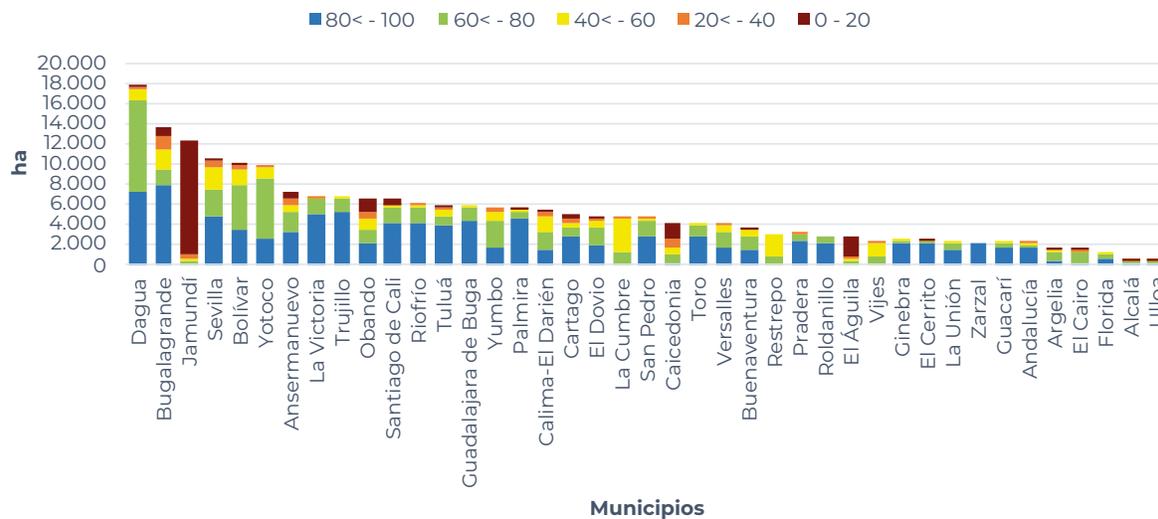


Figura 34. Gráfica de distribución de porcentajes de área según los rangos de aptitud climática por municipios en el departamento del Valle del Cauca en el escenario presente

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Porcentajes de las áreas según los rangos de aptitud climática por municipios en el departamento del Valle del Cauca en el escenario presente

Municipios	80 < - 100	60 < - 80	40 < - 60	20 < - 40	0 - 20	Total general
Dagua	7.242,7	9.057,4	1.090,3	200,5	53,3	17.644
Bugalagrande	7.814,1	1.694,4	1.876,6	1.328,8	975,5	13.689
Jamundí	16,0	392,8	245,4	336,1	11.305,4	12.296
Sevilla	4.855,2	2.532,8	2.164,1	707,6	284,5	10.544
Bolivar	3.529,2	4.262,7	1.665,1	406,5	131,1	9.995
Yotoco	2.534,8	5.938,1	1.186,2	106,0		9.765
Ansermanuevo	3.197,3	1.987,4	708,5	665,4	610,5	7.169
La Victoria	5.096,3	1.375,7	159,1	15,2		6.646
Trujillo	5.125,2	1.317,5	76,1			6.519
Obando	2.118,0	1.239,7	1.172,4	759,1	1.166,3	6.456
Santiago de Cali	4.051,9	1.574,3	204,3	106,7	510,3	6.447
Riofrío	4.160,0	1.565,0	215,3	5,1		5.945
Tuluá	3.881,0	899,9	711,4	188,4	25,9	5.707
Guadalajara de Buga	4.397,5	1.243,9	21,3			5.663
Yumbo	1.623,2	2.687,2	803,0	494,1		5.607
Palmira	4.499,7	817,4	113,6	12,2	4,3	5.447
Calima-El Darién	1.414,9	1.920,3	1.485,5	368,2	217,1	5.406
Cartago	2.826,9	916,3	334,5	392,5	617,7	5.088
El Dovio	1.889,4	1.881,4	667,9	90,8	83,5	4.613
La Cumbre		1.231,7	3.322,9	48,0		4.603
San Pedro	2.826,2	1.494,9	231,9	15,7		4.569



Municipios	80 < - 100	60 < - 80	40 < - 60	20 < - 40	0 - 20	Total general
Caicedonia	53,1	1.001,2	731,3	715,4	1.623,2	4.124
Toro	2.813,1	1.055,9	149,2			4.018
Versalles	1.651,2	1.625,3	634,6	10,7		3.922
Buenaventura	1.563,1	1.303,3	502,6	94,2	64,0	3.527
Restrepo		689,2	2.424,0			3.113
Pradera	2.415,7	604,0	62,1	14,0		3.096
Roldanillo	2.231,0	598,2				2.829
El Águila		309,1	337,4	258,5	1.801,9	2.707
Vijes		786,5	1.235,1	332,1		2.354
Ginebra	2.052,7	270,7	21,3			2.345
El Cerrito	2.078,2	176,0	40,1	13,9	0,1	2.308
La Unión	1.501,1	706,4	85,2			2.293
Zarzal	2.184,1					2.184
Guacarí	1.672,2	459,6	32,0			2.164
Andalucía	1.618,4	366,5	111,9	19,8		2.117
Argelia	422,1	706,6	302,5	26,1	9,1	1.466
El Cairo	213,3	929,2	192,4	26,3	6,8	1.368
Florida	577,2	353,3	262,7			1.193
Alcalá	182,8	177,5	16,0	10,7	5,3	392
Ulloa	78,2	243,3	10,7	10,7	16,0	359
Total	96.407	58.393	25.607	7.779	19.512	207.698

Fuente: elaboración propia.

En el escenario de cambio climático RCP 4.5 para el año 2050, es evidente el incremento sustancial de las áreas con porcentaje de aptitud climática muy alta. En este escenario futuro el municipio de Jamundí mantiene su alto porcentaje de aptitud en el rango de 0-20 % (ver figura 35), seguido de municipios como Obando, Caicedonia y El Águila (ver figura 35 y tabla 9). Por otro lado, entre las zonas en las que destaca el aumento del porcentaje de aptitud están las siguientes (ver en detalle el anexo 1):

- Al norte, entre los municipios de Ansermanuevo, El Cairo, Argelia, Versalles, El Dovio y Bolívar.
- Al centro (cordillera Occidental): Yotoco, Calima-El Darién, Restrepo, Vijes, Yumbo, La Cumbre y Dagua.

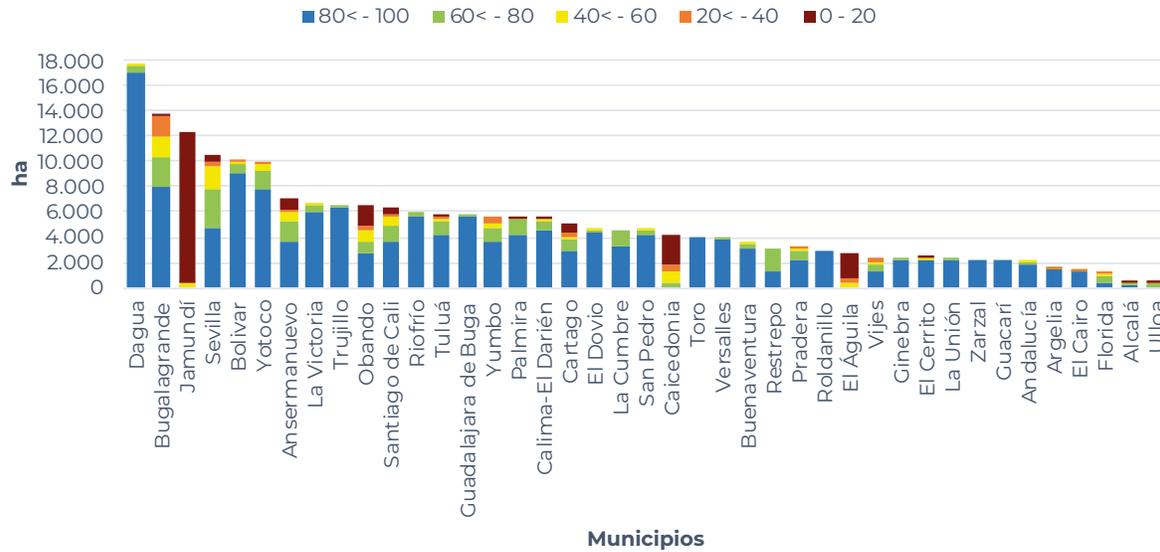


Figura 35. Gráfica de distribución de porcentajes de área según los rangos de aptitud climática por municipios en el departamento del Valle del Cauca en el escenario RCP 4.5 (2050)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Porcentajes de área según los rangos de aptitud climática por municipios en el departamento del Valle del Cauca en el escenario RCP 4.5 (2050)

Municipio	80 < - 100	60 < - 80	40 < - 60	20 < - 40	0 - 20	Total general
Dagua	17.128,3	505,2	10,7			17.644
Bugalagrande	7.903,1	2476,8	1687,4	1.499,2	122,7	13.689
Jamundí		21,3	387,5	48,0	11.838,9	12.296
Sevilla	4.684,6	3118,9	1730,2	459,5	550,9	10.544
Bolivar	9.000,8	889,4	83,2	21,3		9.995
Yotoco	7.872,0	1360,6	499,9	32,7		9.765
Ansermanuevo	3.649,8	1706,5	696,6	181,2	935,1	7.169
La Victoria	5.945,7	611,6	89,0			6.646
Trujillo	6.349,2	169,7				6.519
Obando	2.718,0	895,5	986,7	375,2	1.480,1	6.456
Santiago de Cali	3.643,2	1214,7	791,2	181,4	617,0	6.447
Riofrío	5.673,8	271,6				5.945
Tuluá	4.216,8	1007,2	285,4	148,3	48,9	5.707
Guadalajara de Buga	5.657,4	5,3				5.663
Yumbo	3.695,6	959,2	490,6	462,1		5.607
Palmira	4.150,6	1235,7	44,4	12,2	4,3	5.447
Calima-El Darién	4.503,2	735,1	157,0	5,3	5,3	5.406
Cartago	2.896,2	931,2	250,4	306,7	703,5	5.088
El Dovio	4.369,4	163,6	79,9			4.613



Municipio	80< - 100	60< - 80	40< - 60	20< - 40	0- 20	Total general
La Cumbre	3.214,9	1387,7				4.603
San Pedro	4.099,8	420,2	48,6			4.569
Caicedonia	10,7	354,8	959,7	533,6	2.265,5	4.124
Toro	4.018,2					4.018
Versalles	3.905,7	16,0				3.922
Buenaventura	3.161,4	285,8	80,0			3.527
Restrepo	1.260,3	1852,9				3.113
Pradera	2.098,9	786,9	201,4	8,7		3.096
Roldanillo	2.829,2					2.829
El Águila		41,8	400,4	215,0	2.049,7	2.707
Vijes	1.323,4	527,6	172,0	330,8		2.354
Ginebra	2.275,3	69,3				2.345
El Cerrito	2.192,9	82,2	19,2	13,9	0,1	2.308
La Unión	2.250,1	42,6				2.293
Zarzal	2.184,1					2.184
Guacarí	2.163,7					2.164
Andalucía	1.848,3	136,6	131,7			2.117
Argelia	1.423,8	18,0	15,5	9,1		1.466
El Cairo	1.303,7	31,3	26,3	6,8		1.368
Florida	427,0	466,2	252,1	48,0		1.193
Alcalá	182,8	177,5	16,0		16,0	392
Ulloa	78,2	243,3		21,3	16,0	359
Total	146.310	25.220	10.593	4.920	20.654,00	207.698

Fuente: elaboración propia.

En el escenario de cambio climático RCP 8.5 para el año 2050, tal como se anotó con antelación, los valores de cambio no presentarán grandes diferencias respecto al escenario RCP 4.5. Lo anterior se puede verificar en la figura 36, la tabla 10 y el anexo 1.

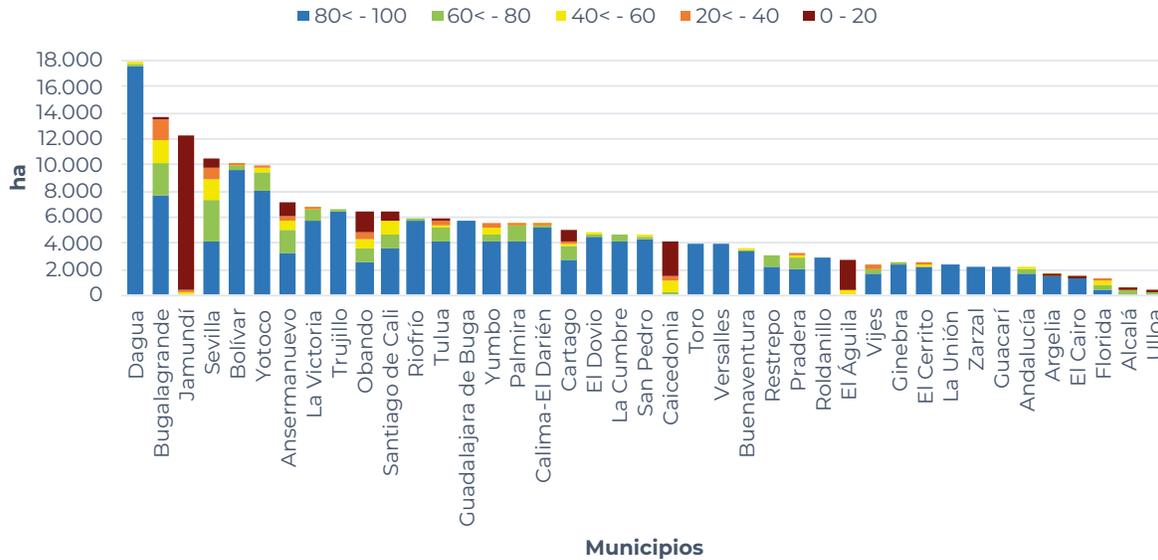


Figura 36. Gráfica de distribución de porcentajes de área según los rangos de aptitud climática por municipios en el departamento del Valle del Cauca en el escenario RCP 8.5 (2050)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Porcentajes de área según los rangos de aptitud climática por municipios en el departamento del Valle del Cauca en el escenario RCP 8.5 (2050)

Municipio	80 < - 100	60 < - 80	40 < - 60	20 < - 40	0 - 20	Total general
Dagua	17.498,4	135,1	10,7			17.644
Bugalagrande	7.643,5	2.438,1	1.849,0	1.609,8	148,9	13.689
Jamundí		16,0	312,8	80,0	11.886,9	12.296
Sevilla	4.197,5	3.131,6	1.626,0	794,2	794,9	10.544
Bolívar	9.538,1	387,3	53,3	16,0		9.995
Yotoco	8.000,0	1.403,2	359,5	2,4		9.765
Ansermanuevo	3.229,0	1.791,5	782,0	298,3	1.068,4	7.169
La Victoria	5.756,0	801,2	73,8	15,2		6.646
Trujillo	6.430,6	88,3				6.519
Obando	2.481,4	1.132,1	660,9	581,6	1.599,6	6.456
Santiago de Cali	3.536,0	1.151,2	961,9	21,3	777,0	6.447
Riofrío	5.710,9	234,5				5.945
Tuluá	4.212,7	1.016,7	196,1	225,2	55,8	5.707
Guadalajara de Buga	5.662,7					5.663
Yumbo	4.049,2	696,2	431,2	430,8		5.607
Palmira	4.134,9	1.251,4	44,4	16,5		5.447
Calima-El Darién	5.146,3	211,8	42,6	5,3		5.406
Cartago	2.715,0	1.028,2	249,3	170,5	925,0	5.088
El Dovio	4.518,7	83,5	10,7			4.613



Municipio	80 < - 100	60 < - 80	40 < - 60	20 < - 40	0- 20	Total general
La Cumbre	4.065,4	537,2				4.603
San Pedro	4.267,7	268,3	32,6			4.569
Caicedonia		255,6	867,2	435,8	2.565,5	4.124
Toro	4.018,2					4.018
Versalles	3.921,7					3.922
Buenaventura	3.345,0	160,8	21,3			3.527
Restrepo	2.113,2	1.000,0				3.113
Pradera	2.098,9	735,7	249,2	12,1		3.096
Roldanillo	2.829,2		442,30	32,0	2.232,7	2.829
El Águila						2.707
Vijes	1.649,9	286,4	141,7	275,7		2.354
Ginebra	2.339,3	5,3				2.345
El Cerrito	2.157,4	117,7	19,2	14,0		2.308
La Unión	2.292,7					2.293
Zarzal	2.184,1					2.184
Guacarí	2.163,7					2.164
Andalucía	1.618,4	393,2	105,1			2.117
Argelia	1.423,8	18,0	15,5		9,1	1.466
El Cairo	1.326,4	8,6	26,3	5,3	1,5	1.368
Florida	427,0	348,8	332,1	85,4		1.193
Alcalá	101,2	253,8	16,0	5,3	16,0	392
Ulloa	63,9	257,6		5,3	32,0	359
Total	148.868,0	21.645	9.933	5.138	22.113	207.698

Fuente: elaboración propia.

Una vez determinadas las zonas de aptitud en el presente y en los escenarios futuros en 2050, fue necesario determinar también el porcentaje de cambio de aptitud climática entre escenarios climáticos. A continuación, se aclaran las convenciones que están relacionadas con los límites de porcentajes de aptitud de cambio entre escenarios, es decir, del escenario presente con respecto a RCP 4.5 y del escenario presente con respecto a RCP 8.5 (ver tabla 11).

Tabla 11. Convenciones para los porcentajes de cambio de aptitud entre escenarios

Escenario presente respecto a RCP 4,5		Escenario presente respecto RCP 8,5	
+++	Ganancias entre > 50 % y < = 65 %	+++	Ganancias entre > 50 % y < = 75 %
++	Ganancias entre > 25 % y < = 50 %	++	Ganancias entre > 25 % y < = 50 %
+	Ganancias entre 1 % y 25 %	+	Ganancias entre 1 % y 25 %
=	No hay cambio	=	No hay cambio
-	Pérdidas entre -1 % y -25 %	-	Pérdidas entre -1 % y -25 %
--	Pérdidas entre -25 % > y > = -47 %	--	Pérdidas entre -25 % < y > = -47 %

Fuente: elaboración propia.



De modo general, los resultados del análisis del cambio muestran una tendencia al alta, en cuanto al número de áreas que presentan un incremento en el porcentaje de aptitud climática (entre el 1 y el 25 %). A su vez, las áreas que conservarán su porcentaje de aptitud climática llegan al 18 % para el cultivo de piña MD2 en todo el departamento (ver figura 37).

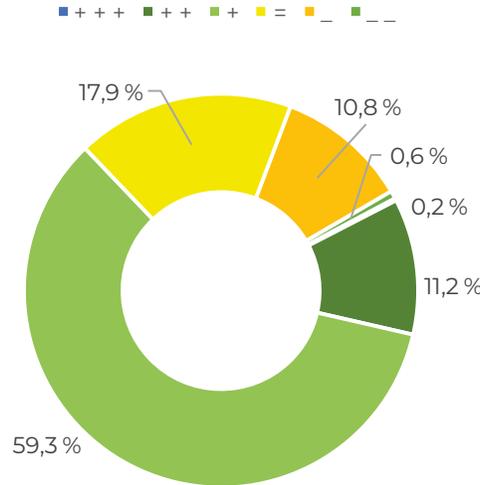


Figura 37. Tamaño del área a nivel en el departamento del Valle del Cauca según el cambio de porcentaje de aptitud climática entre el escenario presente y el escenario futuro RCP 4.5 (2050)

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al cambio en los porcentajes de aptitud climática entre el escenario presente y la RCP 4.5, esta muestra, en general, una tendencia a mejorar en un porcentaje entre 1 y 25 %. Esto se nota aún más en los municipios que tienen áreas de aptitud por encima de las 5000 ha, a excepción del municipio de Jamundí, el cual conserva su proporción alta de área para el rango de aptitud climática más bajo (0-20) (ver tabla 12).

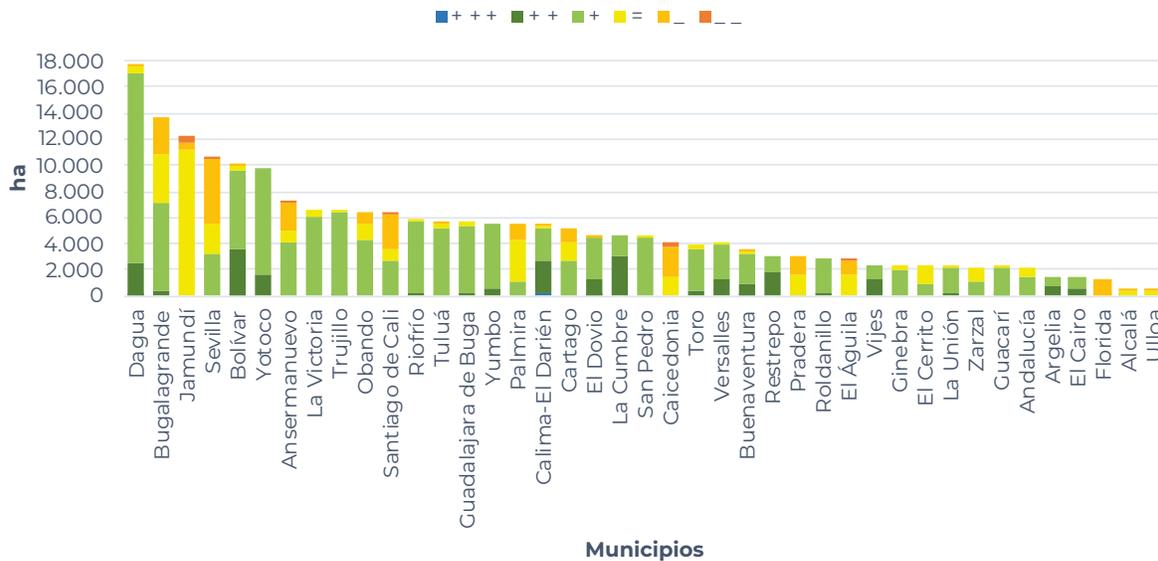


Figura 38. Gráfica de distribución de los porcentajes de cambio de aptitud climática por municipios en el departamento del Valle del Cauca entre el escenario presente y el escenario futuro RCP 4.5 (2050)

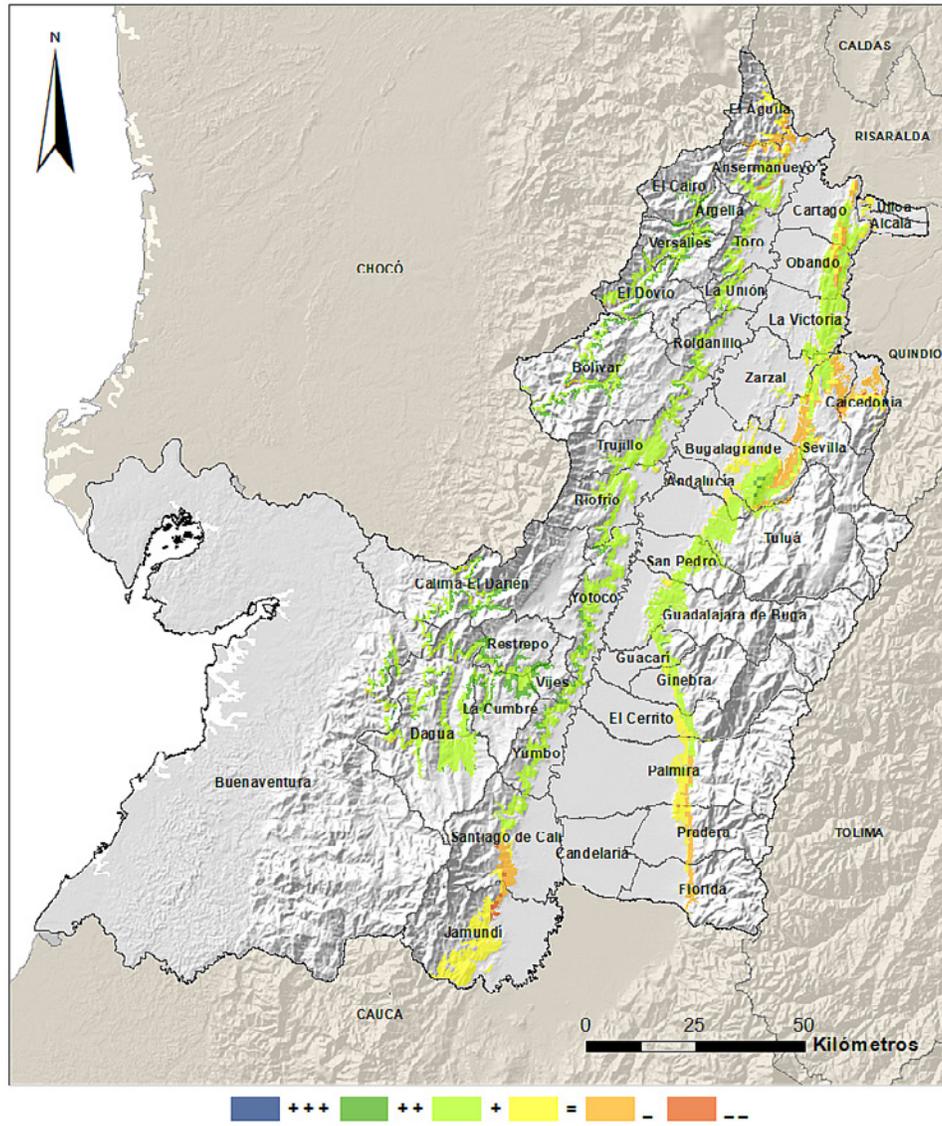
Fuente: elaboración propia.



Tabla 12. Tamaño de área por municipios en el departamento del Valle del Cauca según el tipo de cambio de aptitud climática entre el escenario presente y el escenario futuro RCP 4.5 (2050)

Municipios	+++	++	+	=	-	--	Total general
Dagua	42,7	2.560,9	14.454,0	581,3	5,3		17.644
Buga la grande		426,4	6.656,9	3.762,8	2.843,2		13.689
Jamundí				11.257,4	536,9	501,4	12.296
Sevilla			3.294,0	2.260,3	4.910,0	79,9	10.544
Bolívar	93,8	3.484,5	6.049,8	260,0	106,6		9.995
Yotoco		1.669,3	8.095,8				9.765
Ansermanuevo			4.088,0	979,9	1.998,6	102,8	7.169
La Victoria			6.031,7	614,6			6.646
Trujillo		70,8	6.361,6	86,5			6.519
Obando			4.323,0	1.193,9	938,7		6.456
Santiago de Cali			2.636,3	1007,9	2.643,2	160,0	6.447
Riofrío		211,9	5.563,1	170,4			5.945
Tuluá			5.202,1	324,4	180,0		5.707
Guadalajara de Buga		144,1	5.248,5	270,1			5.663
Yumbo		512,0	5.095,5				5.607
Palmira			1.085,1	3.156,0	1.206,1		5.447
Calima-El Darién	154,4	2.497,5	2.540,9	197,2	16,0		5.406
Cartago			2735,9	1.421,7	930,4		5.088
El Dovio	83,5	1260,0	3046,5	100,4	122,5		4.613
La Cumbre		3013,0	1589,7				4.603
San Pedro			4511,4	57,2			4.569
Caicedonia				1.433,8	2.245,3	445,1	4.124
Toro		463,5	3123,7	431,0			4.018
Versalles		1316,3	2578,8	26,6			3.922
Buenaventura	32,0	852,7	2377,8	200,7	64,0		3.527
Restrepo		1795,9	1317,3				3.113
Pradera			5,3	1.621,6	1.469,0		3.096
Roldanillo		181,2	2648,1				2.829
El Águila				1.577,1	1.094,2	35,7	2.707
Vijes		1266,2	1087,5				2.354
Ginebra			1948,2	396,4			2.345
El Cerrito			1007,0	1.301,3			2.308
La Unión		133,2	2084,9	74,6			2.293
Zarzal			1169,7	1.014,50			2.184
Guacarí		118,6	1971,3	73,8			2.164
Andalucía			1534,9	581,8			2.117
Argelia		723,8	742,5				1.466
El Cairo		499,1	869,1				1.368
Florida				111,4	1.081,9		1.193
Alcalá			47,9	280,5	63,9		392
Ulloa				300,2	58,6		359
Total	406	23.201	123.124	37.128	22.128	1.325	207.698

Fuente: elaboración propia.



Zonas de ganancia o pérdida de aptitud climática escenario presente vs rcp4.5 (2050) piña MD2

Figura 39. Zonas de cambio de aptitud en el departamento del Valle del Cauca, contraste entre el escenario presente y el escenario futuro RCP 4.5 (2050) para la piña MD2

Fuente: elaboración propia.

Con relación al cambio general para el escenario futuro RCP 8.5, este no se diferencia mucho del escenario futuro RCP 4.5. Con el fin de corroborar esta información, se puede comparar los resultados presentados en las figuras 37 y 40.

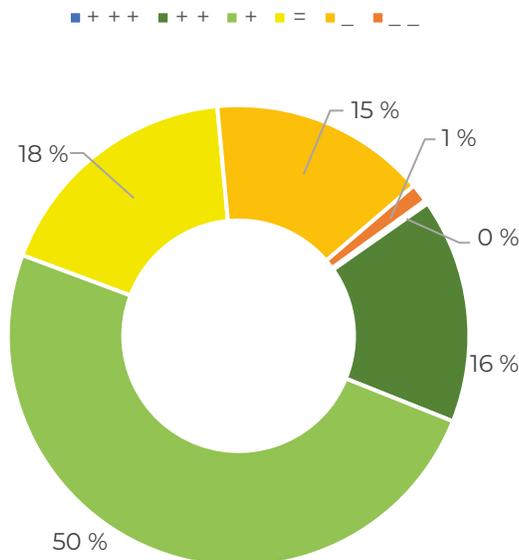


Figura 40. Porcentajes del área de acuerdo con el cambio de aptitud climática entre el escenario presente y el escenario futuro RCP 8.5 (2050)

Fuente: elaboración propia.

Aunque el cambio no es notorio en los municipios, algunos presentan un cambio negativo en cuanto al porcentaje de aptitud climática en ciertas zonas. Los casos más notables se presentan en Sevilla, Ansermanuevo, Cartago, Caicedonia y El Águila. Para corroborar esta información, se puede comparar las figuras, las tablas y los mapas correspondientes (ver figura 38 y 41; tablas 12 y 13; figuras 39 y 42).

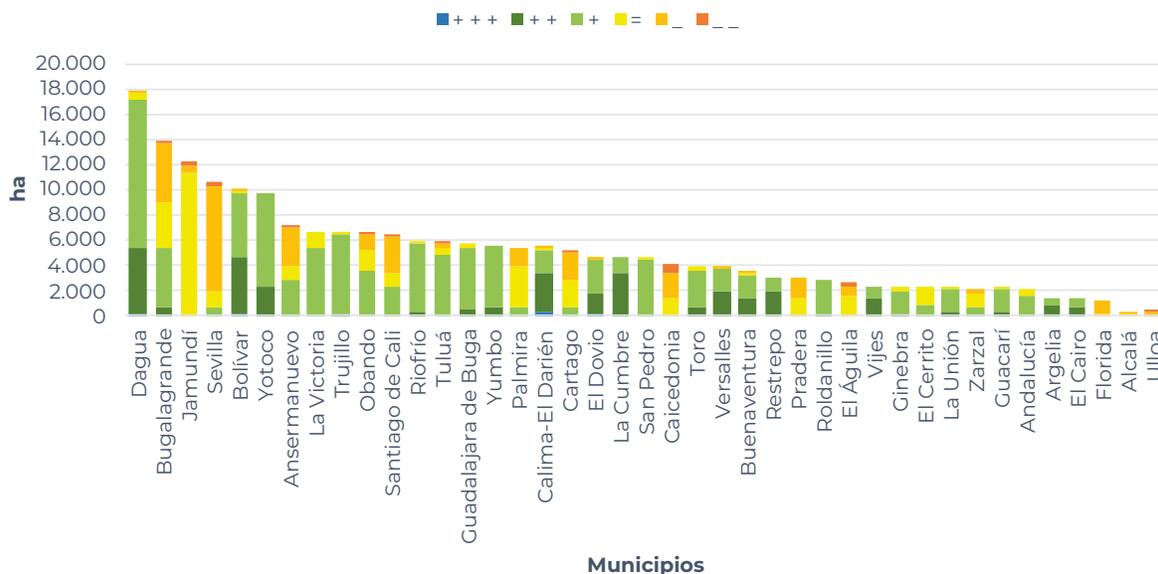


Figura 41. Gráfica de distribución de los porcentajes de cambio de aptitud climática por municipios en el departamento del Valle del Cauca entre el escenario presente y el escenario futuro RCP 8.5 (2050)

Fuente: elaboración propia.



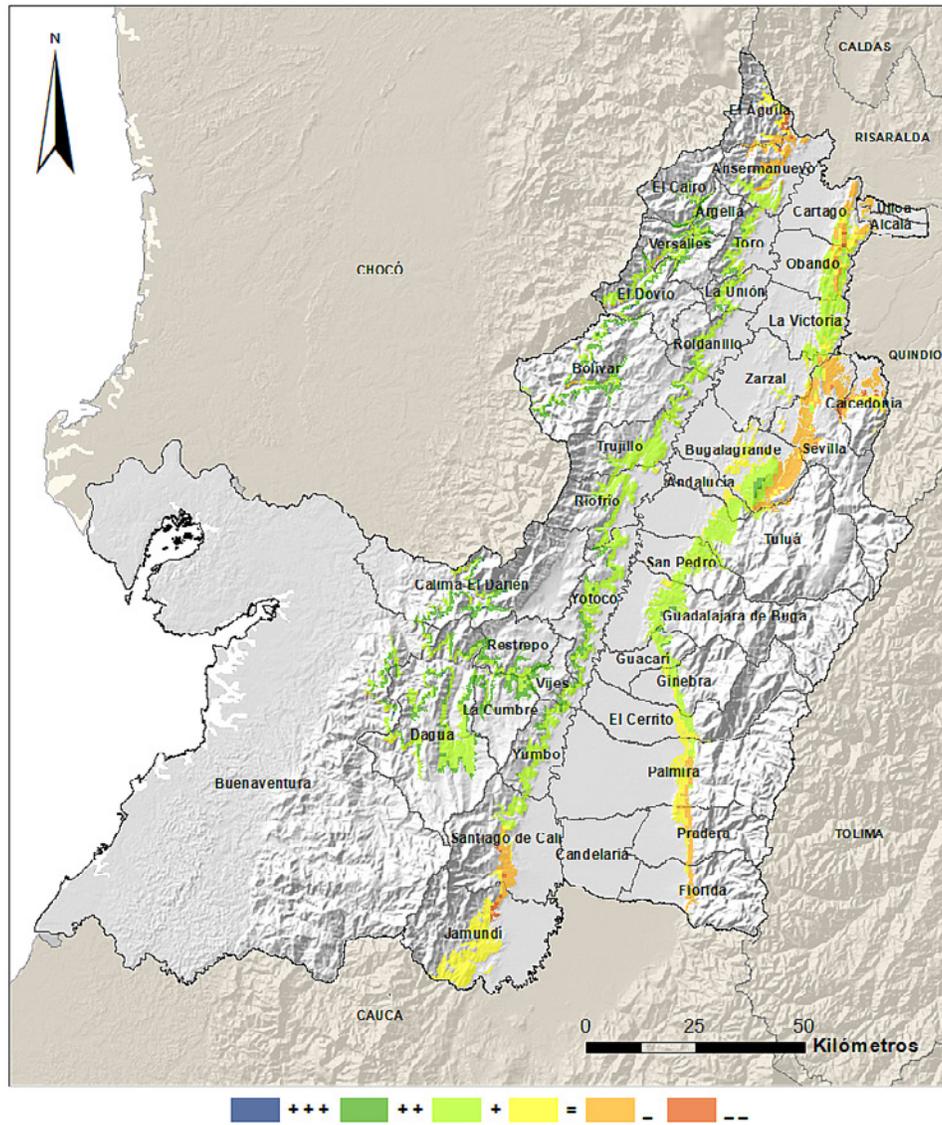
Tabla 13. Tamaño de área por municipios en el departamento del Valle del Cauca según el tipo de cambio de aptitud climática entre el escenario presente y el escenario futuro RCP 8.5 (2050)

Row Labels	+++	++	+	=	-	--	Total general
Dagua	53,3	5.342,2	11.662,0	554,6	32,0		17.644
Buga la grande		682,3	4.774,7	3.564,4	4.667,8	0,1	13.689
Jamundí				11.257,4	536,9	501,4	12.296
Sevilla			762,2	1.104,2	8.362,3	315,5	10.544
Bolívar	152,4	4.553,5	4.922,1	222,7	143,9		9.995
Yotoco		2.293,2	7.471,9				9.765
Ansermanuevo		5,3	2.884,3	958,6	3.095,7	225,3	7.169
La Victoria			5.447,7	1.198,60			6.646
Trujillo		86,8	6.345,7	86,5			6.519
Obando			3.622,9	1.552,9	1.245,5	34,2	6.456
Santiago de Cali			2.359,0	1.049,8	2.804,1	234,7	6.447
Riofrío		370,2	5.404,8	170,4			5.945
Tuluá			4.900,5	491,4	291,7	23,0	5.707
Guadalajara de Buga		474,2	4.918,4	270,1			5.663
Yumbo		769,1	4.838,4				5.607
Palmira		4,3	710,0	3.311,1	1.421,8		5.447
Calima-El Darién	249,1	3.138,8	1.804,9	197,2	16,0		5.406
Cartago			756,5	2.026,5	2.168,7	136,2	5.088
El Dovio	83,5	1.713,7	2.592,8	63,9	159,0		4.613
La Cumbre		3.421,8	1.180,9				4.603
San Pedro		42,7	4.468,8	57,2			4.569
Caicedonia				1.433,8	1.881,3	809,1	4.124
Toro		616,2	2.971,0	431,0			4.018
Versalles		1.884,3	1.920,2	16	101,2		3.922
Buenaventura	32,0	1.439,1	1.791,3	200,7	64,0		3.527
Restrepo		1.958,6	1.154,6				3.113
Pradera			5,3	1.394,7	1.695,8		3.096
Roldanillo		223,8	2.605,5				2.829
El Águila				1.577,1	758,7	371,2	2.707
Vijes		1.361,6	992,2				2.354
Ginebra		84,2	1.864,0	396,4			2.345
El Cerrito		0,1	856,5	1.451,8			2.308
La Unión		396,0	1.822,1	74,6			2.293
Zarzal			736,8	1.072,8	374,5		2.184
Guacarí		331,6	1.758,3	73,8			2.164
Andalucía			1.534,9	581,8			2.117
Argelia		882,2	584,1				1.466
El Cairo		681,4	686,7				1.368



Row Labels	+++	++	+	=	-	--	Total general
Florida				111,4	1.081,9		1.193
Alcalá				69,3	323,0		392
Ulloa				16,0	326,9	16,0	359
Total	570	32.757	103.112	37.039	31.553	2.667	207.698

Fuente: elaboración propia.



Zonas de ganancia o pérdida de aptitud climática escenario presente vs rcp8.5 (2050) piña MD2

Figura 42. Zonas de cambio de aptitud, contraste entre el escenario presente y el escenario futuro RCP 8.5 (2050) en el departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.



CONCLUSIONES

- A través de la zonificación edafoclimática, se identificaron 18.185 ha con aptitud alta, 152.940 ha con aptitud moderada y 38.375 ha con aptitud baja para el cultivo de piña MD2 en la zona de ladera en el departamento del Valle del Cauca.
- Desde el punto de vista edafoclimático, los municipios con mayor área total de aptitud (alta, moderada y baja) son, respectivamente, los siguientes: Dagua, Bugalagrande, Jamundí, Sevilla, Bolívar, Yotoco y Ansermanuevo. La mayoría de estos municipios tienen grandes áreas de aptitud en el rango de aptitud moderado. Con respecto a aquellos con aptitud alta, se destacan los municipios de Dagua, con 2944 ha, y Bugalagrande, con 1619 ha.
- De acuerdo con el análisis de cambio climático, se puede concluir que las áreas aptas para el cultivo de piña MD2 en las zonas de ladera del Valle del Cauca, sin importar el escenario a futuro, serán favorables en términos de porcentaje de aptitud.
- En cuanto a los ítems relacionados con las condiciones socioeconómicas de la región, se debe enfatizar la necesidad de mejorar las condiciones para el acceso a maquinaria agrícola. Esto teniendo en cuenta que el cultivo de piña MD2 puede mejorar significativamente con el uso de estos bienes. No obstante, es necesario determinar particularmente las condiciones del terreno en el que se llevarían a cabo los proyectos productivos, pues la mecanización compleja puede no ser posible en algunos casos.
- La recomendación más relevante es considerar que la zonificación corresponde a una guía general de las áreas de aptitud potencial a nivel edafoclimático y del porcentaje de aptitud al cambio climático, a escala municipal y departamental, en Valle del Cauca. Sin embargo, si se quieren determinar más detalladamente potencialidades locales, esto requiere estudios más acotados y específicos. Igualmente, cuando se menciona la necesidad de implementar programas de adaptabilidad al cambio climático o el fomento de ciertas variables socioeconómicas, esto no implica que sean recomendaciones directas, pues para ello deben llevarse a cabo estudios más específicos, es decir, que indaguen profundamente en las especificidades de los sitios de interés.

REFERENCIAS

- ArcGIS Desktop (2017). *Análisis de superposición*. <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.5/tools/spatial-analyst-toolbox/overlay-analysis-approaches.htm>, el 11 de octubre de 2017
- ArcGIS Pro (2019). *Análisis de superposición*. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/reclass-by-ranges-of-values.htm>
- Australian National University (2018). *Paquete para análisis e interpolación de datos multivariados ANUSPLIN*. <http://fennerschool.anu.edu.au/research/products/anusplin-vrsn-44>
- Bancoldex y UTCF (2015). *Documento final de conclusión de la metodología, memorias técnicas y mapas por aptitud de uso para cultivos comerciales de piña en Colombia, a escala 1:100.000*.
- Basantes S y Chasipanta J. E. (2012). *Determinación del requerimiento nutricional sobre la inducción floral en la piña (Ananas comosus)* [Tesis de grado en Ingeniería en Ciencias Agropecuarias, Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8021>
- Centa (2011). *Guía técnica del cultivo de piña*. <http://www.centa.gov.sv/docs/guias/frutales/GUIA%20TECNICA%20PIN%CC%83A%202011.pdf>
- Cgiar CSI (2017). *Modelos de elevación digital*. <http://srtm.csi.cgiar.org/>
- Columbia University (2018). *Thin Plate Spline Regression*. <https://www.mailman.columbia.edu/research/population-health-methods/thin-plate-spline-regression>
- CVC (2017). *Geoportal*. <http://www.geocvc.co/Geoservicios.html>
- CVC y CIAT (2016). *Etapa de planificación y preparación para la elaboración del Plan Integral de Cambio Climático (PICC) para el Valle del Cauca*. Valle del Cauca: CVC y CIAT. <http://ecopedia.cvc.gov.co/cambio-climatico/cambio-climatico/etapa-de-planificacion-y-preparacion-para-la-elaboracion-del-plan>



- DANE (2016a). *Principales características del cultivo de piña (Ananas comosus L.)* [Boletín mensual 54]. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_dic_2016.pdf
- DANE (2016b). *Tercer Censo Nacional Agropecuario (tomo 2: resultados)*. <https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNATomo2-Resultados.pdf>
- DANE (2018). *Midrodatos del Tercer Censo Nacional Agropecuario*. http://andacna.dane.gov.co/index.php/catalog/669/get_microdata
- FAO (1997a). *Zonificación agroecológica. Guía general*. <http://www.fao.org/docrep/W2962S/W2962S00.htm>
- FAO (1997b). *Zonificación agroecológica. Guía general*. <http://www.fao.org/3/w2962s/w2962s04.htm>
- FAO (2014). *La maquinaria agrícola debe evolucionar junto a la agricultura sostenible*. <http://www.fao.org/news/story/es/item/212415/icode/>
- FAO (2016). *Asistencia técnica y extensión rural participativa en américa Latina*. <http://www.fao.org/3/a-i5370s.pdf>
- FAO (2017). *Experiencias exitosas de asociatividad de los agricultores familiares en los sistemas alimentarios, el caso de la Red Andina de Productores de quinua*. <http://www.fao.org/3/a-i6850s.pdf>
- FAO Montes (1996). *Ecología y enseñanza rural. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/W1309S00.HTM>
- Fundación Universidad del Valle (2015). *Guía de cultivo plan frutícola del Valle del Cauca 2013-2014*. Cali: Universidad del Valle.
- Giorgi, F. (2008). Regionalization of climate change information for impact assessment and adaptation. *World Meteorological Organization Bulletin (WMO)*, 57 (2). 86-92.
- Guanuchi J. C. (2015). *Análisis comparativo de downscaling estadístico y dinámico en las cuencas de los ríos paute y jubones* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Ecuador]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21352/1/TESIS.pdf>
- Hijmans, J., Cameron, E., Parra, L., Jones, G. y Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Ideam (2010). *Segunda comunicación nacional de cambio climático*. http://www.cambioclimatico.gov.co/comunicaciones-nacionales-de-cambio-climatico-anteriores/-/document_library_display/v99eEN2QN5WK/view/528488
- IGAC y CVC (2004). *Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- IGAC (2017). *Usos de suelo (12 de julio de 2017)*. <http://datos.igac.gov.co/pages/agrologia>.
- Instituto Alexander Von Humboldt (2017). *Estaciones meteorológicas con datos mensuales de precipitación, humedad relativa, temperatura máxima, media y mínima para el periodo 1942-2012*. <http://geonetwork.humboldt.org.co/geonetwork/srv/spa/search>
- IPCC (2018). *Escenarios de cambio climático*. http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html
- Lozano, J. G. y Rosero, J. (2016). *Zonificación agroecológica para el cultivo de la piña [SAG]*. <https://www.scribd.com/document/362734253/III-Ciclo-de-Conferencias-de-la-Pina-ZONIFICACION-AGROECOLOGICA-PARA-EL-CULTIVO-DE-LA-PINA>
- MADR (2018). *Producción de piña llegaría a más 950 mil toneladas en 2018*. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Producci%C3%B3n-de-pi%C3%B1a-llegar%C3%ADa-a-m%C3%A1s-950-mil-toneladas-en-2018,-calcula-MinAgricultura-.aspx>
- NCAR GIS Program (2018). *Remuestreo de datos climáticos*. <https://gisclimatechange.ucar.edu/>
- SoilGrids (2018). *Información de suelos*. https://www.soilgrids.org/#/?zoom=6&layer=TAXNWRB_250m&vector=1
- UPRA (2017). *Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de piña híbrido md-2 en Colombia, a escala 1:100.000. Unidad de planificación rural agropecuaria*. file:///D:/Downloads/Zonificaci%C3%B3n%20para%20Plantaciones%20Forestales.pdf



ANEXOS

Anexo 1

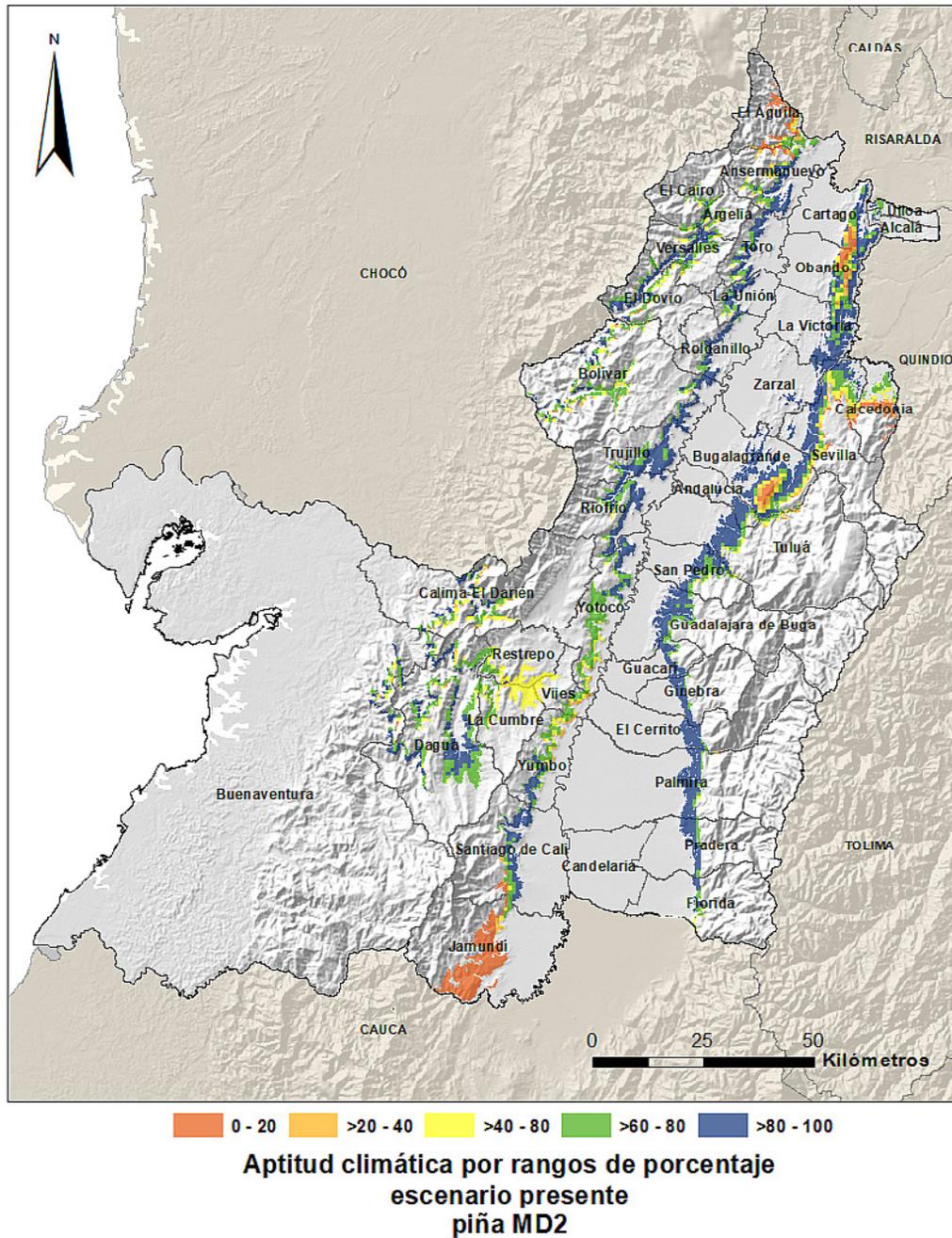


Figura 43. Zonas de aptitud climática para la piña MD2 en el escenario presente

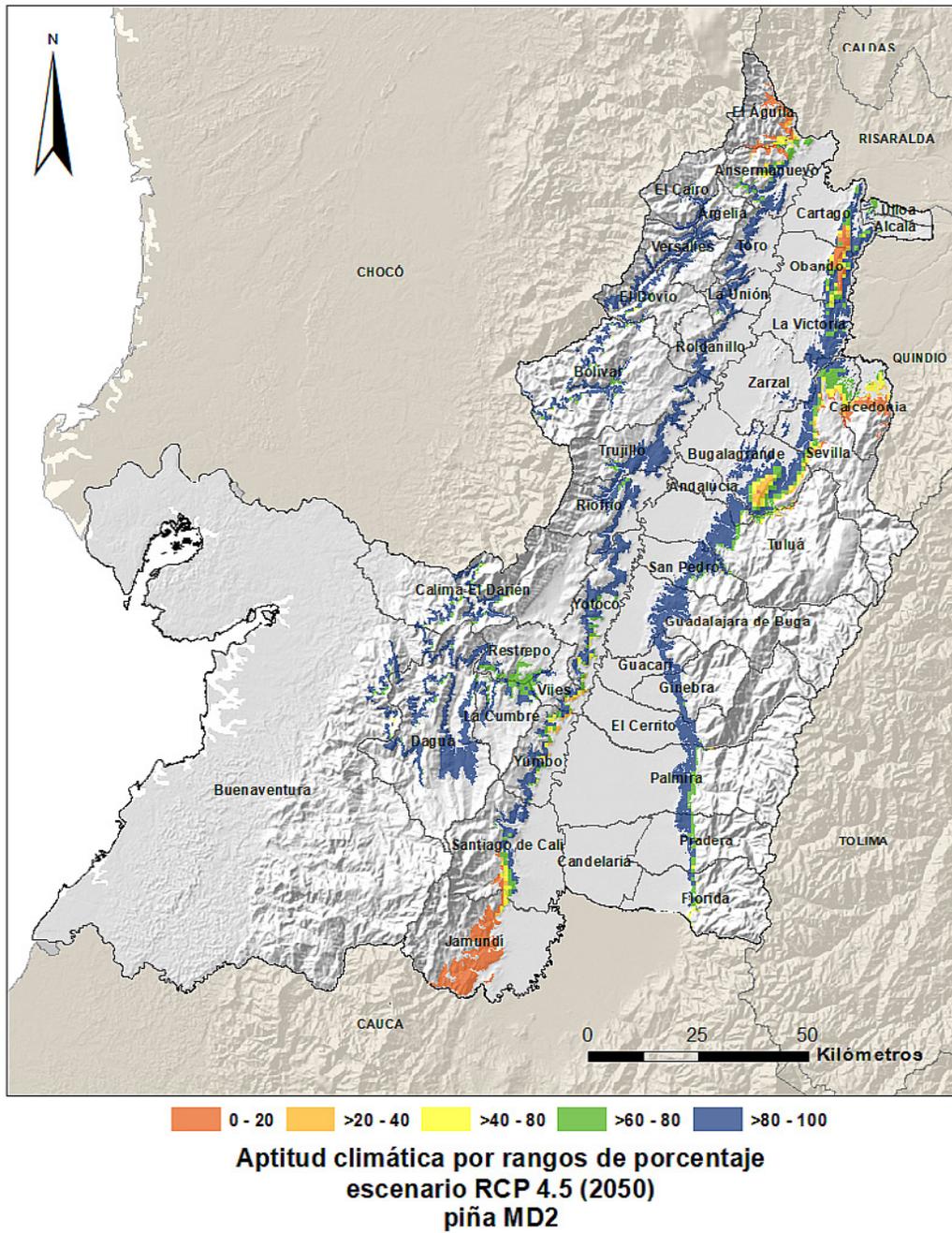


Figura 44. Zonas de aptitud climática para la piña MD2 en el escenario RCP 4.5 (2050)

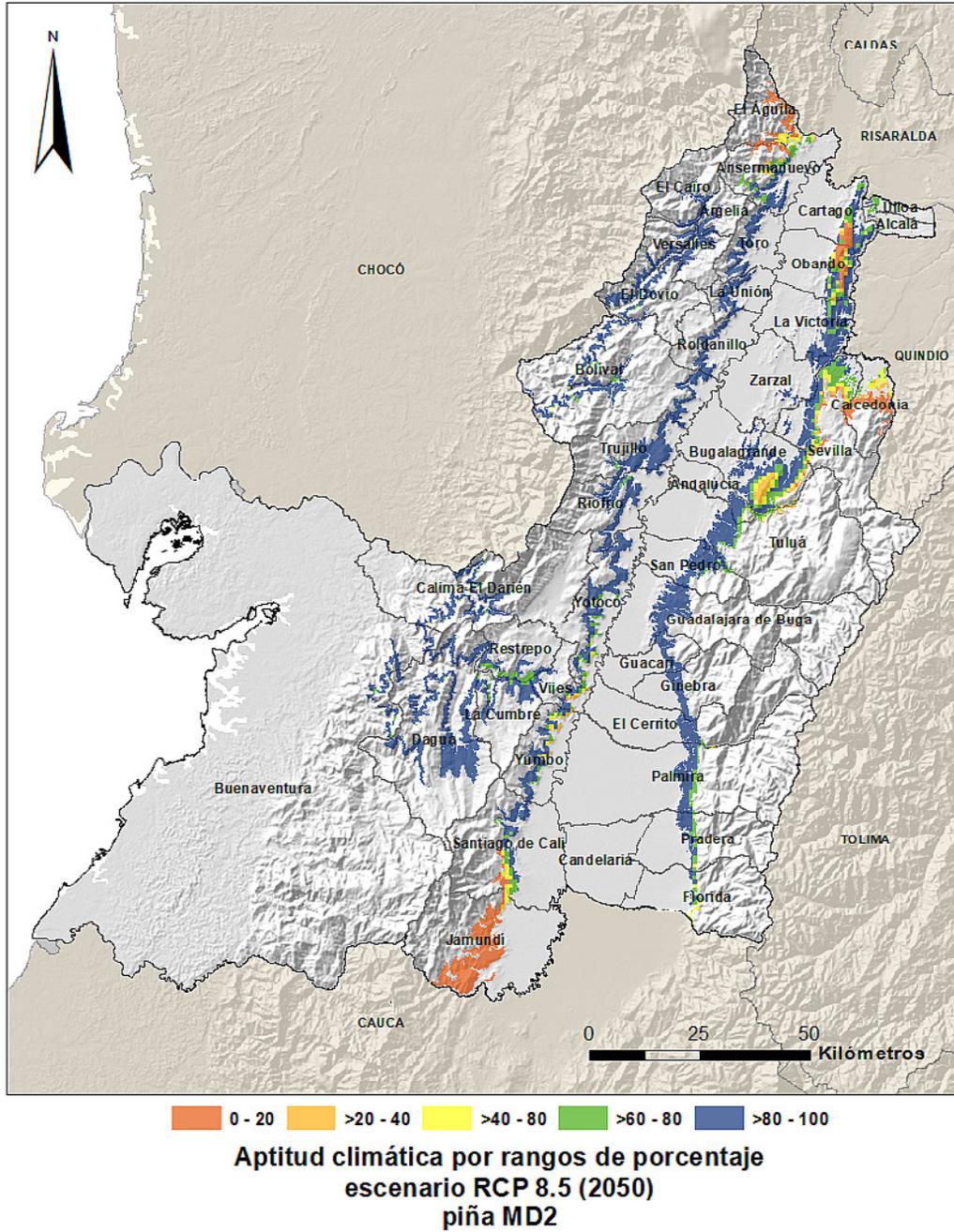


Figura 45. Zonas de aptitud climática para la piña MD2 en el escenario RCP 8.5 (2050)

**IDENTIFICACIÓN
DE LAS ZONAS DE LADERA
APTAS PARA EL CULTIVO
DE PIÑA MD2 EN EL TERRITORIO
DEL VALLE DEL CAUCA**

Hace parte del Proyecto
Incremento de la competitividad
sostenible en la agricultura de
ladera en todo el departamento,
Valle del Cauca, occidente

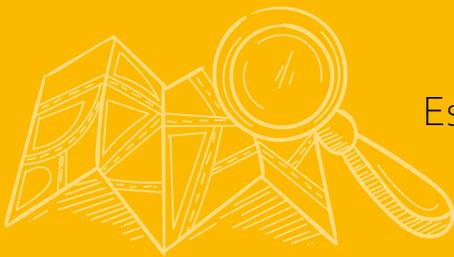
Se editó y diagramó en la Editorial
Universidad Nacional de Colombia.

En su composición se utilizaron
caracteres Chaparral Pro

Formato de 21,5 x 28 centímetros.

Se publicó en agosto de 2021
Bogotá, D. C., Colombia.





Este proyecto es financiado por el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías del Departamento Nacional de Planeación y tiene como objetivo beneficiar a 15.000 personas en el Valle del Cauca.

Está orientado a incrementar la competitividad sostenible en la agricultura de ladera del Valle del Cauca, mediante procesos de investigación y desarrollo en los diferentes eslabones de la cadena productiva, que va desde la etapa inicial del cultivo hasta la etapa agroindustrial de los tres frutales seleccionados: piña MD-2, aguacate Hass y mora de Castilla.

ISBN: 978-958-794-609-3



9 789587 194609 3