

ÁREAS DE CAMBIO EN APTITUD EDAFOCLIMÁTICA DE CULTIVOS CON  
MAYOR AMENAZA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DEPARTAMENTO  
DEL TOLIMA (ESCENARIO 2011-2040)

CONTRERAS PALMA JUAN FELIPE  
ÑUSTEZ PORTES KAREN DAHYAN



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2019**

ÁREAS DE CAMBIO EN APTITUD EDAFOCLIMÁTICA DE CULTIVOS CON  
MAYOR AMENAZA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DEPARTAMENTO  
DEL TOLIMA (ESCENARIO 2011-2040)

**CONTRERAS PALMA JUAN FELIPE  
ÑUSTEZ PORTES KAREN DAHYAN**

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

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios principalmente por ser fuerza y guía en el momento de tomar decisiones.

A nuestros padres sin los cuales hoy no sería posible alcanzar este logro, gracias por su apoyo siempre.

A la universidad y maestros por reforzar nuestras bases académicas y hacernos mejores profesionales y mejores personas

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	14
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo general	15
2.2. Objetivos específicos	15
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. MARCO TEÓRICO	18
4.1 El cambio climático	18
4.2 Marco Normativo	24
4.3 Antecedentes	26
5. METODOLOGÍA	29
5.1. TIPO DE TRABAJO	29
5.2. PROCEDIMIENTO	29
5.2.1. Fase 1. Elección de la zona de estudio	29
5.2.2. Fase 2. Selección de Cultivos.	29
5.2.3. Fase 3. Levantamiento de Información.	30
5.2.4. Fase 4. Adecuación de los datos	31
5.2.5. Fase 5. Modelo de restricciones	31
5.2.6. Fase 6. Generación de modelos de Zonas Edafoclimáticas.	33
6. RESULTADOS	34
7. CONCLUSIONES	55
8. RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFIA	59

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Escenarios de cambio climático Tolima Temperatura y Precipitación

Figura 2. Esquema metodológico de criterios modelación.

Figura 3. Ubicación del Departamento del Tolima.

Figura 4. Usos del suelo del Departamento del Tolima.

Figura 5. Participación departamental en la producción.

Figura 6. Mapa amenaza por cambio climático.

Figura 7. Modelación de cambios en aptitud edafoclimatica para el cultivo de Arroz.

Figura 8. Modelación de cambios en aptitud edafoclimatica para el cultivo de Café.

Figura 9. Modelación de cambios en aptitud edafoclimatica para el cultivo de Caña Panelera.

Figura 10. Modelación de cambios en aptitud edafoclimatica para el cultivo de Maíz Tecnificado.

Figura 11. Modelación de cambios en aptitud edafoclimatica para el cultivo de Plátano.

Figura 12. Modelación de cambios en aptitud edafoclimatica para el cultivo de Frijol.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de criterios de Análisis de Modelamiento.

Tabla 2. Porcentaje Participación áreas agrícolas por municipio del Tolima.

Tabla 3 Productos con mayor producción en el Departamento del Tolima, año 2016

Tabla 4. Niveles de amenaza, sensibilidad, capacidad adaptativa, vulnerabilidad y riesgo.

Tabla 5. Valores de vulnerabilidad – dimensión seguridad alimentaria departamento de Tolima.

Tabla No.6. Relación entidad-formato-fuente información recolectada.

Tabla No.7. Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del Arroz.

Tabla No.8. Porcentaje y áreas de cambio en la aptitud para el cultivo de Arroz.

Tabla No.9. Ganancia, permanencia y pérdida de áreas de aptitud para el cultivo de Arroz.

Tabla No.10. Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del Café.

Tabla No.11. Porcentaje y áreas de cambio en la aptitud para el cultivo de Café.

Tabla No.12. Ganancia, permanencia y pérdida de áreas de aptitud para el cultivo de Café

Tabla No.13. Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del Caña Panelera.

Tabla No.14. Porcentaje y áreas de cambio en la aptitud para el cultivo de Caña Panelera.

Tabla No.15. Ganancia, permanencia y pérdida de áreas de aptitud para el cultivo de Caña Panelera.

Tabla No.16. Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del Maíz Tecnificado.

Tabla No.17. Porcentaje y áreas de cambio en la aptitud para el cultivo de Maíz Tecnificado.

Tabla No.18. Ganancia, permanencia y pérdida de áreas de aptitud para el cultivo de Maíz Tecnificado.

Tabla No.19. Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del Plátano

Tabla No.20. Porcentaje y áreas de cambio en la aptitud para el cultivo de Plátano.

Tabla No.21. Ganancia, permanencia y pérdida de áreas de aptitud para el cultivo de Plátano.

Tabla No.22. Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del Frijol.

Tabla No.23. Porcentaje y áreas de cambio en la aptitud para el cultivo de Frijol.

Tabla No.24. Ganancia, permanencia y pérdida de áreas de aptitud para el cultivo de Frijol.

## GLOSARIO

- **ADAPTACION:** Medidas y ajustes en sistemas humanos o naturales, como respuesta a estímulos climáticos, proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño, o aprovechar sus aspectos beneficiosos (DOF, 2012a)
- **ALGEBRA DE MAPAS:** Conjunto de operaciones definidas sobre un conjunto de datos espaciales para el análisis y síntesis de la información espacial.
- **AMENAZA:** Se refiere a la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural o generado por el hombre, que puede manifestarse en un lugar específico con una intensidad y dirección determinada (Cenapred, 2001)
- **ArcGIS:** Herramienta que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.
- **BOOLENO (Algebra Booleana):** Grupo finito o infinito de elementos en el cual se han definido las operaciones de negación, multiplicación y adición. Estas operaciones corresponden a un grupo de operaciones de complemento, unión e intersección.
- **BUFFER:** Polígono que encierra el área resultante de dar una determinada distancia alrededor de un punto línea o polígonos.
- **CAMBIO CLIMÁTICO:** Variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables (DOF, 2012a)
- **COMUNICACIÓN NACIONAL:** Informe nacional elaborado periódicamente en cumplimiento de los compromisos establecidos por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (DOF, 2012a).
- **CAPACIDAD DE ADAPTACION:** Características o comportamiento, para poder expandir el rango de tolerancia, bajo condiciones existentes de variabilidad climática o bajo condiciones climáticas futuras. Es la habilidad de diseñar e implementar estrategias eficaces de adaptación, o de reaccionar a amenazas y presiones actuales, de manera tal de reducir la probabilidad de ocurrencia y/ o la magnitud de los impactos nocivos como consecuencia de las amenazas relacionadas con el clima (PNUD, 2010).
- **ESCENARIO:** Descripción hipotética de lo que podría ocurrir con las variables que determinan las emisiones, absorciones o capturas de gases y compuestos de efecto invernadero (DOF, 2012a).
- **FACTORES CLIMATICOS:** Son aquellos que actuando en conjunto definen las condiciones generales de una zona terrestre pueden ser: temperatura, precipitación, humedad.
- **FACTORES EDAFOLOGICOS:** Definen las condiciones generales del suelo basado en valores de: pendiente, fertilidad, drenajes, profundidad efectiva.



- **GEODATABASE:** Nombre del modelo de base de datos geo-espacial definido por ESRI.
- **GEOPROCESAMIENTO:** proceso en el que se aplica el análisis geográfico y se modelan los datos espaciales para producir nueva información.
- **INTERPOLACION:** Estimación del valor de un atributo en un punto determinado, en función de los valores de los puntos colindantes.
- **MITIGACION:** Aplicación de políticas y acciones destinadas a reducir las emisiones de las fuentes, o mejorar los sumideros de gases y compuestos de efecto invernadero (DOF, 2012a).
- **MODELAMIENTO ESPACIAL:** Consiste en realizar una representación de la realidad por medio de herramientas de un SIG y Teledetección de cualquier evento que se presente en el territorio.
- **RASTER:** Método de visualización y almacenamiento de datos que hace uso de puntos individuales. Cada uno de esos puntos contiene valores de atributos usados para el procesamiento de la imagen. Es el dato mas usado para el estudio de imágenes de teledetección.
- **RIESGO:** Evento identificable en el tiempo y en el espacio, en el cual una comunidad ve afectado su funcionamiento normal, con pérdidas de vidas y/o daños de magnitud en sus propiedades y servicios, que impiden el cumplimiento de las actividades esenciales y normales de la sociedad” (Moreno & Múnera, 2000).
- **SEGURIDAD ALIMENTARIA:** Cuando las necesidades nutricionales de un país o población están sistemáticamente cubiertas o, como normalmente se define, “cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida sana.”(FAO)
- **VECTOR:** Notación usada para representar información espacial como polígono, punto, línea.
- **VARIABILIDAD CLIMÁTICA:** La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa) (IPCC, 2007b).
- **VULNERABILIDAD:** Nivel a que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad, y su capacidad de adaptación (DOF, 2012a).

## RESUMEN

Es posible encontrar evidencia por doquier de el impacto del cambio climático en las diversas actividades del hombre, incluida la agricultura, entendiendo esto se vuelve necesario realizar una estimación de áreas aptas, moderadas y no aptas para la producción de los cultivos que mayor amenaza y vulnerabilidad presentan frente al cambio climático.

En este estudio se definieron los cultivos con mayor amenaza que para el departamento del Tolima son: arroz tecnificado, café, caña panelera, frijol, maíz y plátano, se estableció la ventana temporal del 2011-2040 definida por el Tercer Comunicado Nacional, se realizó una recolección de información edafoclimática, es decir de las variables de clima y suelo en formatos raster y vectorial, se procedió a realizar todos los geoprocursos para adecuar los datos y ejecutar los respectivos cruces de información de las variables que determinaron estas áreas por medio de software GIS, las áreas resultantes se compararon con las áreas del escenario 1976-2005 para encontrar las posibles diferencias y cambios de aptitud en el suelo.

Se concluye entonces que para este escenario de tiempo los cultivos de arroz y café no tendrán cambios considerables en sus áreas, el plátano y la caña panelera tendrá impacto positivo ya que ganaran nuevas áreas aptas y moderadas de producción, en el caso del frijol y el maíz el panorama es más negativo habrá una reducción considerable de las zonas aptas y moderadas de producción.

Es necesario la generación de mas estudios puntuales que sirvan de herramienta para la toma de decisiones y funcione como elemento para la adaptación y mitigación de los posibles impactos del cambio climático, impactos que pueden incidir directamente en la seguridad alimentaria del país y en la calidad de vida de los productores y agricultores que dependen de la producción de estos cultivos para subsistir.

**PALABRAS CLAVES:** aptitud edafoclimática, cambio climático, cultivos, escenarios de cambio climático.

## ABSTRACT

It's possible to find evidence everywhere of the impact of climate change on the different activities of man, including agriculture, understanding that it is necessary to estimate the suitable, moderate and unfit areas for the production of crops that increase threat and vulnerability they have regarding climate change.

In this study, the crops with the greatest threat were defined; for the department of Tolima are: rice, coffee, cane panelera, beans, corn and plantain. The temporary window of 2011-2040 was established, this was defined by Third Nacional Statement, the compilation of edaphoclimatic information was made, that is, of the climate and soil variables in raster and vectorial formats, all the geoprocesses were carried out to adapt the data and execute the respective information crossings of the variables that determined these areas through GIS software the resulting areas were compared with the areas of the 1976-2005 scenario to find possible differences and changes in the soil aptitude.

It was concluded that for this time scenario, rice and coffee crops will not have considerable changes in their areas in the future; Banana and cane will have a positive impact, because they will gain new suitable and moderate areas of production; The bean and corn will have a more negative outlook, there will be a considerable reduction of the suitable and moderate production areas.

It is necessary to generate more specific studies that serve as a tool for decision making and function as an element for the adaptation and mitigation of the possible impacts of climate change, impacts that can directly affect the country's food security and quality of life of the producers and farmers who depend on the production of these crops to survive.

**KEY WORDS:** Edaphoclimatic aptitude, climate change, crops, scenarios of climate change.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático dejó de ser un mito y ahora es una realidad palpable en cualquier parte del mundo, hoy en día sus efectos se manifiestan en algunos lugares con impactos más fuertes de los que se habían supuesto, se evidencian incrementos o disminuciones de temperaturas, precipitaciones, pérdida de glaciares, deshielo de las capas polares, cambio de aptitudes edafoclimáticas de suelos productivos, disminución de biodiversidad, afectación por inundaciones y sequías; Estos factores influyen directamente en los diferentes tipos de actividades humanas dentro de las cuales se incluye la agricultura, según el IPCC (2007) los posibles impactos estimados para esta actividad incluyen el aumento del rendimiento en los entornos más fríos y la disminución de la producción en los ambientes más cálidos, los daños en los cultivos, el incremento de plagas, el mayor peligro de incendios forestales y la erosión del suelo; algunos cultivos pueden perder su aptitud climática en regiones que históricamente han dependido de ellos (BID-CEPAL-DNP, 2014), por lo cual se vería necesario el desplazamiento y ampliación de la frontera agrícola.

La agricultura es especialmente vulnerable al cambio climático; la proliferación de plagas y enfermedades y el estrés hídrico son factores agravantes. Es posible que el aumento moderado de la temperatura y de la fertilización por CO<sup>2</sup> tenga efectos positivos en la producción. Sin embargo, si el incremento de la temperatura supera el estándar de seguridad climática, los rendimientos podrían disminuir de manera generalizada (Ocampo 2011). Con respecto al cambio climático, la Tercera Comunicación Nacional del IDEAM, para el período comprendido entre el 2011 al 2040, estima niveles elevados de vulnerabilidad para el sector agropecuario y las áreas de minifundio campesino; en especial, en las extensiones agrícolas de los departamentos de Cesar, Nariño, Cauca, Tolima, Magdalena, Córdoba y Antioquia. Los impactos potenciales altos podrían alcanzar el 50% de la superficie dedicada a las pasturas; el 57% de las áreas de cultivos permanentes y semipermanentes, el 71% del área sembrada de café y el 47% de los minifundios campesinos; El mismo comunicado indica que en Colombia para el año 2070 la temperatura aumentará 2.14°C viéndose reflejado principalmente en las zonas Caribe y Andina, se debe recordar que en esta última región se encuentra ubicado el departamento del Tolima que según la misma fuente está reportado como región que ha sufrido un incremento en la temperatura cercano a 0.32°C por década, se estima que a lo largo del siglo XXI, los volúmenes de precipitación decrecerían entre un 15% y 36% para amplias zonas de la región.

Estudios adelantados por Vermeulen et al., 2013 y Magrin et al., 2014 indican que el cambio climático afectará el rendimiento de los cultivos, las economías locales y comprometerá la seguridad alimentaria en países parte de la Región Andina. Es así como, las condiciones más cálidas, junto a la mayor variabilidad de las lluvias y el acortamiento de la estación lluviosa afectarán los rendimientos de los cultivos

en países andinos. El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2011) y Ramírez (2012) proponen que para el 2050 el Cambio Climático (CC) pondrá en riesgo el sustento de casi 3.5 millones de personas que dependen del sector, vulnerando cerca del 7.7% del PIB nacional (DANE, 2017) que corresponde a la agricultura, el empleo de un quinto de la población, las principales agroindustrias y la seguridad y soberanía alimentaria. Según los escenarios de CC propuestos por PNUD-IDEAM (2011), en general, los cambios afectarán el 80% de los cultivos en más del 60% de sus áreas, siendo más vulnerables aun, los cultivos permanentes, muchos de ellos establecidos a través de medianas y pequeñas unidades familiares de producción (Corredor, 2011).

La agricultura específicamente en el departamento del Tolima para el 2016 presento una representación de aproximadamente 12,9% el PIB departamental y un 83 % del PIB agropecuario. (DANE, 2018). El sector agrícola posee una alta representatividad en la ocupación del territorio y uso del suelo contando con un área apta para producción agrícola de 1.479,020 ha (UPRA, 2018) y con un área en cultivos de 406.184 ha aproximadamente de acuerdo al tercer censo nacional agropecuario (DANE, 2014).

Como se puede ver las cifras que maneja la agricultura tanto en extensión, producción y dinero, a nivel nacional y específicamente en el departamento son enormes, comprender los impactos potenciales es imprescindible para el desarrollo e implementación de estrategias de adaptación que permitan afrontar los riesgos climáticos emergentes. Hacer un acercamiento a soluciones, investigaciones de los impactos negativos como el riesgo de la seguridad alimentario de la región y el país o incluso los impactos positivos como cambios de aptitud del suelo que permitan sembrar en zonas donde hoy no es posible o en general cualquier tipo de impacto que incida sobre la actividad y por consiguiente calidad de vida de las personas, de acuerdo con el IPCC, el sector rural se verá considerablemente afectado debido al desplome en el ingreso agrícola lo que hará mucho más difícil el combatir la pobreza (Lopez,2015).

Y es esa la principal razón de realizar este proyecto, en general los campesinos y productores del país viven en condiciones precarias, Perry (2010) indica que el 62,1% de la población rural colombiana vive en la pobreza, y el 21,5% en pobreza extrema, o indigencia. Y, bajo escenarios de cambio climático, probablemente las condiciones empeoren, se vuelve necesario entonces buscar soluciones o plantear alternativas a futuro que den solución y representen medidas para adaptarse a los cambios que son inevitables, generar proyectos que sean herramienta para que los campesinos/agricultores puedan estar informados y tengan a mano los instrumentos indicados para tomar decisiones efectivas, que mitiguen los impactos negativos del cambio climático y no permitan que su calidad de vida se vea afectada, así como la calidad de vida y seguridad alimentaria de toda la región o el país.

## 1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Enfrentar el cambio climático es una preocupación a nivel mundial, se ha venido hablando durante años de este fenómeno y en la actualidad ya se evidencian las consecuencias del mismo reflejadas en variaciones extremas de temperatura o precipitación, derretimiento de glaciares, alteración de ecosistemas y a nivel social de acuerdo con el banco mundial *“la desnutrición ha sido identificada como el mayor impacto del cambio climático en la salud en el siglo XXI. Según previsiones, por cada 1°C adicional de aumento en las temperaturas mundiales, se producirá una disminución del 6 % en el rendimiento de los cultivos de trigo en todo el mundo y una caída del 10 % en los de arroz lo que repercutirá significativamente en la desnutrición y el retraso en el crecimiento de los niños en regiones pobres o con escasa seguridad alimentaria”*.

Colombia no es ajena a esta realidad según el 3er comunicado nacional de cambio climático del IDEAM el país está aumentando su temperatura y para final del siglo puede elevarse más de 2.14°C, en el caso puntual del departamento del Tolima, este tendrá un incremento de 0.32°C por cada década y una reducción de la precipitación mayor o igual al 13%. El sector agrícola se verá impactado debido a los aumentos de precipitación y el posible aumento de plagas y enfermedades asociadas.

El 83% del PIB total del Tolima es producido por el sector agrícola su producción alcanzo en 2016 1,66 millones de toneladas con una utilización de alrededor de 356 mil Has. El porcentaje de participación departamental en cuanto a producción se refiere tiene dentro de sus principales productos: café 6,37%, plátano 10,60%, arroz 41,8% y maíz tecnificado 9,7%, siendo el arroz el producto más significativo en la economía agrícola del departamento (Agronet,2018); Las cifras revelan que los impactos que genere el cambio climático sobre este sector afectaran la economía a nivel departamental y pondrá en riesgo la seguridad alimentaria de la región, al ser los principales cultivos locales insumos básicos de la canasta familiar, de manera adicional se puede inferir que un cambio en las aptitudes del suelo ocasionado por las variables climáticas y edáficas supondrá pérdidas económicas para los productores de la región lo que incide directamente en su calidad de vida y en la economía de toda la región.

Debido a esto es necesario asumir que el cambio climático es un hecho, está pasando ahora, seguirá pasando y afectara puntos tan críticos como la seguridad alimentaria; De este modo se vuelve necesario buscar medidas que mitiguen los problemas y permitan la adaptación, ¿Es posible pronosticar los cambios en la aptitud edafoclimaticas de los suelos? ¿Se puede deducir como cambiará en determinado espacio de tiempo la zona en la que hoy un productor siembra? ¿Será esa misma zona apta en un futuro? si no lo es ¿En qué medida cambiara su aptitud? ¿Existirá una zona que haya adoptado las mismas condiciones de la zona actual y sea optima para cultivar? Estas son preguntas que deben hacerse y a las que se debe dar respuesta para tener herramientas con las cuales sea posible tomar decisiones y minimizar estos impactos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Identificar las áreas de cambio en aptitud edafoclimática de cultivos con mayor amenaza frente al cambio climático en el departamento del Tolima para el escenario 2011-2040.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar los cultivos que mayor amenaza tienen bajo efectos de cambio climático.
- Definir los parámetros edafoclimáticos óptimos bajo los cuales se desarrollan los cultivos con mayor amenaza.
- Generar los modelos cartográficos que permitan estimar las áreas de cambio en la aptitud edafoclimáticas del suelo entre los escenarios de tiempo establecidos.

### • 3. JUSTIFICACIÓN

El clima es uno de los principales determinantes de la productividad agrícola (Adams, et al., 1998), cualquier variación en las condiciones ambientales o climáticas de una zona como aumento o disminución de temperatura/precipitación y demás incidirán directamente en todas las actividades agrícolas; Se espera que la agricultura sea el sector que sufra los mayores efectos económicos ante el cambio climático (Fischer, et al., 2005; Mendelsohn, 2009). De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), el sector rural se verá fuertemente afectado, entre otros motivos, debido a las caídas en el ingreso agrícola. Se espera que los impactos afecten de manera desproporcionada el bienestar de los pobres en zonas rurales haciendo más difícil el combate a la pobreza (Field, et al., 2014). Adicionalmente se verá afectada la seguridad y soberanía alimentaria porque sus efectos estarán ligados a la disponibilidad de productos. La FAO estima que la producción mundial de alimentos tendrá que aumentar en un 70% para el 2050 y que los requerimientos de agua duplicarían las necesidades actuales para el 2025.

Varios autores coinciden en que los efectos del CC pueden ser más graves especialmente para las economías campesinas o para los agricultores de subsistencia ubicados en ambientes frágiles que por lo general se ubican en países en vías de desarrollo, donde se esperan grandes cambios en productividad. Hay preocupación por áreas donde la agricultura de subsistencia es la norma, porque la disminución de tan solo una tonelada de productividad podría llevar a grandes desequilibrios en la vida rural (Jones y Thornton 2003).

Este posible impacto en la economía es altísimo ya que De acuerdo con los datos obtenidos para el periodo 2011, el departamento del Tolima se ubica en el tercer lugar a nivel nacional, en relación con la tasa de desempleo (14.6%), la cual es superior a la tasa nacional (10.8%) y a la regional (12.7%). Cabe resaltar dentro de estos índices la población más vulnerable, la cual puede ser enmarcada como la población de personas en condiciones de pobreza o catalogadas dentro del rango de NBI (Necesidades Básicas Insatisfechas). Por lo tanto, el índice de NBI para el Tolima para el 2012 fue de 8,97%, el cual superó al promedio regional 6,29% y quedó cerca del promedio nacional 9,63%<sup>3</sup>. Siendo éste indicador uno de los más altos a nivel nacional según lo reportado por el DANE.

Debido a lo anterior se torna necesario conocer o tener pronósticos de cómo como se verán afectadas las zonas que históricamente han sido de uso agrícola para cultivos presentes en la región del Tolima, esto para que campesinos, agricultores, y en general tomadores de decisiones tengan conocimiento de que pasará con sus productos bajo predicciones de cambio climático, y de manera oportuna puedan tomar decisiones, logren establecer medidas de adaptación para reducir la mayor cantidad de afectaciones posibles provocadas por ese fenómeno.

El cambio climático dejó de ser un tema que solo estudian especialistas del clima para volverse un tema general, diversos son los estudios y comunicados que se



pueden encontrar sobre este tema, sus efectos en la agricultura también han sido ampliamente estudiados, países como India, China, Indonesia, Egipto, han realizado numerosas investigaciones, en América Latina diferentes entidades gubernamentales han desarrollado estudios al igual que el CIAT; Colombia no es ajena a esta realidad y se encuentran investigaciones de entidades como el IDEAM, o estudios específicos de impacto a cultivos puntuales como el café, pero a groso modo y en general la mayoría de estos estudios a nivel mundial prevén una gran impacto en el sector agropecuario.

En el caso del Departamento del Tolima es posible encontrar estudios con pronósticos sobre los impactos del cambio climático, a nivel regional se trabaja en el Plan Integral del Cambio Climático para el Departamento del Tolima de acuerdo a los lineamientos del Tercer comunicado nacional y también se encuentran investigaciones para productos como el arroz, pero aun el Departamento no tiene un estudio que evalué los efectos del cambio climático en relación a las áreas de producción en los cultivos más representativos de la región.

Determinar el impacto respecto a la distribución de las zonas aptas, moderadas o no aptas en un futuro cercano y respecto a las áreas actuales brindara una herramienta a productores, campesinos e incluso a entidades gubernamentales para evaluar y tomar medidas para adaptarse a los cambios provocados por el Cambio climático.

## • 4. MARCO TEÓRICO

En el marco teórico de esta tesis considera los conceptos zonificación o aptitud edafoclimáticas, la agricultura y cambio climático al ser estos los ejes de la misma.

### 4.1 El cambio climático

Este es uno de los temas principales en la agenda de cualquier país e institución alrededor del mundo y constantemente se hace referencia a él; Para entender mejor el concepto se encuentran definiciones como la del Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) que indica que es la variación del estado del clima, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. Este cambio se puede presentar, debido a procesos internos naturales o a forzamientos externos. Según Duarte et al. (2006), define al conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana, con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema Tierra. Se incluyen en este término aquellas actividades que, aunque ejercidas localmente, tienen efectos que pueden afectar el funcionamiento global del sistema Tierra, reconociéndose el cambio climático como uno de estos cambios.

A la hora de hablar de este fenómeno es importante denotar sus causas, según Gallardo (2013) existen dos tipos de causas: naturales (como cambios en la energía recibida del sol o la actividad volcánica) y antrópicas (generadas por actividades humanas como quema de combustibles fósiles o tala de árboles), a estas antrópicas se le atribuye directamente la elevación de la concentración de gases efecto invernadero (GEI), según WWF (2015), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que resulta de la quema de combustibles fósiles (como el carbón, el petróleo o el gas) es la causa número uno de la lista de los principales GEI producidos por el hombre; otros GEI son generados por clorofluorocarburos (CFC), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y compuestos perfluorados.

Se considera que el Cambio Climático puede acarrear un retroceso en los niveles de desarrollo humano en todos los países, principalmente en las comunidades más pobres y vulnerables de los países en desarrollo (PNUD, 2008 citado por Cardona, 2009). El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2007), establece cinco mecanismos por los cuales el fenómeno del Cambio Climático, puede paralizar el desarrollo humano, los cuales son:

- Producción agrícola y Seguridad alimentaria
- Estrés hídrico
- Aumento en el nivel del mar
- Ecosistemas y Biodiversidad
- Salud humana.

Según la ONU (2015), el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, dio a conocer los siguientes indicadores:

- Temperatura mundial promedio: aumentó 0,85°C entre 1880 y 2012; reduciendo la producción de cereales (como maíz y trigo) un 5% aproximadamente.
- Nivel del mar promedio: aumentó 19 cm entre 1901 y 2010, debido al calentamiento de los océanos y al deshielo; que como en el caso del Ártico se ha reducido, con una pérdida de hielo de 1,07 millones de km<sup>2</sup> cada decenio desde 1979.
- Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el mundo: como las de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que han aumentado a nivel mundial casi un 50% desde 1990. Siendo mayor el incremento de emisiones entre 2000 y 2010 que en décadas anteriores.

Esas cifras muestran una realidad, que bien sea por causas naturales o antrópicas esta impactando el desarrollo y calidad de vida de todo el mundo, de allí que sea necesario acogerse, conocer o plantear medidas de adaptación y mitigación acordes a los diferentes impactos generados por este fenómeno.

#### **4.1.1 Cambio Climático en Colombia**

Como cualquier fenómeno que ocurra a una escala global irremediablemente tendrá efectos en la escala local, Colombia no es la excepción, de acuerdo con el IDEAM se calculó para el país un aumento de la temperatura media del orden de 0.13°C/década para 1971-2000; el ensamble multimodal de los escenarios de cambio climático proyecta que la temperatura promedio del aire en el país aumentará con respecto al período de referencia 1971- 2000 en: 1.4°C para el 2011-2040, 2.4°C para 2041-2070 y 3.2°C para el 2071-2100. A lo largo del siglo XXI, los volúmenes de precipitación decrecerían entre un 15% y 36% para amplias zonas de las regiones Caribe y Andina y existirían incrementos de precipitación hacia el centro y norte de la Región Pacífica. La humedad relativa disminuiría especialmente en La Guajira, Cesar, Tolima y Huila.

De acuerdo con la amplia diversidad de las condiciones climáticas del país, debida a factores como la posición geográfica en la zona ecuatorial, la compleja orografía, la cobertura selvática y la influencia de los océanos y demás, es de esperarse que el impacto de los cambios no sea en principio homogéneo, sino más bien determinado por condiciones locales, Pabón (2005) afirma que la precipitación anual se reduciría en algunas regiones y aumentarían en otras. Las regiones en las que hay cierto grado de coincidencia en los resultados de los modelos y las tendencias actuales indican aumentos de temperatura en la región Pacífica, el Magdalena medio, la Sabana de Bogotá, el Piedemonte Llanero y algunas regiones de los llanos orientales y la Amazonía, con incrementos en las lluvias que podrían alcanzar hasta un 15% y 25% para los años 2050 y 2080. Para las demás regiones, los distintos modelos presentan resultados divergentes respectivamente. Según el PNUD indica en su informe de 2010 que Colombia puede verse muy afectada por los impactos del cambio climático. La mayor parte de la población se encuentra en las partes altas de las cordilleras, donde se prevén problemas de

escasez hídrica e inestabilidad de suelos, y en las costas, donde el aumento del nivel del mar y las inundaciones pueden afectar los asentamientos humanos y las actividades económicas clave. El país tiene, además, una alta recurrencia de eventos extremos, con una gran y creciente incidencia de emergencias asociadas al clima.

Se puede determinar entonces que los impactos del cambio climático en Colombia serán variados y de acuerdo a las condiciones geográficas de cada zona, pero existen factores que afectaran de manera general todo el territorio nacional, uno de ellos por ejemplo la variación de la temperatura.

#### **4.1.2 Cambio Climático en el Tolima**

El Departamento del Tolima se encuentra localizado entre las cordilleras Central y Oriental de Colombia. Cuenta con una superficie de 23.582 km<sup>2</sup> que representa el 2,1% del territorio nacional. El Tolima está dividido en 47 municipios, 30 corregimientos, 217 inspecciones de policía, así como en numerosos caseríos y sitios poblados, está ubicado en su mayor parte sobre la Provincia Litosférica Continental, de la que hacen parte la cordillera central y la cordillera oriental de Colombia. Dada su posición geográfica, este departamento presenta una gran diversidad altitudinal, la cual le proporciona una importante variedad de ecosistemas con una alta tasa de diversidad biológica. Así mismo, la diferencia entre pisos térmicos promueve la riqueza de comunidades, etnias y culturas dentro del departamento, también se puede mencionar la producción de bienes alimenticios, textiles y de materia prima, los cuales diversos en el territorio.

Es por ello que las condiciones de exposición a la variación climática en las que ha estado el departamento del Tolima durante los últimos años, han generado diversas afectaciones, entre las que se destaca la disminución de la productividad departamental, lo que genera fallas en el mercado y la disminución de la competitividad por parte de los sectores productivos, entre otros. Adicionalmente, pone en riesgo el cumplimiento de las metas previstas en las políticas públicas, como la reducción de índices de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), además de generar ajustes en los planes de ordenamiento territorial dirigido, a temas como la conservación, calidad de vida y disminución de riesgos por amenazas climáticas. (PICCT, 2015) y el panorama parece no mejorar para el Departamento según el IDEAM para el fin de siglo el Departamento podrá elevar su Temperatura en 2,3°C, los principales aumentos de temperatura podrán presentarse en el centro oriente del Departamento, la precipitación aumentara hasta un 17%, en particular las Provincias de Suroriente, Ibagué y Nevados podrán presentar los mayores aumentos entre 30% y 40%.

El sector agrícola podrá verse afectado debido a los aumentos de precipitación y el posible aumento de plagas y enfermedades asociadas. Los ecosistemas de alta montaña podrán verse afectados por los cambios acelerados de temperatura, así como en la disminución de volumen para coberturas nivales.

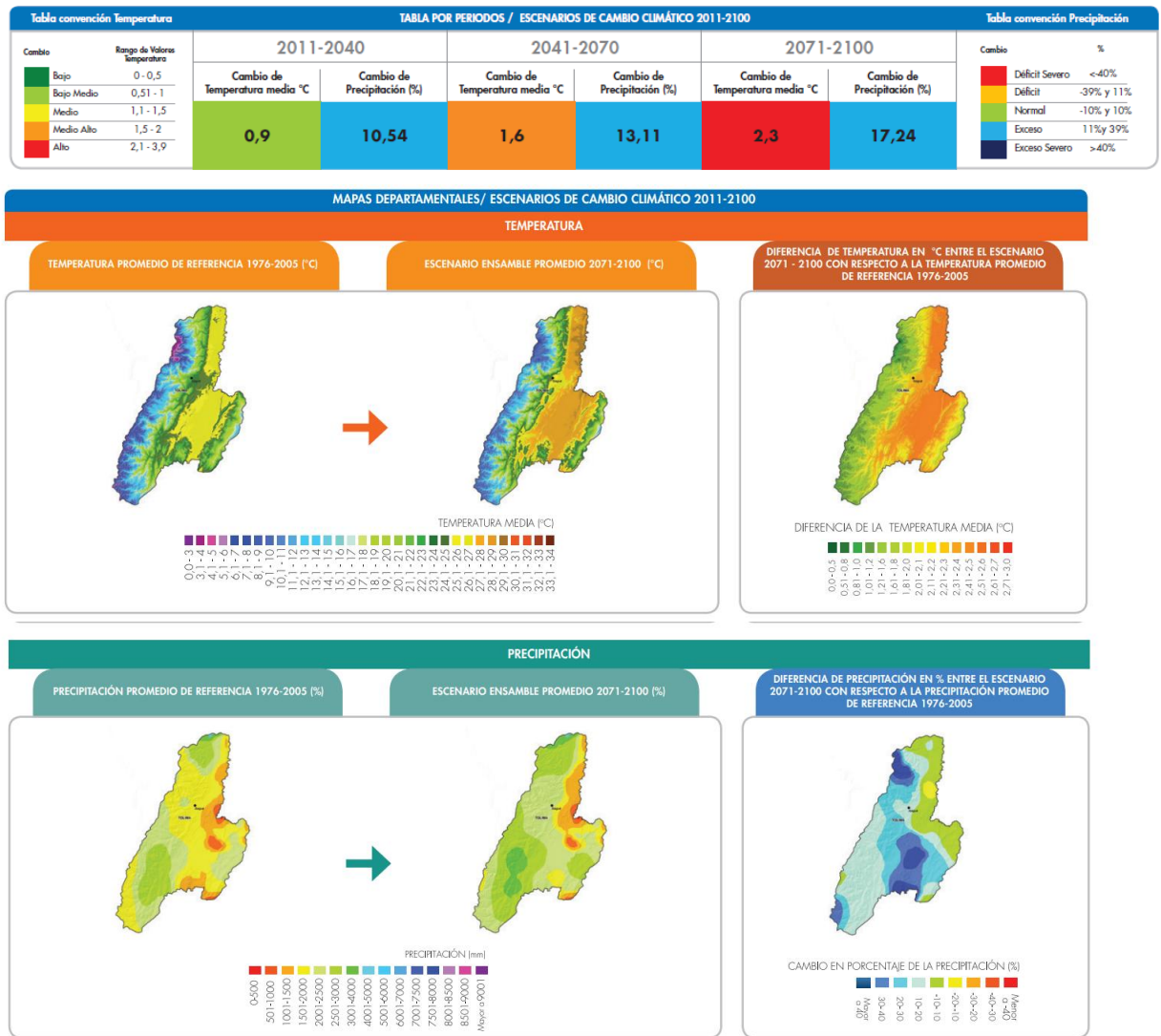


Fig. 1 Escenarios de cambio climático Tolima Temperatura y Precipitación

### 4.1.3 Comunicados Nacionales

La Comunicación Nacional es el principal mecanismo de reporte que tienen los países miembros de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para contarle al mundo sus avances en la implementación de la Convención (acciones de mitigación, adaptación, educación, entre otros). En los años 2001 y 2010 Colombia presentó sus dos primeras Comunicaciones Nacionales, la última la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, plantea nuevos escenarios para el periodo 2011-2100 dividido en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, específicamente para las variables de precipitación y temperatura media, los cuales difieren de los planteados en entregas anteriores. Esto debido principalmente a que se venían utilizando modelos climáticos en los que la recolección de información entre las

diferentes disciplinas científicas tomaba largos periodos de tiempo, lo que conllevaba a inconsistencias

Adicionalmente, las Comunicaciones Nacionales son la principal fuente de información y conocimiento técnico para apoyar la toma de decisiones de las instituciones, los sectores, las regiones y otros interesados, sobre los potenciales efectos del cambio climático en Colombia, de modo que se contribuya a la construcción de un futuro sostenible que mejore el bienestar humano de los colombianos.

#### **4.1.4 Escenarios de cambio climático**

El uso de escenarios se originó en la planificación militar y en los juegos de azar, y a principios de 1960 se amplió en la planificación estratégica de las empresas y de otras organizaciones, en donde los tomadores de decisiones querían analizar, de manera sistemática, las implicaciones de la inversión y de las diversas decisiones estrategias que tienen, inherentemente, consecuencias en el largo plazo. El objetivo de trabajar con escenarios no es predecir el futuro, más sí entender las incertidumbres con el fin de llegar a decisiones que sean robustas en una amplia gama de posibles futuros.(Armenta, 2011).

El concepto de escenario climático, según Amador y Alfaro (2009), se utiliza para denotar un estado probable o plausible, normalmente simplificado, del sistema climático ante uno o más forzamientos. El escenario está basado en un conjunto internamente consistente de relaciones físicas o estadísticas entre los distintos parámetros del sistema climático y se construye para ser utilizado explícitamente para identificar e investigar las posibles consecuencias de ese estado en diferentes sectores sociales. Un escenario de cambio climático es simplemente la diferencia entre un escenario climático y el clima actual o de una línea o estado base; según el IDEAM un escenario es una descripción estimable sobre cómo puede desarrollarse el futuro. Esta descripción está basada en un conjunto de variables y supuestos sobre fuerzas y relaciones de cambio claves, que pueden originar un convincente posible estado futuro sobre algo.

Un conjunto de escenarios son frecuentemente adoptados para reflejar, tan bien como sea posible, el rango de incertidumbre en las proyecciones. Un sinónimo de escenario usado frecuentemente es “caracterización” y se habla de caracterización futura (IPCC-DDC, 2013).

De acuerdo con la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, los Escenarios de Cambio Climático para Colombia siguen las rutas metodológicas propuestas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) en su Quinto Informe de Evaluación (AR5) del año 2013. Para su desarrollo los científicos del IDEAM tomaron los 16

modelos globales que mejor representan el clima de referencia de Colombia (1976-2005) y que modelan la temperatura y la precipitación hasta el año 2100. Estos modelos fueron regionalizados con métodos estadísticos con el fin de proyectarlas en el contexto nacional. Los nuevos escenarios comprenden los periodos de tiempo: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

#### **4.1.5 El Cambio climático y la agricultura**

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2000), existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana; por lo tanto, la Seguridad Alimentaria engloba dos aspectos que pueden resultar afectados por el cambio climático: la disponibilidad de alimentos (Seguridad Alimentaria de Abastecimiento) y su inocuidad y valor nutritivo desde su producción hasta el momento de su consumo (Seguridad Alimentaria Sanitaria y Nutricional) (Vásquez, 2013).

Los posibles impactos estimados por el Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático (IPCC) para la agricultura incluyen el aumento del rendimiento en los entornos más fríos y la disminución de la producción en los ambientes más cálidos, los daños en los cultivos, el incremento de plagas, el mayor peligro de incendios forestales y la erosión del suelo, en el caso de la temperatura por ejemplo se estima que la disminución de las temperaturas mínimas en algunas zonas, principalmente aquellas donde la transformación del suelo ha sido más intensa, podría representar un aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos de heladas, uno de los principales problemas que afronta la agricultura de clima frío, afectando los rendimientos, la rentabilidad de los cultivos y la ganadería, y frecuentemente ocasionando pérdidas considerables en la producción de hortalizas, frutas, flores, papa, maíz y pastos para el ganado entre otros (CCI, 2010). Por el contrario, aumentos en las temperaturas de las noches pueden incidir también negativamente, acelerando el metabolismo de las plantas, incrementando la tasa de respiración y finalmente ocasionando pérdidas en la calidad y productividad de los diferentes cultivos (Alpí y Tognoni, 1991).

El cambio climático tiene efectos en el sector agrícola por las diferentes variables conexas que influyen en los cultivos tales como: la temperatura, la precipitación, la concentración de dióxido de carbono, la humedad del suelo, etc. (IPCC, 2007a). Los posibles impactos, sin contemplar medidas de adaptación son descritos por Ocampo (2011); no obstante, se espera que el cambio climático intensifique los riesgos, particularmente en regiones donde la escasez de agua es ya una preocupación; aunque se pueden crear nuevas oportunidades y potencialidades en ciertas zonas geográficas donde se pueden mejorar la aptitud climática para algunos cultivos (Iglesias & Garrote, 2015).

En América Latina, por ejemplo, la vulnerabilidad de la agricultura al cambio climático varía según la región, los cultivos y las tecnologías aplicadas; de igual manera, la variabilidad climática natural influye debido a las modificaciones que provoca en los regímenes pluviales y de vientos y en la dinámica de fenómenos extremos (PNUD, 2000; Ocampo 2011). Si bien, la agricultura en América Latina es una actividad económica que representa alrededor del 10% del producto bruto interno (PBI) y contribuye con el 12% de las exportaciones agrícolas mundiales (World Bank, 2009). En muchas regiones predomina la agricultura en pequeña escala, la cual es especialmente vulnerable, dado que los factores de estrés socioeconómicos suelen agravar dichas condiciones (IPCC, 2012). Con relación a los impactos del cambio climático, el Banco Mundial advierte que la productividad agrícola podría caer entre un 12% y un 50% hacia el año 2100 (World Bank, 2009). En Colombia, por su parte, las tierras con vocación agrícola corresponden al 18,9% del territorio, las cuales tienen la capacidad para abastecer el mercado nacional y han alcanzado una reconocida posición en productos de exportación, en las últimas décadas. El PIB agropecuario ha contribuido con el 8% del PIB total y en promedio genera el 21% de los empleos del país (DNP, 2008; IDEAM 2010b). No obstante, el sector agrícola colombiano es vulnerable tanto a la variabilidad climática natural como al cambio climático (Ocampo, 2011); es así como las pérdidas y daños en el sector guardan relación directa con las precipitaciones y con los fenómenos climáticos extremos (Banco de la República, 2007; ICA, 2010). En materia de impactos del cambio climático, la segunda Comunicación Nacional (IDEAM, 2010b) para el período comprendido entre el 2011 al 2040, estima vulnerabilidad alta para el sector agropecuario y las áreas de minifundio campesino; los impactos potenciales altos, podrían alcanzar el 50% de la superficie dedicada a las pasturas; el 57% de las áreas de cultivos permanentes y semipermanentes; el 71% del área sembrada de café y el 47% de los minifundios campesinos. El Análisis de vulnerabilidad y riesgo de la Tercera Comunicación Nacional (IDEAM et al., 2017b) revela que la Dimensión Seguridad Alimentaria es la que más contribuye al riesgo por cambio climático. Por otra parte, los estudios del Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT- (Eitzinger et al., 2010; Ramírez et al., 2012) empleando escenarios de cambio climático A2 para el año 2050 proyectan impactos negativos en la productividad Nacional en la mayoría de los sistemas productivos.

#### **4.2 MARCO NORMATIVO**

En la siguiente tabla se hace una breve descripción de las principales normas, leyes, decretos, resoluciones y documentos CONPES que están enmarcados dentro de lo que es el Cambio Climático, y todas sus posibles variables, a nivel Internacional y Nacional.



<b>MARCO NORMATIVO</b>	<b>TIPO DE NORMA</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
<b>Instrumentos Jurídicos Internacionales</b>	CMNUCC	Firmada el 9 de Mayo de 1992, buscaba la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera.
	Protocolo de Kyoto	Firmado en 1997, pero entro en vigencia hasta el 2005. Creado con el fin de fortalecer la respuesta de la comunidad internacional al CC9
<b>Leyes Nacionales</b>	Ley 164 de 1994	Aprueba la CMNUCC, con el fin de buscar alternativas que permitieran abordar acciones en relación a la problemática del CC
	Ley 629 de 2000	Se aprueba el protocolo de Kyoto, y se asumen responsabilidades.
	Ley 1523 de 2012	Se adopta la gestión de riesgos y desastres, y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgos de Desastres.
	Ley 1844 de 2017	por medio de la cual se aprueba el "Acuerdo de París".
	Ley 1931 de 2018	establece los lineamientos bajo los cuales las entidades territoriales y autoridades ambientales deberán regirse frente a la gestión del Cambio Climático en su jurisdicción, puntualmente respecto a la adaptación del clima y la mitigación de GEI
<b>Decretos Nacionales</b>	Decreto 93 de 1998	A partir del cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres en el país
	Decreto 291 de 2004	Emitido por el MAVDT, modifica la estructura del IDEAM, y se dictan otras disposiciones
	Decreto 423 de 2006	Se adopta el Plan Distrital de Prevención y Atención de Emergencias (PDPAE), en Bogotá D.C
	Decreto 298 de 2016	Por el cual se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático y se dictan otras disposiciones.
<b>Resoluciones Nacionales</b>	Resolución 340 de 2005	Emitida por el MAVDT. Por medio del cual se conforman las áreas de trabajo en la estructura orgánica del Ministerio.
	Resolución 0552 de 2009	Emitida por el MAVDT. Creación y regulación del funcionamiento del comité técnico de Mitigación del CC.
	Resolución 978 de 2007	Emitida por el MAVDT. Por el cual se establecen los requisitos y la forma de presentar ante el MAVDT las solicitudes de acreditación
	Resolución 0454 de 2002	Emitida por el MAVDT. Designación del MAVDT como Autoridad Nacional para el MDL10
	Resolución 0454 de 2004	Mediante el cual se regula el funcionamiento del comité técnico Intersectorial de Mitigación del CC

	Resolución 141801 de 2004	Por medio de la cual se determina el factor de emisión de GEI11
	Resolución 551 de 2009	Emitida por el MAVDT. Se determinan los requisitos para la contribución al desarrollo sostenible del País, teniendo en cuenta los MDL
	Resolución 2733 de 2010	Emitida por el MAVDT. Se establece el procedimiento para la aprobación Nacional de programas de actividades bajo el MDL
	Resolución 2734 de 2010	Emitida por el MAVDT. Se establece el procedimiento para la aprobación Nacional de Proyectos de reducción de emisiones de GEI
<b>CONPES</b>	CONPES 3242 de 2003	Por medio de cual se crea la Estrategia Nacional para la venta de Servicios Ambientales de Mitigación al CC.
	CONPES 3700 DE 2011	Por medio del cual se crea la Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en Materia de CC.

#### 4.3 ANTECEDENTES

El cambio climático ha tenido especial atención en las agendas de los diversos países debido a los impactos que puede ocasionar, es por esto que diferentes entidades gubernamentales y no gubernamentales a nivel mundial han realizado variados estudios, muchos de estos prevén el aumento de la temperatura y precipitación como los estudios realizados por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2010). Que proyectan que la temperatura podría aumentar 2.4° C hacia el año 2100 y que la precipitación se reduciría 24%. En otras proyecciones, se estima un incremento en la temperatura de 4.3° C, y un porcentaje de caída en la precipitación pluvial (Ramírez 2010), como se comento anteriormente a nivel nacional el IDEAM ha publicado 3 comunicados nacionales sobre cambio climático en los cuales realiza proyecciones climáticas en diferentes periodos de tiempo, el último comunicado indica que si los niveles de emisiones globales de GEI aumentan (como es lo más probable), la temperatura media anual en Colombia podría incrementarse gradualmente para el fin del Siglo XXI (año 2100) en 2.14°C. Los mayores aumentos de temperatura para el periodo 2071 – 2100, se esperan en los departamentos de Arauca, Vichada, Vaupés y Norte de Santander (+2,60C).

Esta modificación en estas variables ambientales irremediablemente tendrá un impacto en todas las actividades humanas, pero para efectos de este proyecto diversos estudios han determinado los impactos que el cambio climático puede ocasionar en la agricultura por ejemplo, el Informe del Estado de la Región en Desarrollo Humano Sostenible indica que para el año 2080 la producción agropecuaria mundial sufriría una caída de 16% como resultado del cambio

climático; de ese total, el 25% corresponderá a pérdidas en los países en vías de desarrollo y solo 6% a los países desarrollados (Stern, 2007). De acuerdo con un estudio sobre las fluctuaciones globales del precio de los productos agrícolas (Brown y Funk, 2008), un 30% de los agricultores pertenecientes a países en desarrollo afrontarán inseguridad alimentaria y podrían verse seriamente afectados (Samaniego, 2012).

Estudios del CIAT en Colombia, advierten que las proyecciones indican que para el 2050, en la mayoría (>60%) de las áreas actualmente cultivadas se verá impactado probablemente el 80% de los cultivos (Lau, Jarvis, & Ramírez 2011).

Otras investigaciones recientes advierten que el cambio climático podría tener un impacto sobre la productividad de las cosechas y sobre la fertilidad del suelo; variaciones en las tasas de degradación del suelo, incremento en la superficie del riego, reducción de las especies polinizadoras y grandes modificaciones en la distribución de plagas y enfermedades Ocampo (2011).

Se tienen registros acerca del cambio de la aptitud climática en diversos tipos de cultivos; por ejemplo, en la región andina de Colombia como resultado de la modelación agrícola, se observa que la aptitud climática de los cultivos tiende a desplazarse hacia zonas más altas. Algunos cultivos, como yuca, cacao, caña y plátano, ganan aptitud en las zonas más bajas de la región Andina. Otros casos, como los cultivos de clima frío (por ej., papa, frijol), pierden aptitud climática en las zonas donde actualmente se cultivan, y ganan en zonas contiguas más altas, donde generalmente se encuentran las áreas protegidas (Jarvis 2014).

Para los cultivos sobre los que trata este proyecto (Arroz, Café, Caña Panelera, Frijol, Maíz Tecnificado y Plátano) se debe indicar que a nivel mundial es posible encontrar varios estudios que relacionan las zonas potencialmente aptas para determinados cultivos sin embargo los resultados de estos no son 100% comparables con los que se han encontrado en Colombia debido principalmente a las condiciones atmosféricas, edafológicas, geográficas e incluso técnicas utilizadas en la producción de las zonas en cuestión, sin embargo existe un factor común y es la relación de estas variables en el impacto de estos productos, como ejemplo en Nicaragua estudios de Läderach et al. (2016) revelan que el café arábica, es altamente sensible a la temperatura y se verá afectado por el cambio climático. De ahí que para el 2050, se prevé que las áreas cultivadas con esta variedad de café se moverán aproximadamente 300m en el gradiente altitudinal; implicando que los agricultores de bajas altitudes ya no podrán cultivar café de calidad; En el Ecuador (Jimenez, 2012) en el proyecto Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en el Ecuador indica que en el caso del maíz prevé disminución de producción del 5.62% al 2020 y del 10.47% para el 2030, para el caso del arroz presentara una disminución del 5.32% para el 2020 y del 3.13% para el 2030.

En Colombia se encuentran diversos estudios sobre zonas potencialmente óptimas para cultivos diferentes cultivos como el de Vermeulen et al. (2013) indica que será en las áreas montañosas de Nicaragua y Colombia donde las zonas más

bajas perderían la aptitud para el cultivo de café debido al aumento de la temperatura; En el año 2011, se desarrolló una tesis universitaria llamada “Impacto del cambio climático sobre los medios de vida de pequeños productores y desarrollo de estrategias frente al cambio climático” en la cual se evaluaron 5 cultivos en 6 municipios de Cundinamarca considerando comportamientos futuros de precipitación y temperatura, en la que se define que para el cultivo de frijol las zonas que se encuentran actualmente en el rango de muy baja aptitud tienden a mejorar su aptitud, pasando a ser zonas de baja y apta adaptabilidad. Para el año 2050 se observa como zonas que actualmente tienen una aptitud para siembra de frijol muy baja pasan a ser zonas con una aptitud buena.

Una investigación de áreas óptimas de productos básicos de la canasta familiar bajo cambio climático en el departamento de Cundinamarca determino que en el caso del arroz las áreas óptimas aumentan en todos los escenarios para precipitación y temperatura, y que coinciden en términos espaciales, la unión de estas dos variables da como resultado un aumento de más o menos un 20% del área ideal para este cultivo; siendo el escenario 2100 el más favorable; Para la caña panelera en todos los escenarios el área óptima disminuiría, sin embargo, para 2011 - 2040 es más notoria ya que la reducción es de cerca del 50% frente al área actual; Para el frijol no se evidencia mayor variación en las áreas; Para el caso del Maíz en el periodo 2070 - 2100, se esperan condiciones favorables ya que el área óptima aumenta en promedio un 35% respecto a la actual; Para el Plátano las áreas óptimas para el desarrollo de este cultivo en el futuro bajo las nuevas condiciones climáticas mantienen un patrón de espacialización similar al actual, siendo muy favorable para los escenarios A2100 y B2100, a diferencia de los proyectados a 2011 - 2040 donde el área ideal disminuye notablemente. (cortes,2017); El CCAFS (2017) determino que el frijol y el maíz son unos de los cultivos que mayor pérdida de aptitud tendrán en la zona andina del país y son de los más importantes en términos de área sembrada y seguridad alimentaria.

Después de esta revisión es posible evidenciar que aunque si existen estudios a nivel mundial y dentro del país, para el caso del Tolima los estudios se centran en términos de agricultura general bajos variables de precipitación y temperatura, pero ninguno especifica algún cultivo puntualmente, como si es posible encontrar en departamentos como Cundinamarca y como se indico con anterioridad aunque estos resultados pueden orientar la investigación, no son 100% comparables debido a la características geográficas, ambientales, sociales de cada zona.

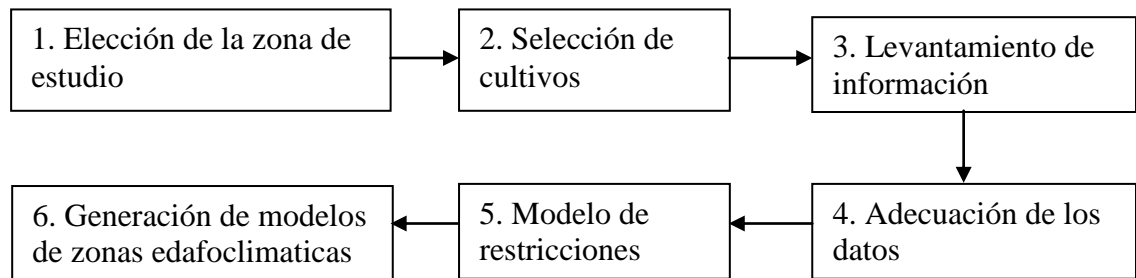
## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 TIPO DE TRABAJO

Este trabajo propone una metodología para identificar áreas de cambio en las aptitudes edafoclimáticas en los cultivos de arroz, café, frijol, maíz tecnificado y plátano en el departamento del Tolima.

En el proceso se recopila información acerca de los criterios técnicos, climáticos y edafológicos, para posteriormente seleccionar la información que será de utilidad para la aplicación del modelamiento, haciendo uso del software ArcGIS.

### 5.2 PROCEDIMIENTO



#### 5.2.1 Fase 1. Elección de la zona de estudio.

En esta etapa se recolecto toda la información correspondiente al departamento en términos de ubicación, suelos, actividades, económicas, cultivos reportados, esto con el fin de hacer una caracterización de la zona.

#### 5.2.2 Fase 2. Identificación y selección de cultivos.

Para la Tercera Comunicación Nacional, se desarrolló el análisis de riesgo y vulnerabilidad por cambio climático para los departamentos y municipios de Colombia, en el cual se tomaron como base los escenarios de cambio climático a 2040, y las dimensiones soportes de la vida, de acuerdo al estudio internacional ND-GAIN, que permiten revisar los aspectos críticos de la relación clima – sociedad y que pueden llegar a impedir el bienestar de las comunidades: seguridad alimentaria, recurso hídrico, biodiversidad, salud, hábitat humano e infraestructura (IDEAM et al 2017).

Todos los datos acá expuestos son tomados de la publicación del IDEAM “ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO POR CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA : TERCERA COMUNICACIÓN NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO”, este informe determino los valores de riesgo, amenaza, vulnerabilidad, sensibilidad y capacidad adaptativa de esos aspectos críticos para todos los departamentos del País, de acuerdo con este estudio el riesgo por cambio climático se entiende desde la formula clásica: Amenaza por Vulnerabilidad

(Riesgo = Amenaza \* Vulnerabilidad). La diferencia radica en que la amenaza es entendida como una proyección de los fenómenos amenazantes por cambio climático, es decir el probable aumento de temperatura y/o el incremento o disminución de la precipitación ( $R_{cc} = \Delta A * V$ ). En el caso de cambio climático la “amenaza está en función de la exposición, ya que el expuesto no siempre es susceptible de impacto; en otras palabras, no todos los elementos expuestos en el territorio tienen la misma susceptibilidad a ser afectados por un posible aumento de temperatura o aumento o disminución de precipitación” (IDEAM et al 2017).

De otro lado, la vulnerabilidad (V) por cambio climático está en función de: la sensibilidad (S), entendida como las condiciones propias del territorio que inciden en incremento o disminución de los impactos ocasionados por determinado fenómeno; y la capacidad adaptativa (CA), representada en las características del sistema que le permiten afrontar los efectos del cambio climático y recuperarse frente a los mismos. Por lo tanto,  $V = S/CA$ . Siendo la fórmula de riesgo por cambio climático ( $R_{cc} = \Delta A * (S/CA)$ ) (DNP, MADS, IDEAM, UNGRD, 2012).

### 5.2.3 Fase 3. Levantamiento de información

En esta etapa se hizo revisión bibliográfica para establecer los datos requeridos para realizar los modelos en este caso ambientales y edáficos, por medio de la siguiente matriz:

<b>MATRIZ DE CRITERIOS DE ANALISIS MODELAMIENTO</b>		
<b>CRITERIO</b>	<b>CALIFICACION</b>	<b>VARIABLES</b>
<b>SUELO</b>	<b>CALIFICACION SITIO SUELO</b>	PENDIENTE – FERTILIDAD – DRENAJES - PROFUNDIDAD EFECTIVA
	<b>CALIFICACION EDAFOCLIMATICA DE REFERENCIA</b>	REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMATICOS APTOS PARA CULTIVO UPRA, 2013; CIAT, 2014.
<b>CLIMA</b>	<b>CALIFICACION APTITUD CLIMA</b>	TEMPERATURA - PRECIPITACION
	<b>CALIFICACION EDAFOCLIMATICA 2011-2014</b>	TERCER COMUNICADO DE CAMBIO CLIMATICO (IDEAM)

Tabla No. 1. Matriz de criterios de Análisis de Modelamiento

También se estableció la ventana temporal o escenario de cambio climático según el Tercer Comunicado Nacional; Se definieron las entidades que tenían esta información disponible en formatos raster/vectorial y se procedió a hacer la recolección de estos archivos.

#### **5.2.4 Fase 4. Adecuación de los datos**

Todos los datos requeridos para el modelo tienen un componente espacial que le permite ser usado dentro de un SIG, mucha información venía en formato simple es decir solo un ShapeFile, así que se organizó de tal manera que todo quedara dentro de una misma Geodatabase espacial y posteriormente se realizó su proyección para que todas quedaran en el mismo sistema de coordenadas, en este caso MAGNA COLOMBIA BOGOTA.

La información fue estructurada así:

1. Modelo datos: Aquí se guardó la Geodatabase.
2. Insumos: Lugar donde se encuentran los documentos, tablas, shapefiles, tal y como fueron suministrados por las autoridades
3. Modelamiento: Donde se almacenan tablas y resultados arrojados por el modelamiento.

Luego, se realizó una verificación de los datos suministrados por las diferentes entidades, revisando si correspondían o no, a lo que realmente hay en campo, adicionalmente se comprobó que los campos de los features class contuvieran información.

#### **5.2.5 Fase 5. Modelo de restricciones**

Para el modelo se hizo la validación de la información verificando que se tuviera la caracterización de los suelos del Tolima, los requerimientos edafológicos: profundidad efectiva, drenaje, fertilidad y pendiente y los parámetros climáticos temperatura y precipitación para cada uno de los cultivos modelados.

La modelación se realizó siguiendo el esquema metodológico que se muestra en la siguiente figura:

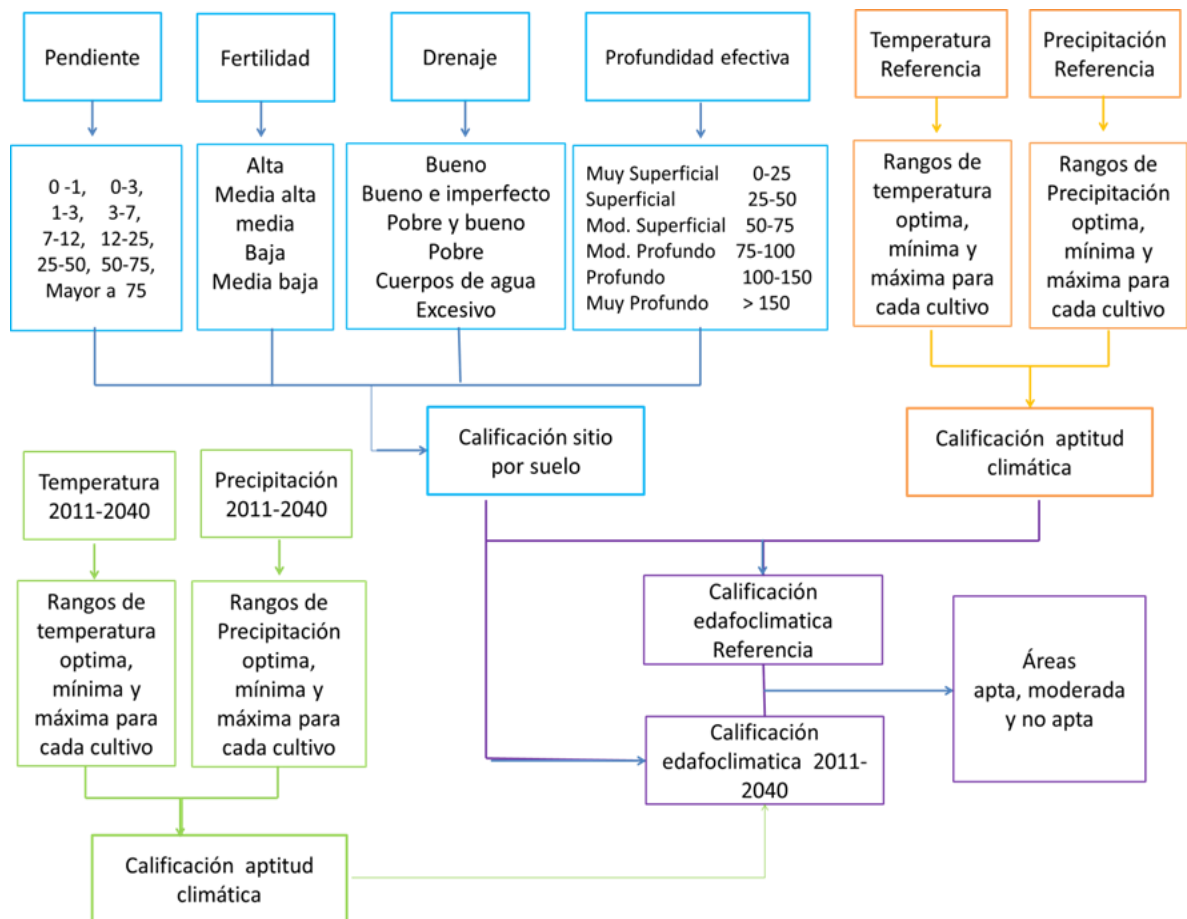


Figura No. 2 Esquema metodológico criterios modelación

En esta etapa se llevaron a cabo varios geoprocursos, se aplicaron los clip, se generaron buffer, se hizo la rasterización de capas (El tamaño del pixel empelado fue de 30m esto debido a que los insumos cartográficos obtenidos para trabajar tienen una escala 1:100.000 y en su mayoría fueron generados a partir de imágenes Landsat cuya resolución espacial es de 30m), se reclasificaron los datos contenidos en los pixeles, se hicieron los joins o relaciones entre atributos y la clasificación de productos.

Los datos de las capas rasterizadas son los componentes para la sumatoria y con el resultado de esta operación se creó un ráster booleano con los criterios anteriormente expuestos los cuales por medio de geoprocursos, algebra de mapas permitieron los respectivos análisis matemáticos y estadísticos que determinaron la clase de cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas que representará las restricciones.



### **5.2.6 Fase 6. Generación de Modelos de zonas edafoclimaticas**

Después de observar las condiciones físicas, climáticas y edafológicas se procedió a generar las capas vectoriales y ráster de los datos climáticos estandarizados por los criterios de requerimiento edafoclimáticos para los cultivos.

Se definieron las capas de criterios de calificación de los cultivos que a su vez se geoprocesaron por medio de algebra de mapas de una manera estadística para calcular el gradiente de cambio en el periodo comparativo 1976-2005 a 2011-2040 para evidenciar geográficamente el cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas de los cultivos de análisis.

Esta fase de la metodología se aplico en cada variable del estudio para generar un análisis independiente por cada cultivo.

Este resultado es el producto obtenido al multiplicar los raster con las restricciones por los criterios; al raster obtenido se le realizo una conversión a polígono, para así poder determinar la extensión de cada una de las áreas potenciales las cuales se clasificaron en apta, moderada, no apta, se aclara que el análisis excluye las zonas urbanas, cuerpos de agua, nieves perpetuas y misceláneos rocosos ya que estas áreas no son objeto de análisis y carecen de criterios de selección frente al estudio.

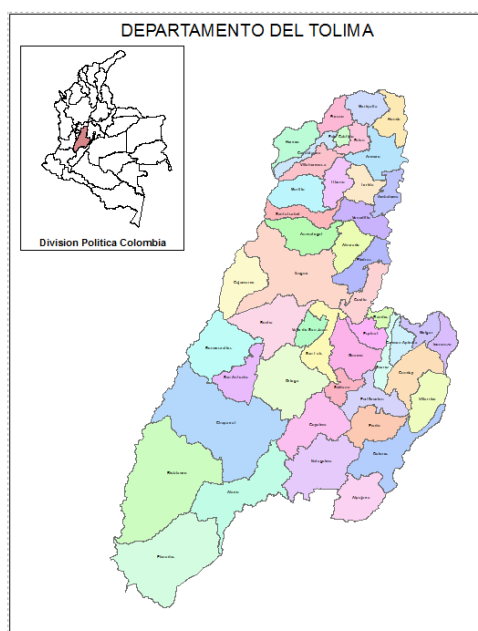
## 6. RESULTADOS

### Diagnostico general del Departamento del Tolima.

- **Localización y descripción general**

El departamento del Tolima está situado en la región Andina, en el centro-occidente del país, limita por el norte y el occidente con el departamento de Caldas, por el oriente con el departamento de Cundinamarca, por el sur con los departamentos del Huila y Cauca y por el occidente con los departamentos de Valle del Cauca, Quindío y Risaralda.

El departamento del Tolima está ubicado en su mayor parte sobre la Provincia Litosferica Continental, de la que hacen parte la cordillera central y la cordillera oriental de Colombia.



*Figura No.3 Ubicación Dpto Tolima*

Dada su posición geográfica, este departamento presenta una gran diversidad altitudinal, la cual le proporciona una importante variedad de ecosistemas con una alta tasa de diversidad biológica. Así mismo, la diferencia entre pisos térmicos promueve la riqueza de comunidades, etnias y culturas dentro del departamento, también se puede mencionar la producción de bienes alimenticios, textiles y de materia prima, los cuales son diversos en el territorio.

Se encuentran pisos térmicos desde cálidos (35,9%), templados (26,9%), muy frío a extremadamente frío (19,1 %), frío (17,8%) y nival (0,3) (IGAC, Tomo II 2008). La región considerada corresponde a la porción seca del valle del departamento, por debajo de los 500 msnm, temperaturas cálidas superiores a los 24 °C y precipitaciones entre los 700 y 2000 mm anuales; de relieve plano entre los municipios de Mariquita hasta Natagaima.

En general el departamento se conforma por cuatro puntos morfológicos de sur a norte: el primero es la Cordillera Central, al occidente; el piedemonte, tanto al occidente como al oriente del río Magdalena; la Cordillera Oriental, al costado oriental y el último que es el referente a la zona de estudio que es el Valle del Magdalena, que tiene clima cálido semiárido, caracterizado por sus depósitos aluviales recientes, cubiertos de pastos, relictos de bosque, cultivos y un conjunto de cerros aislados que se destacan en el relieve plano, son de material sedimentario de periodo terciario, cubiertos de arbustos y pastos (Ricaurte 2007) (IGAC, Tomo II 2008).

- **Componente físico ambiental**

El departamento tiene formaciones resultantes de diferentes procesos geológicos, influenciados por actividades volcánicas y de plegamiento de la cordillera. Una de las principales formaciones es la de la Mesa, que va desde los alrededores de Mariquita y Honda hasta Armero - Cambao, los cerros están ubicados en las estribaciones de la Cordillera Central y el río Magdalena. Geológicamente, el grupo Honda se extiende de norte a sur por el departamento (Ricaurte 2007).

El norte del departamento está constituido por areniscas y arcillitas, con algunos conglomerados con escasos fragmentos de origen volcánico. La zona también se caracteriza por tener aluviones y terrazas extensas, en el río y en sus tributarios cubiertos por sedimentos aluviales. En general se observan fenómenos activos de erosión laminar interfluvial y en menor grado erosión en surcos; esto aumenta en las colinas (Ricaurte 2007) (GEMA, IAvH 1995). Con respecto al clima básicamente es cálido con tendencia seca; se puede afirmar que se presentan dos periodos de precipitación: de abril a mayo y de octubre a noviembre; y dos periodos secos: de finales de diciembre a febrero y de junio a septiembre, siendo agosto el mes más seco; con un régimen de lluvias de 1387 mm. En términos generales, la Cordillera Central está determinada por el movimiento de los vientos Alisios del este y del oeste a lo largo del año; además el valle está influenciado por vientos locales que son consecuencia de la cordillera central y occidental. La cordillera central es más alta que la oriental en este punto, por lo que los vientos húmedos del oeste pasan la occidental y chocan con la central, por esto se presentan altas precipitaciones al oeste de la Cordillera Central y las bajas en la vertiente del valle del Magdalena (GEMA, IAvH 1995).

Los bosques de la región presentan mayor defoliación en comparación con otros bosques de Colombia, muy probablemente por los cambios bruscos de precipitación, sobre todo a mediados de diciembre, seguidos de estrés hídrico. Algunos estudios describen la evaporación y el brillo solar como una variación contrastante con la precipitación; los periodos de mayor brillo solar y mayor evaporación son entre junio y agosto, la temperatura presenta un promedio de 25 C° a 31C° y la humedad relativa promedio se encuentra entre 68% y 72%, y tampoco presenta mayor variación (GEMA, IAvH 1995).

- **Actividad agrícola**

A nivel de la agricultura según el PICCT, el departamento para el 2016 presento una representación de aproximadamente 12,9% el PIB departamental y un 83 % del PIB agropecuario. (DANE, 2018). El sector agrícola posee una alta representatividad en la ocupación del territorio y uso del suelo contando con un área apta para producción agrícola de 1.479,020 ha (UPRA, 2018) y con un área en cultivos de 406.184 ha aproximadamente de acuerdo al tercer censo nacional agropecuario (DANE, 2014). Del total de área cultivada del departamento se resaltan municipios como Ibagué con un 5,9 % de participación de Ha agrícolas del departamento, seguido de Chaparral, Ataco, Espinal y Líbano como se aprecia en la siguiente tabla:

Municipio	Área aptitud Agrícola (Ha)	Área en cultivos (Ha)	% Participación
Ibagué	73.402	23.836	5,9
Chaparral	116.221	23.266	5,7
Ataco	77.849	23.033	5,7
Espinal	23.054	19.699	4,8
Líbano	24.548	15.551	3,8

Tabla No.2. Porcentaje Participación áreas agrícolas por municipio del Tolima.  
Fuente: CORTOLIMA, a partir de datos CNA 2014



Figura No.4 Usos del suelo del Tolima  
Fuente: CORTOLIMA, 2018

La producción agrícola en el 2016 alcanzo 1,66 millones de Toneladas con una utilización de alrededor de 356 mil hectáreas. El porcentaje de participación departamental en cuanto a producción se refiere tiene dentro de sus principales

productos representativos cultivos perennes tales como café 6,37%, plátano 10,60% y arroz con un 41,8% y maíz tecnificado con 9,7%, siendo el arroz el producto más significativo en la economía agrícola del departamento, además de los mencionados el departamento cuenta con una amplia gama de productos agrícolas como se muestran en la figura 5 (Agronet, 2018).

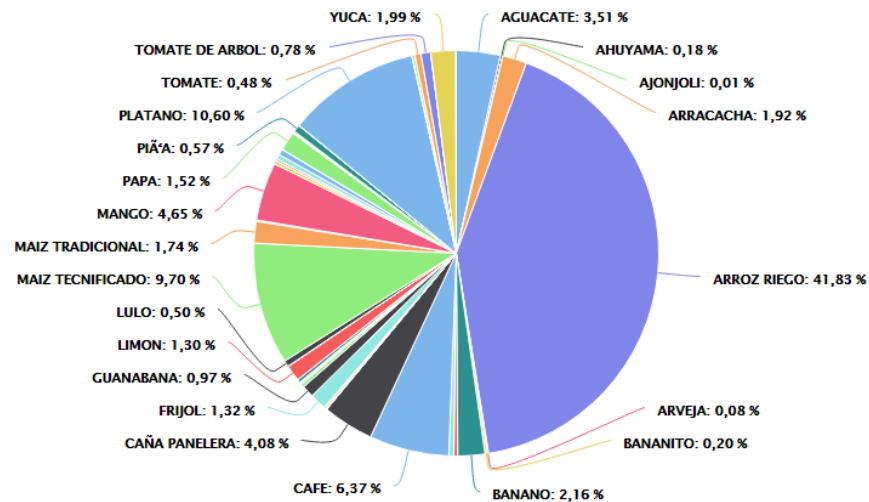


Figura No 5 Participación departamental en la producción  
Fuente: (Agronet, 2018)

Producto	Área (Hectáreas)	Producción (Toneladas)	Rendimiento (ton/ha)
ARROZ RIEGO	100.866,03	696.251,56	6,90
PLÁTANO	22.459,00	176.483,50	7,86
MAÍZ TECNIFICADO	33.938,00	161.444,39	4,76
CAFÉ	100.328,78	105.976,17	1,06

Tabla No 3 Productos con mayor producción en el Departamento del Tolima, año 2016  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (Agronet, 2018)

Como se puede observar la industria agrícola está representada por 23 grandes productos sin embargo son 4 los que tienen mayor producción y rendimiento, fue posible escoger en primera medida los cultivos más representativos sin embargo se decidió que no necesariamente estos serían los más vulnerables y los que mayor impacto tendrían frente al cambio climático, luego se encontró que de acuerdo al análisis de riesgo y vulnerabilidad basado en los aspectos críticos de la relación clima-sociedad del estudio internacional ND-GAIN y del informe de "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO POR CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA: TERCERA COMUNICACIÓN NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO". realizado por el IDEAM en todo el país para el departamento del Tolima se tenían los siguientes valores:

NIVEL	Break Value AMENAZA	Break Value SENSIBILIDAD	Break Value C. ADAPTATIVA	Break Value VULNERABILIDAD	RIESGO Break Value
Muy Bajo	0,435567	0,229695	0,431999	0,139942	0,160494
Bajo	0,535207	0,308777	0,64375	0,149849	0,180147
Medio	0,564793	0,438472	0,778806	0,189791	0,24064
Alto	0,664433	0,651172	0,864945	0,350818	0,426845
Muy Alto	1	1	1	1	1

Tabla No.4 Niveles de amenaza, sensibilidad, capacidad adaptativa, vulnerabilidad y riesgo  
Fuente: IDEAM (2017)

Para el caso de seguridad alimentaria el estudio evaluó los diferentes cultivos y determino sus valores de vulnerabilidad, encontrando:

INDICADOR		RESULTADO	NIVEL
AMENAZA	Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de yuca	0,44245885	Muy Bajo
	Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de Arroz	0,768276953	Muy Alto
	Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de Plátano	0,643760112	Alto
	Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de Caña Panelera	0,780844346	Muy Alto
	Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de Papa	0,10000	Muy Bajo
	Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de Maíz	1	Muy Alto
	Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de Fríjol	0,683194783	Muy Alto
	Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de Café	0,567360311	Alto
	Cambio proyectado en oferta/demanda de agua para uso pecuario	0,106181669	Muy Bajo
	Cambio proyectado en oferta/demanda de agua para uso agrícola	0,126332095	Muy Bajo
SENSIBILIDAD	% del PIB de otros cultivos a precios constantes (Miles de millones de pesos) respecto al PIB total departamental	0,11220472	Muy Bajo
	% del PIB cultivo del café a precios constantes (Miles de millones de pesos) respecto al PIB total departamental	0,639611753	Muy Alto
	% de área asegurada respecto al total de área sembrada	0,839973449	Muy Alto
	% del PIB de la producción pecuaria a precios constantes (Miles de millones de pesos) respecto al total del PIB departamental	0,53807335	Alto
	Severidad pobreza monetaria extrema	0,218420335	Muy Bajo
CAPACIDAD ADAPTATIVA	Grado de asistencia técnica prestada por UPA (AGR)	0,223607139	Muy Bajo
	Acceso a maquinaria agrícola por UPA (AGR)	0,541632477	Bajo
	Acceso a maquinaria pecuaria por UPA (GAN)	0,703283271	Medio
	Créditos otorgados por departamento / superficie agrícola total	0,609133765	Bajo
	Porcentaje de la superficie agrícola con irrigación	0,702138193	Medio
	Inversión en política de seguridad alimentaria y nutricional	0,415898958	Muy Bajo

Tabla No. 5 Valores de vulnerabilidad – dimensión seguridad alimentaria departamento de Tolima  
Fuente. IDEAM (2017)

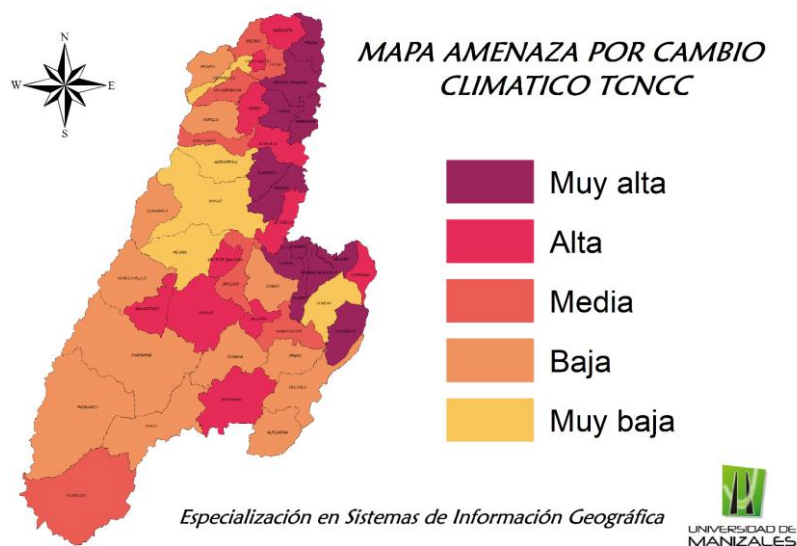


Figura No.6 Mapa amenaza por cambio climático  
Fuente: Elaboración propia

Basados en los resultados de este estudio se determino que los cultivos a escoger serian aquellos que se encuentran dentro de los rangos de amenaza Alta y Muy Alta es decir: arroz, café, caña panelera, frijol, maíz tecnificado y plátano, para estos se realizo la modelación basados en los escenarios de cambio climático que propone el IDEAM 1975-2005 y 2011-2040.

Luego de haber definido los cultivos y la ventana temporal se procedió a recolectar la información necesaria para realizar el modelamiento de acuerdo con la matriz definida en la metodología, a continuación se relación el ítem, el criterio, el formato en el que se encontraba, el documento si estaba relacionado y la institución la que correspondían los datos:

ITEM	CRITERIO	FORMATO	INFORMACIÓN	FUENTE
BASE	<ul style="list-style-type: none"> <li>IGAC 2015 25K.gdb</li> <li>Cobertura_Vegetal</li> <li>Edificacion_ObraCivil</li> <li>Entidades_Territoriales_y_Unidades_Admi</li> <li>Impresion</li> <li>Indice_Mapas</li> <li>Instalaciones_Construcciones_Para_Trans</li> <li>Puntos_de_Control</li> <li>Relieve</li> <li>Superficies_Agua</li> <li>Toponimos</li> <li>Transporte_Aereo</li> <li>Transporte_Maritimo_Fluvial</li> <li>Transporte_Terrestre</li> </ul>	GEODATABAS E	CARTOGRAFIA BASE DEPARTAMENTO DEL TOLIMA	IGAC 2017 BASE DE DATOS ESPACIALES
	FERTILIDAD	SHAPE	Estudio General de Suelos Departamento de Tolima 1997 a escala 1:100.000 (IGAC, 2004)	IGAC 2017 BASE DE DATOS ESPACIALES
PENDIENTE				
PROFUNDIDAD EFECTIVA				

<b>CLIMA</b>	Precipitación para Colombia (mm) 1976-2005 (promedio) . Escala 1:100,000. Año 2015	RASTER	ESTUDIO "ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURAS EN COLOMBIA" (MARZO 2015)	IDEAM 2015
	Cambio de la Precipitación para Colombia (%). Ensamble Multiescenario 2011-2040 vs 1976-2005 (promedio). Escala 1:100,000. Año 2015			
	Cambio de la Precipitación para Colombia (%). Ensamble Multiescenario 2041-2070 vs 1976-2005 (promedio) . Escala 1:100,000. Año 2015			
	Cambio de la Precipitación para Colombia (%). Ensamble Multiescenario 2071-2100 vs 1976-2005 (promedio) . Escala 1:100,000. Año 2015			
	Temperatura para Colombia (°C) 1976-2005 (promedio). Escala 1:100,000. Año 2015			
	Diferencia de la Temperatura media (°C). Ensamble Multiescenario 2011-2040 vs 1976-2005 (promedio). Escala 1:100,000. Año 2015			
	Diferencia de la Temperatura media (°C). Ensamble Multiescenario 2041-2070 vs 1976-2005 (promedio). Escala 1:100,000. Año 2015			
<b>DEM</b>	Modelo digital del terreno NASA REAJUSTADO 30 METROS	RASTER		NASA-IGAC 2018

Tabla No.6 Relación entidad-formato-fuente información recolectada

Esta información se estructuró, se almacenó en Geodatabases para ejecutar los geoprocursos y se verificó la completitud de los datos, se hizo el respectivo cruce de información de acuerdo a los requerimientos edafoclimáticos de cada cultivo y se realizó su clasificación por factores así:

- **Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de Arroz**

Para el análisis del cambio en las superficies se parte de los requerimientos edafoclimáticos para el desarrollo del cultivo de arroz (tabla 7), la producción de este cultivo en el Departamento se destina para la agricultura comercial, como agricultura de subsistencia y autoconsumo. (EVA Tolima, 2012).

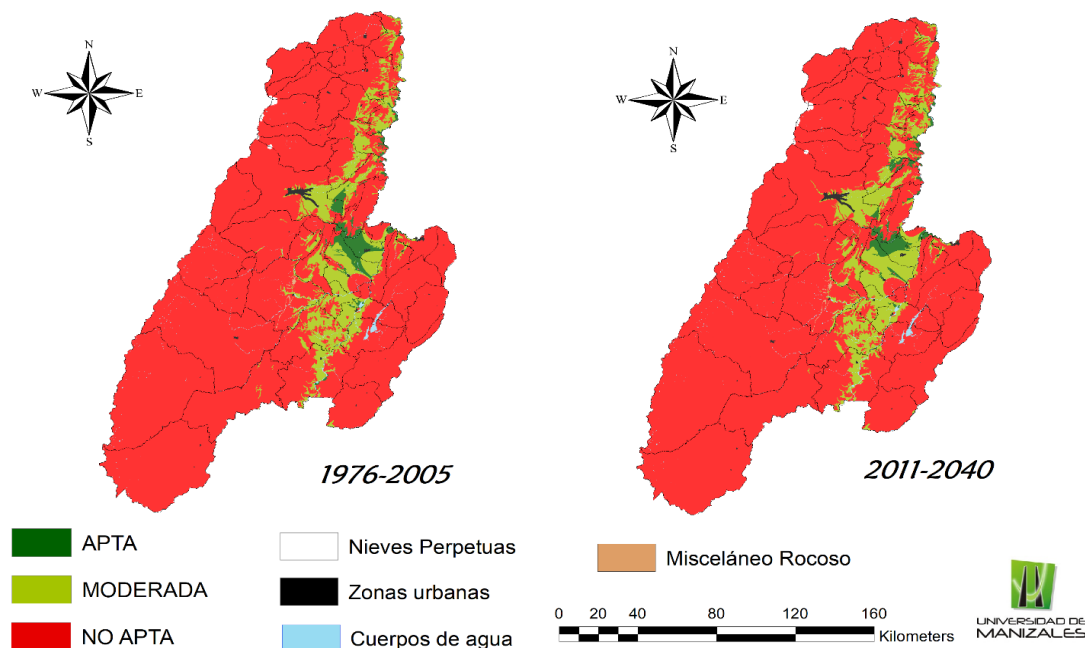
Función o característica	Unidad	CLASIFICACIÓN POR FACTORES		
		APTA	MODERADA	NO APTA
Temperatura	°C	24-30	20 -32	
Precipitación	mm	1200-1500	1000 - 2000	
Drenaje natural	Clase	Imperfecto, moderado	Muy pobre, pobre, bien drenado	Excesivo
Profundidad efectiva	cm	>50	25-49	<24
Fertilidad del suelo		Moderada, moderadamente alta, alta	Baja, muy baja	
Pendiente	%	0-3	3 a 7	>8

Tabla No. 7 Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del arroz  
Fuente: UPRA, 2013; CIAT, 2014.



Como resultado de esta modelación se obtiene, la figura 7, que muestra los cambios en la aptitud del suelo a partir de la aplicación de la modelación, utilizando los criterios y los requerimientos edafoclimáticos del cultivo de arroz para los escenarios 1976-2005 y 2011-2040.

*MODELACIÓN DE CAMBIOS EN APTITUD EDAFOCLIMÁTICA DEL CULTIVO DE ARROZ PARA LOS ESCENARIOS 1976-2005 Y 2011-2040*



*Figura No. 7 Modelación de cambios en aptitud edafoclimática para el cultivo de arroz*

De acuerdo a la tabla 8 podemos establecer la probabilidad que a 2040, 7189,7 Ha correspondientes al 0,30% dejarán de ser aptas, 8882,1 Ha entrarán a ser moderadas y 1692,4 Ha dejarán de ser no aptas como consecuencia del cambio climático.

APTITUD	REFERENCIA (Ha)	PARTICIPACIÓN	2011-2040 (Ha)	PARTICIPACIÓN	DIFERENCIA
APTA	41.972,4	1,7%	34.782,7	1,4%	-7.189,7
MODERADA	238.201,1	9,9%	247.083,3	10,2%	8.882,1
NO APTA	2.097.241,3	86,9%	2.095.548,9	86,8%	-1.692,4
Cuerpos de agua	22.655,2	0,9%	22.655,2	0,9%	0,0
Misceláneo Rocoso	1.557,8	0,1%	1.557,8	0,1%	0,0
Nieves Perpetuas	2.796,7	0,1%	2.796,7	0,1%	0,0
Zonas urbanas	9.498,6	0,4%	9.498,6	0,4%	0,0
<b>Total</b>	<b>2.413.923,3</b>	<b>100,0%</b>	<b>2.413.923,3</b>	<b>100,0%</b>	<b>0,0</b>

*Tabla No. 8 Porcentaje y áreas de cambio en la aptitud para el cultivo de arroz*

En la actualidad el cultivo de arroz en el departamento del Tolima cuenta con 41972,4 Ha aptas, de estas bajo escenarios de cambio climático planteados por el IDEAM y de acuerdo con los resultados de la tabla 9 es posible que el 61,1% de estas áreas se mantengan aptas, un 38,9% correspondiente 16318,4 Ha dejen de ser aptas y para 2040 se estima que 9128,7 Ha nuevas entren a ser aptas para el cultivo del arroz.

El departamento cuenta con 238.201,1 Ha catalogadas como moderadas de las cuales el 93% correspondiente a 221.462,1 Ha se mantendrían moderadas, un 7,0% dejarían de ser moderadas esto equivale a 10443,70 Ha y para el 2040 se estima que 25621,1 Ha nuevas entren a ser moderadas para el cultivo del arroz.

En cuanto a las tierras consideradas no aptas el departamento en la actualidad cuenta con 2.097.241,3 Ha de estas el 99,5% se mantendrían no aptas, un 0,5% correspondiente a 10053,7 Ha dejarían de ser no aptas y para el 2040 se estima que 8361,2 Ha nuevas entren a ser no aptas.

APTITUD	Ganancia (Ha)		Permanencia (Ha)		Pérdida (Ha)	
APTA	9.128,7	21,7%	25.654,0	61,1%	16.318,4	38,9%
MODERADA	25.621,1	10,8%	221.462,1	93,0%	16.739,0	7,0%
NO APTA	8.361,2	0,4%	2.087.187,7	99,5%	10.053,7	0,5%

Tabla 91 Ganancia, permanencia y pérdida de áreas de aptitud para el cultivo de Arroz

- **Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de Café**

Para el análisis del cambio en las superficies se parte de los requerimientos edafoclimáticos para el desarrollo del cultivo de café (tabla 10), la producción de este cultivo en el departamento del Tolima está destinada principalmente a la agricultura comercial (EVA Tolima,2012).

Función o característica	Unidad	CLASIFICACIÓN POR FACTORES		
		APTA	MODERADA	NO APTA
Temperatura	°C	14 -28	10--34	
Precipitación	mm	1400-2300	750-4200	<749 y >4200
Drenaje natural	Clase	Bien drenado	Moderadamente bien drenado, imperfecto	Muy pobre, pobre, excesivo
Profundidad efectiva	cm	> 100	50-99	<49
Fertilidad del suelo		Moderada, moderadamente alta, alta	Baja, muy baja	
Pendiente	%	0 - 50	51-75	>76

Tabla 10 Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del café

Como resultado de esta modelación se obtiene, la figura 8, que muestra los cambios en la aptitud del suelo a partir de la aplicación de la modelación, utilizando los criterios y los requerimientos edafoclimáticos del cultivo de café para los escenarios 1976-2005 y 2011-2040

MODELACIÓN DE CAMBIOS EN APTITUD EDAFOCLIMÁTICA DEL CULTIVO DE CAFÉ PARA LOS ESCENARIOS 1976-2005 Y 2011-2040

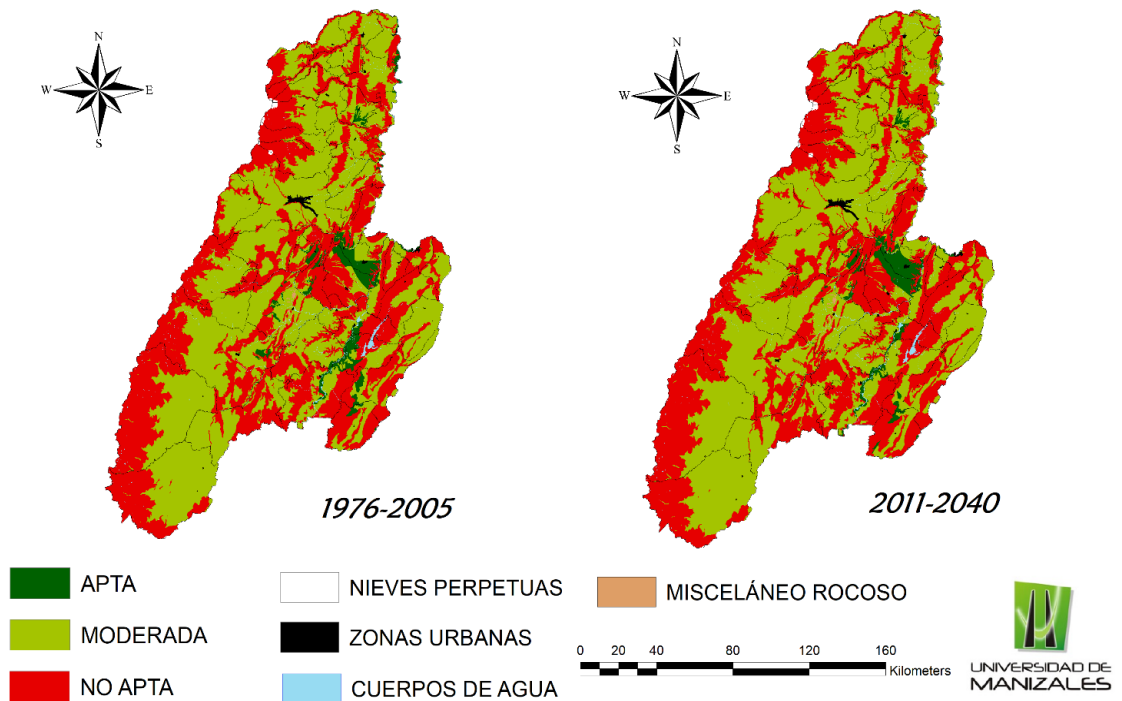


Figura No. 8 Modelación de cambios en aptitud edafoclimática para el cultivo de arroz

De acuerdo a la tabla 11 podemos establecer que es probable que a 2040 6995,54 Ha correspondientes al 0,295 dejaran de ser aptas, 20270,85 Ha entraran a ser moderadas y 13275,31 Ha dejaran de ser no aptas como consecuencia del cambio climático.

APTITUD	REFERENCIA (Ha)	PARTICIPACIÓN	2011-2040 (Ha)	PARTICIPACIÓN	DIFERENCIA
<b>APTA</b>	66.024,5	2,7%	59.029,0	2,4%	-6.995,5
<b>MODERADA</b>	1.278.742,3	53,0%	1.299.013,2	53,8%	20.270,8
<b>NO APTA</b>	1.032.648,1	42,8%	1.019.372,8	42,2%	-13.275,3
<b>Cuerpos de agua</b>	22.655,1	0,9%	22.655,1	0,9%	0,0
<b>Misceláneo Rocoso</b>	1.557,8	0,1%	1.557,8	0,1%	0,0
<b>Nieves Perpetuas</b>	2.796,7	0,1%	2.796,7	0,1%	0,0
<b>Zonas urbanas</b>	9.498,6	0,4%	9.498,6	0,4%	0,0
<b>Total</b>	2.413.923,3	100,0%	2.413.923,3	100,0%	0,0

*Tabla No. 2 Porcentaje y áreas de cambio en la Aptitud para el cultivo de café*

En la actualidad para el cultivo de café el departamento del Tolima cuenta con 66024,49 Ha aptas de estas bajo escenarios de cambio climático planteados por el IDEAM y de acuerdo a los resultados de la tabla 12 es posible que el 73,6% de estas se mantengan aptas, un 26,4% correspondiente 17439,24 Ha dejen de ser aptas y para 2040 se estima que 10443,70 Ha nuevas entren a ser aptas.

El departamento cuenta con 1.278.742,33 Ha catalogadas como moderadas de las cuales el 99,2% correspondiente a 1.268.298,63 Ha se mantendrían moderadas, un 0,82% dejarían de ser moderadas equivalente a 10.443,70 Ha y para el 2040 se estima que 30714,55 Ha nuevas entren a ser moderadas para el cultivo del café.

En cuanto a las tierras consideradas no aptas el departamento en la actualidad cuenta con 1.032.648,14 Ha de las cuales el 98,7% se mantendrían no aptas, un 1,3% correspondiente a 13307,81 Ha dejarían de ser no aptas y para el 2040 se estima que 32,50 Ha nuevas entren a ser no aptas.

APTITUD	Ganancia (Ha)		Permanencia (Ha)		Pérdida (Ha)	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%
APTA	10.443,70	15,82%	48.585,25	73,59%	17.439,24	26,41%
MODERADA	30.714,55	2,40%	1.268.298,63	99,18%	10.443,70	0,82%
NO APTA	32,50	0,0031%	1.019.340,33	98,71%	13.307,81	1,29%

Tabla No. 3 Ganancia, permanencia y pérdida de áreas de aptitud para el cultivo de café

- **Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de Caña panelera**

Para el análisis del cambio en las superficies se parte de los requerimientos edafoclimáticos para el desarrollo del cultivo de la caña panelera (tabla 13), la producción de este cultivo en el departamento del Tolima está destinada principalmente a la agricultura comercial (EVA Tolima,2012).

Función o característica	Unidad	CLASIFICACIÓN POR FACTORES		
		APTA	MODERADA	NO APTA
Temperatura	°C	24-37	15-41	
Precipitación	mm	1500-2000	1000-5000	
Drenaje natural	Clase	Bien drenado, moderadamente bien drenado	Imperfecto	Muy pobre, pobre, excesivo
Profundidad efectiva	cm	> 100	25 -99	< 24
Fertilidad del suelo		Moderada, moderadamente alta, alta	Baja, muy baja	
Pendiente	%	<24	25 a 75	>76

Tabla No 4 Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de caña panelera  
Fuente: UPRA, 2013; CIAT, 2014.

Como resultado de esta modelación se obtiene, la figura Numero 9, que muestra los cambios en la aptitud del suelo a partir de la aplicación de la modelación, utilizando los criterios y los requerimientos edafoclimaticos del cultivo de caña panelera para los escenarios 1976-2005 y 2011-2040.

MODELACIÓN DE CAMBIOS EN APTITUD EDAFOCLIMÁTICA DEL CULTIVO DE CAÑA PANELERA PARA LOS ESCENARIOS 1976-2005 Y 2011-2040

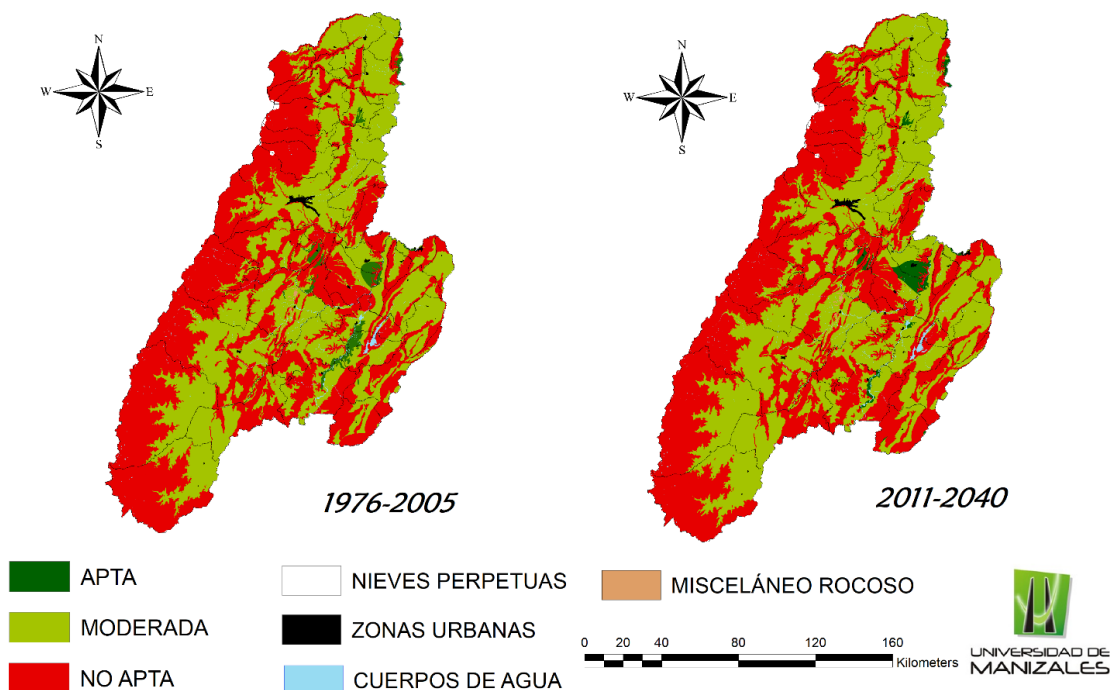


Figura No. 9 Modelación de cambios en aptitud edafoclimática del cultivo de caña panelera

De acuerdo a la tabla 14 podemos establecer que es probable que a 2040, 3233,4 Ha correspondientes al 1,3% dejen de ser aptas, 63016,9 Ha entraran a ser moderadas y 59783,5 Ha van dejar de ser no aptas como consecuencia del cambio climático.

APTITUD	REFERENCIA (Ha)	PARTICIPACIÓN	2011-2040 (Ha)	PARTICIPACIÓN	DIFERENCIA
<b>APTA</b>	34.112,2	1,4%	30.878,8	1,3%	-3.233,4
<b>MODERADA</b>	1.107.795,7	45,9%	1.170.812,6	48,5%	63.016,9
<b>NO APTA</b>	1.235.507,1	51,2%	1.175.723,5	48,7%	-59.783,5
<b>Cuerpos de agua</b>	22.655,1	0,9%	22.655,1	0,9%	0,0
<b>Misceláneo Rocoso</b>	1.557,8	0,1%	1.557,8	0,1%	0,0
<b>Nieves Perpetuas</b>	2.796,7	0,1%	2.796,7	0,1%	0,0
<b>Zonas urbanas</b>	9.498,6	0,4%	9.498,6	0,4%	0,0
<b>Total</b>	2.413.923,3	100,0%	2.413.923,3	100,0%	0,0

Tabla No. 5 Porcentaje y áreas de cambios en la aptitud para el cultivo de caña panelera

En la actualidad para el cultivo de caña panelera el departamento del Tolima cuenta con 34.112,2 Ha aptas de estas bajo escenarios de cambio climático planteados por el IDEAM y de acuerdo con los resultados de la tabla 15 es posible que el 57,5% de estas se mantendrían aptas, un 42,5% correspondiente 14497,4 Ha dejarían de ser aptas y para 2040 se estima que 11264,1 Ha nuevas entren a ser aptas.

El departamento cuenta con 1.107.795,7 Ha catalogadas como moderadas de las cuales el 99,2 correspondiente a 1.096.446,2 Ha se mantendrían moderadas, un 1% dejarían de ser moderadas, equivalente a 11.349,5 Ha y para el 2040 se estima que 74366,4 Ha nuevas entren a ser moderadas para el cultivo de caña panelera.

En cuanto a las tierras consideradas no aptas el departamento en la actualidad cuenta con 1.235.507,1 Ha de las cuales el 95,2% se mantendrían no aptas, un 4,8% correspondiente a 59.869,0 Ha dejaran de ser no aptas y para el 2040 se estima que 85,5 Ha nuevas entren a ser no aptas.

APTITUD	Ganancia (Ha)		Permanencia (Ha)		Pérdida (Ha)	
APTA	11.264,1	33,0%	19.614,7	57,5%	14.497,4	42,5%
MODERADA	74.366,4	6,7%	1.096.446,2	99,0%	11.349,5	1,0%
NO APTA	85,5	0,01%	1.175.638,1	95,2%	59.869,0	4,8%

*Tabla 6 Ganancia, permanencia y pérdida de áreas de aptitud para el cultivo de caña panelera*

- **Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de maíz tecnificado**

Para el análisis del cambio en las superficies se parte de los requerimientos edafoclimáticos para el desarrollo del cultivo de maíz tecnificado tabla 16, la producción de este cultivo en el departamento del Tolima está destinada principalmente para la agricultura comercial, subsistencia y autoconsumo. (EVA Tolima,2012).

Función o característica	Unidad	CLASIFICACIÓN POR FACTORES		
		APTA	MODERADA	NO APTA
Temperatura	°C	23 – 28	8--40	
Precipitación	mm	800-1200	600-1700	
Drenaje natural	Clase	Bien drenado, moderadamente bien drenado	Excesivo, imperfecto	Muy pobre, pobre.
Profundidad efectiva	cm	>50	25-49	<24
Fertilidad del suelo		Moderada, moderadamente alta, alta	Baja, muy baja	
Pendiente Mecanizado	%	0-7	7 a 12	>12

Tabla No 76 Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de Maíz Tecnificado  
Fuente: UPRA, 2013; CIAT, 2014.

Como resultado de esta modelación se obtiene, la figura Numero 10, que muestra los cambios en la aptitud del suelo a partir de la aplicación de la modelación, utilizando los criterios y los requerimientos edafoclimaticos del cultivo de Maíz Tecnificado para los escenarios 1976-2005 y 2011-2040.

*MODELACIÓN DE CAMBIOS EN APTITUD EDAFOCLIMÁTICA DEL CULTIVO DE MAÍZ TECNIFICADO PARA LOS ESCENARIOS 1976-2005 Y 2011-2040*

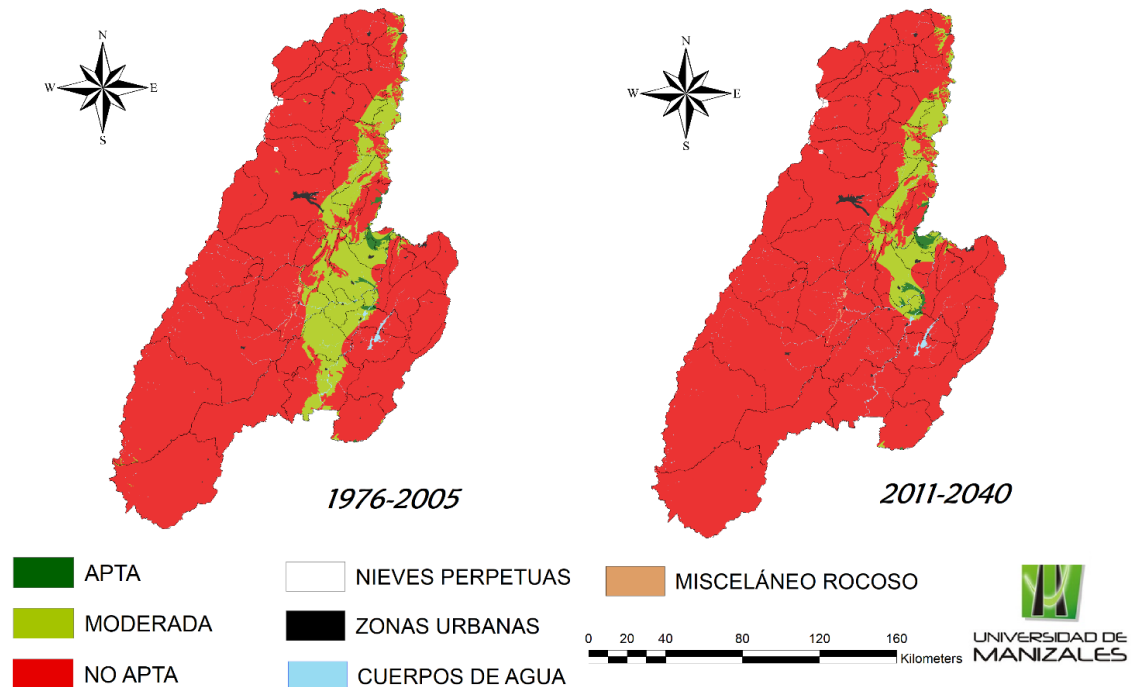


Figura No. 10 Modelación de cambios en aptitud edafoclimatica del cultivo de Maíz Tecnificado



De acuerdo a la tabla 17 podemos establecer que es probable que a 2040, 1381,7 Ha correspondientes al 0,6% entren a ser aptas, 155627 Ha van dejar de ser moderadas y 154245,3 Ha van entrar a ser no aptas como consecuencia del cambio climático.

APTITUD	REFERENCIA (Ha)	PARTICIPACIÓN	2011-2040 (Ha)	PARTICIPACIÓN	DIFERENCIA
<b>APTA</b>	12.040,1	0,5%	13.421,8	0,6%	1.381,7
<b>MODERADA</b>	313.524,4	13,0%	157.897,5	6,5%	-155.627,0
<b>NO APTA</b>	2.051.850,3	85,0%	2.206.095,6	91,4%	154.245,3
<b>Cuerpos de agua</b>	22.655,3	0,9%	22.655,3	0,9%	0,0
<b>Misceláneo Rocoso</b>	1.557,8	0,1%	1.557,8	0,1%	0,0
<b>Nieves Perpetuas</b>	2.796,7	0,1%	2.796,7	0,1%	0,0
<b>Zonas urbanas</b>	9.498,6	0,4%	9.498,6	0,4%	0,0
<b>Total</b>	2.413.923,3	100,0%	2.413.923,3	100,0%	0,0

*Tabla 8 Porcentaje y áreas de cambios en la Aptitud para el cultivo de maíz tecnificado*

En la actualidad para el cultivo de maíz tecnificado el departamento del Tolima cuenta con 12040,1 Ha aptas de estas bajo escenarios de cambio climático planteados por el IDEAM, existe la posibilidad de acuerdo a los resultados de la tabla 18 que el 58,1% se mantengan aptas, un 41,9% correspondiente 5048,5 Ha dejarían de ser aptas y para 2040 se estima que 6430,2 Ha nuevas entren a ser aptas.

El departamento cuenta con 313524,4 Ha catalogadas como moderadas de las cuales es probable que el 48,4% correspondiente a 151.762,3 Ha se mantendrían moderadas, un 51,6% dejarían de ser moderadas, equivalente a 161762,1 Ha y para el 2040 se estima que 6135,1 ha nuevas entren a ser moderadas para el cultivo del maíz tecnificado.

En cuanto a las tierras consideradas no aptas el departamento en la actualidad cuenta con 2.051.850,3 Ha de las cuales el 99,9% se mantendrían no aptas, un 0,1% correspondiente a 1742,9 Ha dejarían de ser no aptas y para el 2040 se estima que 155988,2 Ha nuevas entren a ser no aptas.

APTITUD	Ganancia (Ha)		Permanencia (Ha)		Pérdida (Ha)	
	Área	%	Área	%	Área	%
APTA	6.430,2	53,4%	6.991,6	58,1%	5.048,5	41,9%
MODERADA	6.135,1	2,0%	151.762,3	48,4%	161.762,1	51,6%
NO APTA	155.988,2	7,6%	2.050.107,3	99,9%	1.742,9	0,1%

Tabla 9 Ganancia, permanencia y pérdida de áreas de aptitud para el cultivo de maíz tecnificado

- **Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de plátano.**

Para el análisis del cambio en las superficies se parte de los requerimientos edafoclimáticos para el desarrollo del cultivo de plátano tabla 19, la producción de este cultivo en el departamento del Tolima está destinada principalmente para agricultura comercial, como agricultura de subsistencia y autoconsumo. (EVATolima, 2012).

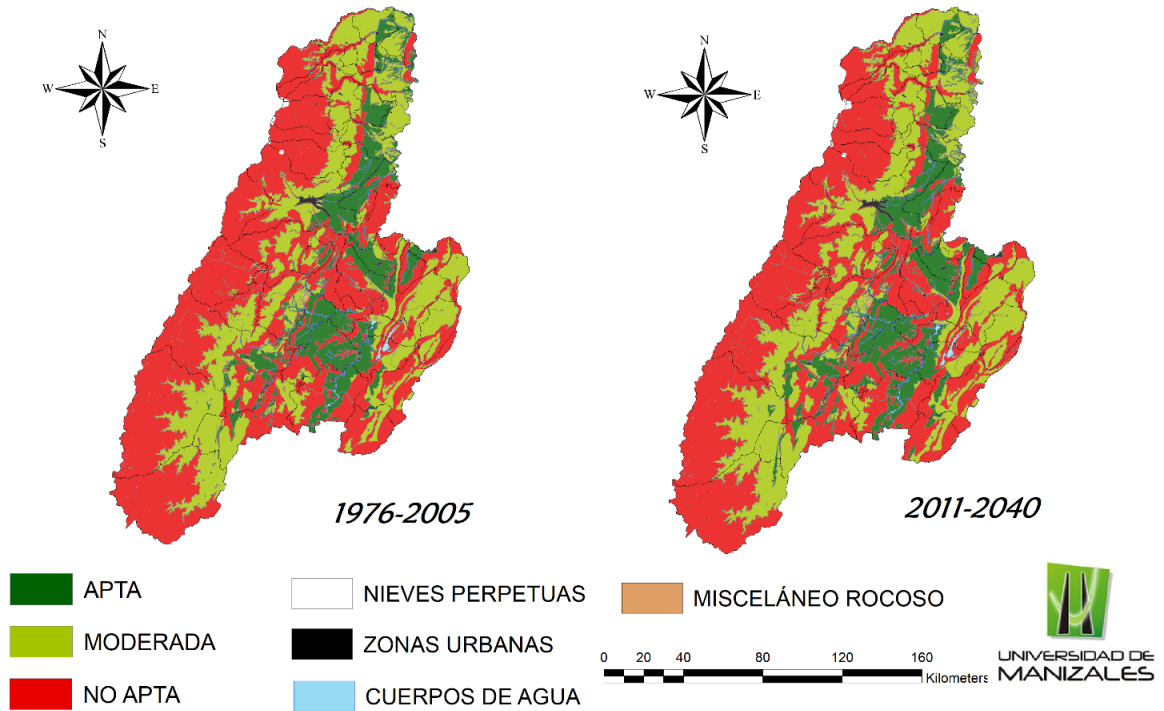
Función o característica	Unidad	CLASIFICACIÓN POR FACTORES		
		ÓPTIMO	MODERADA	NO APTA
Temperatura	°C	23 – 28	16 - 38	
Precipitación	mm	1300-3000	1000-5000	
Drenaje natural	Clase	Bien drenado, moderadamente bien drenado	Imperfecto	Muy pobre, pobre, excesivo
Profundidad efectiva	cm	>60	30-59	<29
Fertilidad del suelo		Moderada, moderadamente alta, alta	Baja, muy baja	
Pendiente	%	0 - 50	51-75	>76

Tabla 10 Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de plátano

Fuente: UPRA, 2013; CIAT, 2014.

Como resultado de esta modelación se obtiene, la número 11, que muestra los cambios en la aptitud del suelo a partir de la aplicación de la modelación, utilizando los criterios y los requerimientos edafoclimáticos del cultivo de Plátano para los escenarios 1976-2005 y 2011-2040

*CAMBIOS EN APTITUD EDAFOCLIMÁTICA DEL CULTIVO DE PLÁTANO PARA LOS ESCENARIOS  
1976-2005 Y 2011-2040*



*Figura No. 11 Modelación de cambios en aptitud edafoclimática del cultivo de Plátano*

De acuerdo a la tabla 20 podemos establecer que es posible que a 2040, 21576,9 Ha correspondientes al 0,89% entren a ser aptas, 31818 Ha entrarían a ser moderadas y 53394,8 Ha van a dejar de ser no aptas como consecuencia del cambio climático.

APTITUD	REFERENCIA (Ha)	PARTICIPACIÓN	2011-2040 (Ha)	PARTICIPACIÓN	DIFERENCIA
<b>APTA</b>	341.963,1	14,2%	363.540,0	15,1%	21.576,9
<b>MODERADA</b>	726.077,3	30,1%	757.895,3	31,4%	31.818,0
<b>NO APTA</b>	1.309.374,4	54,2%	1.255.979,6	52,0%	-53.394,8
<b>Cuerpos de agua</b>	22.655,2	0,9%	22.655,2	0,9%	0,0
<b>Misceláneo Rocoso</b>	1.557,8	0,1%	1.557,8	0,1%	0,0
<b>Nieves Perpetuas</b>	2.796,7	0,1%	2.796,7	0,1%	0,0
<b>Zonas urbanas</b>	9.498,6	0,4%	9.498,6	0,4%	0,0
<b>Total</b>	2.413.923,2	100,0%	2.413.923,2	100,0%	0,0

*Tabla 11 Porcentaje y áreas de cambios en la Aptitud para el cultivo plátano*

En la actualidad para el cultivo de plátano el departamento del Tolima cuenta con 341963,1 Ha aptas de estas bajo escenarios de cambio climático planteados por el IDEAM, de acuerdo a los resultados de la tabla 21 es posible que el 98,7% de estas se mantengan aptas, un 1,3% correspondiente 4466,5 ha dejen de ser aptas y para 2040 se estima que 26043,4 Ha nuevas entren a ser aptas para el cultivo de plátano.

El departamento cuenta con 726.077,3 Ha catalogadas como moderadas de las cuales el 96,4% correspondiente a 699.913,3 Ha se mantendrían moderadas, un 3,6% dejarían de ser moderadas, equivalente a 26164,0 Ha y para el 2040 se estima que 57982,0 Ha nuevas entren a ser moderadas para el cultivo del Plátano.

En cuanto a las tierras consideradas no aptas el departamento en la actualidad cuenta con 1.309.374,4 ha de las cuales el 95,9% se mantendrían no aptas, un 4,1% correspondiente a 53.547,9 ha dejarían de ser no aptas y para el 2040 se estima que 153,1 ha nuevas entren a ser no aptas.

APTITUD	Ganancia (Ha)		Permanencia (Ha)		Pérdida (Ha)	
APTA	26.043,4	7,6%	337.496,5	98,7%	4.466,5	1,3%
MODERADA	57.982,0	8,0%	699.913,3	96,4%	26.164,0	3,6%
NO APTA	153,1	0,01%	1.255.826,5	95,9%	53.547,9	4,1%

*Tabla 12 Ganancia, permanencia y pérdida de áreas de aptitud para el cultivo de Plátano*

- **Cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas en el cultivo de frijol**

Para el análisis del cambio en las superficies se parte de los requerimientos edafoclimáticos para el desarrollo del cultivo de plátano tabla 21, el cual en el departamento del Tolima su producción se destina para la agricultura de subsistencia, autoconsumo y en menor proporción agricultura comercial (EVA Tolima, 2012).

Función o característica	Unidad	CLASIFICACIÓN POR FACTORES		
		APTA	MODERADA	NO APTA
Temperatura	°C	9,3-19,9	1,5-22,8	
Precipitación	mm	400-1360	130-2050	
Drenaje natural	Clase	Bien drenado, moderadamente bien drenado, imperfecto	Excesivo	Muy pobre, pobre
Profundidad efectiva	cm	>30	20-29	<19
Fertilidad del suelo		Moderada, moderadamente alta, alta	Baja, muy baja	
Pendiente	%	0 - 50	51-75	>76

Tabla 13 Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de frijol  
Fuente: UPRA, 2013; CIAT, 2014.

Como resultado de esta modelación se obtiene, la figura Numero 12, que muestra los cambios en la aptitud del suelo a partir de la aplicación de la modelación, utilizando los criterios y los requerimientos edafoclimaticos del cultivo de Frijol para los escenarios 1976-2005 y 2011-2040

MODELACIÓN DE CAMBIOS EN APTITUD EDAFOCLIMÁTICA DEL CULTIVO DE FRIJOL PARA LOS ESCENARIOS 1976-2005 Y 2011-2040

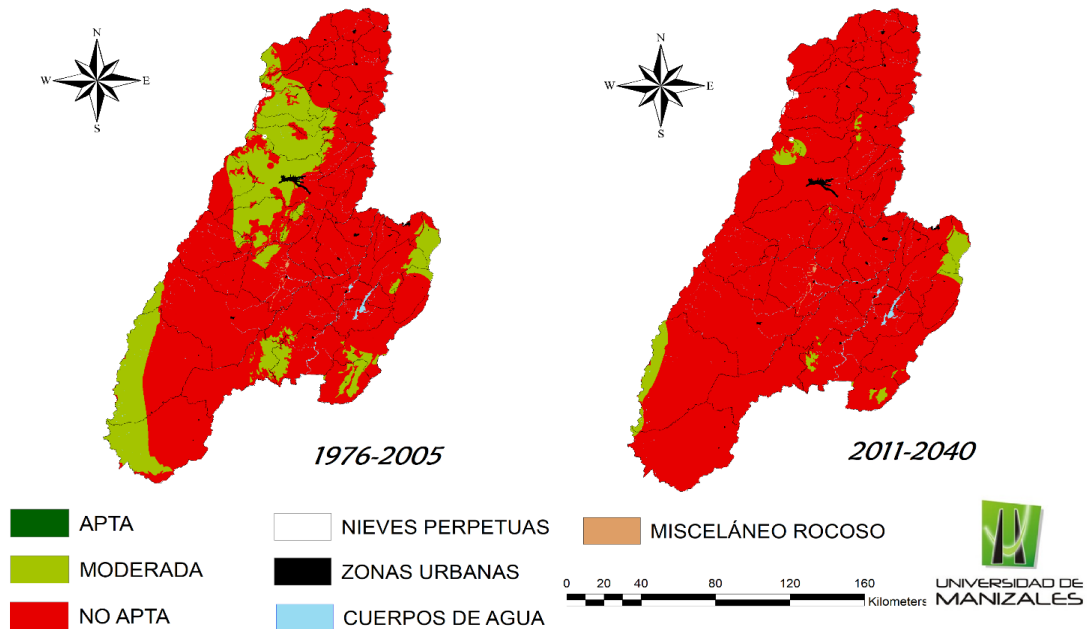


Figura No. 12 Modelación de cambios en aptitud edafoclimatica del cultivo de Frijol

De acuerdo con la tabla 23 se puede establecer que bajo los parámetros planteados anteriormente no existen condiciones y zonas de aptitud aptas en el departamento del Tolima para este cultivo, por otro lado se observa que 461.864,1 ha correspondientes al 19,13% van a dejarían de ser moderadas y un total equivalente del 19,13% entrarían a ser no aptas en el departamento como consecuencia del cambio climático.

APTITUD	REFERENCIA (Ha)	PARTICIPACIÓN	2011-2040 (Ha)	PARTICIPACIÓN	DIFERENCIA
APTA	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0
MODERADA	543.850,5	22,5%	81.986,4	3,4%	-461.864,1
NO APTA	1.833.564,3	76,0%	2.295.428,4	95,1%	461.864,1
Cuerpos de agua	22.655,3	0,9%	22.655,3	0,9%	0,0
Misceláneo Rocosó	1.557,8	0,1%	1.557,8	0,1%	0,0
Nieves Perpetuas	2.796,7	0,1%	2.796,7	0,1%	0,0
Zonas urbanas	9.498,6	0,4%	9.498,6	0,4%	0,0
<b>Total</b>	<b>2.413.923,2</b>	<b>100,0%</b>	<b>2.413.923,2</b>	<b>100,0%</b>	<b>0,0</b>

*Tabla 14 Porcentaje y áreas de cambios en la Aptitud para el cultivo frijol*

En la actualidad para el cultivo de frijol en el departamento del Tolima cuenta con 543.850,5 Ha catalogadas como moderadas de estas bajo escenarios de cambio climático planteados por el IDEAM, de acuerdo a los resultados de la tabla 24 es posible que el 15,1% de estas se mantengan moderadas, un 84,9% equivalente a 461.864,9 dejen de ser moderadas, y para el 2040 se estima que 0,8 Ha nuevas entren a ser moderadas para el cultivo del frijol.

En cuanto a las tierras consideradas no aptas el departamento en la actualidad cuenta con 1.833.564,3 Ha de las cuales el 99,99% se mantendrían no aptas, un 0,00005% correspondiente a 0,8Ha dejarían de ser no aptas y para el 2040 se estima que 461.864,9 Ha nuevas entren a ser no aptas.

APTITUD	Ganancia (Ha)		Permanencia (Ha)		Pérdida (Ha)	
APTA	0		0		0	
MODERADA	0,8	0,0002%	81.985,6	15,1%	461.864,9	84,9%
NO APTA	461.864,9	25,19%	1.833.563,5	100,0%	0,8	0,0%

*Tabla 15 Ganancia, permanencia y pérdida de áreas de aptitud para el cultivo de frijol*

## 7. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de cada cultivo se puede concluir que bajo escenarios de cambio climático en el escenario 2011-2040:>

- El arroz probablemente no tenga cambios considerables en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas dado que las matrices de pérdida y ganancia permanecen estáticas.
- En el caso del café, este cultivo no tendría cambios considerables en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas dado que los porcentajes de cambios de aptitud edafoclimática no son significativos.
- Para el cultivo de caña panelera, este no tendría cambios considerables en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas dado que los porcentajes de cambios de aptitud edafoclimática no son significativos. Por otro lado aunque estos valores no sean significativos, el cambio climático según los resultados podría ser beneficioso para este cultivo ya que si bien se pierden 3.233,4 de áreas óptimas, las áreas moderadas aumentarían en un 2,61% respecto al periodo de referencia 1976-2005.
- En el caso de Maíz tecnificado se encontró que este cultivo podría tener cambios importantes que aunque no son considerables porcentualmente en el cambio en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas, tendrían un efecto negativo dado que probablemente existirá un ingreso de 155.626,97 Ha a convertirse en zonas no aptas, estas representadas en zonas que bajo las condiciones climáticas actuales se encuentran moderadas, siendo estas zonas en las que actualmente se encuentran concentradas las actividades agropecuarias de este cultivo en el departamento del Tolima.
- Para el caso del cultivo de Plátano se encontró que es posible que bajo escenarios de cambio climático este cultivo no tenga cambios considerables en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas dado que los valores de cambios de aptitud agroclimática no son significativos. Por otro lado aunque estos valores no sean significativos, el cambio climático según los resultados podría tener consecuencias positivas para este cultivo ya que podría ganar 21.576,9 Ha de áreas óptimas, las áreas moderadas aumentarían en un 2,21% correspondientes a 31.818 Ha respecto al periodo de referencia 1976-2005.

- Para el cultivo de Frijol bajo escenarios de cambio climático se concluye que podría tener cambios importantes considerables porcentualmente en la superficie de las zonas óptimas agroclimáticas, este cultivo tendría un efecto negativo dado que probablemente exista un ingreso de 155.626,97 Ha a de zonas no aptas representadas en zonas que bajo las condiciones climáticas actuales se encuentran moderadas, son estas las zonas donde actualmente se encuentran concentradas las actividades agropecuarias de este cultivo en el departamento del Tolima.

En la comparación de los escenarios fue posible evidenciar que el arroz y el café no tendrán cambios considerables en sus áreas, esto probablemente debido a que el aumento o disminución de la temperatura y precipitación no son lo suficientemente extremos para que se vea en riesgo, el nivel de tolerancia de estos cultivos acepta las condiciones planteadas.

En los casos de plátano y caña panelera los impactos probablemente sean positivos, ganaran nuevas áreas aptas y moderadas de producción, esto debido a que las nuevas condiciones edafoclimáticas del departamento harán que zonas en las que hoy no era posible la producción de estos cultivos adopten las condiciones perfectas para el desarrollo de este, el rango para producción de la caña en temperatura de la caña es de 24° a 37° y en precipitación de 1500mm a 2000mm y para el plátano la Temperatura es de 23° a 28° y la precipitación 1300 a 3000, es decir que el aumento esperado de temperatura y precipitaciones esta dentro del rango de producción y zonas que estén actualmente por debajo de ese nivel en un futuro debido a los pronósticos de aumento de estas variables harán que sean zonas aptas para estos cultivos.

Para el caso del frijol y el maíz el panorama es más negativo habrá una reducción considerable de las zonas aptas y moderadas de producción, estos cultivos se dan en zonas muy específicas y bajo condiciones muy puntuales; El aumento de temperatura y precipitación sumado con las variables edáficas del departamento hará que este fuera de los rangos de condiciones de producción para el frijol es necesaria una temperatura de entre 9.3° y 19.9° y una precipitación de entre 400mm – 1360mm, es probable encontrar zonas con ese rango de temperatura, pero el rango de precipitación es muy bajo y se espera que este aumente en muchas zonas del Departamento y aunque puede disminuir en otras pero en estas zonas la temperatura se elevara mas, para el maíz es necesaria un temperatura de 23° a 28° y una precipitación de 800mm a 1200mm, este rango de temperatura probablemente se dé en varias zonas del departamento pero la precipitación estará por encima de ese promedio.

De acuerdo con lo anterior es importante evaluar y hacer un seguimiento de los cultivos que tendrán reducción en sus áreas de producción, en este caso el frijol y el maíz, el arroz y el café probablemente conserven o encuentren zonas iguales con probabilidad y para el plátano y caña, habrán nuevas oportunidades.



Se evidencia entonces que el cambio climático puede tener consecuencia positivas o negativas en las áreas de producción de estos cultivos dependiendo de las condiciones de la zona.

A modo general se puede decir que estos resultados podrían replicarse en otras zonas del país y de esta manera identificar si bajo la misma ventana temporal y los mismos aspectos edafoclimáticos son similares o si se presenta el caso contrario y se encontrarían diferencias importantes en el comportamiento de estos cultivos.

A partir de los resultados también puede evaluarse el impacto que estos cambios en las áreas aptas, moderadas y no aptas en cultivos tan básicos para la canasta familiar tendrán sobre la seguridad alimentaria del país y sobre la calidad de vida de los productores y agricultores que dependen de la producción de estos cultivos para subsistir.

Se considera necesario realizar este tipo de estudios en escalas más pequeñas y enfocados en cultivos puntuales y con datos más precisos para reducir cualquier tipo de error y tener la certeza de que este tipo de estudios si sea una herramienta efectiva en la toma de decisiones..

## 8. RECOMENDACIONES

Dado que de los 6 cultivos solo dos tendrán un impacto positivo se torna necesario hacer un seguimiento de los que permanecen estables, ya que un factor externo o una variable no incluida podrían afectarlo de manera negativa y a los cultivos que desde ya alertan un impacto negativo porque podríamos enfrentarnos a la desaparición al menos en esta zona del país de los mismos, lo que implicaría el riesgo de la seguridad alimentaria y aumento en indicadores de pobreza ya que muchas familias dependen económicamente del cultivo de los mismos.

Se deben definir instrumentos de planificación agropecuaria que incluyan la variable del cambio climático de manera esencial, esto para orientar a pequeños y grandes productores, personas en general y a las instituciones frente a las estrategias de mitigación y adaptación que se establezcan frente a este fenómeno.

Las herramientas de ordenación del territorio POTS, POMCAS etc, deben definir con claridad el uso de las áreas, sobre todo las que hoy se consideran prioritarias o de conservación, ya que al no tener límites definidos es probable que en el afán de producir, se pongan en riesgo estos ecosistemas, esto porque los productores como medida propia de adaptación buscaran llegar a esas zonas que tengan condiciones aptas para la generación de sus cultivos y pondrán en riesgo los ecosistemas estratégicos que tienen gran porcentaje de ocupación en el departamento.

Es necesario brindar capacitaciones, asesorar e informar a los campesinos y productores sobre buenas prácticas agropecuarias, que permitan enfrentar los fenómenos climáticos y que a su vez contribuyan con la conservación de recursos.

Las instituciones deberían apoyar los proyectos o iniciativas que permitan o al menos establezcan posibles panoramas de los impactos del cambio climático, esto con el fin de adelantar estrategias de mitigación o posible adaptación y el impacto sea menor.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agronet. (Mayo de 2018). Estadísticas de área, productividad, y valor de la producción. Recuperado el 2018, de <http://www.agronet.gov.co/>
- Altieri, M. (2009). La agroecología frente a la crisis alimentaria global. Letras verdes (4), 3-4.
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y agricultores tradicionales y sus repuestas adaptativas
- Armenta, J., & Dorado, J. (2011). Escenarios de cambio climático para precipitación y temperaturas en Colombia.
- BANCO DE LA REPUBLICA. (2013). COMPOSICIÓN DE LA ECONOMÍA DE LA REGIÓN CENTRO DE COLOMBIA. ENSAYOS SOBRE ECONOMIA REGIONAL, 53.
- BID-CEPAL-DNP. (2014). *Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia -Síntesis*. Washington D.C.
- CIAT. (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático de la agricultura y del recurso hídrico en los Andes de Colombia, Ecuador y Perú*. Palmira: CIAT.
- Convenio Interinstitucional MADR, MADS, MVDT, INCODER, CORPOICA, IDEAM, UAESPNN, INVEMAR, SINCHI, INGEOMINAS, IGAC. (2013). *Conflictos de uso del territorio Colombiano*. Bogotá D.C.
- Cortes, Yolanda. (2016). *Identificación de los posibles impactos del cambio climático sobre las áreas óptimas de los principales productos de la canasta básica alimentaria en el departamento de Cundinamarca*. (Trabajo de grado, especialización). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Costa, C. (2007). La adaptación al cambio climático en Colombia. Revista de ingeniería, (26), 74-80.
- DANE. (2014). *Produccion Pecuaria- 3er CNA*.
- DANE. (2014). *Uso del Suelo- 3er CNA*. Bogota: DANE.
- DNP. (2015). *Impactos\_economicos\_cambio\_climatico\_Colombia*. Bogota: DNP.
- Esquivel, A., Rivera, G., Velásquez, V., Muñoz, V., Macías, R., & Sánchez, C. (2014). Modelación del rendimiento de frijol bajo escenarios regionales de cambio climático en la región sureste del estado de Durango. AGROFAZ, 14(1)

- FAO. (s.f.). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO*. Recuperado el 29 de 10 de 2018, de <http://www.fao.org/climate-smart-agriculture/overview/es/>
- Galindo, L., Samaniego, J., Alatorre, J., Ferrer, J., & Reyes, O. (2014). Cambio climático, agricultura y pobreza en América Latina: una aproximación empírica. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Chile.
- Hidalgo, M. (2013). La influencia del cambio climático en la seguridad alimentaria. Cuadernos de estrategia, (161), 67-89.
- IDEAM. (2010). 2da Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá, Colombia.
- IDEAM.(2016). *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100*.Tercera Comunicación Nacional de cambio climático. Santa Fe de Bogota: IDEAM
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA.(2017). *Análisis de vulnerabilidad y riesgo por cambio climático en Colombia*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Bogotá D.C., Colombia.
- IGAC. (2004). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Tolima 1997. *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Tolima 1997*. Ibagué, Tolima, Colombia: IGAC.
- MADR. (2012). *Evaluación agropecuaria del departamento del Tolima*.
- ONF-ANDINA, CORTOLIMA. (2015). *Plan Integral Territorial de Cambio Climático del Tolima-Fase I: Adaptación*. Ibagué.
- PNUD. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). (2010). El cambio climático en Colombia en el sistema de Naciones Unidas. Revisión de riesgos y oportunidades asociadas al cambio climático. Bogotá, Colombia.
- PICCT. Plan Integral de Cambio Climático Departamento del Tolima.(2015). *Elaborar proyectos que orienten la formulación de planes integrales de mitigación y adaptación al cambio climático, considerando las necesidades y condiciones propias de cada territorio según la priorización establecida por el MADS*. Ibagué
- Ramírez-Villegas, J. S.-R. (2012). *A way forward on adaptation to climate change in Colombian agriculture: Perspectives towards 2050*.
- Smith, K.R., A.Woodward, D. Campbell-Lendrum, D.D. Chadee, Y. Honda, Q. Liu, J.M. Olwoch, B. Revich, and R. Sauerborn, 2014: *Human health: impacts, adaptation, and co-benefits*. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*