



# **El cambio climático como factor transformador del territorio**

**Juan Carlos Alarcón Hincapié**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Humanas

Departamento de Geografía

Bogotá D.C. 2017

# **El cambio climático como factor transformador del territorio**

**Juan Carlos Alarcón Hincapié**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Doctor en Geografía**

**Director**

Ph, D., José Daniel Pabón Caicedo

**Línea de investigación:**

Dimensión Biogeofísica y Socioeconómica del Cambio Global

**Grupo de investigación:**

Tiempo, clima y sociedad

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Humanas

Departamento de Geografía

Bogotá D.C. 2017

**Dedicatoria**

A Julieta, mi amada hija, quien le dio sentido a mi vida

A Mónica, mi esposa, por su amor y empuje para terminar este proyecto

A Rafael, mi padre, por su gran ejemplo

A Gloria, mi madre, su recuerdo siempre está presente

## **Agradecimientos**

Al profesor José Daniel Pabón Caicedo, toda mi gratitud por sus enseñanzas, conocimiento y continuo seguimiento para culminar esta idea.

Al proyecto "Análisis de los procesos regionales que acentúan o suavizan la señal del calentamiento global y del cambio climático en Colombia" ejecutado por el grupo de investigación "Tiempo, clima y sociedad" de la Universidad Nacional de Colombia y financiado por Colciencias y la Universidad Nacional de Colombia mediante el convenio 154-2013.

A la Universidad Nacional de Colombia.

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

## RESUMEN

Partiendo del planteamiento que sostiene que el clima es un factor que incide en diversos aspectos del territorio tales como la provisión de medios esenciales de vida (agua, alimento, energía), la salud humana, la actividad socioeconómica y los desastres, se propone un marco conceptual y metodológico que es fundamental para abordar los estudios de la relación clima-territorio que deben ser la base o referencia para identificar el impacto potencial de posibles condiciones climáticas futuras (escenarios de cambio climático).

Inicialmente, para efectuar tal abordaje, se ha representando el clima con la temperatura media anual y la precipitación anual en el período de referencia 1971-2000. Luego, se establecieron modelos espaciales de la relación entre clima y vegetación, clima y recursos hídricos, clima y condiciones de aridez, clima y distribución de malaria, clima y potencial agrícola, clima y ocurrencia de deslizamientos, así como clima e inundaciones. Estos modelos se validaron mediante comparación de las distribuciones espaciales modeladas y las observadas, obtenidas de información secundaria basada en observaciones, que fueron útiles para tratar los aspectos mencionados. Los modelos establecidos se sintetizan en expresiones que pueden ser replicadas para desarrollar otros estudios similares en diferente resolución. En el presente trabajo, con los modelos implementados se produjo información con una resolución espacial de 900 metros aplicable a todo el territorio colombiano.

Una vez validados los modelos, se procedió a modificar el clima presente en ellos utilizando los escenarios A2 y B2 del Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, aplicable para los períodos 2011-2040 y 2071-2100. Mediante comparación de la situación generada con el clima de los escenarios planteados, y la situación estimada para el clima de referencia, se obtuvieron los cambios o transformaciones que en diversos aspectos del territorio tal modificación climática podría traer. Este procedimiento permitió establecer que, en efecto, el cambio climático previsto implicará transformaciones importantes sobre el territorio colombiano, algunas de las cuales se expresan a través de los aspectos analizados de la siguiente manera: la desaparición de los páramos y áreas glaciares, la reducción de área de los ecosistemas alto andinos, el aumento de área cubierta por bosques secos tropicales, la disminución generalizada en los promedios de escorrentía y el aumento de las áreas semiáridas, la reducción del área de potencial agroclimático, el aumento del área de alta susceptibilidad de deslizamientos de tierra e inundaciones, y el aumento significativo del área con condiciones ecológicas óptimas para la aparición de la malaria.

Finalmente, además de demostrar el potencial que tiene el cambio climático para la transformación del territorio y generar conocimiento e información sobre los posibles efectos de este fenómeno a largo plazo en el territorio colombiano en el transcurso siglo XXI, se validó una propuesta para la realización de estudios de impacto del clima en el territorio que sirve de base para generar información útil para la planificación que incorpore medidas de adaptación a dicha modificación.

## ABSTRACT

Since the climate is a factor that affects several aspects of the territory, a conceptual and methodological framework to address studies of the climate-territory relationship is proposed. Among the territorial aspects related to climate, the provision of essential living resources (water, food, energy), human health, socioeconomic activity and disasters, are considered. This proposal may serve as a basis for further studying of climate change impacts and for producing needed information in territorial planning that target climate change adaptation.

Initially, representing the climate with annual mean temperature and annual precipitation for the reference period 1971-2000, spatial models were established for the following relationships: climate and vegetation, climate and water resources, climate and arid conditions, climate and malaria distribution, climate and potential for agriculture, climate and occurrence of landslides, climate and floods. These models were synthesized in expressions that can be replicated to develop other similar studies in different spatial resolution. Validation of models was made by comparing the modeled and observed (obtained from observations-based secondary information) spatial distributions of analyzed territorial aspects. In the present work, with the constructed models information was produced in spatial resolution of 900 meters for whole the Colombian territory.

After validation, the climate in models was modified using the scenarios A2 and B2 of the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change for the periods 2011-2040 and 2071-2100. By comparing the situations with future and actual climate, were detected transformations caused by climate change in aspects of Colombian territory, as following:

disappearance of moors and glacial areas, reduction of the area of high mountain ecosystem, increasing area covered by tropical dry forest, a generalized decrease in runoff averages and increase in semi-arid areas, reduction of area of agroclimatic potential, increase in area of high susceptibility to landslides and floods, and significant increase of the area with optimal ecological conditions for malaria.

As result of this thesis, a way for carrying out impact studies of climate on the territory was proposed based on a climate-territory model. Also, knowledge about the relationship climate-territory was synthesized in this model, that was validated for colombian territory. With this approach, it was confirmed the potential of climate change for transformation of the territory. Besides that, it was produced information on the possible effects of this long-term phenomenon in the Colombian territory during the 21st century, that may be useful for planning that incorporates adaptation measures to climate change.

## Tabla de contenido

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>14</b>
3.1	Cambio climático	14
3.1.1	Definición y posturas	14
3.1.2	Escenarios de cambio climático	16
3.1.3	Cambio climático actual	17
3.1.4	Cambio climático en Colombia	19
3.2	Comunicaciones Nacionales de Cambio Climático	20
3.3	Cambio climático y vegetación	21
3.4	Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria	22
3.5	Cambio climático y recursos hídricos	24
3.6	Cambio climático y desastres de índole hidroclimático	25
3.7	Cambio climático y enfermedades tropicales	27
3.8	El cambio climático como factor de reorganización del espacio	29
<b>4</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>CLIMA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL</b>	<b>35</b>
5.1	Los modelos de Planificación Territorial	36
<b>6</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>38</b>
6.1	La modelación de la distribución espacial actual de las formaciones vegetales	41
6.2	La modelación de la distribución espacial actual del índice potencial para agricultura	43
6.3	La modelación espacial actual régimen hídrico (índice de aridez) y de la oferta hídrica superficial (Escorrentía) para Colombia:	44
6.4.1	Balance hídrico	45
6.4.2	Índice de aridez	45
6.4	La modelación espacial actual de las áreas susceptibles a deslizamientos e inundaciones para Colombia	46
6.5	La modelación de la distribución espacial actual de las condiciones ambientales óptimas para la aparición de la malaria	47
<b>7</b>	<b>EL CLIMA Y SU ACCIÓN SOBRE EL TERRITORIO COLOMBIANO (LÍNEA BASE)</b>	<b>49</b>
7.1	Temperatura, precipitación y humedad relativa actual	50
7.2	Formaciones vegetales para Colombia	52
7.3	Clima y agricultura	55

<b>7.4 Clima y recurso hídrico</b>	<b>57</b>
7.5.1 Escorrentía	57
7.5.2 Índice de Aridez	58
<b>7.5 Localización espacial actual de las áreas susceptibles a deslizamientos e inundaciones para Colombia</b>	<b>60</b>
<b>7.6 Condiciones actuales ambientalmente aptas para malaria</b>	<b>64</b>
<b>8. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL TERRITORIO COLOMBIANO</b>	<b>67</b>
8.1 Temperatura, precipitación y humedad relativa futuras	67
8.2 Formaciones vegetales futuras	72
8.3 Mapas de Índice potencial climático futuro para agricultura	76
8.4 Recurso hídrico	78
8.5.1 Mapas de escorrentía futura	78
8.5.2 Mapas de Índice de aridez futuro	80
8.5 Áreas susceptibles a deslizamientos e inundaciones futuras	82
8.6. Condiciones ambientales futuras para malaria	86
<b>9 SÍNTESIS DEL POSIBLE EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA</b>	<b>89</b>
<b>10 CONCLUSIONES</b>	<b>96</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>101</b>



## Lista de figuras

<i>Figura 1: Síntesis de las vías de Influencia del clima en los sistemas humanos. ....</i>	<b>Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 2: Principales causas antropogénicas del cambio global. ....</i>	30
<i>Figura 3: El clima como factor determinante de las actividades humanas. ....</i>	33
<i>Figura 4: Esquema tradicional de zonificación ambiental usado para la planificación territorial en Colombia. ....</i>	38
<i>Figura 5: Esquema de la incidencia del clima en algunos de los aspectos del territorio que deberían considerarse en los modelos de ocupación territorial a ser usados como herramienta para la adaptación al cambio climático. ....</i>	39
<i>Figura 6: Mapa de precipitación media anual, período de referencia 1971-2000. ....</i>	50
<i>Figura 7: Mapa de temperatura media anual del aire, período de referencia 1971-2000. ....</i>	51
<i>Figura 8: Mapa de humedad relativa del aire, período de referencia 1971-2000. ....</i>	52
<i>Figura 9: Formaciones vegetales actuales modeladas, período de referencia 1971-2000. ....</i>	53
<i>Figura 10: Mapa de Coberturas vegetales obtenidas del Mapa de General de ecosistemas SINA (2007). Fuente: IGAC. ....</i>	54
<i>Figura 11. Mapa de suelos con vocación agrícola. Fuente: Mapa de Suelos IGAC. ....</i>	55
<i>Figura 12: Mapa de Índice potencial Climático para la agricultura, según índice de aridez, período de referencia 1971-2000. ....</i>	56
<i>Figura 13: Mapa de escorrentía promedio anual, período de referencia 1971-2000. ....</i>	58
<i>Figura 14: Mapa de índice de aridez, período de referencia 1971-2000. ....</i>	59
<i>Figura 15: Localización espacial actual de las áreas susceptibles a deslizamientos para Colombia, período de referencia 1971-2000. ....</i>	61
<i>Figura 16: Localización espacial actual de las áreas susceptibles a deslizamientos para Colombia período de referencia (izq) y localización espacial actual de las áreas susceptibles a inundaciones para Colombia (der). Período de referencia 1971-2000. ....</i>	62
<i>Figura 17: Localización espacial de eventos causantes de situaciones de desastres Fuente: Grupo Tiempo, clima y sociedad, Universidad Nacional (2016) ....</i>	63
<i>Figura 18: Mapa de condiciones ambientales actuales para la aparición de la malaria según lo modelado con el clima del período de referencia 1971-2000. ....</i>	65
<i>Figura 19: Mapa de la distribución actual de brotes de malaria según lo reportado por Olano et al. 2001. ....</i>	66
<i>Figura 20: Temperatura media anual del aire, bajo los escenarios A2 y B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100. ....</i>	69
<i>Figura 22: Temperatura media anual del aire, bajo los escenarios A2 y B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100. ....</i>	71
<i>Figura 23: Formaciones vegetales bajo los escenarios A2, períodos 2011-2040 y 2070-2100. ....</i>	72
<i>Figura 24: Formaciones vegetales bajo los escenarios B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100. ....</i>	73
<i>Tabla 3. Formaciones vegetales actuales y futuras bajos los escenarios del cambio climático A2 y B2. ....</i>	74
<i>Figura 25: Principales cambios en las Formaciones vegetales bajo los escenarios A2 y B2 para finales de siglo. ....</i>	75
<i>Figura 26: Distribución del índice potencial climático para la agricultura en suelos con vocación agrícola, aplicada a Colombia, bajo los escenarios A2 y B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100. ....</i>	77
<i>Figura 27: Distribución potencial de la escorrentía bajo los escenarios A2 períodos 2011-2040 y 2070-2100. ....</i>	78
<i>Figura 28: Distribución potencial de la escorrentía bajo los escenarios B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100. ....</i>	79

<i>Figura 29: Distribución potencial del índice de aridez en los escenarios A2 y períodos 2011-2040 y 2070-2100.</i> .....	81
<i>Figura 30: Distribución potencial del índice de aridez en los escenarios B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100.</i> .....	82
<i>Figura 31: Distribución espacial de áreas susceptibles a deslizamientos futuras bajo los escenarios A2, períodos 2011-2040 y 2070-2100.</i> .....	83
<i>Figura 32: Distribución espacial de áreas susceptibles a deslizamientos futuras bajo los escenarios B2, períodos 2011-2040 y 2070-2100.</i> .....	84
<i>Figura 33: Distribución espacial de áreas susceptibles a inundaciones futuras bajo los escenarios A2, períodos 2011-2040 y 2070-2100.</i> .....	85
<i>Figura 34: Distribución espacial de áreas susceptibles a inundaciones futuras bajo los escenarios A2, períodos 2011-2040 y 2070-2100</i> .....	86
<i>Figura 35: Distribución espacial de las condiciones ambientales futuras para la aparición de la malaria bajo los escenarios A2 períodos 2011-2040 y 2070-2100</i> .....	87
<i>Figura 36: Distribución espacial de las condiciones ambientales futuras para la aparición de la malaria bajo los escenarios B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100</i> .....	88

## Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Modelos de relación, zonificaciones y criterios de análisis de las potencialidades y limitaciones del territorio en aspectos relacionados con el clima</i>	39
<i>Tabla 2. Gradiente de temperatura por región climática</i>	42
<i>Tabla 3. Formaciones vegetales actuales y futuras bajos los escenarios A2 y B2</i>	74
<i>Tabla 5. Escorrentía promedio según escenario</i>	78
<i>Tabla 6. Porcentaje de ocupación de áreas de susceptibilidad a deslizamientos de tierra bajo escenarios de cambio climático</i>	82
<i>Tabla 7. Porcentaje de ocupación de áreas de susceptibilidad a inundaciones pluviales bajo escenarios de cambio climático</i>	85
<i>Tabla 8. Porcentaje de ocupación de áreas ambientalmente potenciales para la aparición de malaria</i>	88
<i>Tabla 4. Síntesis de la relación de diversos aspectos del país con el clima actual</i>	89
<i>Tabla 5. Resumen de los impactos del cambio climático en el territorio colombiano hacia mediados del siglo XXI considerando el escenario de un aumento de la temperatura media del aire de 2°C y cambios de la precipitación de poco cambio a déficit moderado</i>	93

## **El cambio climático como factor transformador del territorio**

### **1 INTRODUCCIÓN**

Dado que en la actualidad está ocurriendo un cambio climático (ver IPCC, 2013) que impactará las diferentes regiones del mundo (IPCC, 2014), y que modificará las distribuciones espaciales en los componentes fisicobiótico y socioeconómico, es inevitable que este fenómeno produzca conflictos en la relación sociedad naturaleza, así como afectará a cada uno de estos componentes. Por tanto, el cambio climático expresado en modificación de la temperatura media, la precipitación anual, la humedad relativa y la escorrentía, incidirán directamente los ecosistemas, la salud humana y la disponibilidad de agua para diferentes propósitos, y también modificará el patrón de los fenómenos meteorológicos extremos que con frecuencia generan desastres. A esta nueva situación estarán expuestos tanto diversos sectores de la población, como la infraestructura y los procesos socioeconómicos del territorio.

Lampis (2013) plantea que el cambio climático es un reto al que se debe responder, debido a que está teniendo un efecto sobre el objeto del desarrollo por el impacto que genera en las poblaciones a través de la afectación de procesos de generación de activos, de la seguridad de los medios de vida, así como la agudización del deterioro de los recursos naturales y la reducción en la provisión de servicios ecosistémicos para el bienestar humano.

Dada la magnitud de su impacto potencial, la modificación de los patrones climáticos plantea la necesidad de prepararse ante las nuevas condiciones mediante una adaptación paulatina. Una de las vías para lograr dicha adaptación es una planificación territorial que pondere apropiadamente las relaciones clima-sociedad como un criterio vital para la decisión sobre el uso y la ocupación del espacio de forma apropiada. Por tanto, la planeación del territorio que considere estrategias de adaptación al cambio climático basadas en el conocimiento e información sobre la relación real clima-territorio constituye una de las principales herramientas disponibles para afrontar este problema.

El presente trabajo plantea una propuesta para identificar el efecto del clima en el territorio, el cual consiste en considerar patrones espaciales de la relación del clima con diversos aspectos que controlan los procesos en el territorio. Después de validar la modelación espacial de esta relación, se aplican escenarios que muestran las consecuencias del cambio climático, con lo que se demuestra que éste efectivamente traerá importantes transformaciones en el territorio. Por tanto, además de generar conocimiento sobre las relaciones clima territorio, en la presente investigación se propone una herramienta para generar información acerca de los posibles cambios, la cual será de utilidad en la planificación que considere de manera total la necesidad de adaptación al cambio climático.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con expertos internacionales, para la segunda mitad del siglo XXI habrá un aumento en la temperatura media del aire que oscilará entre los 1,4°C y 5,8°C con respecto a los valores observados a finales del siglo XX, IPCC (2007). Este calentamiento podría causar un incremento en el nivel del mar que puede fluctuar entre los 14 cm a 80 cm, y, por tanto, puede llegar a afectar los patrones de distribución de la precipitación y otras variables climatológicas. Los sistemas naturales y los sistemas humanos son sensibles en grados diversos al clima, por lo que éstos se podrían ver afectados considerablemente por el cambio de este factor, y, dada la rapidez con que está ocurriendo, algunos de estos sistemas tendrían dificultades para adaptarse. Así, el cambio climático se convierte en una de las amenazas más serias que afrontarán los territorios, entendidos estos como la unidad del espacio geográfico en donde se concreta la interacción de diversos procesos físico-bióticos y socio-económicos orientados por el interés controlado por un poder. Por ello se debe hacer frente a las situaciones adversas que traería el cambio climático a los territorios para así explorar vías de adaptación a las nuevas condiciones a enfrentar.

Para fundamentar las estrategias y acciones de adaptación se requiere entender mejor el papel del clima en el territorio y considerar, en esa medida, el cambio climático como un factor transformador. Para tal fin es necesario disponer de un marco conceptual fundamentado para los estudios de la relación clima-territorio y de metodologías para visibilizar tal relación con el objeto de estimar los posibles cambios en diferentes aspectos del territorio, lo que sería un indicativo de tal transformación. Es necesario conocer cómo se relaciona la población y sus actividades con el clima actual de la región que habitan, y cómo es la relación clima-territorio, para identificar cuáles serían los impactos que una modificación de las condiciones climáticas podría hacer realidad. En síntesis, para lograr una planificación territorial que considere la adaptación al cambio climático, se requiere de información real y detallada de los posibles impactos de éste, por lo que es necesario disponer de un instrumento que permita generar tal información, y así contar con un modelo de la relación clima-territorio.

En el caso particular de Colombia, se han realizado diversas estimaciones sobre la expresión del cambio climático (IDEAM, 2001; IDEAM, 2010; Pabón, 2012). Según el conocimiento generado sobre el tema, las evidencias más claras del cambio climático tienen que ver con el aumento de la temperatura del aire, el cual va en orden de 0,1-0,2°C por decenio, lo que conlleva el derretimiento de los glaciares colombianos y el ascenso del nivel del mar. A su vez, también se perciben cambios en los promedios anuales de temperatura del aire. Hacia finales del siglo XXI, en relación con el clima de 1971-2000, habría un incremento de la temperatura de hasta

4°C y aumentos de precipitación en algunas regiones y disminución de la misma en otras. A medida que avanza el cambio climático y los impactos son cada vez más evidentes e irrefutables, el país debe adoptar una serie de decisiones para preparar la población a las nuevas condiciones y reducir los impactos negativos que estas puedan generar. Dado que una vía para implementar la adaptación al cambio climático es la planificación territorial, en la actualidad esta última está requiriendo un soporte sólido en el tema. El cambio climático es un factor dinamizador de transformaciones en el territorio, sin embargo, haciendo una revisión de las propuestas de planificación territorial en Colombia, el factor clima se subvalora o no se considera a profundidad. Por ello es necesario plantear formas de abordar el tema de las relaciones clima - sociedad y clima-territorio basadas en marcos conceptuales apropiados que fundamenten modelos generadores de información útil para el nuevo propósito de la planificación territorial en el país: la adaptación al cambio climático.

En este orden de ideas, la presente investigación parte de esta pregunta principal

¿Cómo incide el clima y el cambio climático en el territorio?

Este interrogante se resolvería completamente teniendo en cuenta la solución de los siguientes interrogantes parciales:

¿Cómo representar en un modelo la incidencia del clima en el territorio?

¿Cómo el cambio climático se manifestará sobre el territorio colombiano?

¿Cómo el cambio climático transformará diversos aspectos del territorio colombiano?

## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer y probar un modelo de relación del clima con los diversos aspectos del territorio que permita identificar las transformaciones que el cambio climático generaría sobre el territorio colombiano.

### **Específicos**

- Proponer un modelo que represente la relación clima-territorio.
- Analizar los escenarios de cambio climático para el territorio colombiano.
- Determinar las posibles transformaciones que ocurrirían en el territorio Colombiano con diferentes escenarios de cambio climático.

## **3 ANTECEDENTES**

### **3.1 Cambio climático**

### 3.1.1 Definición y posturas

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático – IPCC (2007) el cambio climático se define como una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se debe a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras. Por su parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – CMNUCC (1992) define el cambio climático como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

Con el fin de seguir esclareciendo el tema es necesario señalar la diferencia entre cambio climático y variabilidad climática. Esta última se refiere a las fluctuaciones alrededor de las condiciones atmosféricas predominantes, las que se visibilizan como ciclos en las secuencias de anomalías climáticas, que en términos estadísticos se identifican como las diferencias de las variables climatológicas de su respectivo promedio. El objeto de esta tesis, vale aclarar, se centra en el cambio climático, no en la variabilidad climática.

Sobre el cambio climático actual hay diversas interpretaciones y posiciones. Por un lado, el IPCC atribuye a las emisiones de gases efecto invernadero, específicamente de dióxido de carbono que son generadas por la actividad humana, esto juega un papel determinante en el cambio del clima, ya que la incidencia de la actividad humana en éste no puede salirse de una visión meramente antropocentrista. Por otro lado, Durkin (2007) plantea que el cambio climático siempre ha existido y que se debe a factores naturales, indica además que este fenómeno no tiene nada que ver con el aumento de las emisiones de dióxido de carbono, sino que se ha convertido en tema de un movimiento político. De igual manera, Campos (2008) indica que el poco aumento de la temperatura en los últimos años se debe a un debilitamiento en la energía solar que ingresa al planeta, en un mínimo del ciclo de Gleissberg, el cual ocurre previo a las glaciaciones evidenciando anomalías en el clima, de forma que, el calentamiento es perfectamente natural, cíclico y, sobre todo, inofensivo.

Los científicos escépticos del cambio climático se han propuesto invalidar la explicación del calentamiento global debido al CO<sub>2</sub>, argumentan que el cambio climático siempre ha existido y que es debido a factores naturales (no tiene nada que ver con las emisiones de CO<sub>2</sub>), y manifiestan que los impactos del calentamiento se exageran y que las predicciones de los modelos de medición de temperatura no son confiables y deben ser desechados (Cruz y Martínez, 2012). Estos científicos sostienen que durante tres milenios, en la Edad de piedra, hubo una época de calor prolongada conocida como el Holoceno máximo, y que, tiempo después, en el siglo XIV, hubo un período de calor prolongado se volvió a suscitar. Los climatólogos llaman a este período cálido medieval (Cruz y Martínez, 2012).

Según Fuentes (2000) en el interglaciar actual se han sucedido oscilaciones de calor y frío con tendencia a un moderado enfriamiento sucesivo, lo que hace pensar que nos encaminamos a una nueva fase glacial. Sin embargo, la intervención del hombre a partir de la era industrial, y más concretamente, en la segunda mitad del siglo XX, parece contrarrestar (o incluso superar) ese lento proceso de enfriamiento de largo plazo, por lo que estaremos abocados a un calentamiento progresivo, con unas variaciones importantes en el régimen de precipitaciones.

Aun cuando no se desconocen las posturas anteriores y se considera oportuno mencionarlas en cuanto contextualizan el trabajo, la investigación se desarrollará en el marco de las fuentes oficiales a nivel nacional y mundial que demuestran que el clima está y continuará cambiando, e independientemente de la causa, ya sea natural o antrópica, se deben generar estrategias de adaptación de las comunidades en sus territorios. Para ello se requiere el conocimiento no solo de los cambios sino también de los posibles impactos.

### **3.1.2 Escenarios de cambio climático**

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 diferentes tipos de 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 con el fin de ser utilizado explícitamente para identificar e investigar las posibles consecuencias de ese estado en diferentes sectores sociales.

A continuación se describen los escenarios propuestos por el IPCC (2007), como posibles realizaciones del clima en el futuro. Estos escenarios se constituyen en instrumentos apropiados para analizar de qué manera las condiciones climáticas futuras tendrán impacto en los territorios. Con la evaluación de los impactos posibles se elaboran diversas estrategias para analizar la adaptación.

Los escenarios establecidos por IPCC (2000) abarcan cuatro combinaciones (A1, A2, B1, B2) de cambios demográficos, de desarrollo socio-económico y de tendencias en el progreso tecnológico. Los escenarios considerados para la presente investigación fueron:

***Escenario A2:*** un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

***Escenario B2:*** un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental, la población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, y con un



cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.

Es oportuno mencionar que los anteriores escenarios climáticos tienen implícito un grado de incertidumbre en el desarrollo del escenario y su caracterización. Según el IDEAM (2010) las más importantes incertidumbres se asocian a las emisiones futuras de los gases de invernadero y aerosoles; es decir, cada escenario tiene diferente composición atmosférica e implica diferente forzamiento radiativo y la incertidumbre en la sensibilidad del clima global a consecuencia de las diferencias de los procesos físicos. De igual manera, a mayor tiempo de proyección, mayor es la incertidumbre, porque realizar proyecciones climáticas en varias decenas de años involucra más factores a tener en cuenta en las simulaciones, con el agravante de que no se pueden conocer todas las condiciones futuras.

En la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, IDEAM (2015), se utilizaron los escenarios del Quinto Informe de IPCC (2013), los cuales son diferentes a los de SRES de IPCC(2000) en cuanto al abordaje de las concentraciones futuras de gases de efecto invernadero, aunque es posible establecer equivalencias entre los dos tipos de escenarios. Los escenarios de IPCC (2013) se basan en la descripción de los Caminos Representativos de Concentración de Emisiones (RCP, por sus siglas en inglés); los modelos climáticos globales incorporaron los RCPs para generar escenarios de cambio climático para el siglo XXI. El IDEAM (2015) utilizó los resultados que varios modelos globales arrojaron sobre el posible clima del futuro bajo diversos escenarios y con el método de ensamble multimodelo, denominado Promedio de Fiabilidad Conjunta (Giorgi y Mearns, 2002; Tebaldi y Knutti, 2007), elaboraron escenarios de cambio climático que posteriormente promediaron para presentar el resultado de un “ensamble multiescenario”. En el presente trabajo los escenarios considerados fueron los publicados en la Segunda Comunicación Nacional (IDEAM, 2010).

### **3.1.3 Cambio climático actual**

La primera parte del Quinto Informe del IPCC (2013) concluye que la influencia humana en el sistema climático es clara y evidente en la mayoría de las regiones del planeta, que el calentamiento en el sistema climático es inequívoco y que, desde 1950 son muchas las evidencias de los cambios observados en todo el sistema climático que no tienen precedentes en los últimos decenios y milenios, siendo cada uno de los tres últimos decenios sucesivamente más cálidos en la superficie de la Tierra que cualquier otro decenio anterior, partiendo como referente el decenio de 1850.

El IPCC (2013) constata que la atmósfera y el océano se han calentado, el volumen de nieve y hielo ha disminuido, el nivel medio global del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado. Las proyecciones apuntan a que, para finales del siglo XXI, es probable que la temperatura global en superficie sea superior en 1,5 °C con respecto a la

del período entre 1850 y 1900 en todos los escenarios considerados, con excepción del que comprende los niveles más bajos de gases de efecto invernadero y aerosoles, por lo que es probable que sea superior en 2 °C en los dos escenarios que comprenden los niveles más elevados.

Actualmente ya se puede observar cómo el calentamiento global, que intensifica los eventos climáticos naturales, impacta en forma diferente según el nivel de desarrollo. Si bien los desastres climáticos están comenzando a afectar cada vez a más personas en el mundo entero, la inmensa mayoría de las víctimas de éstos viven en países en desarrollo. Así, durante el período 2000 a 2004, y sobre un promedio anual, se puede notar que una de cada 19 personas que viven en el mundo en desarrollo se vio afectada por un desastre climático, según el Informe de Desarrollo Humano del PNUD (2008).

Dado lo anterior, y reconociendo que el fenómeno del cambio climático tiene unas graves consecuencias sociales además de las meramente ecosistémicas, Bono (2008) considera que los pobres del mundo se verán expuestos a soportar la mayor parte del peso de un problema de cambio climático que ellos no crearon, y refiere que esto es consecuencia de una sociedad que tolera demasiado la desigualdad y la injusticia.

Por otro lado, según el informe Stern (2007) sobre la economía del cambio climático, los incrementos de temperatura globales de sólo 1–2 °C (por encima de los niveles preindustriales) podrían llevar a la extinción del 15-40% de las especies. Indica además que, a medida que las temperaturas ascienden por encima de los 2-3 °C de media, como muy probablemente sucederá en el tramo final del presente siglo, aumentarán los daños de forma brusca y a gran escala, y los costes relacionados con el cambio climático en sus tres dimensiones: mortalidad, ecosistemas y renta, tenderán a incrementarse acusadamente a pesar de que los ecosistemas terrestres, principalmente los bosques y por otro lado los océanos, remueven un promedio cada año el 54% del dióxido de carbono emitido por la deforestación y el uso de combustibles fósiles Ciais (2013). Desafortunadamente, la tasa de captura no será suficiente para incidir en la mitigación del daño ambiental en tanto no se reduzcan las tasas de emisión.

En el mismo informe, Stern (2007) indica que un aumento de temperaturas de 2 °C hará que entre 1.000 y 4.000 millones de personas sufran mayores y más frecuentes episodios de escasez de agua, especialmente en África, Oriente Medio, al sur de Europa y algunas zonas de América del Sur y Central. De igual forma, los glaciares de montaña desaparecerán, y esto sería el comienzo irreversible de la desaparición de la capa de hielo de Groenlandia, lo que acelerará la elevación del nivel del mar hasta alcanzar un aumento final, y global, de 7 metros por encima del nivel actual, todo esto podría ocurrir al final del siglo XXI (Bono, 2008).

Hansen et al. (2007) consideran que el mundo debería hacer todos los esfuerzos posibles para evitar que la concentración de CO<sub>2</sub> supere los 450 ppm y la concentración total de gases de efecto invernadero (incluido el metano y otros gases efecto invernadero) no supere los 500 ppm. Con ello, el aumento de temperatura media mundial se limitaría a estar en el nivel de 2,4° y 2,8°C

por encima de los niveles preindustriales. Ciais (2013) establece la importancia de conocer mejor la relación del ciclo del carbono con el cambio climático, ya que es importante conocer a profundidad las fuentes y sumideros de carbono, así como su ubicación espacial, y, por tanto, hacer seguimiento a su evolución en el tiempo.

### **3.1.4 Cambio climático en Colombia**

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), indicó 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 claves. El país tiene, además, una alta recurrencia de eventos extremos, con una gran incidencia de emergencias asociadas al clima que va en aumento.

Siguiendo el informe del PNUD para Colombia, los escenarios climáticos utilizados en el marco de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia (IDEAM, 2010) muestran tendencias a un aumento de la temperatura media, de entre 2 y 4 °C proyectadas al 2070, y una modificación de las condiciones hidrológicas, con reducción de las precipitaciones en algunas regiones de hasta el 30% Pabón (2012). Ahora bien, en términos agropecuarios, se plantea que gran parte de los agroecosistemas del país son vulnerables a los efectos de la aridización, la erosión de suelos, la desertificación y a los cambios en el régimen hidrológico. También se estima un mayor riesgo de inundaciones de cultivos y de otros eventos naturales que afectan la producción agrícola, tales como vendavales y granizadas (IDEAM et al. 2014).

De acuerdo con el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2012) la mayoría de los desastres en Colombia se deben a las variaciones del clima. El 90% de las emergencias reportadas por el Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD, para el período 1998-2011 en el país, 13.624 en total, se relacionan con fenómenos hidroclimatológicos y con otros asociados a esos. Entre 1950 y 2007 los desastres asociados con lluvias se incrementaron un 16,1% durante el fenómeno de “La Niña” en relación con las condiciones normales de pluviosidad.

La última estimación de tendencias realizada por el IDEAM (2015) mostró que ha venido ocurriendo un aumento de la temperatura media del orden de 0,13°C/década para el período 1971-2000. El ensamble multimodelo de los escenarios de cambio climático proyectan 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 período 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, e igualmente existirán incrementos de precipitación hacia el centro y norte de la Región Pacífica. La humedad relativa disminuiría especialmente en la Guajira, Cesar, Tolima y Huila.

Pabón (2011) sugiere que los patrones climáticos sobre el territorio CAR están experimentando modificaciones en el largo plazo debido a los procesos relacionados con el cambio climático. La temperatura del aire está aumentando a un ritmo de 0.1-0.2° C/decenio, la frecuencia de las heladas registra una leve disminución, la precipitación anual presenta leves cambios como las reducciones en gran parte de la región y aumentos hacia el valle de Ubaté y en sectores de la Sabana de Bogotá, con un máximo de 5% de los volúmenes anuales actuales. En el análisis realizado por el IDEAM et al. (2014) con los escenarios climáticos A2 y B2 para los períodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, obtuvo para Cundinamarca los siguientes datos:

- Para el período 2011-2040 se detectaron disminuciones en la precipitación de hasta 20% en algunos sectores del occidente de Cundinamarca (Valle del Magdalena); para otras partes de la región (sectores de la parte central, Bogotá y municipios del piedemonte llanero), hubo aumento en las lluvias. La temperatura podría llegar a tener un aumento de hasta 2°C en la región central de Cundinamarca y en Bogotá.
- Para el período 2041 – 2070 aumentaría la temperatura entre 2 y 3 °C para la región central y oriental del departamento. En el valle del Magdalena, el aumento de la temperatura podría estar entre 1 y 2°C. Los escenarios muestran una tendencia a la disminución de la precipitación (entre el 10% y 20%) en el occidente del departamento (hacia el Valle del Magdalena) y algunos sectores del norte de la Sabana y el oriente (Ubaté, Almeidas, Guavio, y algunos sectores del páramo de Chingaza). Para las regiones del sur (Sumapaz) y centro de Cundinamarca (Soacha, Sabana Occidente y Centro, Bogotá), Rionegro y Gualivá, la tendencia es al aumento de la precipitación, la cual podría ser de hasta un 20 a 30% más de lluvias respecto de las actuales.
- Para el período 2071-2100, la temperatura promedio aumentaría entre 2 y 4 °C con respecto a la temperatura actual.

Los escenarios IDEAM (2015) evidencian posibles aumentos de aproximadamente 1.0°C en la temperatura media para Colombia, en el período 2011–2040; también un aumento entre 1.0–2.5°C en el período 2041 – 2070; así como un aumento entre 1-5 y 4°C para 2071–2100. En cuanto a escenarios de precipitación, el IDEAM (2015) señala que para el período 2011–2100 la región Caribe y la Amazonía presentarían una disminución de la precipitación del orden de 10 – 40%, el norte y centro de la región Andina tendría incrementos entre 10 y 30%, evidenciando los más altos aumentos en el eje Cafetero, el Altiplano Cundiboyacense y la cuenca alta del Río Cauca. En la Orinoquía y el resto del país los cambios en la precipitación no son significativos, ya que los cambios en esta variable serían del orden de  $\pm 10\%$ .

### **3.2 Comunicaciones Nacionales de Cambio Climático**

Las Comunicaciones Nacionales sobre Cambio Climático son reportes que elabora Colombia para cumplir el compromiso adquirido como miembro de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) de dar información sobre el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. Igualmente informa sobre políticas, programas y planes que contienen

medidas que faciliten la adecuada adaptación al cambio climático y de los programas de mitigación de tales efectos, suministra información sobre su contribución y participación en investigaciones, la transferencia de tecnología para la adaptación y mitigación al cambio climático y da cuenta de las acciones adelantadas y resultados obtenidos en relación con la educación, sensibilización y formación de públicos, ya que deben estar informados adecuadamente sobre él.

Revisando datos del 2015, el país ha generado tres de estas comunicaciones, y se considera importante relacionarlas en este trabajo dado que hacen parte importante de los antecedentes en el país en materia de cambio climático y brindan una contextualización valiosa para la investigación.

En la primera comunicación se concluye que, comparando las áreas de los rangos bioclimáticos bajo el supuesto de una duplicación de dióxido de carbono en el territorio colombiano, se puede observar que las áreas con mayores cambios corresponden a: Clima Cálido Pluvial (aumento de 13%) y Clima Cálido Húmedo (disminución de 12,7%).

Para la segunda comunicación nacional, publicada en 2010, se hizo un análisis más detallado frente a la posible afectación potencial sobre las coberturas y los sectores de la economía, se analizó con base en el resultado obtenido del cruce del índice de sensibilidad (ISA), el índice relativo de afectación (IRA) y el ensamble multimodelo de lluvias generado por el IDEAM (2010) en el que se presentarían variaciones de precipitación significativas ente los años 2011 a 2040 y 2071 a 2100, dicha metodología permite la identificación de prioridades con base en las pérdidas, daños, afectaciones o población expuesta, y la comparación de costos de las pérdidas con los costos de adaptación.

### **3.3 Cambio climático y vegetación**

Existe una estrecha relación clima-vegetación-ecosistemas-biomas (Pabón, 2011a). El clima tiene incidencia importante en los procesos bióticos del planeta, y de manera particular en la distribución espacial de los biomas y la existencia de una determinada diversidad biológica (Herzog, 2010; Parmesan y Yohe, 2003, Van't et al. 2002). Hay evidencias de que los cambios climáticos del pasado han tenido una incidencia marcada en el medio biótico Bradley (1999). El cambio climático en curso afectará considerablemente el funcionamiento y el desarrollo de una sociedad estrechamente relacionada con los ecosistemas.

Una vía certera para evidenciar la incidencia del cambio climático sobre los ecosistemas consiste en partir de la modelación de la relación clima-vegetación. Este enfoque ha sido aplicado en Centroamérica por Mendoza et al. (2001) con base en escenarios climáticos globales, no en escenarios regionales. Este cambio climático impactará a la biodiversidad desde el nivel de ecosistemas hasta el nivel de especies (Reid y Huq, 2005). Sin embargo, no afecta igual a todas las especies y comunidades, algunas tienden más a la extinción que otras por efectos directos o indirectos del cambio (IPCC, 2002, Biringer et al. 2005). El impacto más obvio que se da en los límites de los ecosistemas como consecuencia de los cambios es la variación en la temperatura,

esto provocará que algunos ecosistemas expandan su área, y otros, la disminuyan (IPCC, 2007, Reid y Huq, 2005).

Para el territorio colombiano, las evidencias del efecto de los cambios climáticos del pasado en la distribución de la vegetación han sido presentadas por autores como Hooghiemstra (1984) o Van der Hammen et al. (2002). El cambio climático que está ocurriendo incidirá en el medio físico-biótico del país, lo que se traducirá en impactos sobre los ecosistemas y los sistemas humanos establecidos en el territorio colombiano. Buytaer et al. (2011) plantean que dicho cambio desplazará y reducirá fuertemente el área de ecosistemas alpinos tropicales, aumentando así su fragmentación e induciendo la extinción de especies y la pérdida de la biodiversidad biológica allí presente. Por esta razón es urgente analizar las modificaciones que traería el cambio climático a las distribuciones de la vegetación y de los ecosistemas en los decenios venideros.

### **3.4 Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria**

Un aspecto de trascendental importancia en el territorio es la seguridad alimentaria. El clima incide en este aspecto, y por ello, se han realizado grandes esfuerzos por entender cuáles serían los efectos del cambio climático en la seguridad alimentaria. Gran parte de esta seguridad se garantiza con la producción agrícola y pecuaria, que a su vez dependen o están relacionadas de diversa manera con el clima.

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, la seguridad de los mismos, y su abastecimiento, su inocuidad y valor nutritivo, analizado desde la producción de los mismos hasta el momento de su consumo, así como la seguridad sanitaria y nutricional (Vásquez, 2013).

Debe tenerse en cuenta que la seguridad alimentaria no sólo se limita a la producción de alimentos como tal, según la FAO (2000) factores como el transporte, la manipulación, la preparación y el consumo de los alimentos también hacen parte de este proceso, e igualmente se ven afectados por los efectos del cambio climático. En el transporte, por ejemplo, se presentan dificultades ya que la infraestructura se ve amenazada y entonces se disminuye la garantía de que los alimentos lleguen a su destino final.

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 (Ocampo, 2011; Quintero et al. 2012; Brown y

Funk, 2008; Samaniego, 2012) sostienen que un 30% de los agricultores pertenecientes a países en desarrollo afrontarán inseguridad alimentaria y podrían verse seriamente afectados.

Ante este fenómeno, y de acuerdo a estudios realizados por la FAO y otros organismos, puede decirse que la mayor parte de la población mundial es vulnerable, pues todos dependen necesariamente en alguna medida de los alimentos generados a partir de la agricultura, y como pasa en la mayoría de los casos, serán las personas pobres las más afectadas, aquellos pequeños productores que basan su sustento en un cultivo específico, o las zonas urbanas pobres de algunas regiones; así mismo, sufrirán mucho más las consecuencias de este fenómeno aquellos que están ubicados en zonas que representan mayor riesgo.

Igualmente será menor la disponibilidad de alimentos, cuya calidad empeorará a medida que se agudicen las consecuencias relacionadas con el cambio climático García y Herrero (2014). En México, por ejemplo, el porcentaje de población carente de acceso a la alimentación ascendió claramente entre 2008 y 2010 y llegó a representar, en algunos casos, alrededor de 10% frente al 3,1% del promedio nacional según Diamond (2005).

El impacto del cambio climático y la crisis financiera en el precio de los alimentos ha mostrado una tendencia progresivamente incremental en los últimos años, acompañado de una alta volatilidad. Tomando como base el año 2003, el precio de los alimentos a nivel mundial ha aumentado en cerca de un 118% comparado con el año 2012, lo cual agrava la situación de la seguridad alimentaria mundial (FAO, 2013).

Sin embargo, convergen en los puntos centrales del fenómeno quienes no niegan el cambio climático, pero difieren de los impactos que aquél traería sobre la seguridad alimentaria. Maletta (2009) indica que el efecto de la mayor disponibilidad de dióxido de carbono en la atmósfera, acelera la fotosíntesis, aumenta la fertilidad y reduce los requerimientos de agua de los cultivos; así, sea cual fuere el clima, el sistema económico o la tecnología disponible, los agricultores tendrán que adaptar sus actividades a las condiciones reinantes en aquel momento, según su saber y entender, por lo que las perspectivas no son ni mucho menos catastróficas. En contraposición a esta postura, García y Herrero (2014) indican que las expectativas sobre las tendencias futuras del cambio climático han ido empeorando de forma acelerada, y como consecuencia de esto, ha crecido su impacto negativo en la seguridad internacional, en la seguridad humana, y más concretamente en la seguridad alimentaria.

Adicionalmente, los cambios en el clima pueden alterar la escorrentía, la evapotranspiración, el almacenamiento superficial y otros factores que afectan directamente a la biota y el hábitat de la región (Erol y Randhir, 2012; Alarcón, 2016; Magaz, 2013; Shah, 2013), al mismo tiempo, el cambio climático amenaza la estabilidad de la producción y la propia productividad. Las últimas tendencias y estudios señalan que los patrones climáticos cambiantes tendrán como resultado una mayor tensión biótica y abiótica en las próximas décadas, lo que repercutirá directamente en la producción de alimentos FAO (2009), por lo que se alerta a los agricultores de

todo el mundo sobre la complicada afectación que pueden enfrentar por causa del cambio climático (Hodking, 2011).

Las aproximaciones utilizadas para medir los efectos del cambio climático sobre la agricultura y la seguridad alimentaria se pueden agrupar en dos clases: los modelos ricardianos, que se basan en datos de temperatura y precipitación para estimar estadísticamente y a través de regresiones la diferencia en el ingreso de las fincas asociado a las variaciones de dichos parámetros; y los modelos de evaluación integrada, que incorporan la agricultura y los cambios socioeconómicos junto con las variables climáticas (Maletta, 2009).

### **3.5 Cambio climático y recursos hídricos**

Una de las expresiones del cambio climático en el territorio es el efecto en los recursos hídricos. Así, las alteraciones originadas por el cambio climático harán más compleja la planificación de los recursos hídricos (Menzel y Burger, 2002; Muzik, 2002). La necesidad de incorporar los recursos de agua dentro de los modelos de evaluación global y regional para determinar los impactos del cambio global constituye un aspecto de gran importancia en la actualidad. Existen modelos hidrológicos que permiten estimar los valores de escorrentía actual a escala de grandes extensiones que funcionan a partir de las variables precipitación y temperatura simuladas por los modelos regionales de clima (MRC). Entre ellos podemos mencionar el modelo de Yates (1997), WBM (Water Balance Model) de Vörösmarty et al. (1998), WaterGAP (Water-Global Assessment and Prognosis), Döll et al. (1999) y SIMPA (Sistema Integrado de Modelización Precipitación Aportación) de Estrela et al. (1998).

A su vez, se han planteado modelos de balances hídricos mensuales a nivel de escala macro y semi-distribuido que han sido desarrollados para simular y predecir los procesos hidrológicos utilizando herramientas de Información Geográfica, según Shenglian et al. (2002). Así mismo, se han llevado a cabo varios estudios relacionados con la gestión de los recursos hídricos debido al déficit de agua en las diferentes regiones (Yangge, Cheng y Song, 2008). El concepto fundamental de la propuesta de modelos de gestión del agua en diferentes cuencas ha sido desarrollado teniendo en cuenta la visión general de modelos hidrológicos utilizando el Modelo Hidrológico Geomorfología base (GBHM) y a través del uso de sistemas de información geográfica –SIG (ver Hendra et al. 2013), otros estudios relacionan estos efectos del cambio climático sobre el balance hidrológico (Yanzhao et al. 2008), así como otras investigaciones que plantean los aspectos económicos de la adaptación al cambio climático (Agrawala y Frankhauser, 2008).

#### ***Contexto Nacional***

La Primera Comunicación Nacional ante la CMNUCC, demostró la vulnerabilidad del recurso hídrico en Colombia basado en escenarios globales de cambio climático. A partir de ese



momento, el IDEAM empezó a adelantar esfuerzos para desarrollar y generar conocimiento e información sobre el efecto del cambio climático en los recursos hídricos del país.

Hasta ahora se han realizado importantes aportes al conocimiento del estado del recurso hídrico en Colombia que han sido generados dentro del marco de los Estudios Nacionales del Agua, cuyo alcance y nivel de detalle han venido creciendo a la par con la disponibilidad de datos e información en el país. El Estudio Nacional del Agua evaluó los índices de escasez, presión y vulnerabilidad por disponibilidad del recurso en el territorio nacional. Con la publicación del Estudio Nacional del Agua se dio a conocer un balance hídrico nacional actualizado, cuya elaboración involucró la utilización de información de las series históricas de más de 400 estaciones hidrológicas y cerca de 2000 de precipitación pertenecientes a la red nacional de estaciones hidrometeorológicas del IDEAM. Este informe sirvió como base para validar el presente estudio, con el fin de realizar la simulación del clima y evaluar los posibles impactos en el recurso hídrico del territorio colombiano.

### **3.6 Cambio climático y desastres de índole hidroclimático**

La modificación de la temperatura media, la precipitación anual, la humedad relativa y la escorrentía por el cambio climático posibilitarán también transformaciones en la frecuencia e intensidad de los extremos que generan desastres, (IPCC, 2012; Menzel y Burger, 2002; Muzik, 2002; Sarmiento, 2008) y, por ende, su relación con las situaciones de desastre en el que la precipitación es un factor detonante. Cabe resaltar la importancia de tener nuevas consideraciones sobre los impactos negativos que generarán las modificaciones medioambientales, las cuales están catalogadas como riesgo clave por el IPCC (2014), a saber: [las] “inundaciones y deslizamientos de tierra en zonas urbanas y rurales debido a los cambios en la precipitación” entre otros múltiples factores. Por lo anterior, y dada la importancia de la temática, desde la Organización de las Naciones Unidas (2015) se busca que los países pasen de la gestión de desastres a la gestión del riesgo de desastres, con el fin de mejorar las condiciones de la población así como la gestión de los entes territoriales en el momento de atender tales acontecimientos.

Dado lo anterior, se ha intentado aplicar las valoraciones de riesgo de desastres por eventos extremos a la evaluación del riesgo por cambio climático, aplicando para ello la teoría del riesgo. Así, en el IPCC (2012), en el abordaje del riesgo por cambio climático la teoría del riesgo se basa en la consideración de puntos extremos que generan desastres.

El cambio climático como la amenaza en que se constituye está relacionada no con cambios extremos, sino con transformaciones paulatinas de los patrones de comportamiento de los eventos de índole hidrometeorológico e hidroclimático que generan desastres, la vulnerabilidad depende de la sensibilidad del elemento o sistema expuesto ante tal cambio, la cual está modulada por la capacidad adaptativa del mismo (Pabón, 2016).

Dentro de los estudios también merece reportar el planteamiento de Strelcová et al. (2009) y Cardona (1993) los cuales refieren que las modificaciones climáticas relacionadas con la precipitación son el principal factor incidente en las amenazas naturales, logrando una variación en el comportamiento del clima por cuanto hacen un llamado a desarrollar estudios que permitan mejorar los niveles de certidumbre de los eventos que de esta alteración se puedan originar. Birkmann et al. (2013) realizaron un análisis de la vulnerabilidad donde evaluaron el riesgo bajo el marco de la gestión y la adaptación al cambio climático, con lo cual generaron indicadores comparativos con el fin de disminuir la fragilidad poblacional ante el riesgo ambiental. Yasuhara et al. (2012) sostienen que el fenómeno del cambio climático induce los geo-desastres, y desarrollaron de tal modo una metodología basada en la combinación de efectos de dicho fenómeno para contribuir en procesos de mitigación y adaptación. Por otro lado, Castillo y Vargas, (2011) plantean el estudio del fenómeno de inundación como una herramienta para disminuir los desastres originados por las precipitaciones extremas y convocan también a planificar el territorio de acuerdo a los estudios originados a partir del comportamiento hidrológico.

Leone (2002) planteó la importancia de la aplicación de las tecnologías de la información geográfica en el conocimiento categorizado de diferentes factores que generan riesgos naturales, lo anterior con el fin de aportar en el desarrollo de alternativas mitigantes por parte de las autoridades competentes. Otro desarrollo tecnológico corresponde al de Kappes et al. (2012) quienes diseñaron un software multiriesgo modelado a partir del análisis de cinco variables del medio biofísico para zonificar los riesgos naturales, los resultados obtenidos pretenden ser funcionales en los procesos de planificación debido a que las predicciones basadas en la información disponible se han acercado a los eventos reportados.

Por su parte la CEPAL (2014) e IDEAM (2012), desarrollan metodologías para evaluar diferentes condiciones generadas a partir de los desastres, realizaron una recopilación basada en tres dimensiones: ambiental, social y económica, como resultado generaron una aproximación a las condiciones de la región en estudio para proporcionar herramientas que permitieran mejorar la reacción de la población y los gobiernos ante las posibles eventualidades asociadas a desastres naturales por efectos del cambio climático.

El Banco Interamericano de Desarrollo y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe en 2007, generaron información estratégica para la gestión del riesgo de desastres estudiando específicamente cinco países de la región, entre ellos Colombia, en este diagnóstico se concluye que existen muy pocas investigaciones detalladas y con vacíos de información cuantificables, por lo tanto, sugieren el desarrollo de investigaciones que generen datos relevantes, a fin de formular políticas públicas para enfrentar este tipo de fenómenos naturales. Duque (2008) propuso el estudio de dos fenómenos naturales: movimientos de masas e hidrometeorológicos, como factores para mejorar la gestión del riesgo. El IDEAM (2011) proporcionó el diagnóstico de riesgos hidrometeorológicos, el cual contiene la zonificación de Colombia, incluyendo variables como el cambio climático, fenómenos ENSO e incendios forestales, mostrando así una perspectiva amplia del país en torno a las características de vulnerabilidad del territorio. El Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial Región de América Latina y El Caribe (2012) entregó un análisis del proceso de la

gestión del riesgo del país, en dicho informe se concluye que “la inadecuada gestión territorial, sectorial y privada,” son los factores por los que ha ido en aumento el riesgo. A las propuestas estatales se suma la desarrollada por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales con la metodología para zonificar la susceptibilidad a movimientos en masa en 2012, en este documento entregaron la consolidación de las pautas para la zonificación del territorio con la cual generaron el mapa de Colombia de áreas susceptibilidad a movimientos en masa. Finalmente, Ávila et al. (2015) generaron la metodología para amenaza, vulnerabilidad y riesgo por remociones en masa, este estudio proporcionó herramientas para la construcción de estudios de riesgos por remoción en escalas detalladas.

En este contexto, esta investigación propone un modelo para la zonificación espacio temporal de la susceptibilidad del territorio colombiano a fenómenos de inundaciones y deslizamientos, enmarcado en las posibles incidencias del cambio climático, a partir de la propuesta metodológica de Mora y Vahrson (1994) que utilizan variables morfodinámicas y climáticas. Bajo estas premisas se reconoce la importancia en la generación y el complemento de nuevos modelos que apunten a evaluar el comportamiento y/o las dinámicas referentes a los factores asociados con las amenazas naturales para proporcionar información actual y oportuna que permitan una adecuada gestión del riesgo y, por ende, minimizar los impactos generados por el cambio climático.

### **3.7 Cambio climático y enfermedades tropicales**

La modificación de los patrones de distribución espacial y el ciclo anual de los elementos climatológicos (temperatura del aire, vientos, humedad y precipitación, principalmente), incidirá de diversa forma en la distribución de vectores de enfermedades que se presentan en un territorio determinado. Las repercusiones del cambio climático en la salud humana no se distribuirán uniformemente en el mundo, Confalonieri (2007) plantea que las poblaciones de los países en desarrollo, en particular los Pequeños Estados Insulares, las zonas áridas y de alta montaña y las zonas costeras densamente pobladas se consideran especialmente las más vulnerables, existen evidencias de que los cambios climáticos del pasado han tenido una incidencia marcada en la salud humana (Hódar, Zamora y Cayuela, 2012; Hiwat y Bretas, 2011). Así, el cambio climático en curso afectará considerablemente el funcionamiento y el desarrollo de una sociedad estrechamente relacionada con el clima, por tanto, los efectos del cambio climático sobre la salud se podrían sintetizar en un aumento de brotes de enfermedades como: la malaria, dengue y elefantiasis, transmitidas por proliferación de mosquitos, caracoles y moscas; aumento de brotes de diarreas y enfermedades infecciosas, debido a la escasez de agua y a las condiciones de precaria higiene post desastres; una mayor desnutrición en niños y adultos debido a la escasez de alimentos y agua potable por posibles desastres naturales; muertes de ancianos y mujeres embarazadas por las olas de calor, por mencionar las más importantes.

La malaria es uno de los problemas actuales más graves de salud pública en Colombia, con un patrón de transmisión endémica, esta enfermedad persiste durante un tiempo determinado en un

lugar concreto y afecta, o puede afectar, a un número importante de personas, y en el patrón epidémico son causadas por una fuente común de infección, en este caso *Plasmodium vivax*, representando el 70% de los casos reportados (105.000 casos clínicos anuales), y el resto se le atribuye casi de manera exclusiva a *Plasmodium falciparum* (Padilla et al. 2011).

Las características fisicogeográficas del país favorecen la existencia de regiones con una gran variedad de climas y una gran cantidad de vectores anofelinos. Sumado a esto, existe la migración dinámica de las poblaciones humanas infestadas en todo el país, lo que propicia la proliferación de la enfermedad y la difusión de parásitos de malaria resistentes a los medicamentos, según Arango et al. (2008). La malaria se localiza principalmente en zonas de difícil acceso y con sistemas de salud frágiles (Carter, 2009; Rubio y Zimmerman, 1997) pero a pesar de esto Colombia presenta una tendencia a la baja en los casos clínicos de malaria, pasando de 144.432 en 2000 a 79.252 en 2009, así, Colombia está entre los países de América latina con una reducción del 20-25% en los casos de malaria en la última década, junto con Brasil y Guayana OMS, (2010). Es importante señalar que, de acuerdo al sistema de Vigilancia Epidemiológica (Sigivila), se produjo un nuevo aumento de 115.884 casos notificados en 2010, este aumento se debió principalmente a las variaciones climáticas, el 70% fue causado por *Plasmodium vivax* y el resto casi exclusivamente por *Plasmodium falciparum*.

Desde un enfoque entomológico, es probable que los cambios ambientales y climáticos influyan en la dinámica de los criaderos, de los estadios inmaduros de mosquitos y de la longevidad de los vectores, afectando la transmisión de malaria. Poveda et al. (2008) plantea que, si se conocen y comprenden las asociaciones entre clima, malaria y vectores, se podrían generar estrategias de prevención de brotes de malaria y así contribuir al diseño y aplicación de medidas de adaptación efectivas frente al cambio climático.

Por lo anterior, la transmisión de la malaria en un territorio depende de que se presenten condiciones e interacciones a diferentes escalas espaciales y temporales de múltiples variables climáticas, de paisaje y humanas, todas estas interacciones influyen sobre el comportamiento biológico de los parásitos y los vectores de la enfermedad, y en las condiciones que favorecen o no el contacto hombre-vector, así como las condiciones que favorecen o limitan la prevención y el control de la enfermedad (Medina et al., 2011). En este contexto, el comportamiento de la malaria se considera complejo y espacialmente heterogéneo, (Grillet et al. 2009; Hay y Snow, 2006; Real y Biek, 2007; Souza-Santos et al., 2008; Vittor et al., 2009) con dificultades para identificar áreas ambientalmente potenciales para el establecimiento de los vectores de malaria, más aún, si pensamos en los cambios que sufrirán las variables climáticas bajo los diferentes escenarios que se preveen.

Un posible enfoque para evaluar la incidencia del cambio climático sobre la distribución espacio temporal de la enfermedad es a partir de la modelación de las posibles afectaciones que sufrirá el territorio colombiano en la distribución espacial de las variables climáticas que inciden en el establecimiento y proliferación del vector. Un enfoque similar se ha realizado por Craig et al. (1999) donde utilizó un modelo de lógica difusa para la zonificación de la distribución estable de la malaria en el África subsahariana, basándose en la precipitación y temperatura; dicho modelo mostró ser compatible con datos de campo y mapas históricos a escala continental, y

estima de manera conservadora la distribución de la malaria al no considerar las anomalías territoriales a escalas con mayor resolución espacial que puedan afectar la distribución, como por ejemplo, los ríos en planicies de inundación, en áreas de bajas precipitaciones, prácticas agrícolas, deforestación, entre otras. Es así como Rincón-Romero y Londoño (2009) adaptaron el modelo de Craig et al. (1999) a la resolución espacial y a las condiciones húmedas y heterogéneas propias de Buenaventura en el Valle del Cauca, Colombia, en su modelo incluyen variables geomorfológicas y antrópicas para identificar áreas de riesgo de transmisión de la malaria.

Por lo anterior es necesario que, teniendo conocimiento en el país sobre la relación clima, cambio climático y malaria, se analicen las posibles modificaciones espaciales que sufrirá el territorio colombiano frente a la enfermedad malárica causada por el cambio climático en los decenios venideros. Así, la presente investigación explora las posibles transformaciones espaciales en las condiciones ambientalmente potenciales para la malaria que generarían diferentes escenarios de cambio climático en el transcurso del siglo XXI en el territorio colombiano.

### **3.8 El cambio climático como factor de reorganización del espacio**

El efecto de las actividades humanas en el ecosistema planetario, es, en gran medida, resultado del modelo de desarrollo, el modelo económico, tecnológico, social, político y cultural dominante, genera procesos dinamizadores positivos y negativos sobre el medio ambiente y que se manifiestan como cambios en la atmósfera, en la cobertura de la superficie terrestre, en el océano, la pérdida de la biodiversidad, la contaminación de la hidrosfera, el deterioro de la capa de ozono y la lluvia ácida, entre otros. Esta problemática se ha ido ampliando después de la intensificación de las actividades industriales. La satisfacción de las necesidades de un conjunto cada vez más creciente del número de consumidores conlleva no solo a un aumento de la actividad industrial, sino también al establecimiento de nuevas tecnologías productivas.

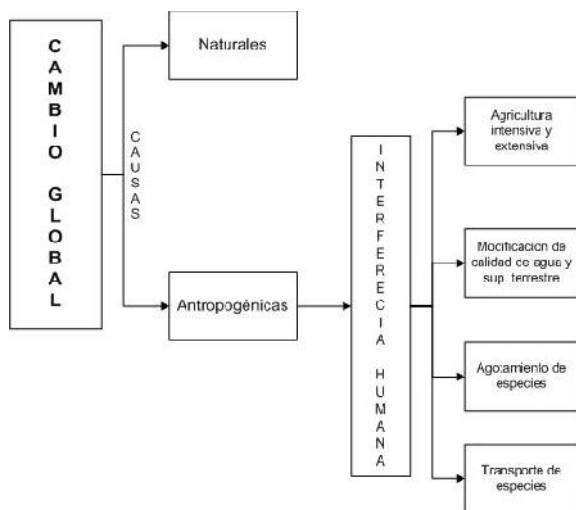
Hace aproximadamente 10.000 años los humanos que habitaban el planeta comenzaron a sustituir las antiguas formas de subsistencia, basadas en la caza y la recolección, por la agricultura y la ganadería. Esta nueva tecnología facilitó un aumento de la cantidad de alimentos accesibles, lo que provocó un crecimiento y establecimiento de la población, por lo cual la agricultura adquiere gran importancia para satisfacer la cada vez más creciente demanda de alimentos. Posteriormente, la implantación del riego permitió a los agricultores cultivar especies y variedades más productivas, pero, se generan en ciertos casos la acumulación progresiva de sales, que terminan potenciando estas áreas en desiertos (Malagón et al. 1995).

Este proceso se aceleró con la Revolución Industrial, el uso de los combustibles fósiles como fuentes de energía, y la generalización de la industrialización permitió disponer de muchos más alimentos y bienes, lo que llevó a que en estos últimos 250 años aproximadamente, se produjera un crecimiento vertiginoso de la población mundial y un aumento proporcional de los recursos necesarios para satisfacer las necesidades de esa población Cohen (1995). Pero este proceso ha

causado la aparición de problemas ambientales cada vez más complejos, interconectados, y que se manifiestan cada vez más rápidamente.

Esta interferencia humana está causando una modificación de la composición de la atmósfera, la calidad del agua y las características de la superficie terrestre, las cuales se caracterizan principalmente por la caza intensiva, la transformación de tierras para cultivar intensiva o extensivamente algunas especies, la domesticación de las mismas, el transporte de especies propias de una región a otra, etc. Pero todas éstas son actividades intencionadas, es decir, son estrategias evolutivas de la antropósfera por las que la especie humana ha tratado de asegurar su éxito en el planeta. Datos históricos reportan que hace 12.000 años la población de cazadores-recolectores era de 6 millones de personas aproximadamente, pero el desarrollo de la agricultura y la ganadería permitió un aumento de la población mundial, que fue hasta 250 millones de personas en el año 1, y 750 millones en 1750, esto según Galán (1990). Finalmente, el aumento de la población mundial se aceleró con la Revolución Industrial. Desde hace 250 años ésta ha aumentado de forma exponencial y en la actualidad sigue creciendo, aunque a un ritmo cada vez menor, Utria (1993). Hoy habitan la Tierra alrededor de 7.400 millones de personas que demandan cada vez más recursos para satisfacer sus necesidades de consumo crecientes.

En este contexto, podemos considerar que la degradación y contaminación ambiental es la consecuencia, pensada o no, de nuestra actuación, y ese aparente origen de los problemas ambientales es el resultado del aumento de la escala y la velocidad de las transformaciones que se han producido en nuestro entorno en las últimas décadas. Antes de la Revolución Industrial, los problemas estaban localizados, y se presentaban en períodos de largos de tiempo, de cientos o miles de años. Sin embargo, en las sociedades industrializadas, los problemas son globales y se manifiestan con mayor rapidez, en un término de pocos años.



Todas estas tensiones que afectan o a las que se somete el medio ambiente, terminan manifestándose, por un lado, en cambios generados por los procesos naturales, y, por el otro, en cambios que son el resultado de la actividad humana que afecta el medio ambiente global en forma directa o a través de la acumulación de alteraciones locales o regionales, esto es lo que se conoce como cambio global. (Ver figura 1).

Figura 1: Principales causas antropogénicas del cambio global.

Toda esta acumulación de procesos está potenciando un cambio global, y, dentro de aquéllos, los que se desarrollan en la antropósfera juegan un papel importante, pues están produciendo cambios en la escala mundial, como por ejemplo, el fortalecimiento del efecto invernadero, el calentamiento global y un cambio climático con repercusión mundial. Como principales evidencias del cambio global se tienen: a) cambios en la dinámica de los ciclos biogeoquímicos del carbono y del nitrógeno, por el uso intensivo de combustibles fósiles, la deforestación, los cambios en el uso del suelo y algunos procesos agrícolas e industriales; b) Los cambios en la composición química de la atmósfera debido a la interacción entre atmósfera, biosfera y litosfera, que han producido variaciones en su composición química, pero la Revolución Industrial se convierte en un desencadenante que determina un incremento en las emisiones de gases a la atmósfera, cambiando de manera acelerada esta composición, es decir que, en la actualidad, los procesos que ocurren en la antropósfera han incrementado las emisiones de gases a la atmósfera, generando el efecto invernadero, destruyendo la capa de ozono y formando lluvia ácida; c) la contaminación de la hidrosfera, debido al vertimiento de residuos sólidos, líquidos y gaseosos a los cuerpos de agua lénticos y lóticos; d) el incremento del nivel del mar debido a que la atmósfera es cada vez más cálida, y, por tanto, se produciría el derretimiento de los glaciares de montaña y de los casquetes polares, dicho calentamiento produciría una expansión térmica del agua, y, a causa del derretimiento de la criósfera y de la expansión térmica, se produciría el incremento del nivel del mar en la escala mundial Brown (2002); y e) cambios en la cobertura de la superficie terrestre, cuya causa es la actividad humana que modifica el ciclo hidrológico y del carbono. Esta alteración de la cobertura vegetal está causando cambios en el balance de radiación del sistema planetario, afectándose así de manera importante el clima. La intensificación de los procesos en la antropósfera está provocando una reducción de la cobertura vegetal de la superficie terrestre, ocupada para otros usos, según Di Gregorio (2005) la destrucción de la masa forestal en todo el planeta constituye en la actualidad una de las principales amenazas para el equilibrio del ecosistema terrestre, alterando el régimen de lluvias, facilitando el calentamiento de la superficie y el proceso de desertización.

A través de la historia la sociedad se ha organizado, en su interacción con el medio natural, en determinada dependencia con el clima el cual de diversa manera ha inducido la distribución espacial y un ciclo anual en diversas actividades y procesos sobre el territorio; de igual manera, con el propósito de afrontar condiciones climáticas adversas y de aprovechar las bondades que el clima ofrece, también éste ha estimulado el desarrollo tecnológico. Como se anotó antes, el clima influye en diversos aspectos como la provisión de elementos esenciales como el agua, el alimento, la energía, la salud, las actividades productivas, los desastres y la cultura del territorio, y un cambio en las condiciones en las que ha venido ocurriendo esta relación tendrá repercusiones en el funcionamiento de los procesos territoriales, los cuales es necesario entender con anticipación para poder reducir las consecuencias negativas de la alteración de tal relación.

## 4. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

El presente trabajo se desarrolla bajo la mirada que considera que el clima incide en diferentes aspectos y procesos que se desarrollan en un territorio. Se plantea entonces que el clima es uno de los factores que incide en la organización del espacio geográfico en una región determinada, en diverso grado y forma, e influye tanto en la distribución espacial y estacional de los ecosistemas y de los sistemas humanos, así como también en las dinámicas inherentes a su funcionamiento. El clima incide en la sociedad a través de la disponibilidad de agua y alimento, por medio de la distribución de plagas y enfermedades, y en la regulación de la frecuencia de fenómenos hidrológicos extremos que se constituyen en amenazas para los sistemas mencionados (ver Figura 2). El clima influye de manera directa en las actividades que se desarrollan en un territorio y es uno de los principales factores del medio natural que las limita o propicia. Este factor influye en la composición, mantenimiento y supervivencia de los sistemas naturales, modelando las condiciones ecológicas de una región.

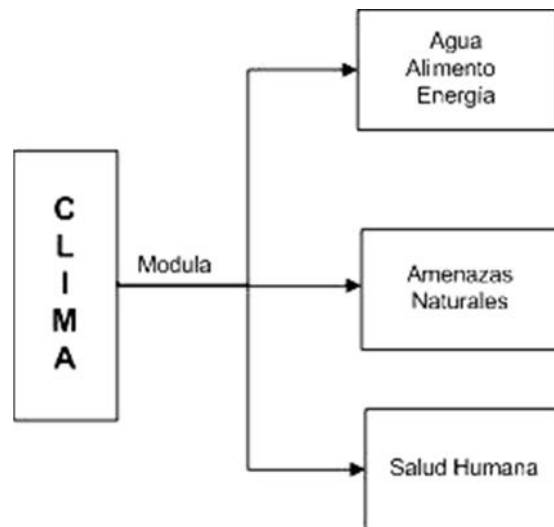


Figura 2. Marco conceptual de la acción del clima en aspectos del territorio.

Las condiciones climáticas determinan la oferta de agua disponible para el desarrollo de actividades como la agricultura y la ganadería, el consumo de la población, los usos urbanos e industriales, entre otros. El factor climático regula la frecuencia de fenómenos hidrológicos extremos, inundaciones, deslizamientos y/o remociones en masa, sequías, incendios de cobertura vegetal, etc., que pueden ser causa de desastres. Finalmente, al regular la distribución espacio-

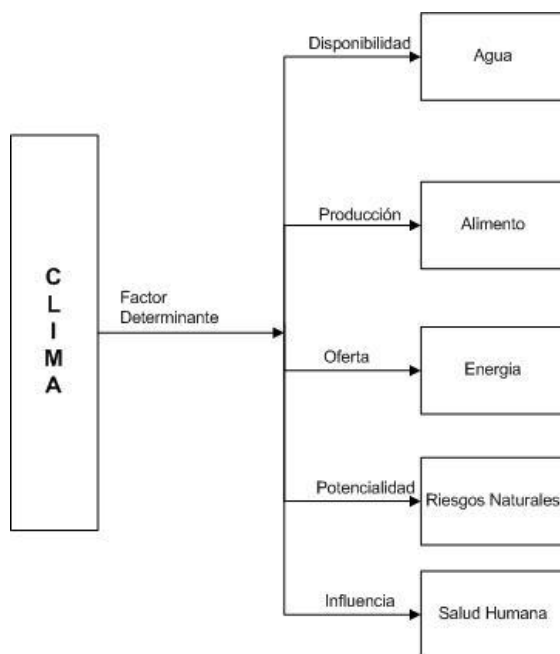


temporal de vectores y parásitos influye en aspectos epidemiológicos. En resumen, el clima facilita o limita el uso de un determinado territorio.

Así, las actividades humanas y la ocupación del territorio están relacionadas en un alto grado con los patrones climáticos que dominan una región y la alteración (por fases extremas de la variabilidad climática) o modificación de estos patrones que por cambio climático generan y desajustan la relación clima-sociedad y la organización del territorio.

La relación clima-sociedad, y, por intermedio de ella, la influencia del clima en el territorio, ha sido motivo de debates desde la geografía. Siguiendo a Kates (1985), en el estudio de esta relación se reconocen dos aproximaciones: los modelos unidireccionales de impacto (el clima incide de diversas formas en la sociedad) y bidireccionales de interacción (incidencia del clima en la sociedad y respuesta de esta ante las condiciones que impone el clima). Históricamente hablando, la primera aproximación ha sido más estudiada dado que resulta obvia al observador común el hecho de que el factor clima tiene una marcada influencia en las actividades que se desarrollan sobre el territorio (Figura 3).

La relación unidireccional clima-sociedad ha sido tratada por diversos teóricos de la geografía, y en ese estudio se han desarrollado dos abordajes diferentes: el determinismo y el posibilismo. Ratzel (1994), quien aplicó los métodos de la ciencia natural dentro de la geografía humana, señaló que los seres humanos viven bajo las leyes de la naturaleza, a su vez argumentó que las formas culturales eran el resultado de las condiciones del medio natural, y, por tanto, existía una estrecha relación entre clima y civilización, o entre clima y actividad mental y física.



Así, la concepción determinista, nacida en Alemania a finales del siglo XVIII, admitida en el resto de Europa hasta la segunda mitad del siglo XIX (González, 2005), generó otras corrientes como el determinismo geográfico, que de acuerdo con Lewthwaite (1966), es una variante del determinismo newtoniano que considera que el medio geográfico constituye el principal control de la vida humana, es decir, que todas las actitudes y actividades del hombre están gobernadas por las condiciones físicas del medio natural que lo alberga. (Delgado, 1986).

Figura 3. El clima como factor determinante de las actividades humanas.

Según Delgado (1986), en el modelo de explicación científica en geografía, el determinismo se destaca desde finales del siglo XIX, pero las cuestiones relacionadas con el dominio ambiental sobre el hombre y la sociedad, tienen un largo pasado (Isachenko 1971; James 1972; Estébanez, 1983; Vilá 1983 y Claval 1974) y encuentran sus raíces en los clásicos, abarcando a Hipócrates, Aristóteles, Tucídides, Jenofonte, Heródoto, Polibio y Estrabón; quienes, de una manera u otra, acudieron a las condiciones naturales como el clima y la posición geográfica excepcionales para explicar y justificar el dominio de unos pueblos sobre otros. Sin embargo, se debería reconocer que el aporte de Ratzel en el siglo XIX fue importante para comprender la relación unidireccional medio natural (clima) y sociedad (no la influencia en la fisiología de los individuos) que está determinada por la necesidad que tiene el ser humano de proveerse de recursos alimenticios y que está naturalmente influido por el medio físico, donde el riesgo climático es uno de los aspectos que define la actividad humana, y, por lo tanto, caracteriza la propia identidad de un pueblo (Riera et al. 2013). Por ello, en cualquier región del planeta el desarrollo y la forma en que se llevan a cabo las actividades humanas siempre han estado asociadas al factor clima, esta relación ha influido en las formas de cultivar la tierra, la forma de explotar los recursos, el tipo de construcciones, y en general la forma de vida de las poblaciones (Hidalgo, 2013). El desarrollo y colapso de las civilizaciones tienen un vínculo con el manejo del medio ambiente y en particular del clima (Manzanilla, 1997; Diamond, 2005).

El modelo explicativo determinista ha permanecido con algunas modificaciones en el ámbito intelectual y científico hasta los tiempos actuales (Delgado, 2011). Sin embargo, el factor clima tiene su incidencia directa sobre la actividad humana, va decreciendo en la medida en que el hombre puede modificar las condiciones ambientales de su entorno mediante el vestido y la vivienda Bernal (1988), y otros elementos que mediaban la relación entre la naturaleza y la sociedad. Al incorporar este aspecto en la interpretación de la relación sociedad-naturaleza surgió una vertiente denominada *posibilismo geográfico*, planteada por Paul Vidal de la Blache y Lucien Febvre, quien no considera al ser humano separado de la naturaleza, al contrario, esos dos factores evolucionan a lo largo del tiempo como un todo.

Vidal de la Blache desafió la teoría del determinismo ambiental con el posibilismo planteando que los seres humanos no están confinados por su entorno, sino que el ambiente crea oportunidades (Cloke et al. 1991). Para los promotores del determinismo, la cultura estaba relacionada principalmente con las características del medio natural, y asumieron que las condiciones ambientales como el paisaje y el clima determinan las acciones humanas. Según Vidal de la Blache, un mismo entorno para grupos de personas con diferentes culturas puede tener varios significados: puede constituirse en una limitación al desarrollo de actividades para algunos, o puede ofrecer oportunidades para otros. El uso de la tecnología para ajustarse a las condiciones adversas o para sacar mayor provecho de las oportunidades que le brinda el medio se convierte en el eje central del posibilismo.

El presente trabajo acude al modelo unidireccional de impacto clima-sociedad para explicar las relaciones entre clima y territorio y para demostrar la hipótesis de que el cambio climático se constituye en un factor transformador del territorio. Se asume que el clima es un factor del medio físico que incide en la regulación de diversos procesos biofísicos y socioeconómicos en el territorio. Las sociedades asentadas en ese espacio geográfico a través del conocimiento y uso de las tecnologías se han ajustado a las condiciones que este factor ambiental determina. Así, diversos procesos en el territorio se desarrollan en relación con la espacialidad y estacionalidad del clima. La alteración de estas últimas, como las que propicia el cambio climático, intervendrá en tal relación generando en algunos casos mayores oportunidades y, en otros, adversidades.

Esta situación plantea a las comunidades asentadas en los territorios anticiparse, tanto en conocimiento como en información, de esos posibles cambios e impactos con el propósito de ajustarse a esas nuevas condiciones, en lo que se ha venido llamado un proceso de adaptación. En este sentido, si bien el presente trabajo explora la incidencia del clima en diversos aspectos del territorio de manea unidireccional y con un tinte determinista, reconoce que la sociedad puede adaptarse a los cambios que puedan ocurrir. La exploración efectuada en este trabajo producirá como resultado un conocimiento anticipatorio de los cambios e impactos de tal fenómeno, lo que servirá de base para una adaptación que, como se plantea, puede ser incluida en la planificación de largo plazo y en el ordenamiento territorial. Esta respuesta a nuevas condiciones en el territorio claramente se enmarca dentro de los planteamientos del posibilismo geográfico.

## **5. CLIMA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL**

La planeación territorial se entiende como el conjunto de actuaciones administrativas dirigidas a conseguir en un territorio una distribución óptima, en el sentido de producción de bienestar y eficiencia, de la población, y de las actividades socioeconómicas que en él se desarrollan Massiris (2000). La planificación territorial es un ejercicio con el que se organizan los procesos dentro de un espacio geográfico a partir del conocimiento y proyección de los aspectos físicobióticos, sociales, culturales y políticos que actúan en la realidad de una región. Con ello, generalmente, se persigue sacar el mayor provecho posible de los recursos, pero se debería apuntar a lograr el bienestar a través de una organización armoniosa en la relación sostenible entre la sociedad y la naturaleza. Lo anterior señala la urgente necesidad de dar una mirada a los modelos de planificación territorial utilizados para analizar si estos consideran el factor clima en toda la dimensión de su influencia en el territorio.

En el último decenio aparecieron propuestas de planificación en las que se incluye el tema del cambio climático como la “Planificación Territorial Europea: Cómo adaptarse a los fenómenos climáticos” de la asociación ESPACE, que es un proyecto innovador planteado a cinco años y financiado por el Norte de la Comisión Europea. Dicha asociación ha influido en la filosofía y la

práctica de la ordenación del territorio mediante la recomendación de cómo la adaptación al cambio climático se puede incorporar en la planificación espacial de las políticas, procesos y prácticas territoriales. Centrarse en la gestión del agua, fue uno de los primeros proyectos cuyo objeto fue aumentar la conciencia de la necesidad de sistemas de ordenación del territorio para adaptarse a los impactos del cambio climático y así ofrecer herramientas para la formulación de políticas, instrumentos y mecanismos para incorporar la adaptación en la planificación territorial.

Rannowa et al. (2010) presentaron un marco de evaluación para explorar los efectos del cambio climático en el contexto de la ordenación del territorio. El marco cuenta con indicadores de exposición a los estímulos climáticos y la sensibilidad a los impactos del cambio climático inducido. Es un método basado en la elaboración de un determinado número de indicadores, cuyo marco de aplicación fue a nivel regional para todo el territorio alemán. El modelo se basó en la evaluación de 11 impactos potenciales correspondientes a temas que hacen parte del sistema de planificación territorial alemán, el análisis de impactos se aplicó para tres diferentes escenarios del IPCC (los escenarios A2, B1 y A1B). Esta evaluación proporcionó nueva información sobre la distribución espacial de los diferentes impactos potenciales del cambio climático en Alemania, lo que sirve de base para la planificación territorial.

## **5.1 Los modelos de Planificación Territorial**

Según Massiris (2013) el significado de planificación territorial depende de la época, de la región y del énfasis u objeto que se quiera resaltar. En términos generales, es entendida como esa planificación física espacial con un fuerte énfasis en lo ambiental y con una fuerte participación social, los contenidos más relevantes de estos planes tienen que ver con zonificaciones para la ocupación, uso y transformación del suelo en función del desarrollo de actividades urbanísticas y económicas, así como la preservación de los recursos naturales y del equilibrio ambiental, de los sistemas de ciudades y sus funciones, los ejes de desarrollo, las redes de comunicaciones y las infraestructuras de abastecimiento.

La planificación territorial en América latina es una experiencia reciente que surge a partir de la elaboración del documento denominado "Nuestra Propia Agenda sobre Desarrollo y Medio Ambiente" presentado en la Conferencia de Río realizada en 1992, documento que hace un diagnóstico de la realidad latinoamericana y propone las bases para la construcción de la estrategia de desarrollo sustentable de los países que la conforman. Dichas bases están constituidas por 7 líneas maestras orientadas al desarrollo de la región:

- 1) La erradicación de la pobreza.
- 2) El aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.
- 3) El ordenamiento del territorio.

- 4) El desarrollo tecnológico compatible con la realidad social y natural.
- 5) Una nueva estrategia económica y social.
- 6) La organización y movilización social.
- 7) La reforma del Estado.

La planificación territorial tiene como principio orientador lograr el desarrollo sostenible para la región, para lo cual se fundamenta en la mejor distribución geográfica de la población y sus actividades de acuerdo con la integridad y potencialidad de los recursos naturales que conforman el entorno físico-biótico, todo ello en la búsqueda de unas condiciones de vida mejores para la población a partir de una armonía entre el mejoramiento del bienestar de la misma y la optimización del uso de los recursos naturales Andrade, (1994). Colombia tiene avances en la conceptualización, alcances y principios de la planificación territorial. A partir de la expedición de la ley 388 de 1997 se han incorporado como práctica de planeación los conceptos de Ordenamiento Ambiental Territorial, proporcionándole a la dimensión ambiental la responsabilidad de armonizar la oferta ambiental con la demanda del desarrollo sostenible, a través de una apropiada ordenación de la ocupación del territorio basada en la identificación y asignación de áreas de especialización y complementariedad productiva. Este nuevo concepto se diferencia del enfoque economicista que según Borja (2000) considera la ordenación territorial en términos económicos, sin tener en cuenta el costo social y el impacto ambiental que ello signifique, ignorando la realidad social y el sentido de utilización de la naturaleza dentro de los criterios de uso sostenible.

Esta nueva orientación se concreta en la práctica con la inclusión en los Planes de Ordenamiento Territorial las áreas de conservación ambiental y paisajística, las áreas de manejo especial, reservas forestales, humedales y ecosistemas protegidos, entre otros, así como la localización y delimitación de las zonas que presentan alto riesgo para la localización de asentamientos humanos. No obstante, el Ordenamiento Territorial en estos últimos años se reduce a zonificaciones ambientales que siguen el esquema tradicional que se presenta en la figura 4. Aunque en estos esquemas de zonificación se incluye el clima como un factor que influye en la distribución espacial de las áreas agroecológicas, no incluyen aspectos en los que el clima es importante en la definición de procesos espaciales dentro de un territorio como los son las amenazas por fenómenos naturales (hidroclimáticos), la salud y la energía. Con estas limitaciones tales esquemas no podrían sustentar plenamente la planificación orientada a la adaptación al cambio climático por lo que se requiere explorar esquemas más completos para este propósito.

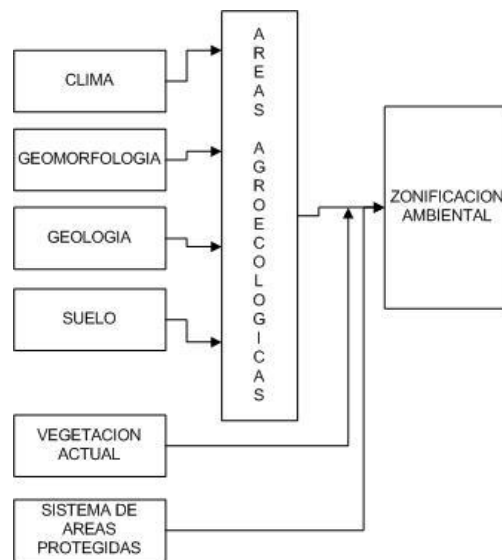


Figura 4: Esquema tradicional de zonificación ambiental usado para la planificación territorial en Colombia.

Para considerar la planificación territorial como herramienta para la adaptación al cambio climático, los esquemas en que se basa deberían considerar los aspectos del territorio que están relacionados de alguna manera con el clima, los cuales se señalaron en el marco conceptual. El cambio climático modificará la distribución espacial de las potencialidades y beneficios que presenta el territorio, así como de las condiciones adversas para su ocupación y desarrollo de actividades. En este trabajo se presenta una aproximación a la inclusión del efecto del clima en diversos aspectos del territorio para análisis y producción de información sobre las posibles transformaciones que generaría este fenómeno, la cual podría ser útil al incorporar en la planificación la adaptación al cambio climático.

## 6. METODOLOGÍA

Para operacionalizar el marco conceptual de la relación clima-territorio, se propone el esquema que se presenta en la Figura 5. Para realizar este esquema se desarrollan modelos de relación del clima con cada uno de los aspectos que se señalan en él, para al final construir zonificaciones que sirvan de base o criterio para la planificación de los procesos sobre el territorio como se resume en la Tabla 1. Inicialmente se deben explorar las potencialidades y posibilidades del territorio usando la Tabla 1 para el clima de un período de referencia reciente. Por lo general, en estudios de cambio climático, se utiliza el clima 1971-2000 como referencia.

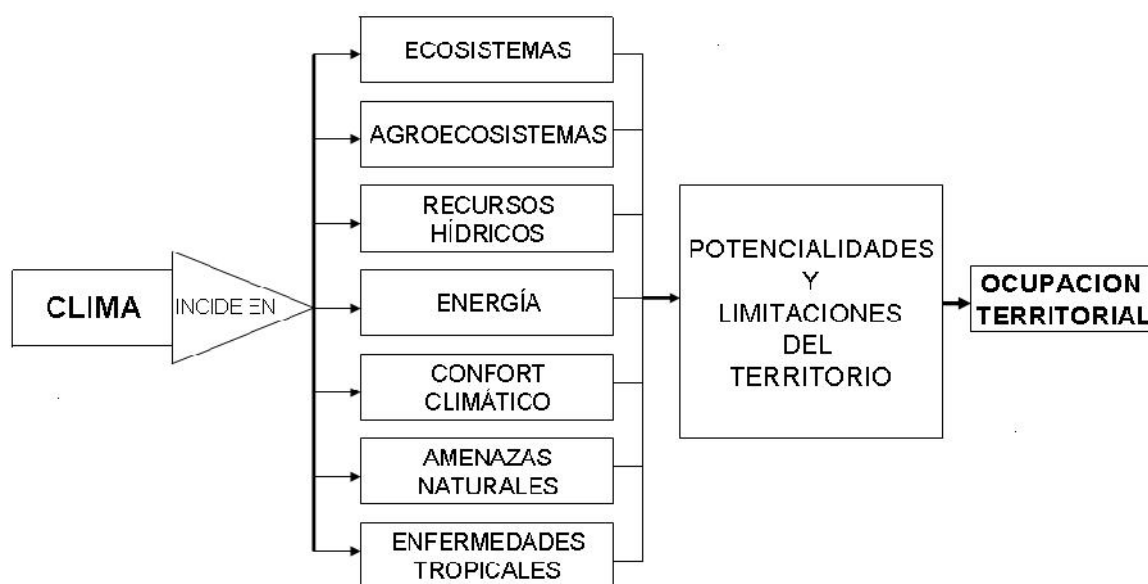


Figura 5. Esquema de la incidencia del clima en algunos de los aspectos del territorio que deberían considerarse en los modelos de ocupación territorial a ser usados como herramienta para la adaptación al cambio climático.

Para la evaluación del impacto del cambio climático en el territorio se aplica la Tabla 1 que muestra diferentes escenarios de cambio climático y compara con lo obtenido con la misma tabla para el período de referencia. Las diferencias entre el escenario y lo observado en el período de referencia mostrarán los cambios (aumentos o disminuciones) de área con determinada situación o condición asociada al clima. Esta permitiría, por ejemplo, identificar la reducción/desplazamiento/desaparición de áreas óptimas para determinados ecosistemas que se podrían constituir en amenaza para dichos ecosistemas y las especies asociadas a ellos, o para la oferta de bienes y servicios ecosistémicos. De igual manera, se identifican los cambios espacio-temporales, aumento o reducción de área, desplazamiento en el espacio o en el ciclo anual de los sectores con potencialidad hídrica, agrícola, energética y de las zonas con determinada amenaza hidroclimática. Esta información fundamentará mejor los criterios de una planificación orientada a la adaptación al cambio climático.

Tabla 1. Modelos de relación, zonificaciones y criterios de análisis de las potencialidades y limitaciones del territorio en aspectos relacionados con el clima.

<b>MODELO DE RELACIÓN</b>	<b>ZONIFICACIÓN</b>	<b>ANÁLISIS ESPACIAL DE POTENCIALIDADES Y LIMITACIONES</b>
Clima-ecosistemas	- Distribución espacial de ecosistemas	- Oferta de bienes y servicios ecosistémicos.
Clima-agroecosistemas	- Zonificación agroclimática - Potencial agroclimático	- Identificación de áreas óptimas para el desarrollo de determinado tipo de cultivos.
Clima-recursos hídricos	- Distribución espacial de la oferta de recurso hídricos	Caracterización de los rendimientos hídricos de las cuencas.

Clima-energía	- Potencial hidroenergético - Potencial eólicoenergético - Potencial helioenergético	Identificación y caracterización de las áreas con mayor potencial hidroenergético, eólicoenergético y helioenergético.
Clima-confort climático	- Zonificación del confort climático	Localización de las áreas óptimas para el desarrollo confortable de las actividades humanas.
Clima-amenazas hidrolimáticas	- Zonificación de las amenazas hidrolimáticas	Análisis de la localización y la extensión de áreas bajo determinada amenaza hidrolimática
Clima-enfermedades tropicales	- Zonificación de enfermedades tropicales	Análisis de la localización y extensión de áreas con condiciones climáticas óptimas para el desarrollo de vectores de diferentes enfermedades.

La metodología utilizada en la presente investigación consiste en una adaptación e implementación de modelos de clima con cada uno de los aspectos del territorio señalados en el esquema de la Figura 4. Una vez establecidas las relaciones, se introdujeron las variables climatológicas temperatura del aire y precipitación del período de referencia 1971-2000 y se generaron las distribuciones espaciales para cada uno de los aspectos. Utilizando material secundario, estadísticas oficiales e información geográfica oficial; mapas publicados en informes técnicos que se realizaron con base en observaciones y mediciones, se efectuó la validación de las distribuciones espaciales generadas. Posteriormente, se cambiaron las condiciones climáticas en los modelos introduciéndoles datos de las variable climatológicas de escenarios elaborados para diferentes períodos del siglo XXI. Este proceso se realizó en dos fases, a saber:

- 1) La modelación espacial actual de las formaciones vegetales, de las áreas ambientalmente óptimas para malaria, de las áreas susceptibles a deslizamientos e inundaciones de origen fluvial, de las áreas con índice potencial climático para agricultura, el balance hídrico (escorrentía hídrica superficial) y el índice de aridez en Colombia con una base climática 1971-2000.
- 2) La elaboración de mapas de las posibles distribuciones futuras de las formaciones vegetales de las áreas ambientalmente óptimas para la propagación de la malaria, de las áreas susceptibles a deslizamientos e inundaciones de origen fluvial, de las áreas con índice potencial climático futuro para agricultura, el balance hídrico y el índice de aridez considerando los períodos entre los años 2011-2040 y 2070-2100, bajo los escenarios de cambio climático A2 y B2 por IPCC (2007).

Con las dos fases anteriores se generó nueva información para identificar las nuevas situaciones a las que el territorio colombiano se podrá ver enfrentado (impactos), lo que permitió facilitar o restringir las decisiones sobre los patrones de ocupación (asentamientos), producción y extracción, sobre lo cual se plantearán acciones para organizarse y prepararse ante las nuevas realidades climáticas del territorio como una vía hacia la adaptación al cambio climático.



## 6.1 La modelación de la distribución espacial actual de las formaciones vegetales

La distribución espacial de la vegetación para un período de referencia (1970-2000) se modeló utilizando el modelo de Holdridge (1966), que relaciona variables climáticas y formaciones vegetales. El sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge asocia las formaciones vegetales (o los biomas) con la temperatura media anual del aire (biotemperatura), la precipitación anual y la tasa de evapotranspiración anual. En este modelo, cada zona de vida está representada por un hexágono conformado por el cruce de las isolíneas de las tres variables señaladas.

La temperatura media anual del aire se obtuvo a partir de las mediciones en estaciones climatológicas del Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) y estimaciones con base en el Modelo Digital de Elevación (DEM), las que generaron datos de temperatura media anual para píxeles cada 900 metros. Para el cálculo de la temperatura media anual con el Modelo Digital de Elevación se utilizó la relación:

$$T_x = T_{\text{estación}} - (T * (h_{\text{pixel}} - h_{\text{estación}}))$$

$T_x$  - Temperatura media para un nuevo píxel;  $T_{\text{estación}}$  - Temperatura media anual de la estación meteorológica;  $h_{\text{pixel}}$  - altura sobre el nivel del mar del nuevo píxel;  $h_{\text{estación}}$  - altura sobre el nivel del mar de la estación meteorológica.  $T$  - Gradiente de temperatura por región climática (ver Tabla 1), calculado así:

$$T = T_{\text{max}} - T_{\text{min}} / h_{\text{max}} - h_{\text{min}}$$

$T_{\text{max}}$  - temperatura máxima de la región climática en mm;  $T_{\text{min}}$  - temperatura mínima de la cuenca climática en °C ;  $h_{\text{max}}$  - altura máxima en metros de la estación;  $h_{\text{min}}$  - altura mínima en metros de la estación.

El método de interpolación seleccionado fue IDW (Inverse Distance Weighted Interpolation o Distancia Inversa Ponderada), lo anterior resultado de la comparación de las predicciones obtenidas a partir de dos interpoladores (IDW, SPLINE) el criterio para su selección fue el Promedio Absoluto del Error (PAE) usado por Schloeder et al. (2001), el cual se define como el promedio de la suma absoluta de los residuos (valor observado-valor estimado) que es definido también como el sesgo o error de la predicción, cuando el valor PAE es pequeño, se asocia a un método con pocos errores, aunque los interpoladores tuvieron un desempeño similar en términos estadísticos, IDW fue superior al predecir de una mejor manera la distribución de la variables

modeladas con la información utilizada para su validación, debido a la cantidad de puntos utilizados en el modelo.

El modelo originalmente está a 30 metros de resolución espacial, pero la información cartográfica disponible con cubrimiento nacional utilizada en esta modelación se encuentra a escalas muy generales, situación que complica el uso de este tipo de modelos para describir con mayor nivel de detalle las áreas que potencialmente pueden verse afectadas por el cambio climático a nivel local, por lo anterior, se hace remuestreo a 900 metros como tamaño de pixel. Ver tabla 2.

Tabla 2. Gradiente de temperatura por región climática.

REGIÓN	GRADIENTE (°C/100 metros)	REGIÓN	GRADIENTE (°C/100 metros)
1. ALTA GUAJIRA	0.6	13. SABANA DE BOGOTÁ	0.55
2. SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA Y CUENCA DEL CESAR	0.57	14. RÍO SOGAMOSO	0.55
3. LITORAL CENTRAL	0.57	15. CATATUMBO	0.52
4. BAJO MAGDALENA	0.5	16. RÍO ARAUCA Y CUENCA MEDIA DEL META	0.58
5. SINÚ- SAN JORGE- BAJO NECHÍ- URABÁ	0.5	17. PIEDEMONTE LLANERO	0.53
6. PACÍFICO NORTE Y CENTRAL	0.49	18. ORINOQUÍA ORIENTAL	0.57
7. PACÍFICO SUR	0.49	19. ORINOQUÍA CENTRAL	0.55
8. MONTAÑA NARIÑIENSE	0.57	20. SURORIENTE AMAZÓNICO	0.55
9. ALTO CAUCA	0.57	21. AMAZONÍA CENTRAL	0.53
10. MEDIO CAUCA Y ALTO NECHÍ	0.52	22. PIEDEMONTE AMAZÓNICO	0.51
11. ALTO MAGDALENA	0.57	23. ALTO PATÍA	0.57
12. MEDIO MAGDALENA	0.57	24. SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA	0.58

La precipitación se obtuvo utilizando los datos de estaciones climatológicas suministradas por el IDEAM, complementadas a partir de la bases de datos de la Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM), obteniendo un total de 3700 puntos con datos de precipitación anual. A partir de estos datos, con interpolación IDW se generaron datos para una cuadrícula de 900x900 metros.

La evapotranspiración potencial (ETP) se calculó mediante la fórmula:

$$ETP = \text{Biotemperatura} * 58.93 \text{ (en milímetros anuales)}$$

La tasa evapotranspiración o las provincias de humedad se definieron de la siguiente manera:

$$\mathbf{IH = ETP / PP}$$

IH - Índice de humedad; ETP - Evapotranspiración potencial; PP - Precipitación media anual

El modelo de Holdridge se programó en código FORTRAN y se obtuvo la formación vegetal a cada uno de los 1'500.000 puntos con información de temperatura media anual del aire, precipitación anual y relación de la evapotranspiración anual. Con la interpolación de estos resultados se elaboró el mapa de formaciones vegetales para Colombia con la base climática o período de referencia 1971-2000, la capa resultante fue suavizada mediante un algoritmo estadístico (majority) que promedia los datos de una matriz de 7x7 celdas adyacentes y atenúa los cambios bruscos entre pixel y pixel. (Alarcón y Pabón, 2013).

Para validar el modelo se usó el mapa de coberturas vegetales obtenido del mapa general ecosistemas de Colombia publicado por SINA 2007.

## **6. 2 La modelación de la distribución espacial actual del índice potencial para agricultura**

La modelación de las áreas con un índice potencial climático para agricultura en Colombia se ajustó a partir de dos variables básicas, la vocación del uso del suelo, y el índice de aridez en donde:

$$\mathbf{IPA = VS*IPCA}$$

**IPA**- Índice Potencial Agrícola (adimensional); **VS**- Vocación de Uso de Suelo; **IPCA**- Índice potencial Climático para la Agricultura.

Estimado así:

*Para Vocación de uso del Suelo (VS):*

La expresión Vocación de uso del suelo es empleada para referirse a la clase mayor de uso que una unidad de tierra que está en capacidad natural de soportar con características de sostenibilidad evaluada sobre una base biofísica, sin tener en cuenta las circunstancias socioeconómicas locales, propias de cada zona agroecológica, para este efecto se consideraron solamente las unidades de tierra con vocación agrícola.

*Para el Índice potencial Climático para Agricultura (IPCA):*

Para el cálculo de este índice se tomó como base el Índice de aridez, el cual al ser un indicador del régimen natural permite analizar el régimen hídrico y ha sido definido como una característica del clima que muestra, de manera cualitativa, los lugares con excedentes y déficit de agua, en especial la cantidad de agua disponible por los cultivos para su desarrollo, sin intermediación de medios antrópicos, así: Húmedo aceptable (Moderado y excedentes de agua, índice de aridez de 0.2-0.29); Óptimo (Moderado, índice de aridez de 0.3-0.39); Seco aceptable (Moderado y deficitario de agua, Índice de aridez de 0.4-0.49).

### **6.3 La modelación espacial actual régimen hídrico (Índice de aridez) y de la oferta hídrica superficial (Escorrentía) para Colombia**

La caracterización y la estimación de la oferta hídrica superficial se soportan en los procesos del ciclo del agua y en la cuantificación de sus componentes a partir del balance hídrico, en particular, el de escorrentía y su expresión en términos de rendimiento hídrico.

#### Ciclo hidrológico

Según Unesco (2010) se define como la “sucesión de fases por las que pasa el agua en su movimiento de la atmósfera a la tierra y en su retorno a la misma: evaporación del agua del suelo, mar y aguas continentales, condensación del agua en forma de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o en masas de agua y reevaporación”. Los componentes del ciclo hidrológico que se relacionan más directamente con la disponibilidad de agua y que intervienen en la ecuación del balance hídrico son la precipitación como variable de entrada, la evapotranspiración real y la escorrentía como variables de salida.

La precipitación es el volumen de agua que cae por acción de la gravedad sobre la superficie terrestre en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo procedentes de la condensación del vapor de agua, ENA (2014). La precipitación es la responsable del depósito de agua dulce en el planeta y, por ende, de la vida tanto de animales como de vegetales, que requieren del agua para vivir. La evapotranspiración real (ETR), sinónimo de evapotranspiración efectiva, se define como la suma de las cantidades de agua evaporadas del suelo y de las plantas cuando el terreno se encuentra con su contenido natural de humedad. Se diferencia de la evapotranspiración potencial (ETP), que es la cantidad máxima de agua capaz de ser evaporada en una condición climática determinada, con una cubierta vegetal continua y suficiente disponibilidad de agua. Por lo tanto, incluye la evaporación del suelo y la transpiración vegetal en una región específica y en un intervalo de tiempo dado; se expresa en unidades de lámina de agua Unesco, (2010). La escorrentía hídrica superficial (ESC) o flujo superficial, se define como parte de la precipitación que fluye por la superficie del suelo y se concentra en los cauces y cuerpos de agua. Es la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir, la altura en

milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. En el balance hídrico se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración en suelo; y está en función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca, y está íntimamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca (ENA, 2014).

Todo lo anterior influye en la estimación de la distribución espacial de la oferta hídrica para el período de referencia 1970-2000 que se modeló utilizando los indicadores hidrológicos ambientales Balance Hídrico e Índice de escasez.

#### **6.4.1 Balance Hídrico**

El balance hídrico se basa en la ley física de conservación de masas. Según la Unesco (2010), es definido como el balance de agua basado en el principio de que durante un cierto intervalo de tiempo el aporte total a una cuenca o masa de agua debe ser igual a la salida total de agua más la variación neta en el almacenamiento de dicha cuenca o masa de agua. La formulación matemática del balance, por lo tanto, expresa la igualdad entre los aportes de agua que entran a un sistema hidrográfico determinado y la cantidad de agua que sale del sistema, considerando las variaciones internas en el almacenamiento de humedad ocurridas durante el período de tiempo determinado.

$$\text{ESC} = \text{P} - \text{ETR}$$

ESC- Escorrentía hídrica superficial (mm); P- Precipitación (mm); ETR- Evapotranspiración real (mm).

Calculado así:

$$\text{ETR} = \text{P}/(0.9+(\text{P}^2/\text{L}^2))^{0.5}$$

$$\text{L} = 300+25*\text{T}+0.005\text{T}^3$$

ETR- evapotranspiración real (mm) según Turc (1955); ETP- evapotranspiración potencial (mm); P- precipitación (mm); L- factor heliotérmico; T- temperatura (°C)

La ecuación anterior permite la interpretación y el análisis de los principales componentes mencionados, para establecer la oferta hídrica y caracterizar las condiciones del régimen hídrico en las diferentes zonas hidrográficas del país.

#### **6.4.2 Índice de aridez**

El Índice de aridez es otro indicador del régimen natural que permite analizar el régimen hídrico y ha sido definido como una característica del clima que muestra de manera cualitativa los lugares con excedentes y déficit de agua. La evapotranspiración potencial representa para este caso un factor determinante en la obtención de este índice. Para generar el indicador se utilizan las ecuaciones de Turc, para el cálculo de la evapotranspiración real (ETR), y Thornwaite

ajustada por brillo solar (latitud), para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP). Este índice representa la dinámica superficial del suelo, determinada a partir de las variables de evapotranspiración potencial (ETP) y de evapotranspiración real (ETR), y no se refiere a la dinámica subsuperficial del suelo, utilizada en análisis climáticos para clasificar el grado de humedad del suelo a través de la relación de la precipitación y la evapotranspiración potencial. Para el cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$Ia = (ETP_{ajustada} - ETR) / ETP_{ajustada}$$

Ia- índice de aridez (adimensional); ETP<sub>ajustada</sub> - evapotranspiración potencial ajustada por brillo solar (mm); ETR- evapotranspiración real (mm).

Calculado así:

$$ETP = 12 * 16 * (10 * T / I)^a$$

$$I = ((T / 5)^{1.514}) * 12$$

$$a = 0.000000675 * I^3 - 0.0000771 * I^2 + 0.0179 * I + 0.49239$$

I – coeficiente anual; T- temperatura promedio anual; a- coeficiente en la fórmula de Thornwaite

Para este estudio la ETP se ajustó por brillo solar (latitud) a partir de la siguiente ecuación:

$$ETP_{ajustada} = ETP * 1.02147$$

#### 6.4 La modelación espacial actual de las áreas susceptibles a deslizamientos e inundaciones para Colombia

La caracterización y la estimación de las áreas susceptibles de deslizamientos de tierra se modeló a partir de una adaptación de la propuesta de Mora & Vahrson (1994), donde

$$ISMM = FP * FR * FESC * FPP$$

ISMM – Índice de Susceptibilidad a deslizamientos de tierra; FP – Factor de pendiente del terreno; FR – Factor de Relieve; FESC- Factor de eEscorrentía hídrica superficial (mm); FP- Factor Precipitación (mm). Es de anotar que todas las variables tienen el mismo peso relativo en el modelo.

Valorado así:

*Pendiente (FP):* 0-15% bajo, 16-30% medio, Mayor al 30% Alto.

*Relieve (FR)*: (Planicies, valles aluviales, superficies de agua y lomeríos) bajo, (Altiplanicies, piedemontes, superficies de aplanamiento) medio, (Altillanuras, montañas, centros poblados) alto.

*Precipitación (FPP)*: 0-1500mm bajo, 1500mm-5000mm medio, Mayor a 5000mm alto.

*Escorrentía (FESC)*: 0-100mm bajo, 1000-4000mm medio, mayor a 4000mm alto.

Con relación al análisis hecho para la estimación de áreas susceptibles a inundaciones se usó una adaptación de la propuesta adelantada por el Instituto nicaragüense de estudios territoriales y la Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación (2005). La propuesta incluye variables como la pendiente, el relieve, los diferentes tipos de suelo caracterizados según el grado de permeabilidad y, por, la escorrentía hídrica superficial en mm. La Unesco (2010) la define como el balance de agua basado en el principio de que durante un cierto intervalo de tiempo el aporte total a una cuenca o masa de agua debe ser igual a la salida total de agua más la variación neta en el almacenamiento de dicha cuenca o masa de agua, así:

$$\text{ISI} = \text{FP} * \text{FR} * \text{FTS} * \text{FESC}$$

ISI – Índice de Susceptibilidad a inundaciones; FP – Factor de pendiente del terreno; FR – Factor de Relieve; FTS – Factor Tipo de suelo; FESC- Factor de Escorrentía hídrica superficial (mm); La ponderación de las variables en el modelo son: FP 20%, FR20%, FTS 30% y FESC 30%.

La valoración es así:

*Pendiente (FP)*: 0-15% alto, 16-30% medio, mayor al 301% bajo.

*Relieve (FR)*: (Planicies, valles aluviales, superficies de agua y lomeríos) Alto, (Altiplanicies, piedemontes, superficies de aplanamiento) medio, (Altillanuras, montañas, centros poblados) bajo.

*Tipo de Suelo (FTS)*: (texturas gruesas) bajo, (texturas medias) medio, (texturas finas) alto

*Escorrentía (FESC)*: (0-100mm) bajo, (1000-4000mm) medio, (mayor a 4000mm) alto.

## **6.5 La modelación de la distribución espacial actual de las condiciones ambientales óptimas para la aparición de la malaria**

La distribución espacial de las condiciones ambientales para la malaria (CAM) para un período de referencia (1971-2000) se modeló utilizando una modificación de la metodología de Rincón Romero y Londoño (2009). Las áreas con CAM se determinaron a partir de la combinación de mapas de conveniencia de malaria, producto de una evaluación de múltiples criterios ambientales

(climáticos, paisaje y vegetación), el presente estudio a diferencia del de Rincón, no llega a la zonificación de riesgos de malaria, solamente a la zonificación de las condiciones ambientalmente óptimas para la aparición de la malaria.

$$\text{CAM} = \text{IC} * \text{IG} * \text{IV}$$

CAM – Condiciones Ambientales para malaria; IC – Índice Climático; IG – Índice Geomorfológico; IV- Índice de Vegetación. Las variables tienen el mismo peso relativo en el modelo.

Donde:

$$\text{IC} = \text{T} * \text{PP} * \text{HR}$$

T – Temperatura; PP – Precipitación; HR – Humedad Relativa

Valorado así:

*Temperatura (T)* : (< 20° C) no apta, (20-32° C) Favorable, (26-28° C) Óptima.

*Precipitación (PP)* : (<100mm) no apta, (100-300mm) Óptima, (300-2500).

*Humedad Relativa (HR)* : (<70%) no apta, (>70%).

$$\text{IG} = \text{G} * \text{P} * \text{DD} * \text{DCA}$$

G – Geoformas, P – Pendiente, DD – Distancia a Drenajes, DCA – Distancia a Cuerpos de Agua

Valorado así:

*Geoformas (G)*: (Lomeríos, piedemontes, montañas) no aptas, (planicies, valles) Óptima

*Pendientes (P)*: (>7%) no aptas, (3-7%) Favorables, (0-3%) Óptimas

*Distancia a Drenajes (en geoformas planas), (DD)* : (>500m) no aptas, (<500m) Óptimas

*Distancia a cuerpos de Agua (DCA)*: (>500m) no aptas, (<500m) Óptimas

**Índice de vegetación (IV)**: (Bosques húmedos tropicales, Bosques ralos, sabanas arbustivas, Herbazales, matorrales, Bosques secundarios y Areas agrícolas activas) Óptimas, (el resto de coberturas) no aptas.



Para generar el mapa de condiciones ambientales para la aparición de la malaria se combinaron diversas capas de información en formato vector y raster, en las cuales se representan criterios de idoneidad o conveniencia para el establecimiento de los parásitos de la malaria. Los criterios y las reglas de decisión se definieron con base en la evaluación de expertos para normalizar las variables espaciales disponibles.

2.1.1. **Índice climático.** Este mapa constituye las condiciones de precipitación media anual, temperatura media anual del aire y humedad relativa favorables para el ciclo de vida de parásitos y vectores de malaria. La temperatura media anual del aire se obtuvo a partir de las mediciones en estaciones climatológicas del Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) y estimaciones con base en el Modelo Digital de Elevación (DEM), las que generaron datos de temperatura media anual para pixeles cada 900 metros. Para el cálculo de la temperatura media anual con el DEM se utilizó la relación:

$$T_x = T_{\text{estación}} - (\tau * (h_{\text{pixel}} - h_{\text{estación}}))$$

$T_x$  - Temperatura media para un nuevo pixel;  $T_{\text{estación}}$  - Temperatura media anual de la estación meteorológica;  $h_{\text{pixel}}$  - altura sobre el nivel del mar del nuevo pixel;  $h_{\text{estación}}$  - altura sobre el nivel del mar de la estación meteorológica.  $\tau$  - Gradiente de temperatura por región climática (ver Tabla 1), calculado así:

$$\tau = (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) / (h_{\text{max}} - h_{\text{min}})$$

$T_{\text{max}}$  - temperatura máxima de la región climática en mm;  $T_{\text{min}}$  - temperatura mínima de la cuenca climática en mm;  $h_{\text{max}}$  - altura máxima de la estación con temperatura en m;  $h_{\text{min}}$  - altura mínima de la estación con temperatura en metros.

## 7. EL CLIMA Y SU ACCIÓN SOBRE EL TERRITORIO COLOMBIANO (LÍNEA BASE)

Como se anotó con antelación, dentro del territorio, diversos aspectos de su organización espacial y funcionamiento están asociados al clima. Por ello es necesario conocer cómo es el clima en un período de referencia y su relación con otros componentes del territorio. A continuación se hace la descripción del clima de Colombia representado en la temperatura media anual, la humedad relativa y la precipitación anual del período 1971-2000 y lo que este clima propicia en cuanto a la a la distribución espacial de la vegetación (ecosistemas), de los recursos hídricos, de la malaria, de la agricultura y de los desastres asociados a fenómenos del tiempo atmosférico y del clima.

## 7.1 Temperatura, precipitación y humedad relativa actual

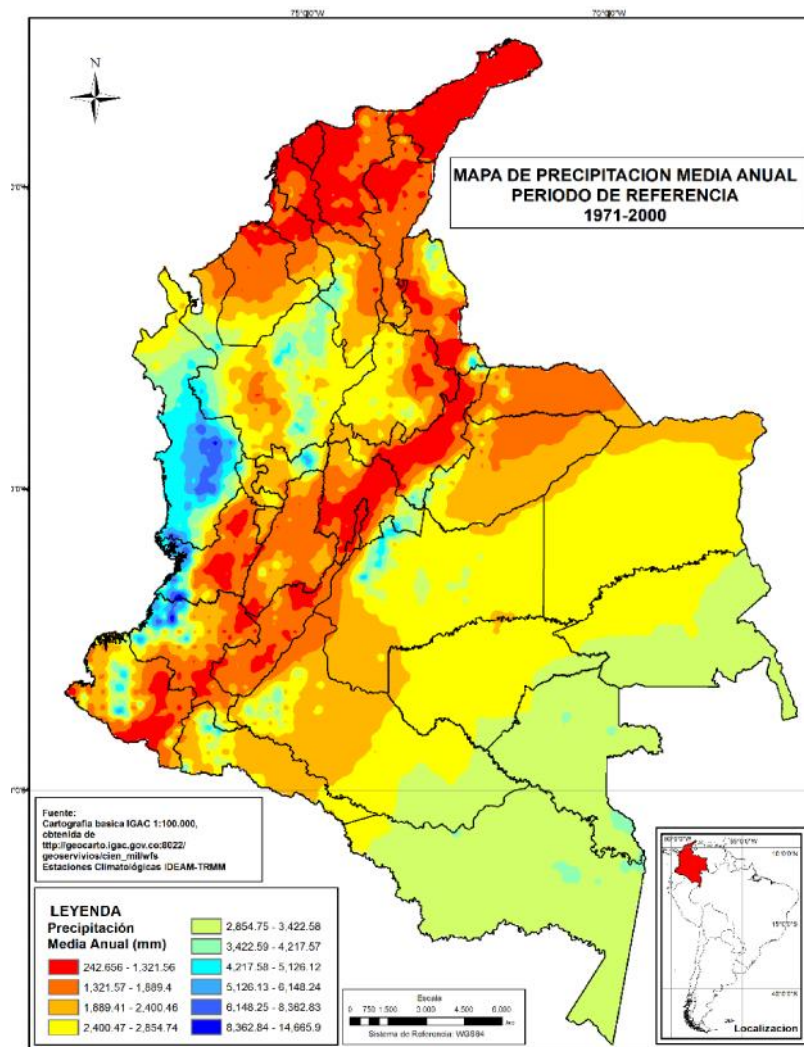


Figura 6: Mapa de precipitación media anual, período de referencia 1971-2000.

Con base en la información climática básica se generaron las capas de precipitación para el período 1971-2000, los valores mínimos y máximos reportados para la capa de precipitación fueron entre 242 mm y 14665 mm, los valores más bajos de precipitación se sitúan principalmente en la región Caribe, península de La Guajira y los Valles de los ríos Magdalena y Cauca, y al sur del departamento de Nariño. Las áreas con excesos de precipitación se localizan en los departamentos de Chocó y norte del departamento del Cauca, aunque también hay algunos núcleos localizados en el piedemonte llanero y amazónico. Ver Figura 6.

El mapa de temperatura media anual del aire (figura 7) se elaboró para cada región climática, así el análisis considera más fielmente la distribución espacial de la temperatura por tener en cuenta factores de tipo geográfico como la altura sobre el nivel de mar, las variaciones locales por efecto de la topografía y el efecto de barlovento y sotavento. Los valores más altos de temperatura se encuentran en los Valles interandinos del río Magdalena, así como también en el Litoral Caribe.

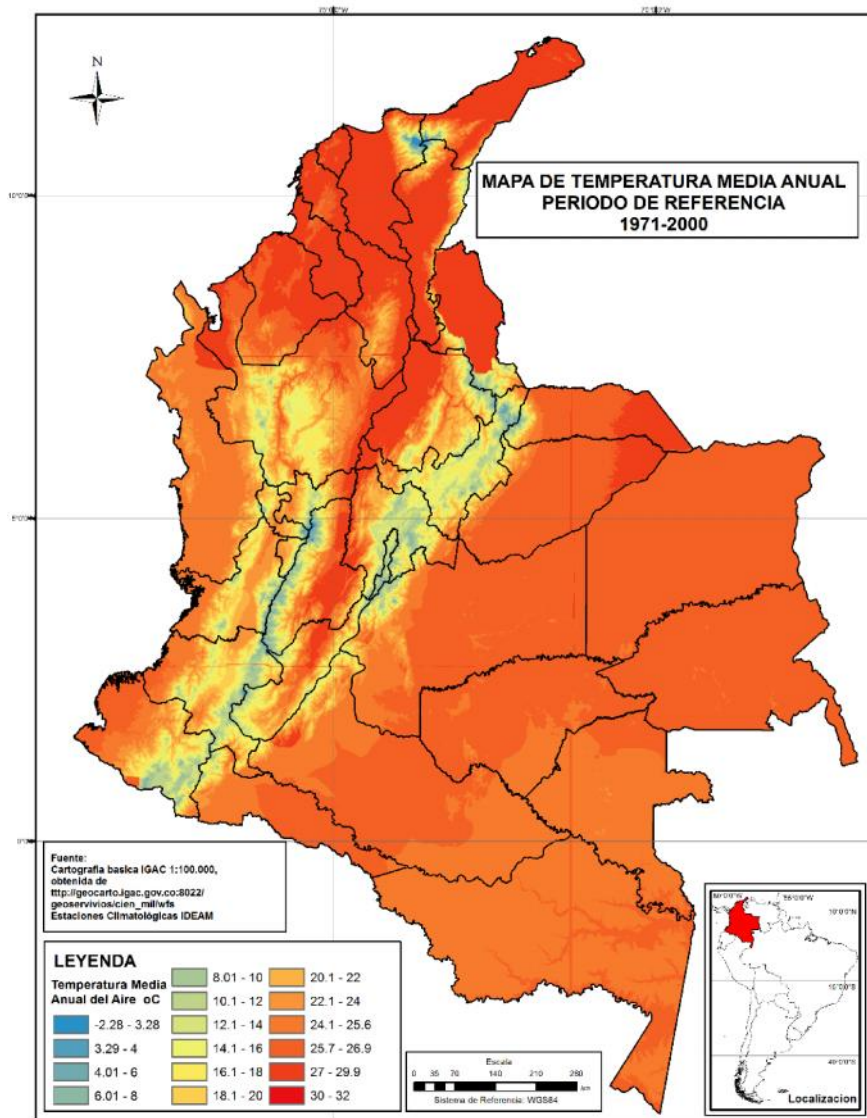


Figura 7: Mapa de temperatura media anual del aire, periodo de referencia 1971-2000.

La humedad relativa presenta los valores más bajos (<70%) en los departamentos Huila, Tolima, La Guajira, Norte de Santander y algunos núcleos en los departamentos de Santander, Antioquia y Boyacá, los valores más altos (mayor al 85%), se localizan en el costado oriental del departamento del Chocó, nororiente del Valle del Cauca, el límite oriental de los departamentos de Cauca y Nariño y la Amazonía, el resto del país se caracteriza por una humedad relativa con valores medios entre el 70 al 85%. Alarcón y Pabón (2013). (Figura 8).

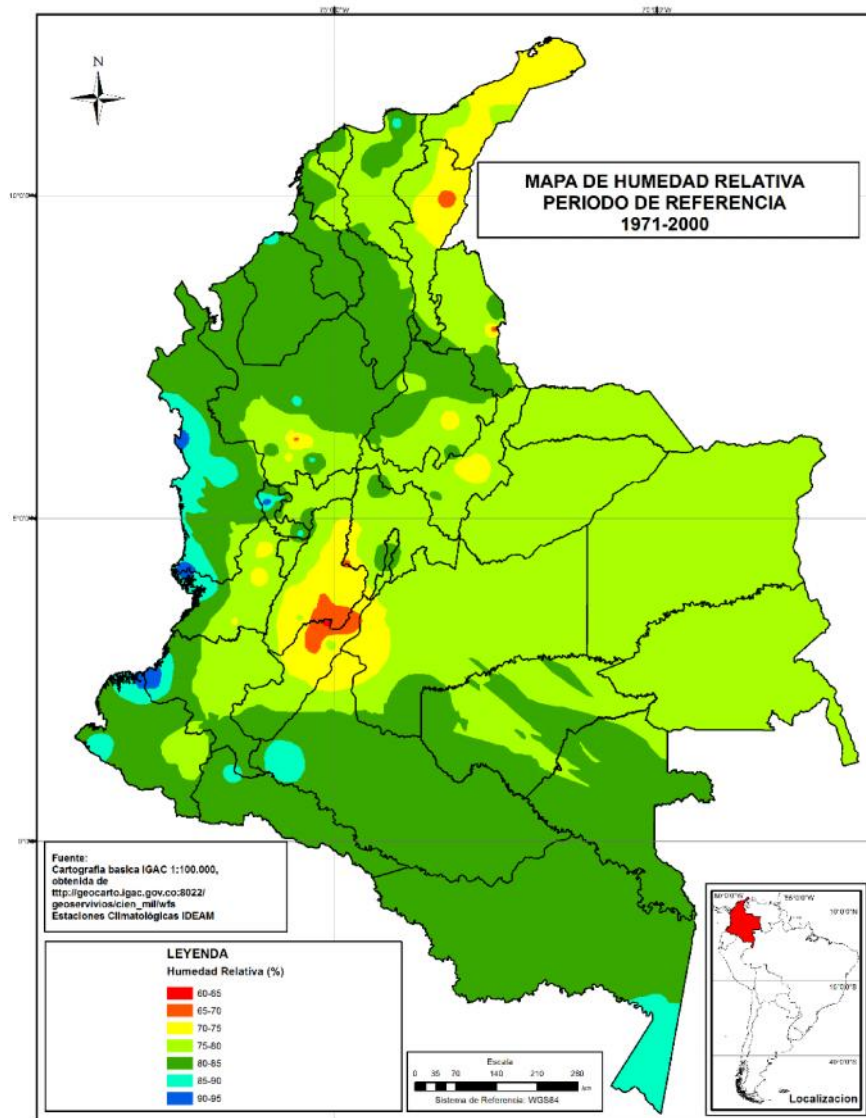


Figura 8: Mapa de humedad relativa del aire, período de referencia 1971-2000

## 7.2 Formaciones vegetales para Colombia

Con base en las dos variables climáticas básicas actuales, temperatura y precipitación, se obtuvieron 20 zonas de vida, que van desde ambientes desde el nivel del mar hasta sistemas nivales, ubicados estos últimos en las zonas altas de las cordilleras y la Sierra Nevada de Santa Marta, y abarcan desde los bosques tropicales, hasta las nieves perpetuas. La mayoría de formaciones vegetales actuales corresponden al piso basal con un 78.62% de su superficie.

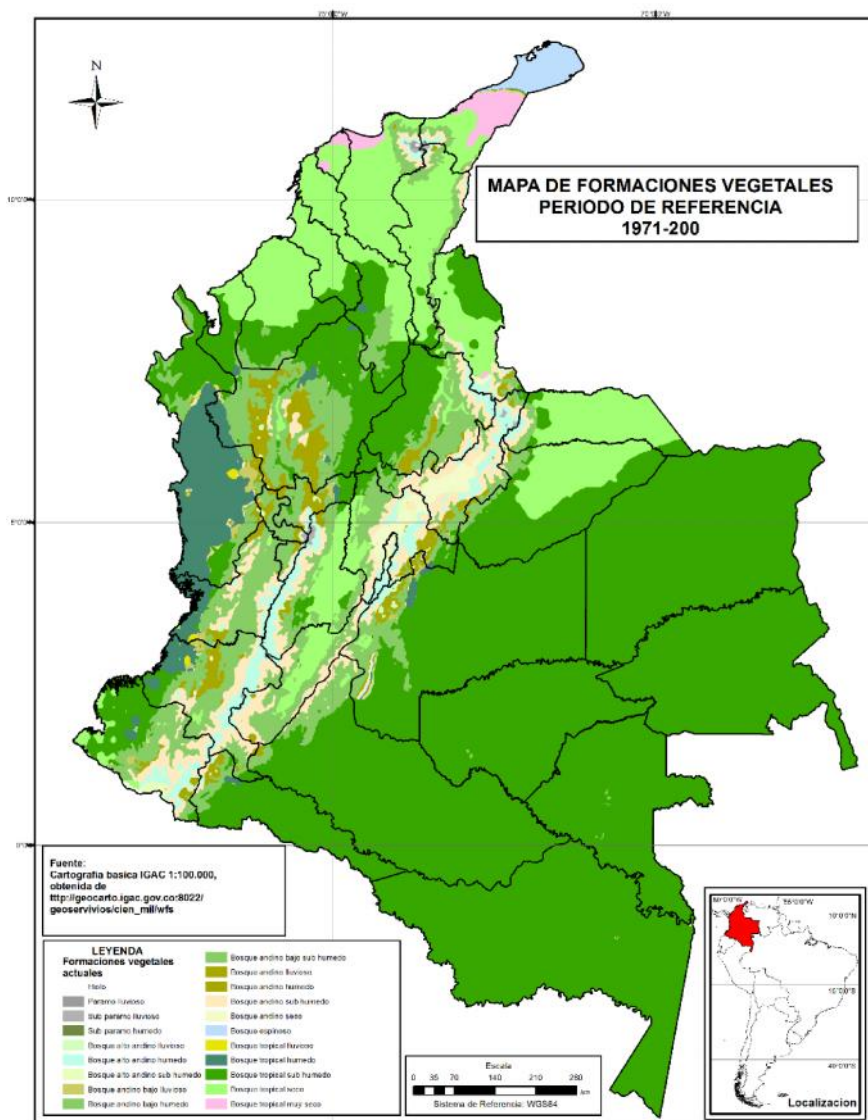


Figura 9: Formaciones vegetales actuales modeladas, periodo de referencia 1971-2000.

Seguidas por las formaciones vegetales del piso andino con un 18.66%, en menor proporción se encuentran la vegetación de las zonas altas, compuestas por el piso alto andino y las zonas de Páramos, con tan solo un 2.7% aproximadamente. La formación vegetal de mayor representación espacial corresponde al Bosque Tropical Subhúmedo con un 60.47% del territorio colombiano, seguido por el Bosque Seco Tropical con el 13.16%, Pabón (2011); las formaciones de Bosque Andino también aportan en el balance nacional, con un 10% aproximadamente, resaltando la condición de alta humedad. Es importante mencionar que, para efectos de esta clasificación de formaciones vegetales con base en las variables climáticas mencionadas, no se tomaron en cuenta otros factores importantes que controlan la posible respuesta de la vegetación como el tipo de suelo, el relieve y los efectos indirectos del CO<sub>2</sub> Yates et al. (2000). Por tanto, no se considera como una clasificación a nivel de asociaciones vegetales, sino de formaciones



vegetales. Sin embargo, para dar cumplimiento a los objetivos de esta investigación se puede considerar suficiente, debido a que con la manipulación de las variables climáticas básicas es posible, y, de una manera muy aproximada se puede examinar cuáles coberturas resultan más sensibles al efecto del cambio climático, esto mediante cambios en su distribución y extensión. Según Yates et al. (2000), si se tiene acceso limitado a modelos mecanicistas, expertos en modelación, datos regionales de alta resolución y calidad, los modelos de correlación se basan en relaciones simples entre medidas agregadas de clima y vegetación. Por otra parte, Lugo et al. (1999) manifiestan que estos pueden ser los métodos más aplicables en estudios de impacto climático. Ver Figura 9.

Para la validación del modelo, los resultados se compararon con las coberturas vegetales obtenidas del mapa general de ecosistemas del SINA (2007) obteniendo una correspondencia muy alta en términos de la distribución espacial de las formaciones vegetales modeladas, cercana al 90%, descontando las excepciones como las áreas ya intervenidas por cultivos, pastos y asentamientos humanos, y las áreas de sabanas naturales de la Orinoquía colombiana. Se

verificaron las coberturas vegetales de los pisos altos, como los páramos y las áreas de hielo, encontrando también una alta correspondencia de los resultados del modelo con la vegetación actual de esos espacios geográficos. Ver Figura 10.

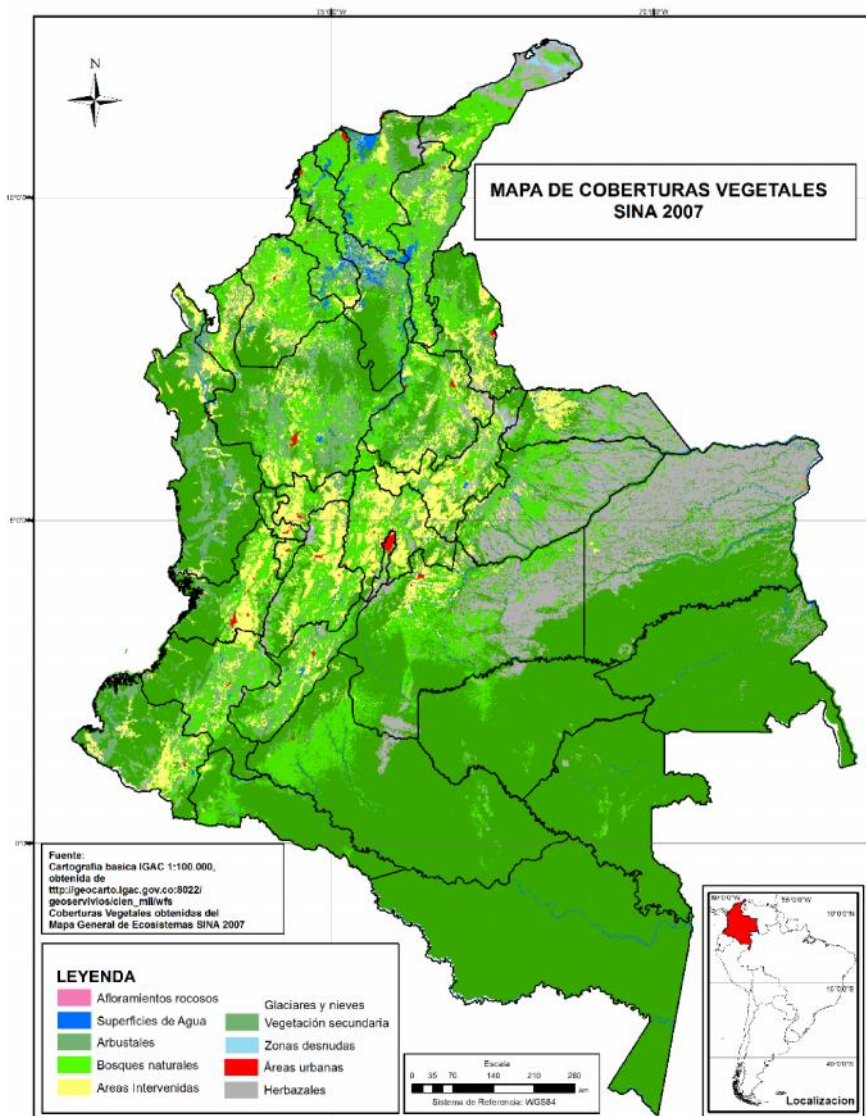


Figura 10: Mapa de Coberturas vegetales obtenidas del Mapa General de ecosistemas SINA (2007). Fuente: IGAC.

### 7.3 Clima y agricultura

Según el estudio de vocación de uso del suelo para Colombia producido por el IGAC, tan solo el 20% del territorio colombiano tiene vocación agrícola, y se definen bajo este concepto todas aquellas tierras que por sus características agroecológicas permiten el establecimiento de sistemas de producción agrícola con plantas cultivadas en diferentes ciclos de vida y productos. Estas tierras presentan la mayor capacidad para soportar actividades agrícolas intensivas y semi intensivas; como se aprecia en la Figura 11. Estas áreas están distribuidas por casi todo el territorio nacional, pero con menor presencia en las regiones amazónica y en el Orinoco.

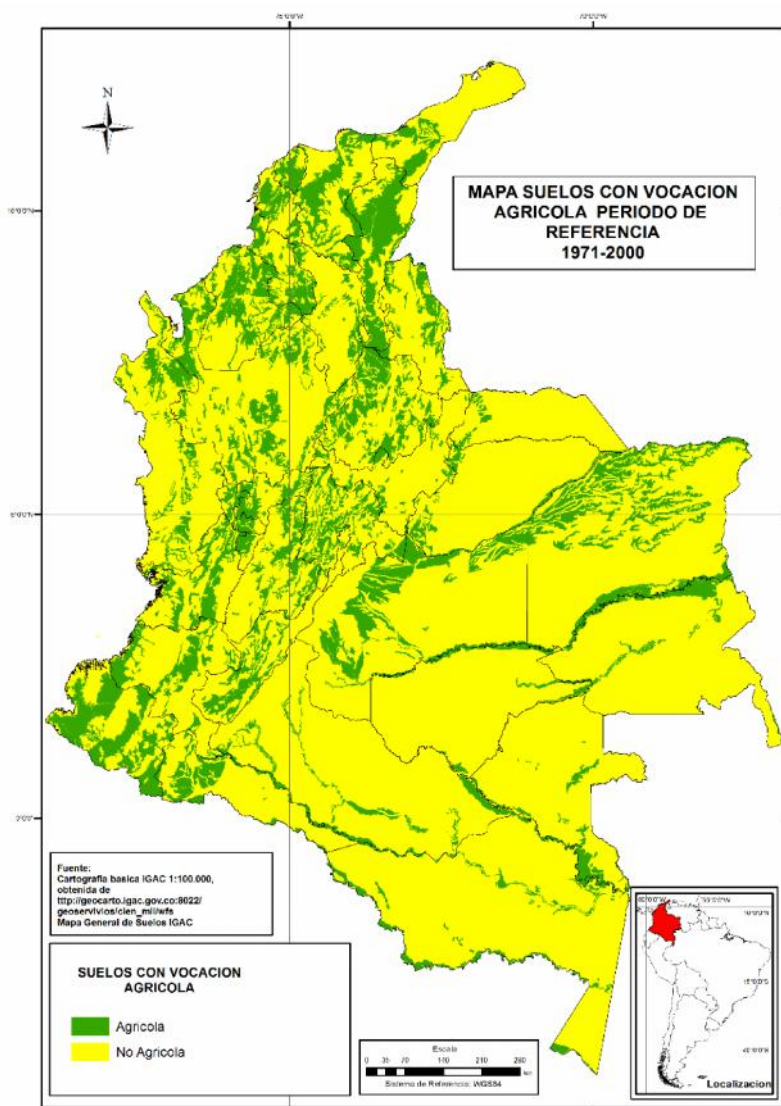


Figura 11. Mapa de suelos con vocación agrícola. Fuente: Mapa de Suelos IGAC.

Posteriormente, se realizó un análisis basado en el álgebra de mapas entre la vocación de las tierras y el índice de aridez, para así determinar todos aquellos suelos con vocación agrícola y, a la vez, con condiciones climáticas óptimas, el resultado de este análisis permite inferir que del total del área con vocación agrícola del país, solamente el 18% presenta condiciones óptimas en términos de disponibilidad de agua para los cultivos, el 8% de estos terrenos presenta condiciones de humedad aceptable, y el 31% corresponde a suelos agrícolas pero con clima predominantemente seco. Este análisis también permitió revelar que cerca del 43% del área con vocación agrícola presenta condiciones con disponibilidad inadecuada de agua, lo que no favorece el normal desarrollo de cultivos, lo anterior induce a otro tipo de problemáticas asociadas al uso de agua, como por ejemplo, la sobreexplotación de aguas subterráneas o el transvase de agua de otras cuencas hidrográficas. Ver Figura 12.

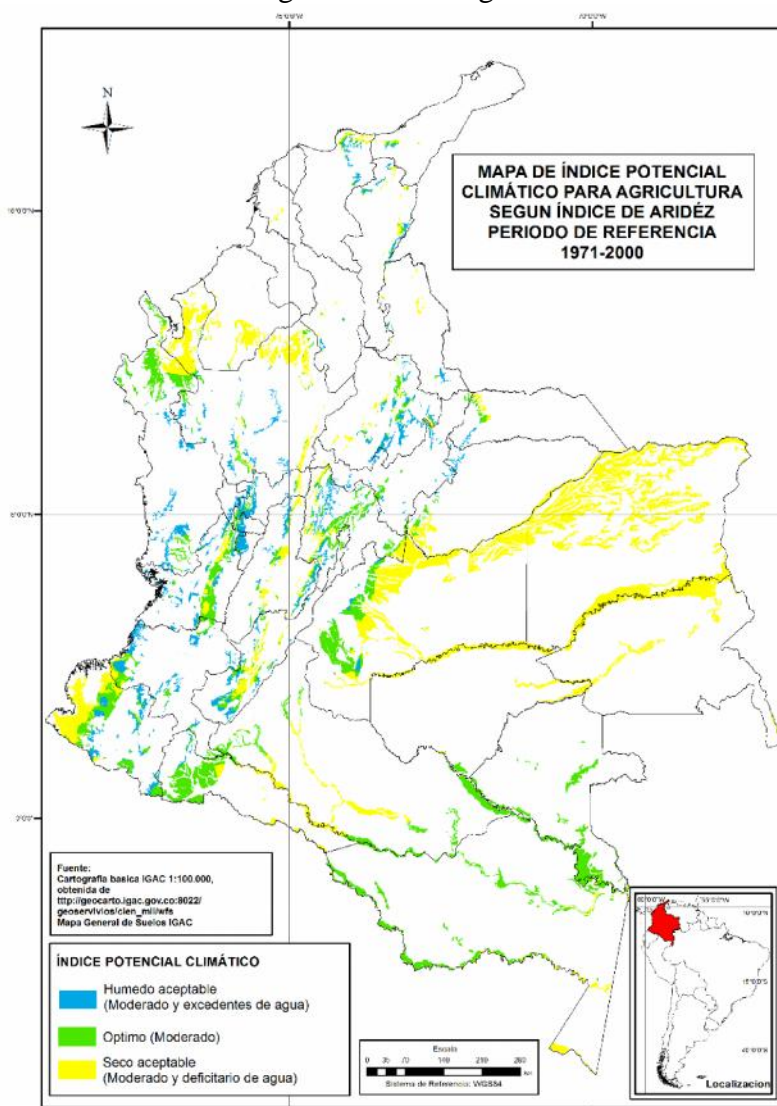


Figura 12: Mapa del Índice potencial climático para agricultura, según índice de aridez, período de referencia 1971-2000.



## **7.4 Clima y recurso hídrico**

La localización físico-geográfica, la variada topografía, y el régimen climático que caracterizan el territorio colombiano han determinado que tenga una de las mayores ofertas hídricas del planeta, sin embargo, esta oferta no está distribuida homogéneamente en el país, y está sometida a fuertes oscilaciones que determinan la disponibilidad del recurso hídrico, razón por la cual Colombia presenta desde zonas deficitarias hasta aquellas con excedentes considerables. La riqueza hídrica del país está conformada por una considerable red fluvial, con unas favorables condiciones de almacenamiento de aguas subterráneas, con la presencia de cuerpos de agua lénticos distribuidos en gran parte de la superficie total y una gran presencia de humedales. El sistema cordillerano, las abundantes precipitaciones, grandes extensiones de sabanas naturales y selvas húmedas tropicales que caracterizan el territorio nacional y determinan la presencia de ecosistemas con gran potencial hídrico y complejos sistemas de regulación.

### **7.5.1 Escorrentía**

El régimen hidrológico del país se caracteriza por tener una escorrentía promedio de 1644 mm, con valores que van desde una escorrentía promedio de 100 mm al año en la península de la Guajira hasta escorrentías mayores de 6000 milímetros en el Pacífico. En el Caribe, con excepción de la Sierra Nevada de Santa Marta y el sector norte del departamento de Antioquia en la cuenca del río Atrato, presenta valores con escorrentías bajas, no superando los 400 mm, mientras que regiones como el Pacífico, en particular el sur del departamento del Chocó y al occidente de los departamentos del Cauca y Valle del Cauca, específicamente en la cuenca alta del río San Juan, se presentan escorrentías muy altas, mayores de 5.000 mm.

En la Figura 13 se muestran valores bajos de escorrentía en los Altiplanos Cundiboyacense, Nariñense y en el departamento del Valle del Cauca; la cuenca alta del río Patía, en el desierto de la Tatacoa, en el Huila; el cañón de la cuenca del río Chicamocha y la cuenca alta del Catatumbo en Santander y Norte de Santander. Sin embargo, para el resto de la región andina, la escorrentía se considera moderada, con valores entre 1.500 mm y 2.500 mm, cubriendo el 31% del territorio nacional. El piedemonte llanero, se caracteriza por tener una escorrentía media alta, valores mayores de 2000 mm. En los departamentos del Arauca y Casanare se presentan valores medios de escorrentía hasta con 1000 mm. En general, la Amazonía colombiana presenta escorrentías que van desde los 1000 mm hasta los 3000 mm.

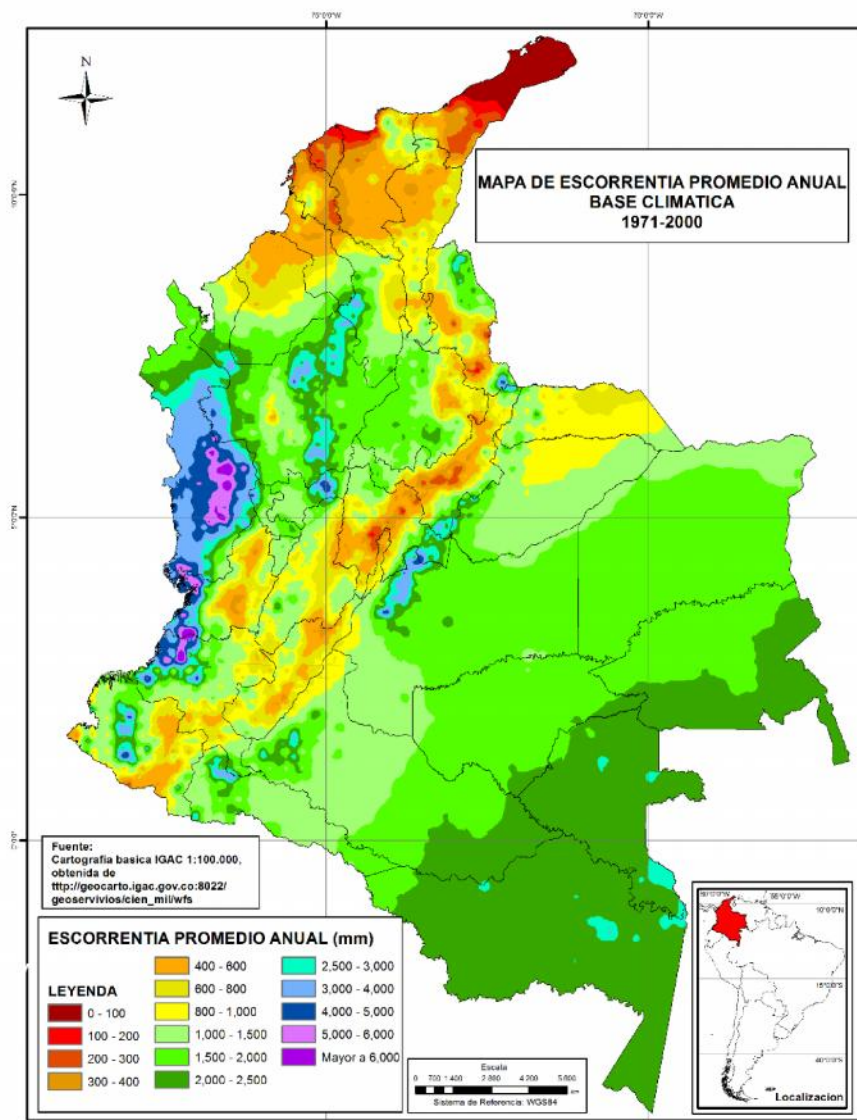


Figura 13: Mapa de escorrentía promedio anual, período de referencia 1971-2000.

### 7.5.2 Índice de Aridez

Las características del régimen hidrológico están determinadas por factores climatológicos y bióticos, asociados con la cobertura de la superficie terrestre y los propios de la dinámica del agua en el suelo y subsuelo IDEAM (2014). En esta investigación se utilizó como indicador para estudiar el régimen hidrológico el índice de aridez, cuyo valor promedio para el país es de 0,23, colocando a Colombia en condiciones moderadas y con excedentes de agua, a su vez presenta sectores altamente deficitarios de agua localizados en la península de la Guajira y norte de los departamentos de Magdalena y Atlántico, así como también en los límites de los departamentos de Cundinamarca, Tolima y sur del departamento de Norte de Santander; las zonas deficitarias de agua ocupan un 6.9% del territorio colombiano y se localizan en la cuenca

del río grande de la Magdalena, el norte del departamento de Córdoba, Sucre, Magdalena, Cesar y parte del departamento de Norte de Santander. Las condiciones moderadas a deficitarias de agua se presentan en la sabana de Bogotá, valle del río Chicamocha, así como también en la Orinoquía y Amazonía colombiana. Es importante mencionar que un porcentaje alto (48.5%) del país presenta excedentes de agua superficial, en niveles de moderados a altos. Cabe resaltar que cerca del 80% de la población y de las actividades económicas del país están localizadas en cuencas con déficit natural de agua, los cuales están ilustrados en la Figura 14.

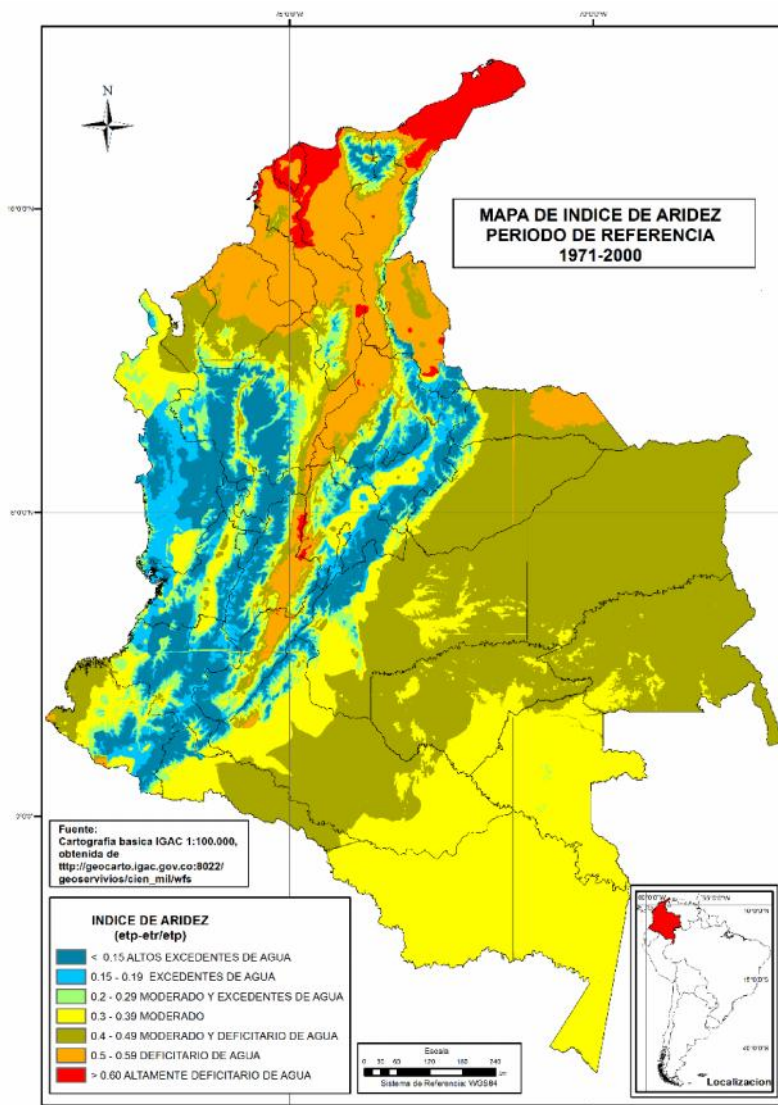


Figura 14: Mapa de Índice de Aridez, período de referencia 1971-2000.

## **7.5 Localización espacial actual de las áreas susceptibles a deslizamientos e inundaciones en Colombia**

Con base en la superposición espacial de los cuatro factores modelados (pendiente, relieve, escorrentía y precipitación), se obtuvo la distribución espacial de las actuales áreas susceptibles a deslizamientos (ver Figura 15). Según este modelo, cerca del 9.5% del territorio tiene condiciones susceptibles de deslizamientos de tierra, localizándose esta amenaza principalmente en relieves montañosos y altillanuras estructurales con precipitaciones que superan los 5000 mm de precipitación anual; pendientes que superan el 30% de inclinación y escorrentías superficiales por encima del 4000 mm. Estas áreas en la actualidad se localizan en el sector nororiental de la Sierra Nevada de Santa Marta, en el sur de Bolívar, específicamente en la Serranía de San Lucas; al sur del departamento de Santander, oriente y norte de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, el flanco occidental de la cordillera central en Caldas, Tolima y sur del Quindío. Igualmente un porcentaje alto del departamento de Antioquia presenta esta condición, así como el flanco oriental de la misma cordillera, la gran mayoría del piedemonte llanero y amazónico presenta susceptibilidad alta de deslizamientos de tierra.

Las áreas con susceptibilidad baja ocupan un 69.5% del territorio nacional, sobre paisajes planos, planicies de inundación, lomeríos con pendientes hasta el 15%, precipitaciones por debajo de 1500 mm al año y escorrentías que no superan los 1000 mm; estos territorios se localizan principalmente al norte del país en los departamentos de la Guajira, Cesar, Magdalena, Sucre, la parte norte de Bolívar, los valles de los ríos Magdalena, Cauca y Atrato; y en casi todos los departamentos de la Orinoquia y la Amazonía. En cuanto a las condiciones medias de deslizamientos de tierra, el modelo reporta valores cercanos al 21% del área de país localizándose en zonas aledañas a las que tienen una condición alta, estos espacios se caracterizan por presentar pendientes entre el 15 al 30%, escorrentías superficiales de 1000 mm a 4000 mm y precipitaciones entre 1500 mm y 5000 mm.

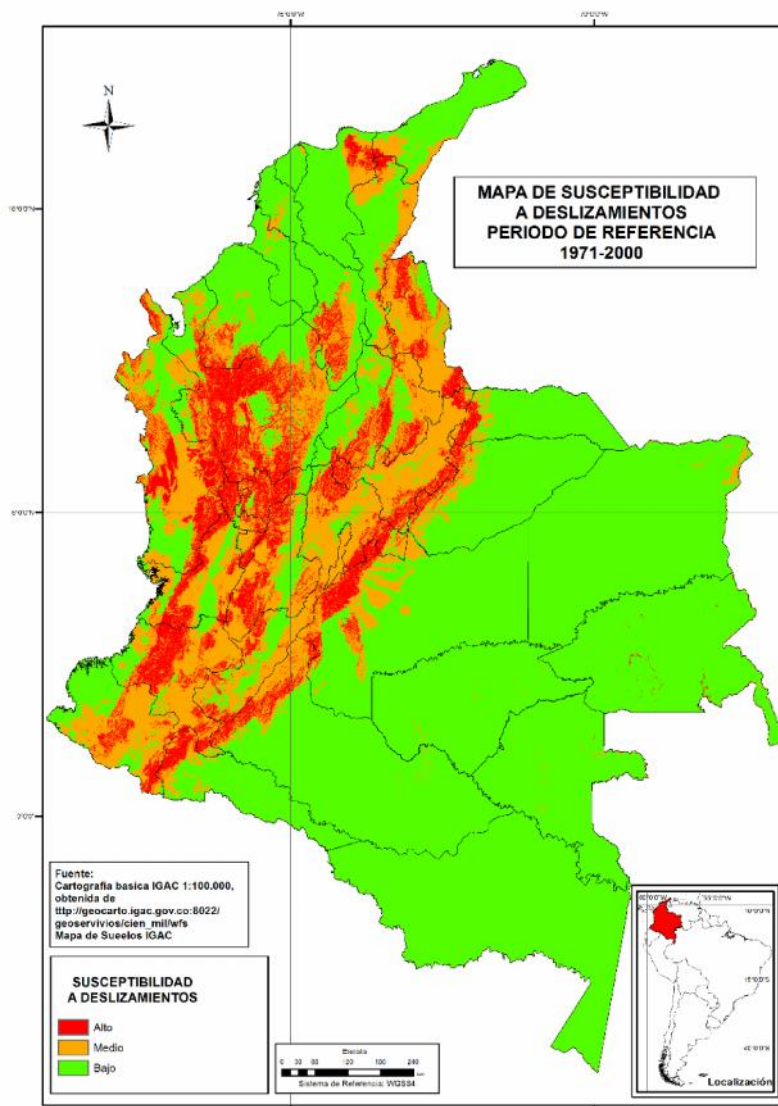


Figura 15: Localización espacial actual de las áreas susceptibles a deslizamientos para Colombia, período de referencia 1971-2000.

Con relación a las áreas susceptibles de inundaciones pluviales, y, de acuerdo a los factores modelados como factor pendiente, factor relieve, factor tipo de suelo y factor escorrentía, el país presenta una caracterización cercana al 21% de su territorio, con una susceptibilidad alta a inundaciones. Estos terrenos están caracterizados por presentar pendientes que no superan el 15%, paisajes con predominio de valles aluviales y planicies inundables, áreas aledañas a cuerpos de agua como ríos, pantanos y ciénagas, con escorrentías altas superando los 4000 mm y suelos con clases texturales finas, muy mal drenados y ubicados principalmente en los valles de los ríos Atrato, Magdalena y Cauca, el sector norte del país, principalmente en el valle de inundación del río Magdalena, en los departamentos de Atlántico, Sucre, Bolívar y Córdoba, los sectores de planicies aluviales y fluvio lacustres de los departamentos de Arauca y Casanare, la



Sabana de Bogotá, el nororiente del departamento de Nariño y los valles aluviales de los ríos de las cuencas Orinoco y Amazonas como son los ríos Meta, Orinoco, Guaviare, Caquetá y Putumayo, entre los más importantes. Las áreas con susceptibilidad baja a inundaciones corresponden al 58.6% de la superficie territorial, presentando relieves montañosos, altillanuras y lomeríos, con pendientes altas que no permiten la acumulación de agua, valores bajos de escorrentía, menores a 1000 mm, suelos con texturas gruesas y bien drenados, cuya distribución geográfica se da en los departamentos con presencia de sistemas montañosos y su mayor distribución espacial corresponde a los departamentos andinos. Ver Figura 16.

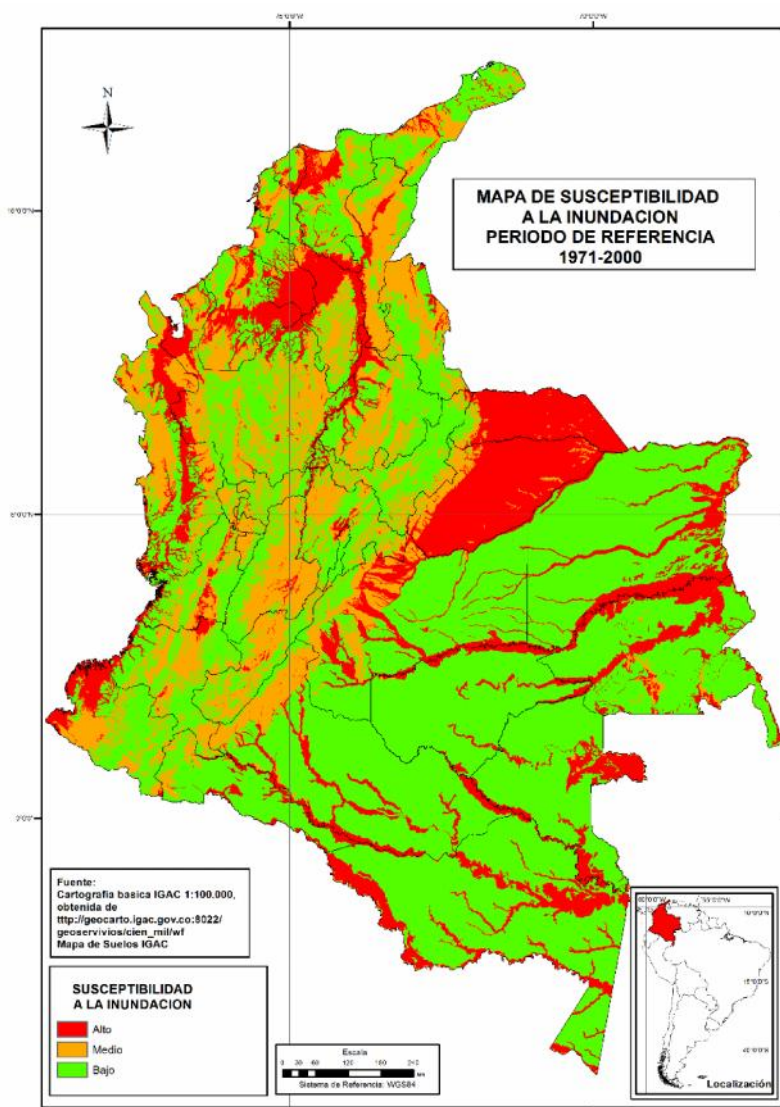


Figura 16: Localización espacial actual de las áreas susceptibles a deslizamientos para Colombia periodo de referencia (izq.) y localización espacial actual de las áreas susceptibles a inundaciones para Colombia (der.). Período de referencia 1971-2000.

Los resultados de esta modelación fueron validados bajo el sistema de inventario de efectos de desastres, obtenidos de la base de datos de desinvetnar.org, este estudio espacializó la ocurrencia

de desastres clasificados por diferentes eventos, entre ellos deslizamientos e inundaciones. (Ver Figura 17).

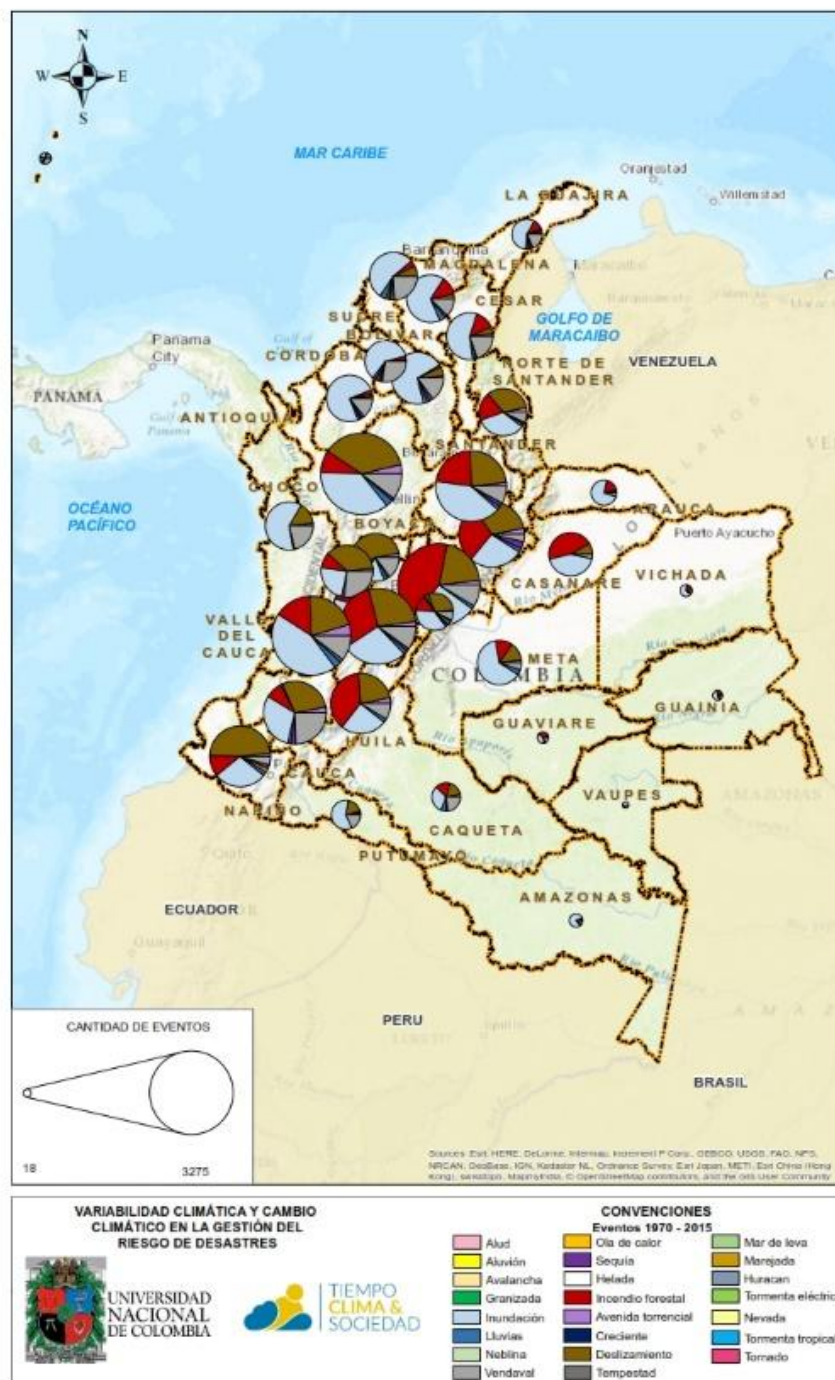


Figura 17: Localización espacial de eventos causantes de situaciones de desastres. Fuente: Grupo Tiempo, clima y sociedad, Universidad Nacional (2016).

## **7.6 Condiciones actuales ambientalmente aptas para la aparición de la malaria**

Con base en la superposición espacial de los tres índices (índice climático actual, índice geomorfológico e índice de cobertura vegetal) se obtuvo la distribución espacial de las actuales condiciones ambientales aptas para la aparición de la malaria, según el modelo (ver Figura 18). Cerca del 60% del territorio colombiano tiene condiciones ecológicas aptas para la aparición de la malaria, ubicándose en regiones como la Amazonía, el Caribe, las sabanas de la Orinoquía, el Pacífico y los valles interandinos de los ríos Magdalena y Cauca. Las condiciones óptimas para la aparición de la malaria se registran en el 12 % del territorio nacional localizándose principalmente en las áreas de sabanas de los departamentos de Arauca, Casanare, Vichada y Meta, parte norte del departamento del Chocó y el Urabá Antioqueño, en las áreas bajas y áreas de agroecosistemas de los departamentos de Córdoba, Sucre, Atlántico, norte del departamento de Bolívar y sur del Magdalena, así como también en el valle interandino del río Magdalena, en Huila Tolima, Caldas, Cundinamarca, Boyacá y suroccidente de Santander. La temperatura ideal de estas áreas oscila entre los 26 a 28° C en terrenos planos cuyas pendientes no superan el 3%, con terrenos fácilmente inundables, y que tienen coberturas vegetales en su gran mayoría transformadas.

Las condiciones favorables para la propagación de los mosquitos que transmiten la malaria cubren un 46% del total nacional, su distribución geográfica se presenta principalmente en el departamento de la Guajira, noroccidente del Magdalena, en el límite de los departamentos de Cesar, Bolívar, la margen occidental de Santander y casi toda la región amazónica con excepción de los afloramientos rocosos de Chiribiquete y sur del Amazonas, así como también las áreas de agroecosistemas de Caquetá y Putumayo; también se presentan superficies con condiciones favorables en los departamentos de Chocó y Valle del Cauca, aquí la temperatura promedio es entre los 20 a 32° C, en terrenos ondulados, pendientes hasta del 7%, coberturas principalmente transformadas y pastos, humedad relativa superior al 70% y los territorios que no ofrecen las condiciones ambientales para el establecimiento del vector de la malaria corresponden al 42% del total nacional, localizándose en regiones con temperaturas inferiores al 20° C y se ubican en las áreas andinas del país, relieves ondulados y montañosos y excesos de precipitación imposibilitando el desarrollo de las larvas del mosquito.



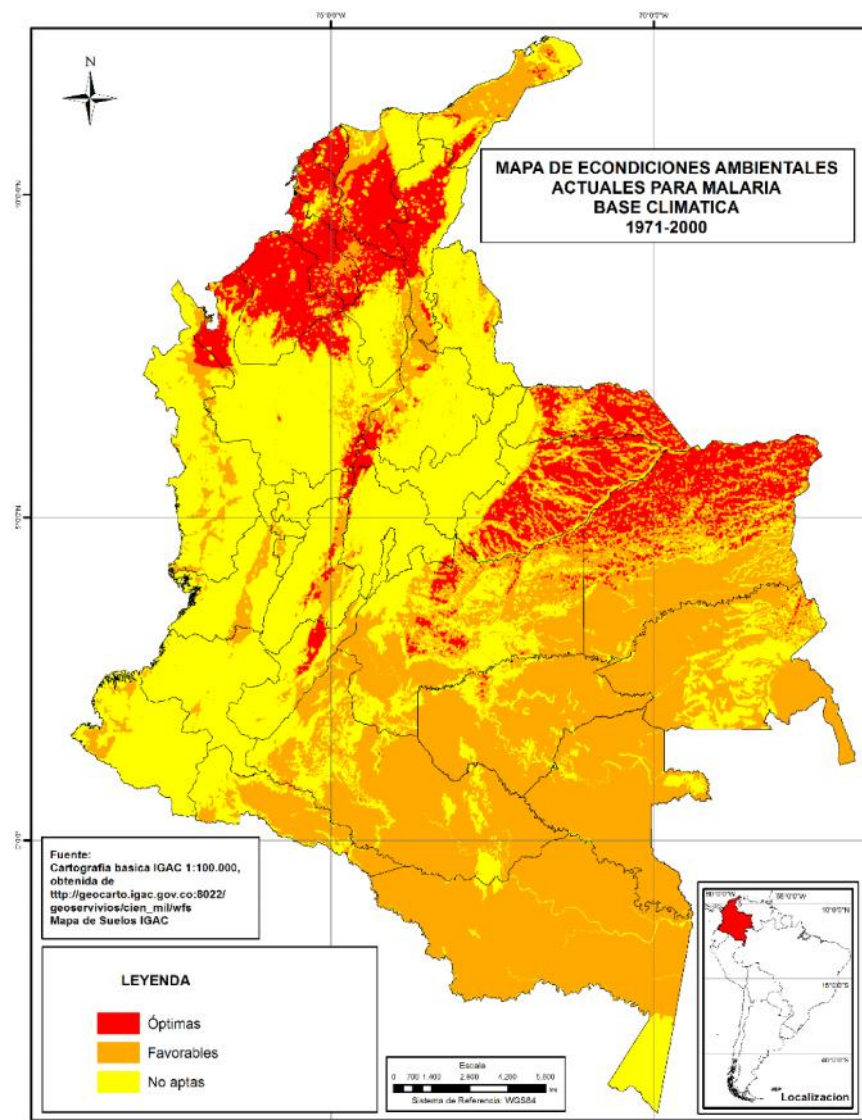


Figura 18: Mapa de condiciones ambientales actuales para la aparición de la malaria según lo modelado con el clima del período de referencia 1971-2000.

Para validar la modelación descrita arriba se tomaron los resultados de Olano et al. (2001), quienes hicieron mapas de presencia de vectores primarios y secundarios de malaria en Colombia basados en publicaciones científicas, datos de la colección de referencia, actividades de la Red Nacional de Entomología Médica, las seccionales departamentales y municipales de salud, documentos internos de investigaciones y estudio de brotes realizados por el laboratorio de Entomología del Instituto Nacional de Salud. En ese estudio, Olano et al. (2001) presentan un panorama actualizado de la distribución de los Anopheles encargados de la transmisión de la malaria en Colombia. A partir de los mapas presentados por Olano et al. (2001) se construyó

una versión (Figura 19) comparable con la generada por el modelo desarrollado en el presente trabajo y utilizado como medio de validación de este último.

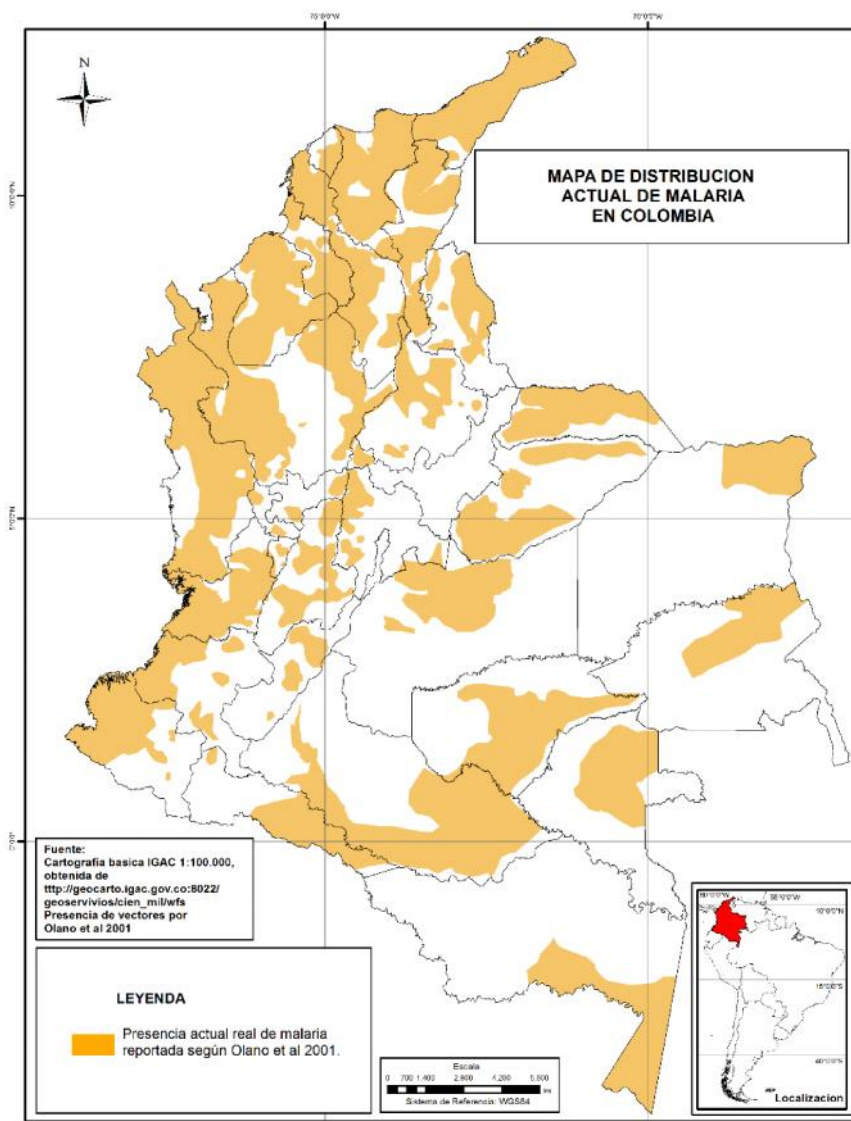


Figura 19: Mapa de la distribución actual de malaria según lo reportado por Olano et al. 2001.

## **8. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL TERRITORIO COLOMBIANO**

### **8.1 Temperatura, precipitación y humedad relativa futuras**

En términos generales, para el período 2011-2040 la temperatura del aire aumentará alrededor de los 2°C por encima de lo observado en el período de referencia, con aumentos de hasta 4°C en diferentes regiones al finalizar el período. El calentamiento tiende a ser mayor en el Valle del Magdalena, en la Orinoquía, un extenso sector de la Amazonía y el sector central del Litoral Caribe, así como en el sur de la costa Pacífica, principalmente en el departamento de Nariño. En el período 2071-2100, bajo el escenario A2 la temperatura media anual del aire presenta los aumentos más drásticos. Si bien en general el incremento de la temperatura es del orden de 2-4°C en la mayor parte del territorio colombiano, en el Valle del Magdalena, Valle del Cauca, la región Caribe y la Orinoquía colombiana, el aumento sería superior a los 4°C (en algunos casos podría alcanzar los 6°C).

En los dos escenarios evaluados (A2 y B2), la precipitación anual durante el período 2011-2040 tendría un incremento mayor del 10% comparada con la que se observaba en el período de referencia, estos aumentos se observan principalmente en las regiones de la Orinoquía y de la Amazonía, el piedemonte amazónico y llanero, el alto y medio Magdalena, todo el altiplano Cundiboyacense, y el nororiente del Chocó. Se aprecian núcleos con incrementos mayores principalmente en el Piedemonte llanero, parte alta del río Arauca, norte del Chocó y un sector al sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta. La reducción de la precipitación anual en el período mencionado se observaría en la cuenca del río Cauca, en el sur de la Región Pacífica y un sector centro-sur del Chocó, así como una amplia zona en la región Caribe.

En el período 2071-2100, en los dos escenarios A2 y B2, las reducciones de precipitación mayores del 30% en relación con los valores anuales de 1971-2000 se observarían en los valles interandinos y el Caribe. La reducción más fuerte (por encima del 50%) se presentaría en la franja andina de Nariño y Cauca, en Huila y Tolima, en el altiplano Cundiboyacense, Norte de Santander, La Guajira y en sectores del Litoral Caribe central. El aumento de la precipitación ocurriría en la Vertiente del Pacífico, en la Orinoquía y en la Amazonía. Se destacan los sectores con incrementos mayores de 50% en el centro-norte de la Costa Pacífica, en el Magdalena medio y en algunos pequeños núcleos en el Piedemonte amazónico y llanero. En el escenario A2 el aumento de la precipitación en el área del Magdalena medio es más intenso y cubre mayor área en comparación con lo que ocurriría bajo el escenario B2.

La humedad relativa presenta los valores más bajos (<70%) en los departamentos de Huila al norte, Tolima al sur, la Guajira y núcleos localizados en los departamentos de Boyacá, Antioquia y Santander, los valores más altos (mayores al 85%) se localizan al oriente de los departamentos

de Chocó y en la parte central y el sector occidental del departamento de Casanare, tanto en los escenarios A2 y B2, estas son mediciones de niveles presentados a mediados de siglo, mientras que para finales de siglo la situación tiende a incrementarse considerablemente, pues las áreas con humedades relativas bajas se incrementan en superficie en los mismos departamentos, en los valles interandinos del río grande de la Magdalena y río Cauca así como también el sector nororiental del departamento de Norte de Santander, siendo la situación más extrema en el escenario A2. Ver Figuras 20, 21 y 22.

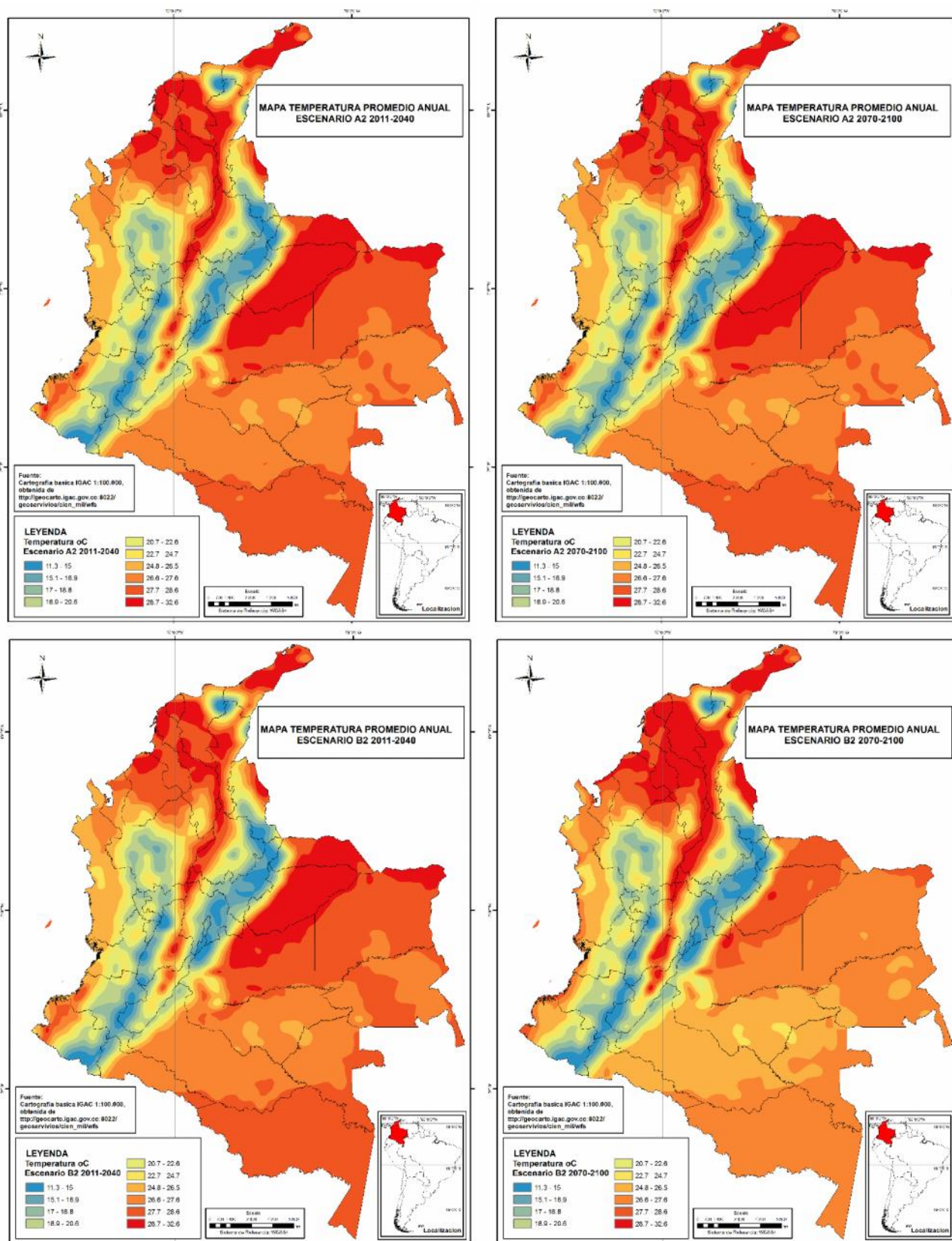


Figura 20: Temperatura media anual del aire, bajo los escenarios A2 y B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100.



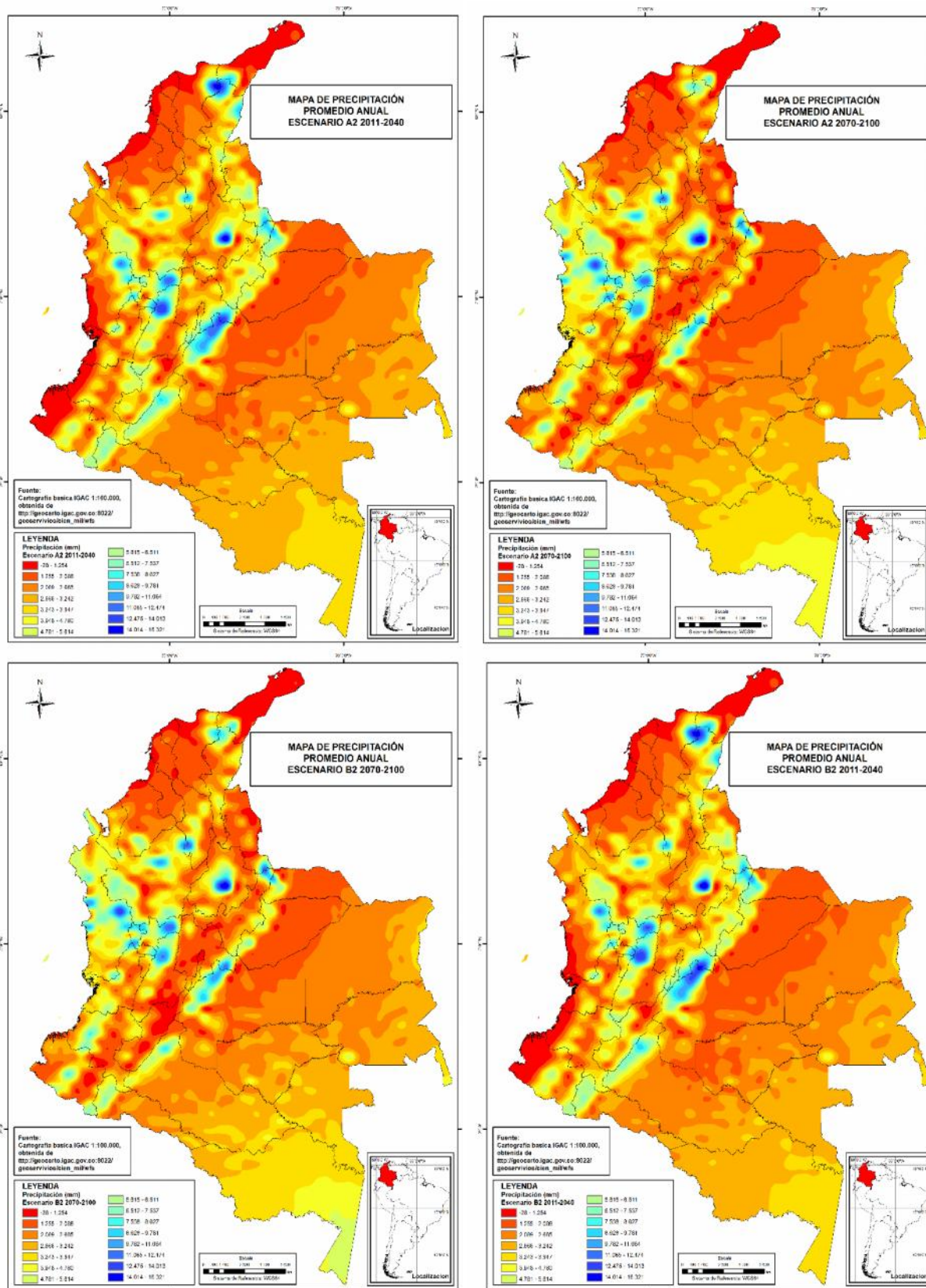


Figura 21: Precipitación media anual, bajo los escenarios A2 y B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100.

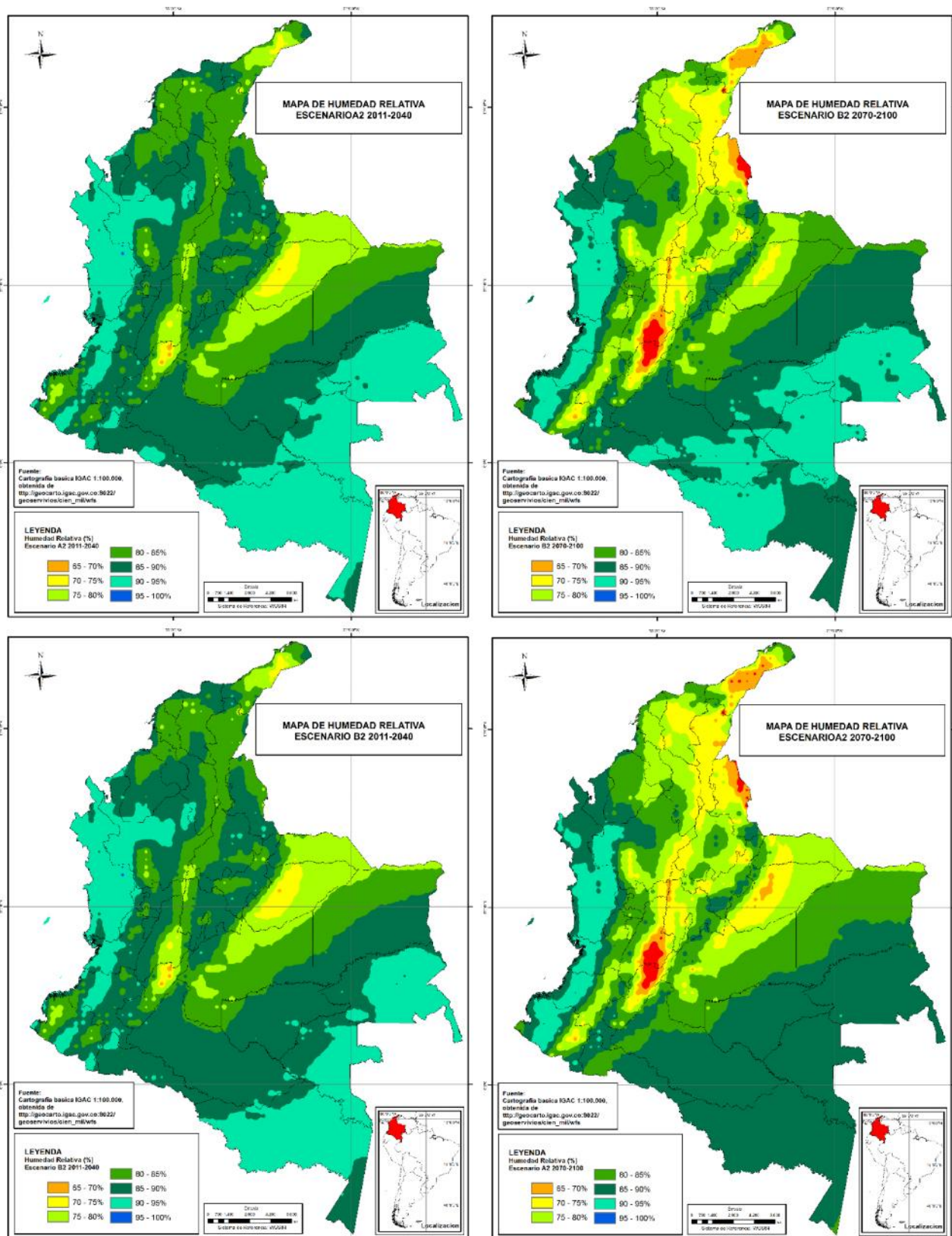


Figura 22: Temperatura media anual del aire, bajo los escenarios A2 y B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100.









Tabla 3. Formaciones vegetales actuales y futuras bajos los escenarios de cambio climático A2 y B2.

Formaciones Vegetales Actuales	%	Formaciones Vegetales Actuales A2 2011-2040	%	Formaciones Vegetales Actuales B2 2011-2040	%	Formaciones Vegetales Actuales A2 2070-2100	%	Formaciones Vegetales Actuales B2 2070-2100	%
Hielo	0.00%								
Paramo lluvioso	0.02%								
Sub paramo humedo	0.00%								
Sub paramo lluvioso	0.10%								
Bosque alto andino humedo	2.18%								
Bosque alto andino lluvioso	0.16%	Bosque alto andino lluvioso	0.02%	Bosque alto andino lluvioso	0.01%		0		0
Bosque alto andino sub humedo	0.24%								
Bosque andino bajo humedo	5.96%	Bosque andino bajo humedo	8.23%	Bosque andino bajo humedo	8.21%	Bosque andino bajo humedo	6.06%	Bosque andino bajo humedo	6.78%
Bosque andino bajo lluvioso	0.25%	Bosque andino bajo lluvioso	5.68%	Bosque andino bajo lluvioso	5.66%	Bosque andino bajo lluvioso	3.81%	Bosque andino bajo lluvioso	3.81%
		Bosque andino bajo seco	0.09%	Bosque andino bajo seco	0.10%	Bosque andino bajo seco	0.37%	Bosque andino bajo seco	0.47%
Bosque andino bajo sub humedo	5.15%	Bosque andino bajo sub humedo	0.99%	Bosque andino bajo sub humedo	0.98%	Bosque andino bajo sub humedo	2.79%	Bosque andino bajo sub humedo	2.98%
Bosque andino humedo	2.42%	Bosque andino humedo	2.95%	Bosque andino humedo	2.90%	Bosque andino humedo	2.49%	Bosque andino humedo	2.44%
Bosque andino lluvioso	0.10%	Bosque andino lluvioso	4.37%	Bosque andino lluvioso	4.24%	Bosque andino lluvioso	0.91%	Bosque andino lluvioso	1.22%
Bosque andino seco	0.61%					Bosque andino seco	0.01%	Bosque andino seco	0.02%
Bosque andino sub humedo	4.18%	Bosque andino sub humedo	0.16%	Bosque andino sub humedo	0.18%	Bosque andino sub humedo	1.59%	Bosque andino sub humedo	2.43%
Bosque espinoso	0.71%	Bosque espinoso	0.81%	Bosque espinoso	0.82%	Bosque espinoso	0.77%	Bosque espinoso	0.77%
Bosque tropical humedo	3.37%	Bosque tropical humedo	2.84%	Bosque tropical humedo	2.95%	Bosque tropical humedo	8.05%	Bosque tropical humedo	5.34%
Bosque tropical lluvioso	0.10%	Bosque tropical lluvioso	0.29%	Bosque tropical lluvioso	0.31%	Bosque tropical lluvioso	0.52%	Bosque tropical lluvioso	0.38%
Bosque tropical muy seco	0.81%	Bosque tropical muy seco	2.21%	Bosque tropical muy seco	2.21%	Bosque tropical muy seco	1.10%	Bosque tropical muy seco	1.19%
Bosque tropical seco	13.16%	Bosque tropical seco	14.42%	Bosque tropical seco	13.85%	Bosque tropical seco	15.43%	Bosque tropical seco	16.18%
Bosque tropical sub humedo	60.47%	Bosque tropical sub humedo	56.69%	Bosque tropical sub humedo	57.32%	Bosque tropical sub humedo	55.45%	Bosque tropical sub humedo	55.40%
		Desierto	0.09%	Desierto	0.10%	Desierto	0.34%	Desierto	0.25%
		Matorral desertico	0.16%	Matorral desertico	0.16%	Matorral desertico	0.30%	Matorral desertico	0.34%

Las coberturas alto andinas también sufrirán un gran impacto, solo quedarían en porcentajes mínimos, es decir, algunos reductos de la unidad de Bosque Alto Andino lluvioso, pero solo para el primer período de análisis en los dos escenarios, las demás coberturas alto andinas, según el análisis, desaparecerían. Las coberturas andinas presentan una dinámica muy particular, el Bosque Andino bajo húmedo y Bosque Andino húmedo reducen dramáticamente su superficie, para los dos períodos de análisis, pero a nivel mayor para el primer período en los dos escenarios, aproximadamente el 5% de su superficie original; y otras que aumentan en superficie como el Bosque Andino bajo húmedo y el Bosque Andino lluvioso, este fenómeno se aprecia más fuerte en el primero que en el segundo período de análisis.

Para los dos escenarios climáticos evaluados se observa la aparición de unidades de clima cálido y seco, como la formación “Desierto” y “Matorral desértico”, así como un notable incremento en área para la unidad Bosque Tropical Seco en la parte norte del departamento de la Guajira, y algunos enclaves en los departamentos de Huila, Atlántico y sur de La Guajira, lo que puede interpretarse como una marcada tendencia a condiciones de altas temperaturas y menores precipitaciones, posibilitando, o bien dejando el territorio nacional más expuesto a posibles incendios en la cobertura vegetal y a procesos de desertificación. La marcada tendencia de las formaciones vegetales hacia provincias de humedad cada vez más secas y generalmente en las zonas de menor altitud, se refleja en la amenaza para la cobertura Bosque Andino Seco que, de hecho, y para efecto del presente análisis, desapareció por completo en los dos escenarios evaluados; esta cobertura aparece principalmente en los departamentos de Casanare, Meta, Santander, La Guajira, y en el sector occidental de los departamentos del Chocó, Valle del Cauca y Nariño. La unidad de Bosque Seco Tropical es una de las de mayor superficie en la actualidad, y como está proyectada, también sufre ganancias considerables en el área, en especial para el segundo período analizado 2070-2100. Pero no solamente formaciones vegetales del piso



### 8.3 Mapas de Índice potencial climático futuro para la agricultura

Se generaron 4 mapas con la posible distribución espacial de la potencialidad climática en suelos con vocación agrícola, para agricultura bajo los escenarios de cambio climático A2 y B2 (ver Figura 26). Los resultados sugieren que las condiciones climáticas favorables en los suelos con vocación netamente agrícola tienden a reducirse en superficie, según la modelación del 20% del territorio nacional, la cual presenta vocación agrícola, pero la condición más crítica se daría en el escenario B2 para mediados de siglo, pues el clima favorable para el establecimiento y desarrollo de cultivos se reduciría notablemente quedando con tan solo el 21% del total nacional con agua disponible para posibles usos agrícolas. En general, el país tiende, en los escenarios evaluados, a la reducción de los lugares con cantidades de aguas ideales para un desarrollo agrícola sostenible.

Ver tabla 4

*Tabla 4. Variación de las superficies con índice potencial agrícola en suelos con vocación para los escenarios de cambio climático A2 y B2, períodos 2011-2040 y 2070-2100.*

<b>Vocación Agrícola</b>	<b>Actual</b>	<b>A2 2011-2040</b>	<b>B2 2011-2040</b>	<b>A2 2070-2100</b>	<b>B2 2070-2100</b>
Húmedo aceptable	8%	8,6%	8,2%	8,5%	6,2%
Óptimo	18%	9,4%	5,8%	9,4%	7,7%
Seco aceptable	31%	18,0%	7,3%	15,1%	19,6%
Suelo con vocación agrícola pero con clima no adecuado	43%	64,0%	78,8%	67,0%	66,5%
<b>Total zona vocación agrícola</b>	<b>100%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>



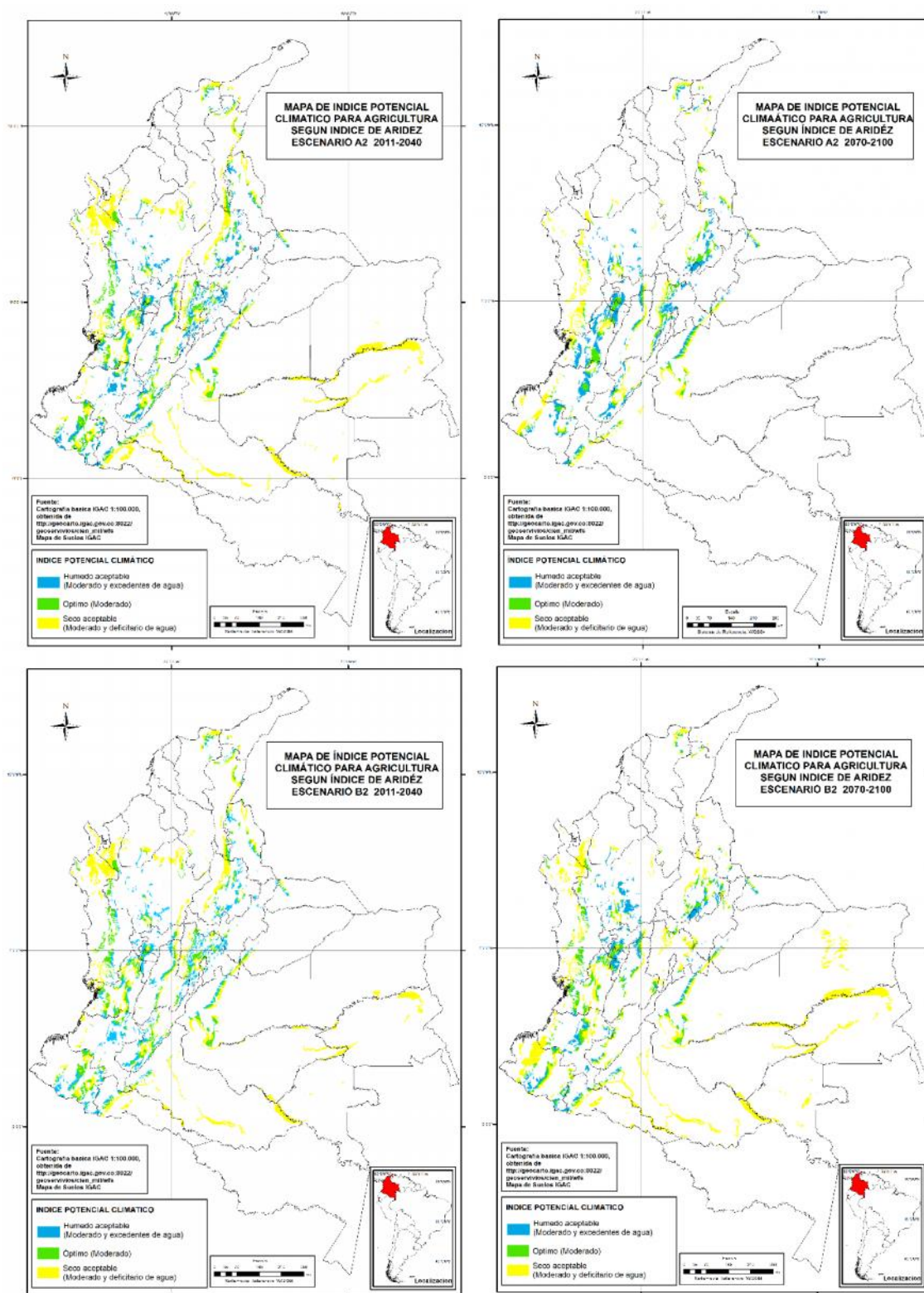


Figura 26: Distribución del índice potencial climático para agricultura en suelos con vocación agrícola, para Colombia, bajo los escenarios A2 y B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100.

## 8.4 Recurso hídrico

### 8.5.1 Mapas de Escorrentía futura

Para evaluar la distribución potencial de la escorrentía para los escenarios de cambio climático propuestos se generaron 4 mapas con los dos indicadores para los dos períodos analizados y bajo los escenarios de cambio climático A2 y B2. En la tabla 5 se observa que el comportamiento de las nuevas áreas varía en función del escenario utilizado, generándose valores promedios de escorrentía así:

Tabla 5. Escorrentía promedio según escenario

Escorrentía (mm)	A2 2011-2040	B2 2011-2040	A2 2070-2100	B2 2070-2100
	1344	1339	1471	1396

En la tabla 5 se pueden observar reducciones significativas en el volumen de escorrentía con relación al valor actual en un 16% en promedio para todos los escenarios, la menor reducción ocurriría en el escenario A2 para finales de siglo con un 11% de la escorrentía actual y la reducción más drástica se da en el escenario B2 para mediados de siglo hasta en un 19% respecto a la actualidad.

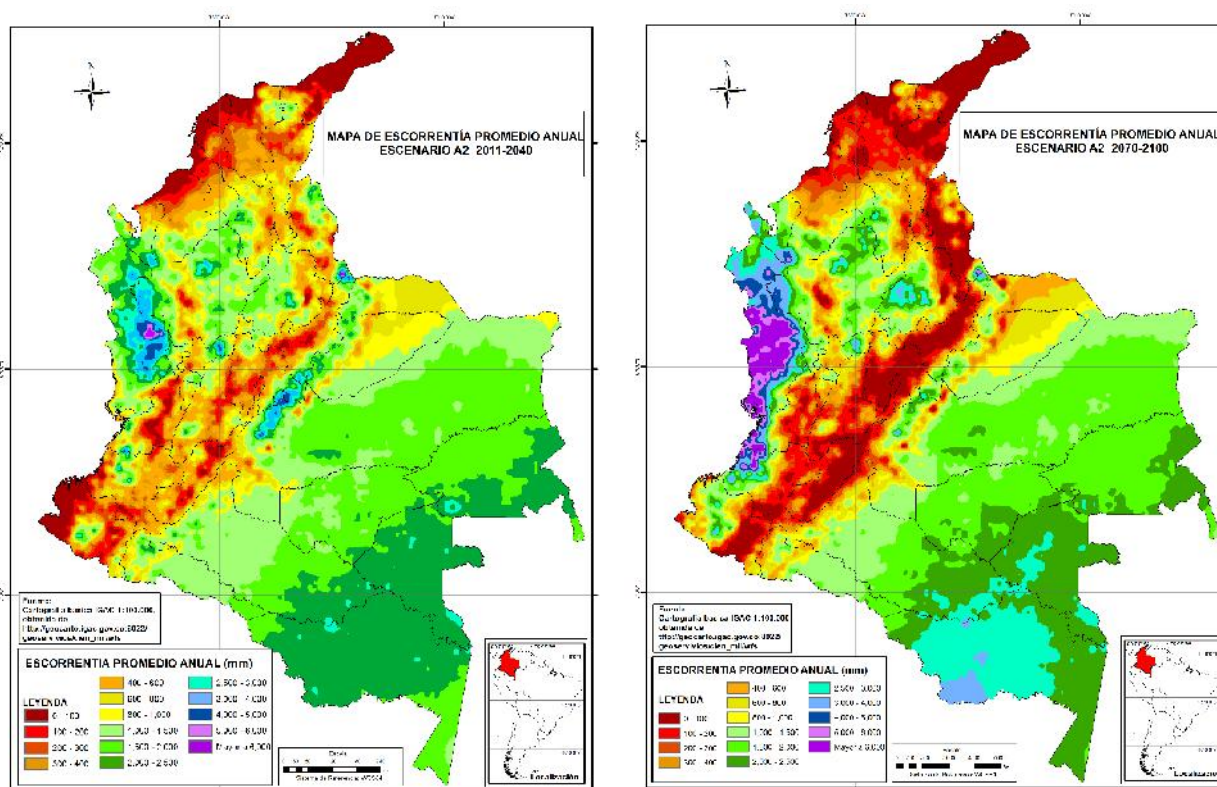


Figura 27: Distribución potencial de la escorrentía bajo los escenarios A2 períodos 2011-2040 y 2070-2100.

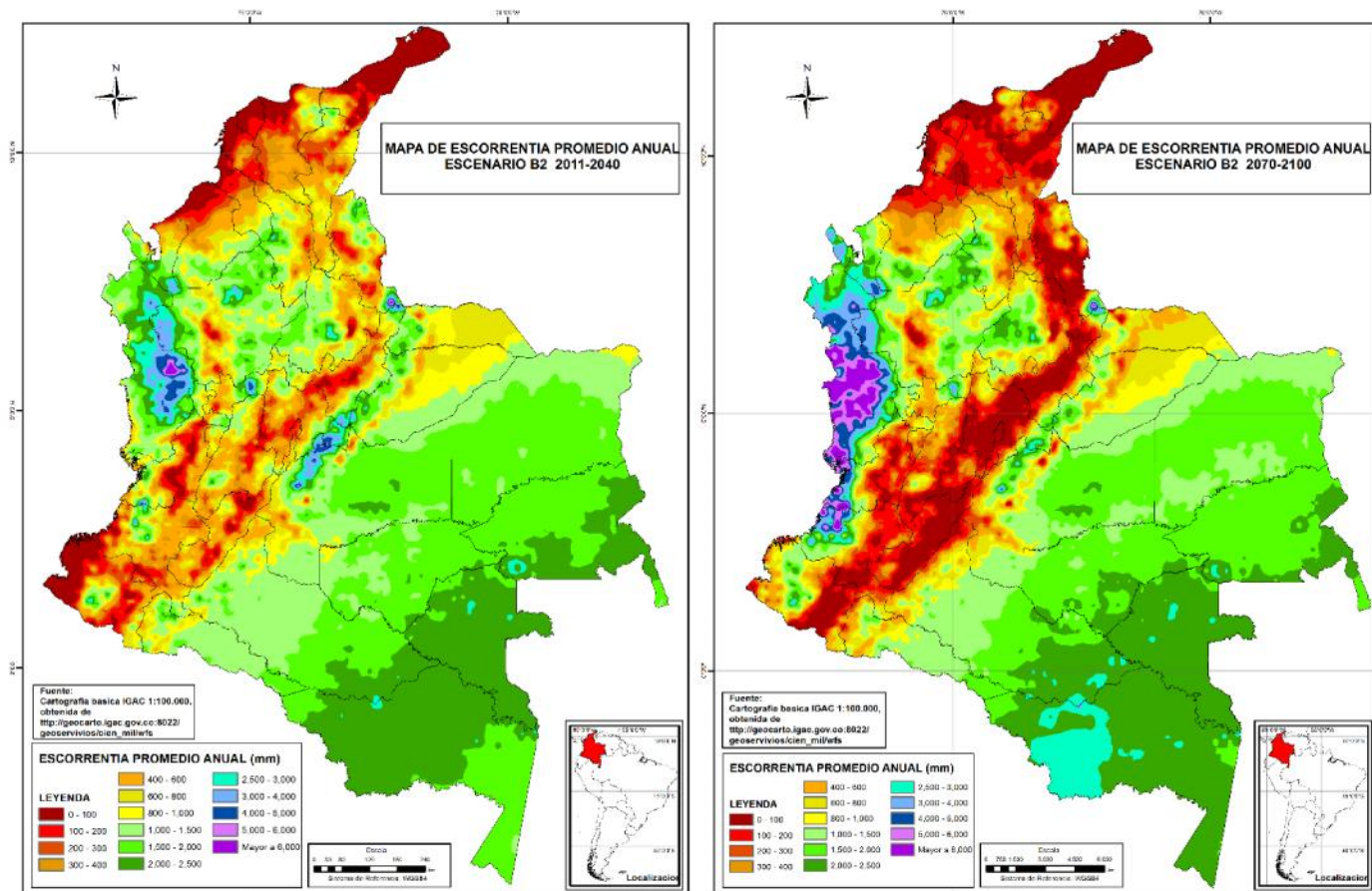


Figura 28: Distribución potencial de la escorrentía bajo los escenarios B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100.

En las Figura 27 y 28, se observa que los escenarios A2 y B2 para mediados de siglo estiman valores de escorrentía muy similares con promedios muy bajos (100 mm) en el litoral norte a excepción de la Sierra Nevada de Santa Marta, como también en el departamento de Nariño, un núcleo en el Valle del Cauca, en el departamento del Huila, límites entre Tolima y Cundinamarca y el departamento de Boyacá, otro núcleo bajo de escorrentía se presenta en los departamentos de Arauca y Casanare. Se presentan valores hasta 600 mm en gran parte de la cuenca Magdalena Cauca, excluyendo sectores de Antioquia y Santander, con valores de escorrentía que van hasta los 3000 mm. Los valores muy altos de escorrentía se observan en el Chocó y algunos sectores del Piedemonte llanero, la Amazonía y la Orinoquía con valores entre los 1000 mm y los 2500 mm de escorrentía. Para finales de siglo el escenario más fuerte es el A2 acentuando los promedios bajos de escorrentía principalmente para los departamentos de Nariño, Huila, Cauca, el Valle del Magdalena Cauca, casi el 90% del departamento de Cundinamarca y Boyacá, la cuenca del río Chicamocha, Norte de Santander. La Guajira sigue su condición de muy baja escorrentía, pero incrementando su superficie a regiones circundantes de la Sierra Nevada de Santa Marta. Otro aspecto importante de mencionar es que la modelación sugiere aumentos considerables de las regiones con escorrentía superior a los 6000 mm, localizándose



principalmente en el sur del Departamento del Chocó y Norte del Valle del Cauca, en General la Amazonía y la Orinoquía presentarían cierta estabilidad en los escenarios modelados con valores promedio entre los 1000 mm y los 3000 mm.

### **8.5.2 Mapas de Índice de aridez futura**

Al modelar el índice de aridez para los escenarios A2 y B2, se obtiene que el escenario más fuerte es el A2 para finales de siglo pues pone al país en un valor promedio de 0.50 lo que significa una situación deficitaria de agua, mientras que A2 para mediados de siglo y B2 en general pondrían al país en una condición moderada y deficitaria de agua (Ver Figuras 29 y 30). Para mediados de siglo, en los dos escenarios espacialmente la situación es muy similar, destacando que el área altamente deficitaria ocuparía en promedio un 15% del territorio nacional, localizándose en la Costa norte colombiana, a excepción de la Sierra Nevada, en el Valle del Magdalena y el sector occidental del departamento de Nariño y los departamentos de Arauca y Casanare; la zona Andina presentaría altos y moderados excedentes de agua, el norte de la región Pacífica presentaría condiciones moderadas a deficitarias de agua, y Amazonía y Orinoquía en general cambiarían su condición a deficitaria de agua.

Para finales de siglo, según el escenario A2, se incrementaría la superficie altamente deficitaria de agua hasta en un 29.8% del territorio nacional, y un 41% del país estaría en una situación deficitaria de agua, localizándose esta zona en el Valle del Magdalena, el litoral Caribe y gran parte de la Orinoquia, la zona Andina en promedio tendría una condición de excesos de agua con un 11.9% de la superficie del país; la Amazonía y el Pacífico según el escenario presentarían déficit de agua.



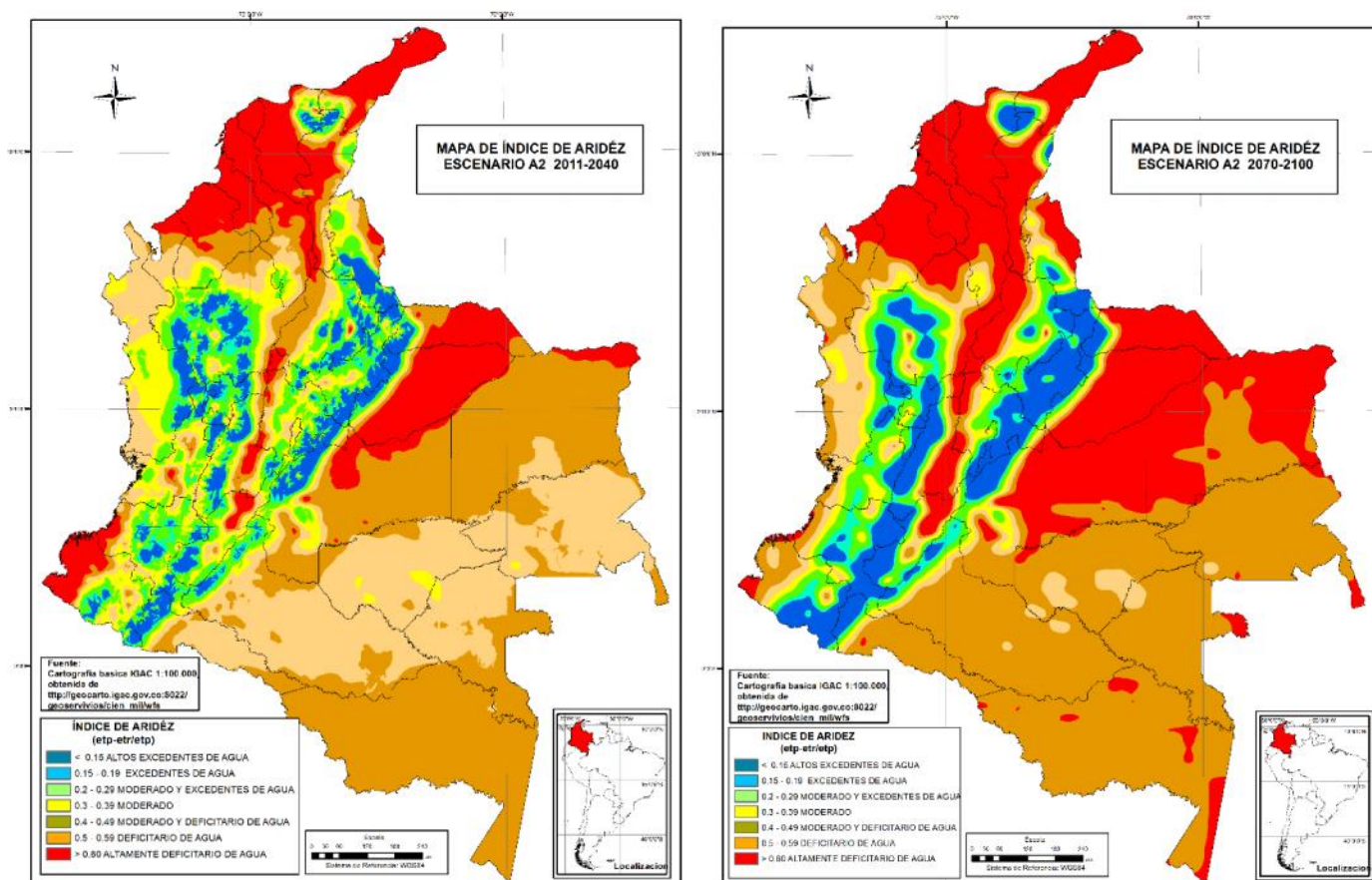


Figura 29: Distribución potencial del índice de Aridez los escenarios A2 y períodos 2011-2040 y 2070-2100.

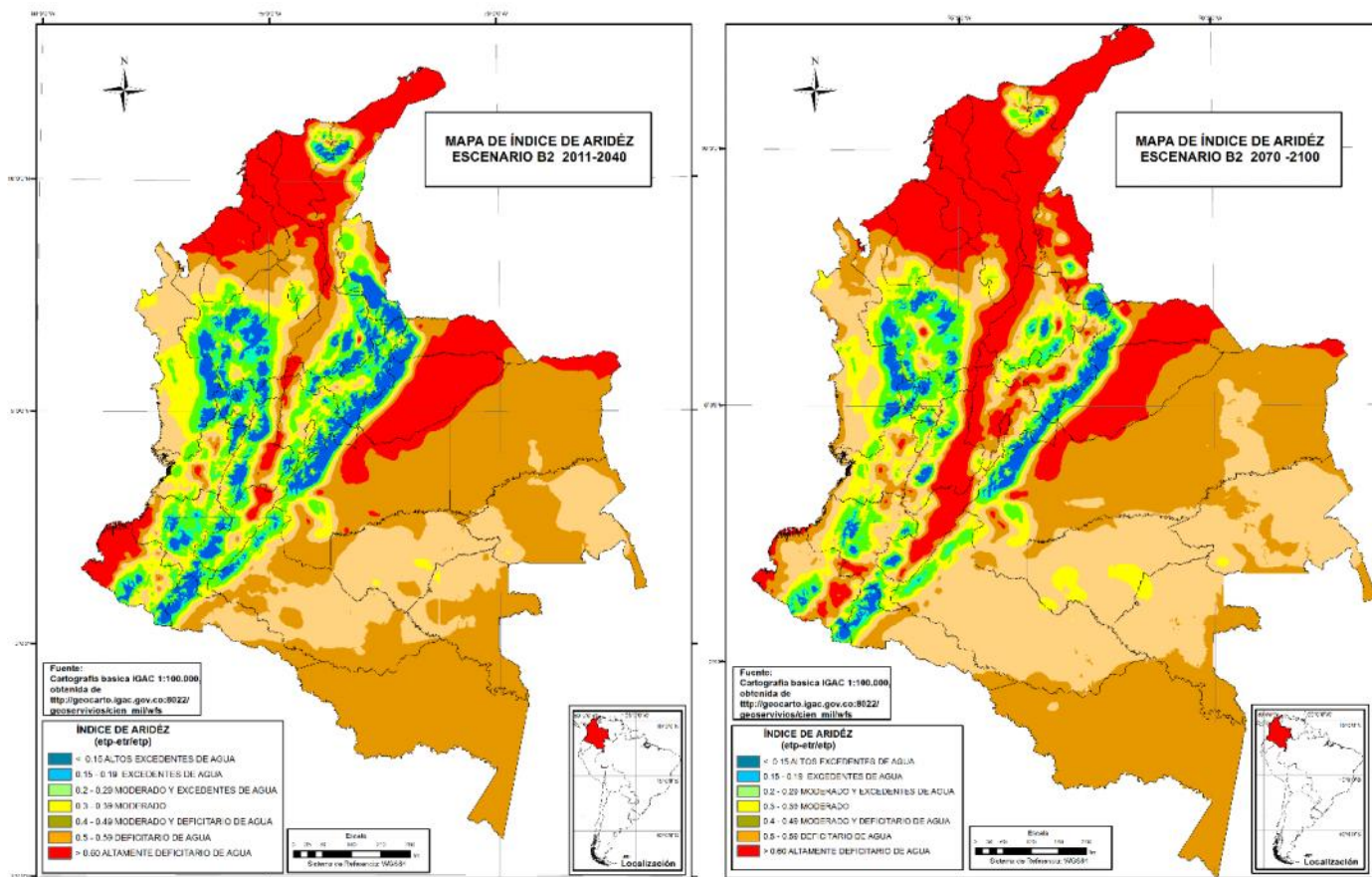


Figura 30: Distribución potencial del índice de Aridez los escenarios B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100.

## 8.5 Áreas susceptibles de deslizamientos e inundaciones futuras

Para la zonificación de áreas susceptibles a deslizamientos e inundaciones para los escenarios de cambio climático propuestos, se generaron 4 mapas con la distribución espacial las nuevas zonas para los dos períodos analizados y bajo los escenarios de cambio climático A2 y B2.

**Deslizamientos:** se observa que el comportamiento de las nuevas áreas varían en función del escenario utilizado, así, las áreas de ocupación de las nuevas superficies se pueden resumir en la tabla 6.

Tabla 6. Porcentaje de ocupación de áreas de susceptibilidad a deslizamientos de tierra bajo escenarios de cambio climático.

Unidad	ACTUAL	A2 2011-2040	A2 2070-2100	B2 2011-2040	B2 2070-2100
Alta susceptibilidad	9,5%	15,9%	18,2%	14,2%	13,0%
Media susceptibilidad	21,0%	14,9%	12,8%	15,8%	15,8%
Baja susceptibilidad	69,5%	69,1%	69,0%	70,1%	71,2%
Total país	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

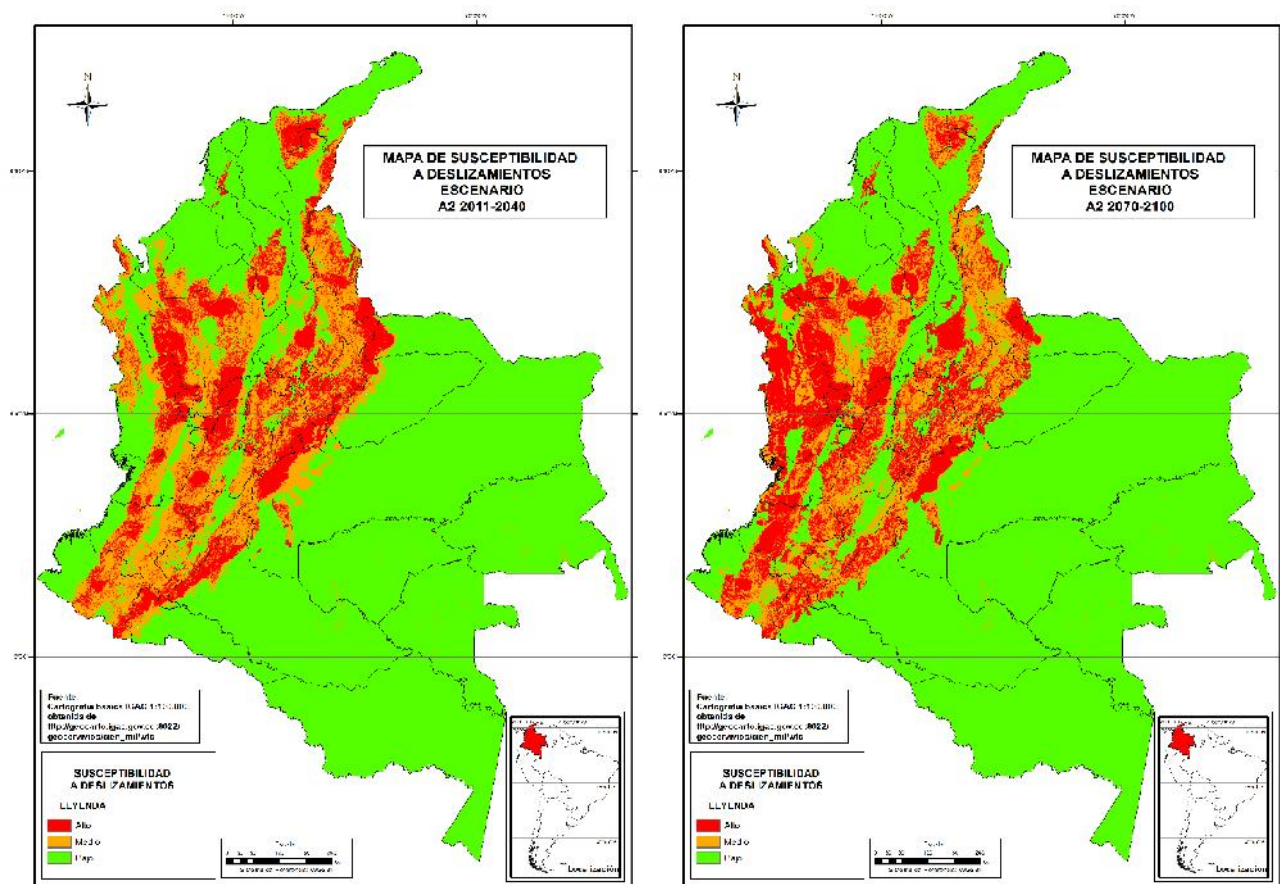


Figura 31: Distribución espacial de áreas susceptibles a deslizamientos futuras bajo los escenarios A2, períodos 2011-2040 y 2070-2100.

Las áreas de alta susceptibilidad a deslizamientos aumentarían principalmente en el escenario A2, especialmente a finales de siglo *duplicando* la condición actual; el aumento de estas áreas ocurriría principalmente en aquellos espacios que en la zonificación con la base climática actual están catalogados como áreas con media susceptibilidad, estas zonas corresponden principalmente a los departamentos que están fuertemente influenciados por el sistema cordillero del país. Los sectores modelados como de baja susceptibilidad a deslizamientos presentan cierta estabilidad espacial para todos los escenarios evaluados. Ver Figuras 31 y 32.



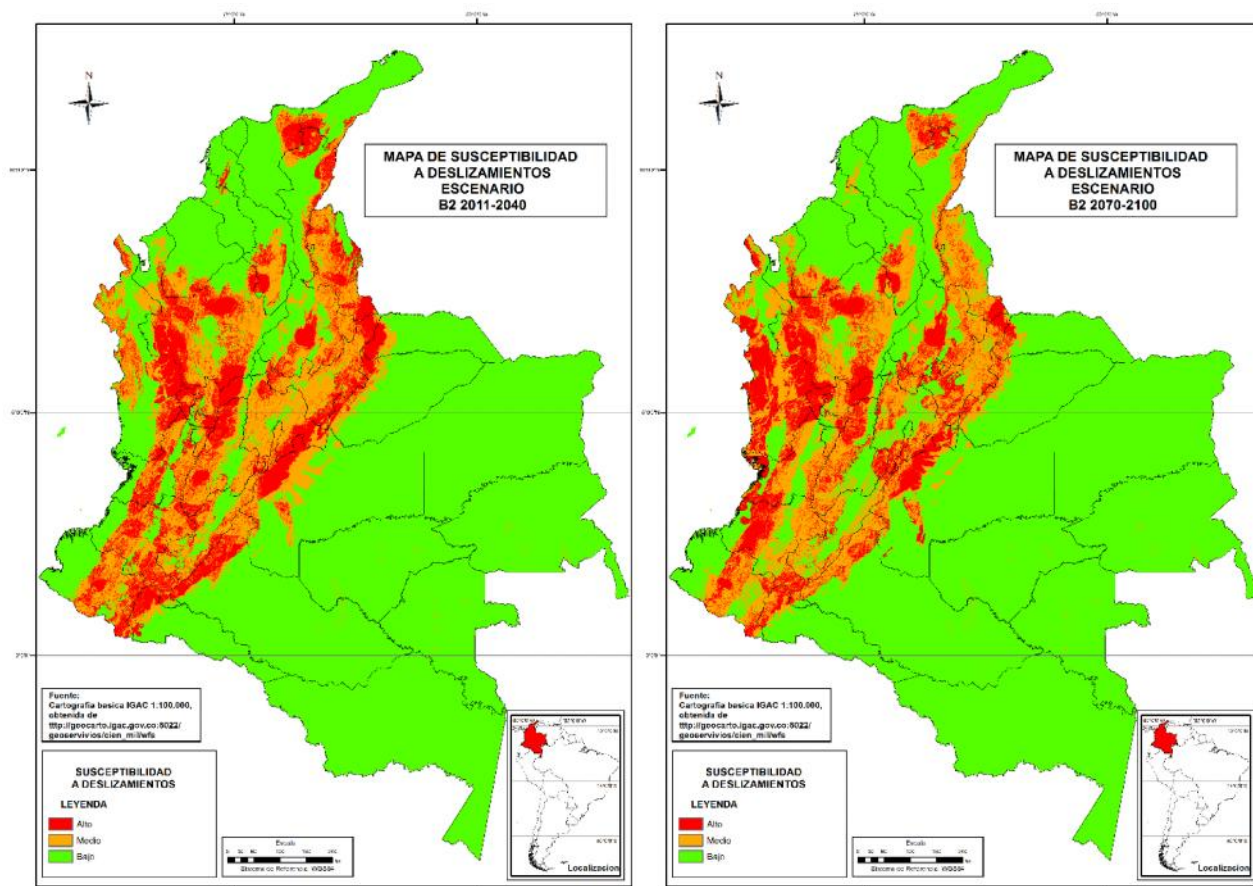


Figura 32: Distribución espacial de áreas susceptibles a deslizamientos futuras bajo los escenarios B2, períodos 2011-2040 y 2070-2100.

**Inundaciones:** los resultados obtenidos al modelar las áreas con susceptibilidad a inundaciones sugieren que las áreas de alta susceptibilidad a inundaciones presentarán un aumento significativo principalmente en los escenarios B2 con su mayor cobertura para mediados de siglo, localizándose en los valles aluviales de los ríos Magdalena en el norte del país, departamentos de Magdalena, Sucre, Bolívar Córdoba y el sector norte Antioquia, y en el Valle del río Cauca, como también en los ríos de las cuencas amazónica y Orinoco. Otra región que presentaría esta nueva condición es el sector correspondiente al valle de inundación del río Magdalena. Las regiones con media susceptibilidad también presentarían un incremento porcentual considerable con la mayor cobertura espacial en el escenario A2 a principios de siglo, presentándose núcleos en los departamentos de Guainía y Amazonas, principalmente (ver Figuras 33 y 34). Las zonas correspondientes a baja susceptibilidad pasarían a ser en los escenarios futuros zonas de media susceptibilidad, los resultados se pueden ver resumidos en la Tabla 7.

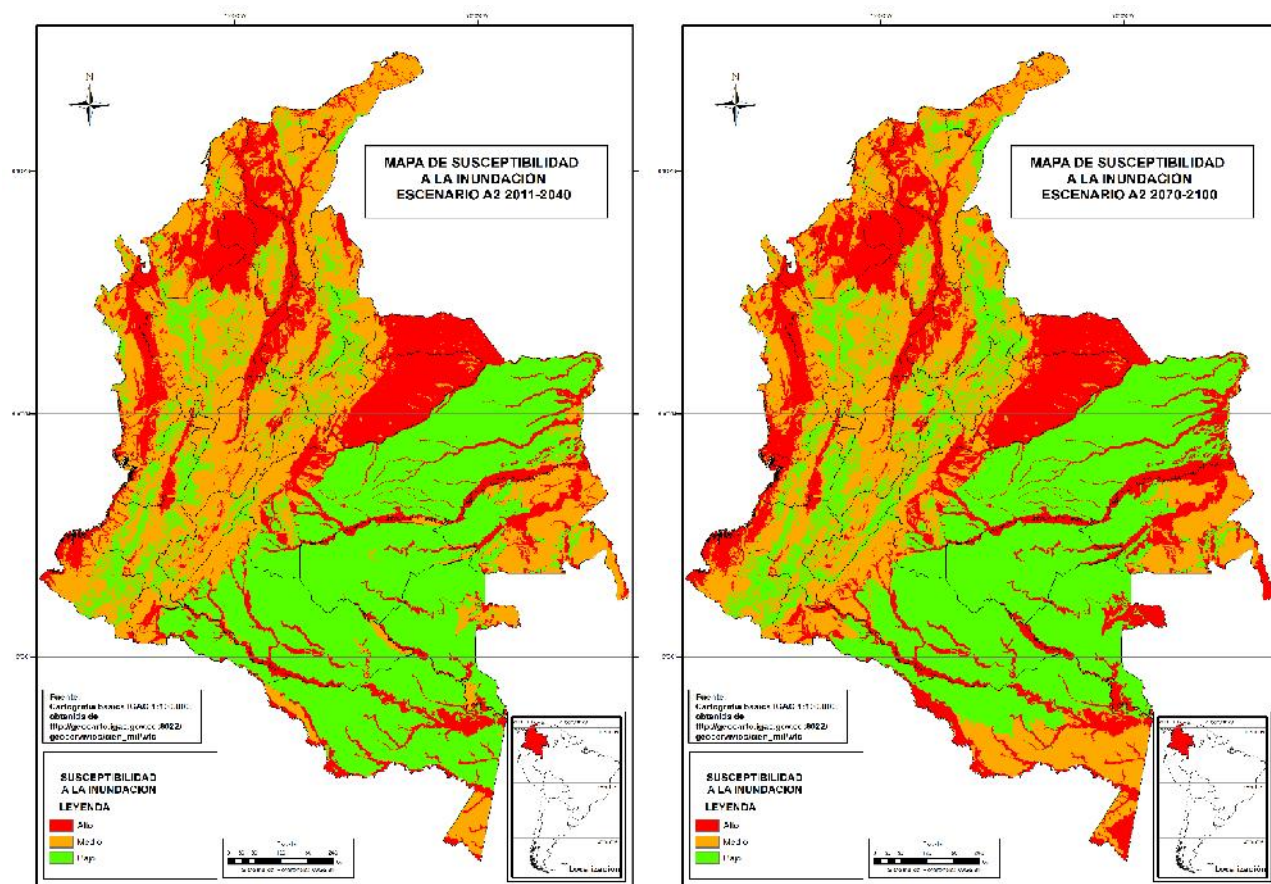


Figura 33: Distribución espacial de áreas susceptibles a inundaciones futuras bajo los escenarios A2, períodos 2011-2040 y 2070-2100.

Tabla 7. Porcentaje de ocupación de áreas de susceptibilidad a inundaciones pluviales bajo escenarios de cambio climático.

Unidad	ACTUAL	A2 2011-2040	A2 2070-2100	B2 2011-2040	B2 2070-2100
Alta susceptibilidad	20,8%	23,5%	26,2%	27,9%	26,2%
Media Susceptibilidad	20,6%	34,5%	34,4%	33,0%	33,9%
Baja susceptibilidad	58,6%	42,0%	39,4%	39,1%	39,9%
Total país	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

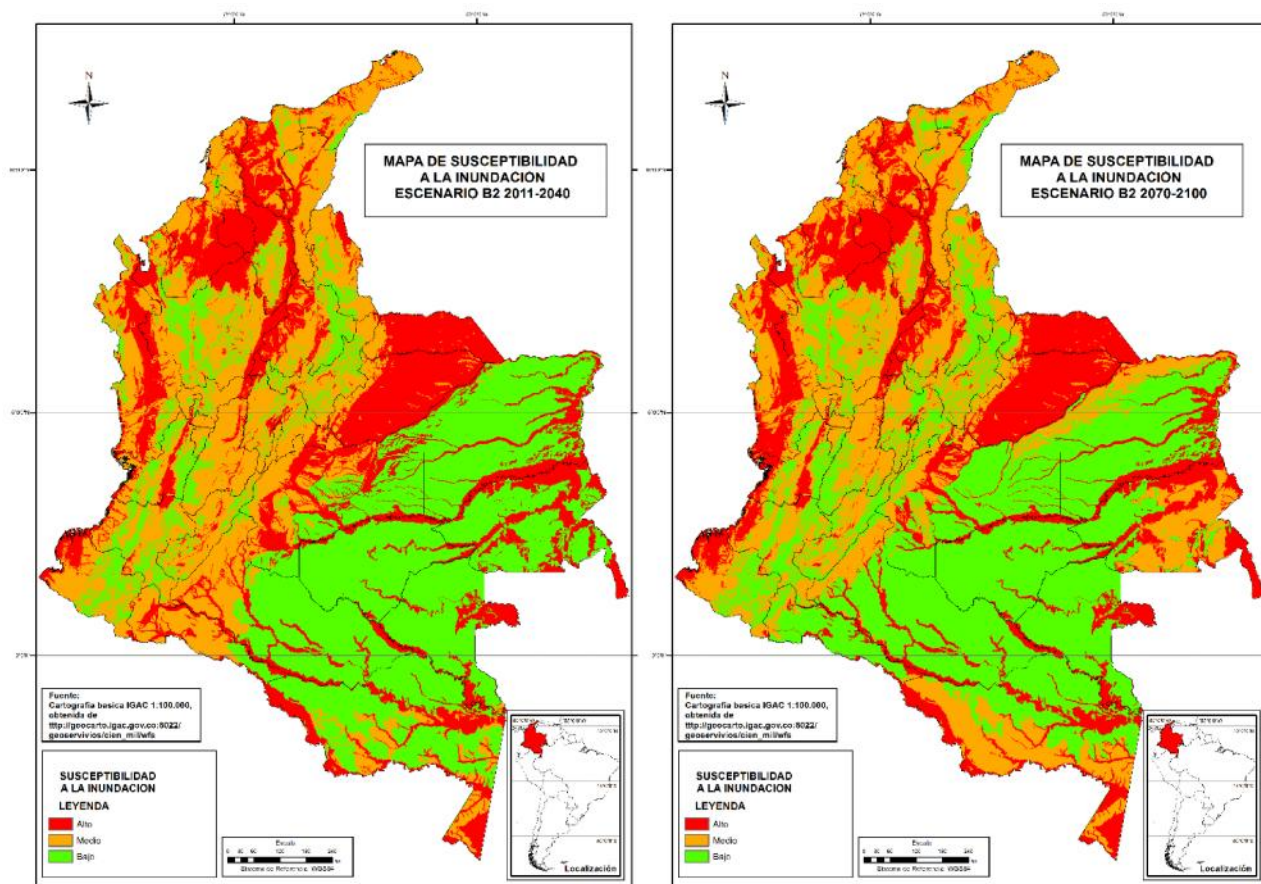


Figura 34: Distribución espacial de áreas susceptibles a inundaciones futuras bajo los escenarios A2, períodos 2011-2040 y 2070-2100.

## 8.6. Condiciones ambientales futuras para la aparición de la malaria

Al modelar la distribución de las áreas ambientalmente potenciales para la aparición de la malaria en escenarios de cambio climático futuro se puede apreciar que las condiciones óptimas se presentan un fuerte aumento en el escenario A2 a mediados del siglo, cuadruplicándose en comparación con el área que ocupa en la condición actual. Sin embargo, el escenario B2, presenta un incremento de la misma magnitud para finales de siglo. El aumento se localiza principalmente en los departamentos de Vichada, Amazonas, piedemonte Caquetense, Meta, occidente de Guainía, Urabá chocoano y antioqueño, y los valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena. Las condiciones favorables tienden a reducirse a costa del aumento de las condiciones óptimas, presentando su mayor expresión en el escenario A2 para finales de siglo, especialmente para los departamentos de Arauca, Casanare, Vichada, Sucre, Magdalena y La Guajira. En términos generales, las áreas ambientalmente potenciales para el vector están correlacionadas con el comportamiento de la temperatura, lo anterior puesto que desde el punto de vista del modelo, esta variable juega el papel más determinante en discernir las áreas ambientalmente óptimas, creando las condiciones para la viabilidad del ciclo de vida de los



vectores y parásitos de la malaria, todas estas regiones incluyen bosques húmedos tropicales, vegetación baja, sabanas, llanuras y valles aluviales, colinas bajas boscosas y áreas xerofíticas, esta diversidad geográfica y ecológica influye fuertemente en la aparición de condiciones que resultan ser ideales para el establecimiento del Anopheles, y coincidiendo en gran medida con estructuras sociales, culturales y económicas precarias, propiciando condiciones endémicas y epidémicas para la transmisión de la malaria, Breilh (1979) y Castellanos (1990). Ver Figuras 35 y 36.

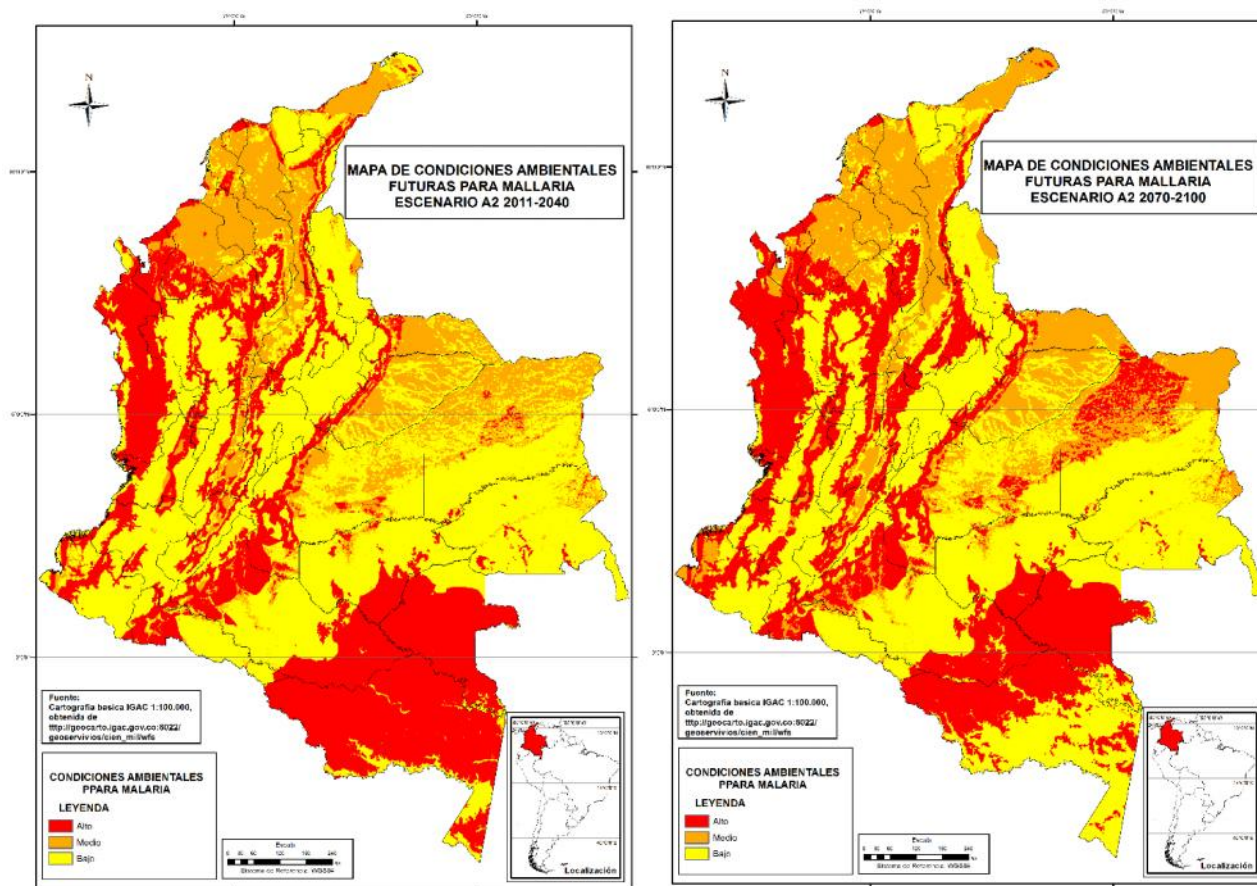


Figura 35: Distribución espacial de las condiciones ambientales futuras para malaria bajo los escenarios A2 periodos 2011-2040 y 2070-2100.

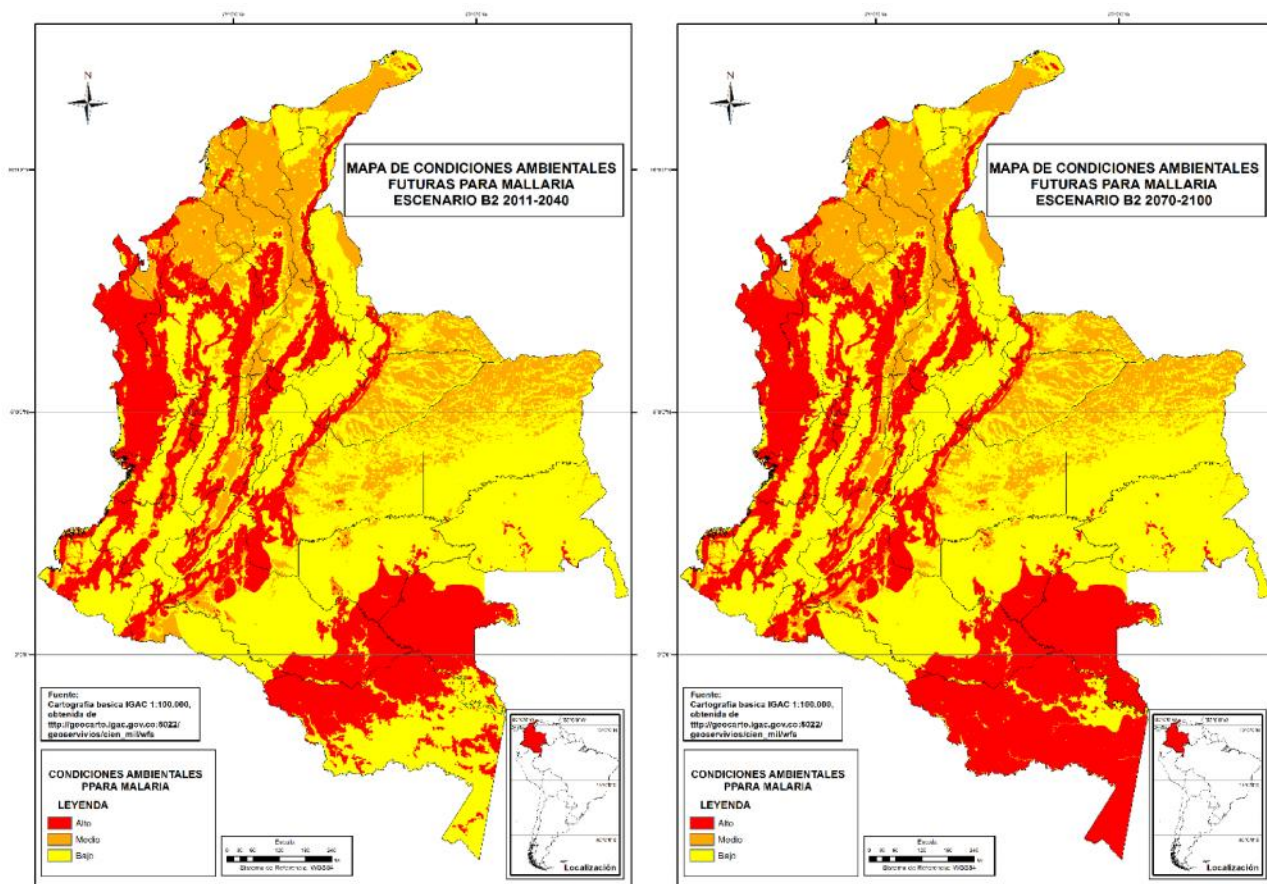


Figura 36: Distribución espacial de las condiciones ambientales futuras para la aparición de la malaria bajo los escenarios B2 períodos 2011-2040 y 2070-2100.

La Tabla 8 sintetiza los cambios en porcentaje de área de las zonas ambientalmente favorables para la aparición de la malaria, en diferentes escenarios de cambio climático.

Tabla 8. Porcentaje de ocupación de áreas ambientalmente potenciales para la aparición de la malaria.

Unidad	Actual	A2 2011-2040	B2 2011-2040	A2 2070-2100	B2 2070-2100
Óptimas	12%	45%	42%	41%	47%
Favorables	46%	23%	24%	28%	22%
No aptas	42%	32%	34%	31%	31%
Total general	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%



## 9. SÍNTESIS DEL POSIBLE EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

Según esta modelación, el territorio colombiano podría verse afectado por un calentamiento entre 1° a 6° C y posibles alteraciones en la precipitación que podrían estar entre -15 y 30% del promedio 1971 -2000, de la misma forma se presentarán cambios en la distribución de la precipitación en el territorio colombiano y su relación con las posibles transformaciones territoriales bajo diferentes escenarios de cambio climático.

Tabla 4. Síntesis de la relación de diversos aspectos del país con el clima actual.

MEDIOS DE VIDA y SECTORES PRODUCTIVOS DEL PAÍS	RELACIÓN CON EL CLIMA
Ecosistemas y biodiversidad	<p>El área de determinada zona de vida, tiene relación con diversos aspectos de los ecosistemas y de la diversidad biológica que estos albergan. El clima actual en el país con base en las dos variables climáticas básicas, temperatura y precipitación, modela para Colombia 20 zonas de vida que van desde ambientes desde el nivel del mar hasta sistemas nivales, ubicados estos últimos en las zonas altas de las cordilleras y la Sierra Nevada de Santa Marta y abarcan desde los bosques tropicales, hasta las nieves perpetuas; la mayoría de formaciones vegetales actuales corresponden al piso basal con un 78.62% de su superficie, seguidas por las formaciones vegetales del piso andino con un 18.66%, en menor proporción se encuentran la vegetación de las zonas altas, compuestas por el piso alto andino y las zonas de páramos, con tan solo un 2.7% aproximadamente. La formación vegetal de mayor representación espacial corresponde al Bosque Tropical Subhúmedo con un 60.47% del territorio colombiano, seguido por el Bosque Seco Tropical con el 13.16%, las formaciones de Bosque Andino también aportan en el balance nacional, con un 10%. Las formaciones vegetales como bosque Alto Andino y páramo, que tienen menor proporción en la ocupación del territorio nacional, albergan importantes ecosistemas que mantienen servicios como los de la regulación del agua para diversos propósitos en la región. Cualquier cambio en el área de las formaciones vegetales incidirá en los ecosistemas, su biodiversidad y servicios.</p>
Agua y recursos hídricos	<p>La mayor proporción del agua para diversos propósitos es de escorrentía garantizada por el régimen de lluvia, regulada (la escorrentía) por los patrones climatológicos y las características de la cobertura vegetal. El suministro de agua para abastecimiento de la población de la mayoría de los municipios depende en gran medida de bocatomas establecidas en quebradas a filo de agua, altamente susceptibles a las variaciones estacionales y a las fases extremas de la variabilidad climática.</p> <p>El régimen hidrológico del país se caracteriza por tener una escorrentía promedio de 1644 mm, con valores que van desde una escorrentía promedio de 100 mm al año en la península de La Guajira hasta escorrentías mayores de 6.000 milímetros en el Pacífico. En el Caribe, con excepción de la Sierra Nevada de Santa Marta y el sector norte del departamento de Antioquia en la cuenca del río Atrato, presenta valores con escorrentías bajas, no superando los 400 mm, mientras que regiones</p>

	<p>como el Pacífico, en particular el sur del departamento del Chocó y el occidente de los departamentos del Cauca y Valle del Cauca, específicamente en la cuenca alta del río San Juan, se presentan escorrentías muy altas, mayores de 5000 mm.</p> <p>Los valores bajos de escorrentía se presentarían en los Altiplanos Cundiboyacense, nariñense, en el departamento del Valle del Cauca; la cuenca alta del río Patía, en el desierto de la Tatacoa, en el Huila; el cañón de la cuenca del río Chicamocha y la cuenca alta del Catatumbo en Santander y Norte de Santander. Sin embargo, para el resto de la región andina, la escorrentía se considera moderada, con valores entre 1500 mm y 2500 mm, cubriendo el 31% del territorio nacional. El Piedemonte llanero se caracteriza por tener una escorrentía media alta, valores mayores de 2000 mm. En los departamentos del Arauca y Casanare se presentan valores medios de escorrentía hasta con 1000 mm; en general la Amazonía colombiana presenta escorrentías que van desde los 1000 mm hasta los 3000 mm.</p> <p>El indicador para estudiar el régimen hidrológico fue el índice de aridez, cuyo valor promedio para esta investigación es de 0,23 colocando a Colombia en condiciones moderadas y excedentes de agua, a su vez presenta sectores altamente deficitarios de agua localizados en la península de la Guajira y norte de los departamentos de Magdalena y Atlántico, así como también en los límites de los departamentos de Cundinamarca y Tolima y sur del departamento de Norte de Santander; las zonas deficitarias de agua ocupan un 6.9% del territorio colombiano y se localizan en el la cuenca del río grande de la Magdalena, norte del departamento de Córdoba, Sucre, Magdalena, Cesar y parte del departamento de Norte de Santander; las condiciones moderadas a deficitarias de agua se dan en la sabana de Bogotá, y el Valle del río Chicamocha, así como también en la Orinoquia y Amazonía colombiana; Es importante mencionar que un porcentaje muy alto (48.5%) del país presenta excedentes de agua superficial, de moderados a altos. Cabe resaltar que cerca del 80% de la población y actividades económicas del país están localizadas en cuencas con déficit natural de agua.</p>
Alimento y seguridad alimentaria	<p>Tanto la agricultura de subsistencia como la productiva dependen altamente del clima. En el país, bajo diversos climas se produce diversidad de alimentos, pero tan solo el 20% del territorio colombiano tiene vocación agrícola y se definen bajo este concepto todas aquellas tierras que por sus características agroecológicas, permiten el establecimientos de sistemas de producción agrícola con plantas cultivadas de diferentes ciclos de vida y productos, estas tierras presentan la mayor capacidad para soportar actividades agrícolas intensivas y semi intensivas, estas áreas están distribuidas por casi todo el territorio nacional, pero con menor presencia en las regiones amazónica y de la Orinoquía.</p> <p>Del total de la superficie nacional con vocación agrícola, solamente el 18% presenta condiciones óptimas en términos de disponibilidad de agua para los cultivos, el 8% de estos terrenos presenta condiciones de humedad aceptable y el 31% corresponde a terrenos con suelos agrícolas pero con clima predominantemente seco.</p>
Salud humana	Según el modelo cerca del 60% del territorio tiene condiciones ecológicas capaces de soportar la malaria, y las diversas regiones del país como la Amazonía, el Caribe, las sabanas de la Orinoquia, el Pacífico y los valles interandinos del río Magdalena y Cauca presentan condiciones adecuadas

	<p>para la reproducción y transmisión de la malaria.</p> <p>Estos resultados muestran que la superficie con condiciones óptimas representan el 12 % del territorio nacional, localizándose principalmente en las áreas de sabanas de los departamentos de Arauca, Casanare, Vichada y Meta, parte norte del departamento de Chocó y el Urabá Antioqueño, así como también en las áreas bajas y áreas de agroecosistemas de los departamentos de Córdoba, Sucre, Atlántico, norte del departamento de Bolívar y sur del Magdalena, también se presenta en el valle interandino de del río grande de la Magdalena, en Huila Tolima, Caldas, Cundinamarca, Boyacá y suroccidente de Santander. La temperatura ideal de estas áreas oscila entre los 26 a 28° C en terrenos planos cuyas pendientes no superan el 3% y que son fácilmente inundables, con coberturas vegetales en su gran mayoría transformadas. Las condiciones favorables para el establecimiento de los mosquitos de malaria cubren un 64% del total nacional, su distribución geográfica se presenta principalmente en el departamento de la Guajira, noroccidente del Magdalena, en el límite de los departamentos de Cesar, Bolívar, el margen occidental de Santander y casi toda la región amazónica con excepción de los afloramientos rocosos de Chiribiquete y la bota amazónica, así como también las áreas de agroecosistemas de Caquetá y Putumayo. También se presentan superficies con condiciones favorables en los departamentos de Chocó y Valle del Cauca, aquí la temperatura promedio es entre los 20 a 32° C, terrenos ondulados, pendientes hasta del 7% , coberturas principalmente transformadas y pastos, humedad relativa superior al 70% y los territorios que no ofrecen las condiciones ambientales para el establecimiento del vector de la malaria, corresponden al 42% del total nacional, localizándose en las áreas del territorio con temperaturas inferiores al 20° C y en las áreas andinas del país, relieves ondulados y montañosos y excesos de precipitación imposibilitando el desarrollo de las larvas del mosquito.</p> <p>De lo anterior y según las proyecciones de población municipal por área 2005-2020 publicadas por el Dane, el 11% de la población se localiza en áreas con condiciones óptimas, el 15% en condiciones favorables y el 74% en condiciones no aptas, ahora bien, al realizar el análisis con un indicador como el NBI, que mide las características de las viviendas, servicios sanitarios, educación básica e ingreso mínimo de los habitantes de un municipio, la problemática tiende a acentuarse, debido a que las condiciones óptimas para el desarrollo de la malaria coinciden espacialmente con el 27% de los municipios con un NBI alto, seguido por el 30% de los municipios que corresponden a zonas favorables, es decir que, sumado a las condiciones ecológicas de Colombia propicias para la aparición de la malaria y las carencias críticas de la población, hacen que la vulnerabilidad del país aumente.</p>	
SECTORES	<p>AGRICULTURA, SILVICULTURA, GANADERÍA, CAZA Y PESCA</p>	<p>Altamente dependiente de la distribución espacial y temporal de las variables climatológicas. Las fases extremas de la variabilidad climática afectan considerablemente la producción y generan una cadena de consecuencias socioeconómicas en el país.</p>
	<p>INDUSTRIA</p>	<p>Está directamente relacionada con el clima y sensible a la variabilidad climática en el subcomponente agroindustrial</p>

PRODUCTIVOS	MINERÍA	No directamente relacionada con el clima, aunque algunas condiciones anómalas en fases extremas de la variabilidad climática puede dificultar el desarrollo de algunas actividades mineras.
	INFRAESTRUCTURA	La infraestructura vial se ve afectada por las fases extremas de la variabilidad climática, especialmente por la relacionada con lluvias anormalmente abundantes. Las vías en la parte de alta pendiente y clima húmedo son muy susceptibles a deslizamientos y bloqueos por remociones en masa.
	NIVEL TERCIARIO	No directamente relacionado con el clima, aunque se afecta de alguna manera en la medida como las fases extremas de la variabilidad climática afecten los niveles primario y secundario.
RIESGOS y DESASTRES	<p>La distribución espacial de fenómenos meteorológicos extremos e hidroclimáticos extremos causantes de desastres está asociada al patrón espacial del clima. Cerca del 9.5% del territorio tiene condiciones susceptibles de deslizamientos de tierra, localizándose principalmente en relieves montañosos y altillanuras estructurales con precipitaciones por encima de 5000 mm de promedio multianual, pendientes que superan el 30% de inclinación y escorrentías superficiales por encima del 4000 mm, éstas, en la actualidad se localizan en el sector nororiental de la Sierra Nevada de Santa Marta, en el sur de Bolívar, específicamente en la Serranía de San Lucas, al sur del departamento de Santander, oriente y norte de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, el flanco occidental de la cordillera central en Caldas, Tolima y sur del Quindío, un porcentaje muy alto del departamento de Antioquia presenta esta condición, así como el flanco oriental de la misma cordillera, la gran mayoría del piedemonte llanero y amazónico presenta susceptibilidad alta de deslizamientos de tierra. Los áreas con susceptibilidad baja ocupan un 69.5% del territorio nacional, sobre paisajes planos, planicies de inundación, lomeríos con pendientes hasta el 15%, precipitaciones por debajo de 1500 mm al año y escorrentías que no superan los 1000 mm. Estos territorios se localizan principalmente al norte del país en los departamentos de la Guajira, Cesar, Magdalena Sucre parte norte de Bolívar, los Valles de los ríos Magdalena, Cauca y Atrato, y en casi todos los departamentos de la Orinoquía y la Amazonía, en cuanto a las condiciones medias a deslizamientos de tierra el modelo reporta valores cercanos al 21%, localizándose casi en las mismas zonas donde la condición es alta, estos espacios se caracterizan por presentar pendientes entre el 15 al 30%, escorrentías superficiales de 1000 mm a 4000 mm y precipitaciones entre 1500 mm y 5000 mm.</p> <p>Con relación a las áreas susceptibles a inundaciones pluviales, en el país se presenta cerca del 21% de su territorio con una susceptibilidad alta a inundaciones, estos terrenos están caracterizados por presentar pendientes que no superan el 15%, paisajes con predominio de valles aluviales y planicies inundables, áreas aledañas a cuerpos de agua como ríos, pantanos y ciénagas, con escorrentías altas superando los 400 mm y suelos con clases texturales finas, muy mal drenados y ubicados principalmente en los valles de los ríos Atrato, Magdalena y Cauca, el sector norte del país, principalmente en el valle de inundación del río Magdalena, en los departamentos del Atlántico, Sucre, Bolívar y Córdoba, los sectores de planicies aluviales y fluvio lacustres de los departamentos de Arauca y Casanare, la Sabana de Bogotá, el nororiente del departamento de Nariño y los valles aluviales de los ríos de las cuencas del Orinoco y el Amazonas como son los ríos Meta, Orinoco, Guaviare, Caquetá y Putumayo entre los más importantes.</p> <p>En la zona de alta pendiente de las cuencas altas (principalmente de los afluentes del Saldaña y del Gualivá), en donde hay alta humedad y se registra la mayor frecuencia de lluvias extremas, los deslizamientos, represamientos, crecientes súbitas, desbordamientos e inundaciones repentinas son muy comunes. En las partes bajas, donde domina el clima seco, el fenómeno hidroclimático de la sequía es marcado; bajo este último son más frecuentes los incendios de vegetación. En sectores de la parte baja se presentan con cierta recurrencia inundaciones de largo plazo.</p>	

Tabla 5. Resumen de los impactos del cambio climático en el territorio colombiano hacia mediados del siglo XXI considerando el escenario de un aumento de la temperatura media del aire de 2°C y cambios de la precipitación de poco cambio a déficit moderado.

<b>MEDIOS DE VIDA Y SECTORES PRODUCTIVOS</b>	<b>IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO</b>
Ecosistemas y biodiversidad	<p>El ascenso de los pisos térmicos induce la reducción del área con condiciones óptimas para los ecosistemas altoandinos especialmente el de páramo, así como también las zonas nivales lo que consecuentemente generará una reducción de los diversos tipos de biodiversidad propios de estos orobiomas.</p> <p>El aumento de la temperatura y el ligero aumento de la precipitación propicia el desarrollo de algunas enfermedades a plantas y animales de diferentes ecosistemas, los aumentos de la temperatura en las regiones secas propician la aparición de unidades características de estos ambientes como desiertos y matorrales desérticos, así como un incremento significativo del ecosistema Bosque Seco Tropical, posibilitando o dejando el territorio nacional más expuesto a posibles incendios en la cobertura vegetal y a procesos de desertificación.</p>
Agua y recursos hídricos	<p>La reducción generalizada en los promedios de escorrentía, haría más agudas y más frecuentes las situaciones con déficit del recurso para diferentes propósitos, según lo estimado la reducción podría darse en un 11% en promedio respecto a los niveles actuales de escorrentía, en términos de aridez el país pasaría a una condición moderada a deficitaria de agua, situación muy compleja, debido a la estrecha relación entre los recursos hídricos y las actividades socioeconómicas del país.</p>
Alimento y seguridad alimentaria	<p>Reducción de las posibilidades de alimento de las comunidades dependientes de cultivos de pancoger, o por la reducción en la caza debido a disminución de la biodiversidad, o por reducción de la pesca debida a la disminución de agua en los cuerpos de agua naturales. Esto traería problemas nutricionales y de salud.</p> <p>Las condiciones climáticas favorables en las zonas con vocación agrícola tienden a reducirse en superficie, según la modelación, del 20% del territorio nacional con vocación agrícola, la condición más crítica se daría en el escenario B2 para mediados de siglo, pues el clima favorable para el establecimiento y desarrollo de cultivos se reduciría notablemente quedado con tan solo el 21%, con agua disponible para posibles usos agrícolas. En general, en los escenarios evaluados el país tiende a la reducción de los lugares con cantidades de aguas ideales para un desarrollo agrícola sostenible.</p>
Salud humana	<p>Las condiciones óptimas se dan mayormente en el escenario B2, que es el que mayor superficie tiene, en este mismo escenario, pero a mediados de siglo, localizándose principalmente en los departamentos de Vichada, Amazonas, piedemonte Caqueteño, Meta, occidente de Guainía, Urabá chocoano y antioqueño, y los valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena, las condiciones favorables tienden a reducirse a costa de las condiciones óptimas, presentándose,</p>

	<p>para finales de siglo, su mayor expresión en el escenario A2 especialmente para los departamentos de Arauca, Casanare, Vichada, Sucre, Magdalena y La Guajira. En términos generales se puede apreciar que las áreas ambientalmente potenciales para el vector, están correlacionadas con el comportamiento de la temperatura, lo anterior puesto que desde el punto de vista del modelo, esta variable juega el papel más determinante en discernir las áreas ambientalmente óptimas, creando las condiciones para la viabilidad del ciclo de vida de los vectores y parásitos de la malaria. Todas estas regiones incluyen Bosques Húmedos Tropicales, vegetación baja, sabanas, llanuras y valles aluviales, colinas bajas boscosas y áreas xerofíticas, esta diversidad geográfica y ecológica influye fuertemente en la aparición de condiciones que resultan ser ideales para el establecimiento del Anopheles, y coincidiendo en gran medida con estructuras sociales, culturales y económicas precarias, propiciando condiciones endémicas y epidémicas para la transmisión de la malaria, (Breilh 1979, Castellanos 1990). De acuerdo a la información suministrada por el DANE respecto a la proyección de población estimada para el 2020, y suponiendo esta tendencia, se realizaron estimaciones de población por municipio para año 2040, los resultados sugieren que el incremento de las áreas óptimas para malaria expondría al 19% de la población total del país a esta enfermedad, así como se presentaría también un incremento del 3% de la población en las zonas favorables. En síntesis, las nuevas áreas óptimas para el establecimiento de la malaria expondría a una población cada vez más creciente, alertando de manera temprana los sistemas de salud del país frente a las posibles complicaciones que se pudieran presentar.</p>	
<p>SECTORES PRODUCTIVOS</p>	<p>AGRICULTURA, SILVICULTURA, GANADERÍA Y PESCA</p>	<p>Además de los impactos de la reconfiguración espacial de las zonas óptimas para determinados cultivos podría generar impacto negativo (menos área para producir; menor productividad) a las economías locales, ya que podrían impactarse por el cambio en el patrón de distribución de plagas y enfermedades. El sector ganadero tendría afectaciones negativas con mayor frecuencia debido a la reducción de agua para pastos y animales.</p>
	<p>MINERÍA</p>	<p>Impactada por los mayores costos ambientales de la actividad debido a la reducción de la escorrentía en el Departamento.</p>
	<p>INFRAESTRUCTURA</p>	<p>La infraestructura vial podría verse afectada por el aumento de deslizamientos.</p> <p>La vivienda localizada en áreas de pendiente podría verse afectada por los deslizamientos que pueden frecuentemente ocurrir, esto en un escenario de aumento de la precipitación.</p> <p>La infraestructura industrial podría afectarse por mayor frecuencia de incendios.</p>
	<p>NIVEL TERCIARIO</p>	<p>El servicio de provisión de agua se impacta con reducción de ingresos debido a interrupciones más frecuentes y mayores costos de producción debido a la exploración e incremento de infraestructura de nuevas fuentes de captación.</p>
<p>RIESGOS y</p>	<p>En la medida como se prevé el mayor aumento de la precipitación en las vertientes de las</p>	

DESASTRES	dos cordilleras podría haber un ligero aumento en la frecuencia de eventos de remoción en masa (deslizamientos) y de desastres asociados. En la parte del Bosque Seco, en donde la reducción de la escorrentía es mayor, se incrementarían los incendios forestales.
-----------	--

## 10. CONCLUSIONES

A partir de la identificación de las vías más directas de la relación clima y territorio, se construyó un modelo de relación clima-territorio compuesto por diversos componentes que reproducen el efecto del clima en la distribución espacial de aspectos territoriales como la vegetación (que conecta con los biomas y ecosistemas), los recursos hídricos (para diversos propósitos), el alimento (generado por la agricultura), vectores de malaria y los desastres de origen meteorológico o climático (deslizamientos e inundaciones). Los modelos fueron validados con información disponible en diferentes fuentes sobre las distribuciones espaciales elaboradas con datos de observaciones o mediciones. Como resultado, se obtuvo que los modelos representan suficientemente las distribuciones reales, como se puede apreciar en el capítulo 7 de la presente investigación.

### **Período de referencia (1971-2000)**

Utilizando la temperatura media anual y la precipitación anual del período 1971-2000 (clima actual) en los diferentes modelos se estableció que:

Sobre el territorio colombiano se identifican 20 formaciones vegetales, según la clasificación Holdridge, de estas corresponden al piso basal el 78.62% de la superficie del país, seguidas por las del piso andino con un 18.66%, en menor proporción se encuentran la vegetación de las zonas altas, compuestas por el piso alto andino y las zonas de páramos, con tan solo un 2.7% aproximadamente. La formación vegetal de mayor representación espacial corresponde al Bosque Tropical Subhúmedo con un 60.47% del territorio colombiano, seguido por el Bosque Seco Tropical con el 13.16%, las formaciones de Bosque Andino también aportan en el balance nacional, con un 10%.

Por las condiciones climáticas del país tan solo el 20% del territorio presenta vocación agrícola (tierras que por sus características agroecológicas, permiten el establecimientos de sistemas de producción agrícola con plantas cultivadas en diferentes ciclos de vida; presentan la mayor capacidad para soportar actividades agrícolas intensivas y semi intensivas). Estas áreas están distribuidas por casi todo el territorio nacional, pero con menor presencia en las regiones amazónica y Orinoco. Del total de la superficie nacional con vocación agrícola, solamente el 18% presenta condiciones óptimas en términos de disponibilidad de agua para los cultivos, el 8% de estos terrenos presenta condiciones de humedad aceptable y el 31% corresponde a terrenos con suelos agrícolas pero con clima predominantemente seco.

El régimen hidrológico del país se caracteriza por tener una escorrentía promedio de 1644 mm, con valores que van desde una escorrentía promedio de 100 mm al año en la península de La Guajira hasta escorrentías mayores de 6000 milímetros en el Pacífico. En el Caribe, con excepción de la Sierra Nevada de Santa Marta y el sector norte del departamento de Antioquia, en la cuenca del río Atrato presenta valores con escorrentías bajas, no superando los 400 mm, mientras que regiones como el Pacífico, en particular el sur del departamento del Chocó y occidente de los departamentos del Cauca y Valle del



Cauca, específicamente en la cuenca alta del río San Juan, se presentan escorrentías muy altas, mayores de 5000 mm. Los valores bajos de escorrentía se presentan en los Altiplanos Cundiboyacense, nariñense en el departamento del Valle del Cauca; la cuenca alta del río Patía, en el desierto de la Tatacoa, en el Huila; el cañón de la cuenca del río Chicamocha y la cuenca alta del Catatumbo en Santander y Norte de Santander. Sin embargo, para el resto de la Región Andina, la escorrentía se considera moderada, con valores entre 1500 mm y 2500 mm, cubriendo el 31% del territorio nacional. El Piedemonte llanero se caracteriza por tener una escorrentía media - alta, con valores mayores de 2000 mm. En los departamentos del Arauca y Casanare se presentan valores medios de escorrentía hasta con 1000 mm; en general la Amazonía colombiana presenta escorrentías que van desde los 1000 mm hasta los 3000 mm.

El índice de aridez promedio para el país es de 0,23, lo que significa condiciones moderadas y excedentes de agua. Sectores altamente deficitarios de agua se registran en la península de La Guajira y norte de los departamentos de Magdalena y Atlántico, en los límites de los departamentos de Cundinamarca y Tolima y sur del departamento de norte de Santander. Las zonas deficitarias ocupan un 6.9% del territorio colombiano y se localizan en la cuenca del río grande de la Magdalena, norte del departamento de Córdoba, Sucre, Magdalena, Cesar y parte del departamento de Norte de Santander. Condiciones entre moderadas y deficitarias de agua se observan en la sabana de Bogotá, y el valle del río Chicamocha, así como también en la Orinoquía y Amazonía colombiana. Un porcentaje muy alto (48.5%) del país presenta excedentes de agua superficial entre moderados a altos. Cabe resaltar que cerca del 80% de la población y sus actividades económicas están localizadas en cuencas con déficit natural de agua.

Cerca del 9.5% del territorio presenta condiciones de susceptibilidad alta a deslizamientos de tierra, localizándose principalmente en el sector nororiental de la Sierra Nevada de Santa Marta, sur de Bolívar específicamente en la Serranía de San Lucas, al sur del departamento de Santander, oriente y norte de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, en Caldas, Tolima y sur del Quindío, Antioquia, así como en el flanco occidental y oriental de la cordillera Central; gran parte del piedemonte llanero y amazónico presenta susceptibilidad alta de deslizamientos de tierra. Las áreas con susceptibilidad baja ocupan un 69.5% del territorio distribuidas al norte del país en los departamentos de La Guajira, Cesar, Magdalena Sucre, parte norte de Bolívar, los valles de los ríos Magdalena, Cauca y Atrato, y en casi todos los departamentos de la Orinoquia y la Amazonía. La susceptibilidad media de deslizamientos de tierra ocupa un 21%.

El 21% del territorio colombiano presenta susceptibilidad alta a inundaciones, principalmente los terrenos con pendientes menores del 15% ubicados principalmente en los valles de los ríos Atrato, Magdalena y Cauca, en los departamentos del Atlántico, Sucre, Bolívar y Córdoba, los sectores de planicies aluviales y fluvio lacustres de los departamentos de Arauca y Casanare, la Sabana de Bogotá, el nororiente del departamento de Nariño y los valles aluviales de los ríos de las cuencas Orinoco y Amazonas como son los ríos Meta, Orinoco, Guaviare, Caquetá y Putumayo entre los más importantes.

El 60% del territorio presenta condiciones ecológicas en las que se puede propagar la malaria y las diversas regiones del país como la Amazonía, el Caribe, las Sabanas de la Orinoquía, el Pacífico y los Valles interandinos de los ríos Magdalena y Cauca presentan las condiciones climáticas adecuadas para la reproducción y transmisión de la malaria. El área con condiciones óptimas para esta enfermedad cubre el 12 % del territorio nacional localizándose principalmente en las áreas de sabanas de los departamentos de Arauca, Casanare, Vichada y Meta, parte norte del departamento de Chocó y el Urabá antioqueño, así como también en las áreas bajas y áreas de agroecosistemas de los departamentos de Córdoba, Sucre, Atlántico, norte del departamento de Bolívar y sur del Magdalena, también se presenta en el valle interandino del río Magdalena, en Huila, Tolima, Caldas, Cundinamarca, Boyacá y suroccidente de Santander. Las condiciones favorables para el establecimiento de los mosquitos propagadores de la malaria cubren un 46% del total nacional y se localizan en el departamento de la Guajira, noroccidente del Magdalena, en el límite de los departamentos de Cesar, Bolívar, la margen occidental del departamento de Santander y casi toda la región amazónica con excepción de los afloramientos rocosos de Chiribiquete y el Trapecio amazónico, así como también las áreas de agroecosistemas de Caquetá y Putumayo; también se presentan superficies con condiciones favorables en los departamentos de Chocó y Valle. En el 42% del territorio nacional no se presentan las condiciones para el desarrollo de la malaria.

### **Escenarios de cambio climático**

Al tomar la información en alta resolución espacial de los posibles cambios que habría en el clima de Colombia en los períodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 en escenarios extremos A2 y B2 del IPCC, es posible identificar que las modificaciones en la temperatura media anual y en la precipitación en el territorio colombiano en el clima futuro serían las siguientes:

La temperatura media anual del aire tendría incrementos paulatinos del aire de 2-3° entre 2011-2014 y de 3 y 4°C hacia finales de siglo, aunque en los valles del Magdalena y del Cauca el calentamiento podría ser un poco mayor. La precipitación hacia finales del siglo XXI registraría reducciones hasta del 30% en la parte interandina, y en la región Caribe, y aumentos un poco más del 30% de los acumulados anuales en la región Pacífica, en los piedemonte orientales de la cordillera Oriental y en un sector sobre el sur de Bolívar y Sucre.

Con los cambios previstos en los escenarios A2 y B2 expuestos en el párrafo anterior, se modificaron los valores de temperatura y precipitación en los modelos de relación entre el clima y los diversos aspectos del territorio analizados en el presente trabajo, para identificar qué cambios habría en estos, obteniendo que:

El Bosque Tropical Subhúmedo es la cobertura que se podrá afectar en mayor proporción con una pérdida del 11% de su superficie original (125.000 km<sup>2</sup>, aprox.), área que se convertiría principalmente en Bosque Seco Tropical. Las condiciones de altas

temperaturas y menores precipitaciones que se generalizan en los escenarios evaluados, favorecen la aparición de coberturas vegetales de ambientes áridos como desiertos y matorrales desérticos que podrían abarcar un 6% del territorio nacional para finales de siglo.

Las áreas con óptimos climáticos para el establecimiento de cultivos se reduciría casi en un 50% con respecto a la superficie actual en los escenarios evaluados, las condiciones aceptables de humedad para el desarrollo de cultivos tienden a permanecer estables, y las zonas secas en suelos con vocación agrícola se reducen drásticamente, desplazándose a lugares con suelos no aptos con vocación agrícola lo que implicará un costo ambiental mayor para hacer productivos esos suelos. En general la modelación plantea que gran parte de las áreas con vocación agrícola del país son vulnerables a los efectos de la aridización, la desertificación y a los cambios en el régimen hidrológico.

El régimen hidrológico del país se podría ver afectado en términos de escurrimiento promedio hasta en un 11% de la actual, la reducción más drástica se podría dar en el escenario B2 para mediados de siglo hasta en un 19% respecto a la actualidad. Con relación a las condiciones de aridez según esta modelación el país pasaría de un índice de aridez moderado y con excedentes de agua a una condición deficitaria de agua a finales de siglo, en el escenario pesimista, los otros escenarios dejarían al país en una condición moderada a deficitaria de agua, siendo de todas maneras una condición desfavorable con relación a los promedios actuales; los territorios con moderados, excedentes y altos excedentes de agua tienden a la baja, mientras que las áreas con condiciones moderadas, deficitarias y altamente deficitarias de agua tienden a incrementarse en todo el territorio colombiano, situación muy compleja, debido a la estrecha relación entre los recursos hídricos y las actividades socioeconómicas del país. Las áreas altamente deficitarias de agua se incrementarían considerablemente ubicándose principalmente en la Costa Caribe, el Valle del río Magdalena y la Orinoquia colombiana, asimismo los territorios con altos excedentes de agua tienden a reducirse notoriamente pasando a ser territorios moderados y deficitarios de agua.

Las áreas con susceptibilidad alta a deslizamientos de tierra presentarían un incremento hasta del 7 % con respecto a la superficie actual, en cuanto a la susceptibilidad a inundaciones, los resultados muestran que el país tiende al aumento de sus áreas con alta y media susceptibilidad en un 5% y 14% en promedio respectivamente, los dos fenómenos estudiados coinciden espacialmente con las áreas donde la precipitación mostraría un sustancial incremento.

Las áreas con condiciones ecológicas óptimas para el establecimiento de la malaria presentarían un incremento cercano al 44% con respecto de la condición actual, localizándose principalmente en los departamentos de Vichada, Amazonas, Piedemonte

Caqueteño, Meta, occidente de Guainía, Urabá chocoano y antioqueño y los valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena, las condiciones favorables tienden a reducirse a costa de las condiciones óptimas, especialmente para los departamentos de Arauca, Casanare, Vichada, Sucre, Magdalena y La Guajira. En términos generales, se puede apreciar que las áreas ambientalmente potenciales para el vector, están correlacionadas con el comportamiento de la temperatura, lo anterior puesto que desde el punto de vista del modelo, esta variable juega el papel más determinante en discernir las áreas ambientalmente óptimas, creando las condiciones para la viabilidad del ciclo de vida de los vectores y parásitos de la malaria. Todas estas regiones incluyen bosques húmedos tropicales, vegetación baja, sabanas, llanuras y valles aluviales, colinas bajas boscosas y áreas xerofíticas, esta diversidad geográfica y ecológica influye fuertemente en la aparición de condiciones que resultan ser ideales para el establecimiento del Anopheles, y coincidiendo en gran medida con estructuras sociales, culturales y económicas precarias, propiciando condiciones endémicas y epidémicas para la transmisión de la malaria.

La utilización del modelamiento, además de generar conocimiento sobre la relación clima y patrones espaciales de diferentes aspectos del territorio, permitió establecer que, efectivamente, el cambio climático implica transformaciones importantes en aspectos esenciales sobre el territorio colombiano. A partir de esta aproximación a la identificación de los efectos del cambio climático sobre el territorio es posible disponer de información esencial para identificar los impactos en servicios ecosistémicos, recursos hídricos, y con conocimiento del grado de preparación de los ecosistemas y de los sistemas humanos para estas transformaciones, y así proponer incorporar acciones en la planificación de largo plazo como la gestión ambiental, de manejo de cuencas, la gestión de riesgos de desastres, entre otras, orientada en un ordenamiento del territorio para fortalecerlas con miras a una adaptación a los cambios previstos.

En la medida como se disponga de versiones de escenarios de cambio climático actualizadas y mejoradas en cuanto a reducción de incertidumbres, se podrá aplicar este modelo de relación clima aspectos del territorio para actualizar la información de soporte a la planificación de largo plazo orientada a la adaptación al cambio climático.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

Andrade, A. (1994). El ordenamiento territorial en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Comisión de ordenamiento territorial. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Agrawala, S. y Fankhauser S. (eds.). (2008). *Economic Aspects of Adaptation to Climate Change. Costs, Benefits and Policy Instruments*, París. OCDE

Alarcón. J. (2016). Impacto del Cambio Climático en el Recurso Hídrico del territorio Colombiano. Aceptado el 03/03/2016 en: *Revista Sociedades & Naturaleza*.

Alarcón, J. y Pabón, J. (2013). Cambio Climático y formaciones vegetales. *Revista Colombia Forestal*. Volumen 16 No. 2. Consultado en : <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/4719/6984>. [ Fecha de Consulta 17 de abril de 2015]

Alcántara, I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47(2-4), 107–124. [http://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00083-1](http://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00083-1)

Altieri, M., y Nicholls, C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y agricultores tradicionales y sus repuestas adaptativas. *Agroecología* 3: 7-28

Amador, J. y Alfaro, E. (2009). Métodos de reducción de escala: aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica (REVIBEC)*, (11), 39-52.

Arango, E, Carmona, J. y Blair, S. (2008). In vitro susceptibility of Colombian Plasmodium falciparum isolates to different antimalarial drugs. *Biomedica* 2: 213-223.

Ávila, G., Cubillos C., Granados A., Medina E., Rodríguez E., Rodríguez C. y Ruiz G. (2015). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Retrieved 5 August, 2015, from <http://www2.sgc.gov.co/Noticias/archivos/Guia-Metodologica-SGC.aspx>

Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento y Banco Mundial Región de América Latina y El Caribe. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia*. Bogotá, Colombia

Bernal, F. (1988). El tiempo y el clima como condicionantes de las actividades humanas. Murcia, España. *Contraclave, revista digital educativa*. 4559.

Biringer, J., Guariguata, M., Locatelli, B., Pfund, J., Spanger-Sigfried, E., Suárez, A., Yeaman, S. y Jarvis, A. (2005). Biodiversity in a changing climate: a framework for assessing vulnerability and evaluating practical responses. In Robledo, C; Kanninen, M; Pedroni, L. (eds.). *Tropical forest and adaptation to climate change: In search of synergies*. Bogor, Indonesia, CIFOR. p. 154-183.

- Bono, E. (2008). Cambio climático y sustentabilidad económica y social: implicaciones sobre el bienestar social. *Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, (61), 51-72.
- Borja, Miquel. (2000). Estado, sociedad y ordenamiento territorial en Colombia. Bogotá: Instituto de Estudios Políticos y Relaciones Internacionales de la Universidad Nacional.
- Bradley, R. (1999). *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*. International Geophysics series volume 68, Elsevier academic press, San Diego, 610 p.
- Breilh, J. (1979). Epidemiología, economía, medicina y política, Universidad Central, Quito, 127 pp.
- Brown S. (2002). Measuring, monitoring, and verification of carbon benefits for forest-based projects. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 360: pp. 1669-1684
- Brown, M. y Funk, C. (2008), “Food security under climate change”, *Science*, 319(1):579-581
- Buytaert, W., Cuesta, F. y Tobón, C. (2011). Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions *Global Ecology and Biogeography*, (Global Ecological and Biogeography.) vol. 20, p. 19–33
- Campos, L. (2008). Calor glacial: la glaciación que viene: la farsa del calentamiento global. Ed. Books4pocket. España. 285 p.
- Cardona, O. (1993). “Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo”, *Los desastres no son naturales*, Andrew Maskrey (comp.), Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED) /Intermediate Technology Development Group (ITDG)/Tercer Mundo Editores. Costa Rica, 140 p.
- Cardona O., (2001). La necesidad de repensar de manera holística, los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión, 18 p. <http://www.desenredando.org>
- Carter, K. (2009). Report on situation of malaria in the Americas. Available from: [new.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2459&Itemid=2049](http://new.paho.org/hq/index.php?option=com_content&task=view&id=2459&Itemid=2049).
- Carter, N., Kreutzwiser, R. y De Loe. R. (2004). Closing the circle: linking land use planning and water management at the local level. *Land Use Policy*, 22, p. 115-127.
- Castellanos, P. (1990). Sobre el concepto de salud enfermedad. Descripción y explicación de la situación de salud. *Bol Epidemiol. Ofic. Panam. Sanit.* 10: 1-74.
- Castillo, F., y Castellvi, S. (1996). *Agrometeorología*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

CEPAL, (2014). Manual para la Evaluación de Desastres, en [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35894/S2013806\\_es.pdf;jsessionid=4DEA647C16A0836266FBFBA3512079F3?sequence=1](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35894/S2013806_es.pdf;jsessionid=4DEA647C16A0836266FBFBA3512079F3?sequence=1)

Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R. et al. (2007). Human health. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. En: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, editores. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press; p. 391–431.

Ciais, P., Gasser, T., Paris, J. D., Caldeira, K., Raupach, M. R., Canadell, J. G. y Gitz, V. (2013). Attributing the increase in atmospheric CO<sub>2</sub> to emitters and absorbers. *Nature Climate Change*, 3(10), 926-930.

Claval, Paul (1974), Evolución de la geografía humana, Barcelona Oikos-tau

Cloke, P., Philo, C. y Sadler, D. (1991). Aproximación a la Geografía Humana. Chapman, Londres.

Cohen, J. (1995). Population Growth and Earth's Human Carrying Capacity. *Science*, New Series, Volume 269, Issue 5222 (Jul. 21, 1995), 341-346. Tomado de <http://links.jstor.org/sici?sici=0036-8075%2819950721%293%3A269%3A5222%3C341%3APGAEHC%3E2.0.CO%3B2-J>, septiembre 2 de 2015.

Cooper, P., Dimes J., Rao K., Shapiro B., Shiferawa B., y Twomlowc S. (2008). Coping better with current climatic variability in the rain-fed farming systems of sub-Saharan Africa: An essential first step in adapting to future climate change?. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, p. 24-35.

CMNUCC - Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992), Glosario.

Craig M., Snow R. y Le Sueur D. (1999). A Climate-based Distribution Model of Malaria Transmission in Sub-Saharan Africa. *Parasitology Today*. 15: 105-111.

Cruz, M., y Martínez, P. (2012). Cambio climático: Bases científicas y escepticismo. *Cultura Científica y Tecnológica*, 9 (46), 5.

Delgado, O. (1986). "Permanencia del determinismo geográfico en la enseñanza de la geografía en Colombia". *Revista Colombiana de Educación*, No. 18. pp. 98-114.

Delgado, O. (2011). Ideas geográficas sobre la relación tiempo, clima y sociedad: el determinismo geográfico como ideología. 1-17.

DI Gregorio, A. (2005). *Land Cover Classification System: classification concepts and user manual; software version 2*. 1era. edición. FAO, Roma. 196 pp.

Duque, E. (2008). Gestión del riesgo y el caso de Colombia. Retrieved 21 Julio, 2015, from <http://www.bdigital.unal.edu.co/1699/1/gonzaloduqueescobar.20089.pdf>

Diamond, J. (2005). *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*. Viking Penguin, 592.

- Döll, P., Kaspar, F., Alcamo, J. (1999). Computation of global water availability and water use at the scale of large drainage basins. *Mathematische Geologie* 4., 111-118.
- Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., y Valladares, F. (2006). Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas.
- Durkin, M. (2007). *The Great Global Warming Swindle*. United Kingdom. Channel Four.
- Erol, A., y Randhir, T. (2012). Climatic change impacts on the ecohydrology of Mediterranean watersheds. *Climatic change*, 114(2), 319-341.
- Estrela, T., Quintas, L. (1996). El sistema integrado de modelización precipitación escurrimiento (SIMPA). *Revista de Ingeniería Civil*, N° 104, 43-52. CEDEX Ministerio de Fomento.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1997). Departamento de Agricultura. *El maíz en los trópicos*. Los Ambientes de Cultivo del Maíz. Roma, Italia.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2000). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Enseñanza de los cincuenta últimos años. Roma, Italia.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *Boletín de servicios agrícolas* N° 163. Roma, Italia.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2009). Comité de Agricultura. Seguridad en materia de semillas para la seguridad alimentaria a la luz del cambio climático y el aumento de los precios de los alimentos: desafíos y oportunidades. Roma, Italia.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2013). *Perspectivas de cosechas y situación alimentaria*, Número 3. Sistema mundial de información y alerta sobre la alimentación y la agricultura.
- Fuentes, J. (2000). *Iniciación a la meteorología y climatología*, España. Ediciones Mundi Prensa.
- Galán, R. (1990). *The Peopling of the Planet Earth*. El poblamiento del planeta Tierra. New York: Macmillan Publishing Company. Nueva York: Editorial Macmillan.
- García, M., Carvajal, Y., & Jiménez, H. (2011). La gestión integrada de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático. *Revista Ingeniería y Competitividad*, 9(1), 19-29.
- García, D. y Herrero. R. (2014). Cambio climático: modelos e impacto en la seguridad alimentaria en el Mediterráneo. *Rev. UNISCI Discussion Papers*. (España). (31):91-103.
- García, M. A. y Arellano, F. (2012). Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero Nimboyores, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (47),. 143+.
- Consultado En:



<http://go.galegroup.com/ps/i.do?id=GALE%7CA345773842&v=2.1&u=uanna&it=r&p=GPS&sw=w&asid=0c06deeab0fde1988b696aff1e083db7>.

Giorgi, F., y Mearns, L. (2002). Calculation of average, uncertainty range, and reliability of regional climate changes from AOGCM simulations via the “reliability ensemble averaging”(REA) method. *Journal of Climate*, 15(10), 1141-1158.

González, J. (2005). El determinismo ambiental en dos autores clásicos: Hipócrates y Herodoto. *Geografía e historia*, (27), 307-330.

Grain. (2011). Alimentos y cambio climático: el eslabón olvidado. *GRAIN*. 1-6.

Grillet M. E., Martínez J. E. y Barrera R. (2009). Focos calientes de transmisión de malaria: Implicaciones para un control orientado y efectivo en Venezuela. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*. 49: 193-208.

Hansen, J. et. al. (2007). Dangerous Human-made Interference with Climate: A GISS Model E Study. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 7 (9): 2287-2312.

Hay, S. y Snow, R. (2006). The Malaria Atlas Project: Developing Global Maps of Malaria Risk. *PLoS Med*. 3(12): 2204-2208.

Hendra P. et al. (2013). Article: Development of Water Management Modeling by using GIS in Chirchik River Basin, Uzbekistan. *Procedia Earth and Planetary Science*, Volume 6, 2013, p. 169-176.

Herzong, S., Jorgensen, P., Martinez, R., Martius, C., Anderson, D., Hole, T., Larsen J., Marengo, D., Ruiz, C., Tiessen, H. (2010). Efectos del cambio climático en la biodiversidad en los andes tropicales: el estado del conocimiento científico. Resumen para tomadores de decisiones y responsables de la formulación de políticas públicas. Instituto interamericano para la investigación del cambio climático global (IAI). Sao José dos Campos, Brasil

Hidalgo, M. (2013). La influencia del cambio climático en la seguridad alimentaria. *Cuadernos de estrategia*, (161), 67-89.

Hiwat H. y Bretas G. (2011). Ecology of *Anopheles darlingi* Root with respect to vector importance: a review. *Parasites & Vectors*. 4: 177.

Hódar, J., Zamora, R. y Cayuela, L. (2012). Cambio climático y plagas: algo más que el clima. *Ecosistemas* 21(3), p.73-78.

Holdridge, LR. (1967). *Life zone ecology*. San José, Costa Rica, Tropical Science Center. 206 p.

Hodgkin, T., Frison, E., Fanzo, J., y Noriega, I. (2011). Biodiversidad agrícola, seguridad alimentaria y cambio climático: una llamada a la investigación y la colaboración internacional. *Ambienta: la revista del Ministerio de Medio Ambiente*, (94), 42-57.

Hooghiemstra, H. (1984). Vegetational and climatic history of the High Plain of Bogota, Colombia: A continuous record of the last 3.5 million years. En: Van der Hammen, T. (Ed.) *El Cuaternario de Colombia*, 10, CRAMER, 368 p.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2010). Guía de procedimiento para la generación de escenarios de cambio climático regional y local a partir de los modelos globales. Bogotá, Colombia.

IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP. (2007). Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Bogotá, D.C. 276 p. + 37 hojas cartográficas

IDEAM. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2001). 1ra Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá, Colombia.

IDEAM. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2010). 2da Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá, Colombia.

IDEAM, (2014). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C., 2015. 496 p.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2015). Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011- 2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.

IDEAM, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguvio, Instituto Alexander von Humboldt, Parques Nacionales Naturales de Colombia, MADS, DNP. (2014). Enfoque territorial para el cambio climático. Plan Regional Integral de Cambio Climático para Bogotá Cundinamarca (PRICC).

IPCC. (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2002). Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. s.n.t. 85 p.

IPCC, (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.

IPCC. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 pp.

Kappes, M., Gruber, K., Frigerio, S., Bell, R., Keiler, M., y Glade, T. (2012). The MultiRISK platform: The technical concept and application of a regional-scale multihazard exposure analysis tool. *Geomorphology*, 139–155. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.01.024>

Kates R.W. (1985). The interaction of climate and society. (In: Kates R.W., Ausubel J.H., Berberian M., (Eds) 1985: *Climate Impact Assessment: Studies of the interaction of climate and society*. John Wiley), 3-36 pp.

Lampis, A. (2013). La adaptación al cambio climático: el reto de las dobles agendas. *Postigo*, op. cit, 29-50.

Leone, F. (2002). Implications territoriales et socio-économiques des menaces naturelles en Martinique (Antilles françaises): française une approche spatiale assistée par SIG/Socio-economic implications of natural hazards in the Martinique Island (French West Indies): a GIS spatial analysis. In *Annales de géographie* (pp. 549-573). Armand Colin.

Lewthwaite, G. (1966). “Environmentalism and Determinism: A Search for Clarification”, *Annals of the Association of American Geographers*, Vol 56 No. 1, March 1966, 1-23 pp.

Locatelli, B. (2010). Local, global: integrating mitigation and adaptation. *Perspective Forests/Climate Change*, (3). 1-4.

Lugo, A., Brown, S., Dodson, R., Smith, T. y Shugart, H. (1999). The Holdridge life zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping. *Journal of Biogeography* 26: 1025–1038 pp.

Machado, A. (2013). ¿Rendimiento máximo? La agricultura sostenible como herramienta para la conservación. *Acta Biológica Venezuelica*, 21(1).

Magaz, L. (2013). Estimaciones objetivas sobre la evolución regional y global del cambio climático. *Polígonos. Revista de Geografía*, (24), 133-162 pp.

Malagón, D., Pulido, C., Llinas, R. y Chamorro, C. (1995). *Suelos de Colombia: Origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. IGAC. Bogotá. 632 pp.

Maletta, H. (2009). El pan del futuro: cambio climático, agricultura y alimentación en América Latina. *Rev. Debates en Sociología. Perú*. (34):117-176 pp.

Manzanilla, L. (1997). *Early urban societies: challenges and perspectives. Emergence and Change in Early Urban Societies*. Springer. 245-274 pp.

Massiris, A. (1993). Bases Teórico-metodológicas para estudios de ordenamiento territorial. En: *Misión Local: Órgano de difusión del Instituto de Desarrollo del Distrito Capital y la Participación Ciudadana y Comunitaria -IDCAP- de la Universidad Distrital*. Año 2, No. 2 p. 43-87.

Massiris, A. (2000). *Ordenamiento territorial y procesos de construcción regional*. Biblioteca Luis Ángel Arango. <http://www.lablaa.org/blaavirtual/geografia/masir/presen.htm> (consultado el 25 de febrero del 2015)

Magrin, G., et al. (2007). Latin America. Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.

Medina, D., Bevilacqua, M., Cárdenas L., Morales L., Rubio Y., Martínez A.,..., Magris M. (2011). Mapa de riesgo de transmisión de malaria en la cuenca del río Caura, Venezuela. Boletín de Malariología y Salud Ambiental. L1(2): 129-144 pp.

Mendoza, F., Chévez, M. y González, B. (2001). Sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático. Revista Forestal Centroamericana 33:17-22 pp.

Menzel, L. y Burger, G. (2002). Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (southern Elbe, Germany). J. Hydrol. 2002. 267:53:64 pp.

Montenegro, T. y Peña, F. (2010). Gestión de la emergencia ante eventos de inundación por tsunami en Chile: el caso de Puerto Saavedra. Revista de Geografía Norte Grande, 47: 63-80 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022010000300004> versión On-line ISSN 0718-3402.

Mora, S. y Varhson, W. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination: Asosation de engineering geologists bulletin, Vol. XXXI, No 1, 44-58 pp.

Muzik, I. (2002). A first-order analysis of the climate change effect on the flood frequencies in a sub-alpine watershed by means of a hydrological rainfall-runoff model. J. Hydrol. 267:65-73 pp.

Olano V., Brochero H., Sáenz R., Quiñones M. y Molina J. (2001), Mapas preliminares de la distribución de especies de Anopheles vectores de malaria en Colombia. Biomédica, vol. 21, núm. 4, diciembre, 2001,. 402- 408 pp,

Organización de las Naciones Unidas (2015). La ONU busca en Japón un acuerdo global para la reducción de desastres naturales. Centro de noticias ONU. Recuperado de [http://www.un.org/spanish/News/story.asp?NewsID=31884#.VYHLA\\_l\\_Oko](http://www.un.org/spanish/News/story.asp?NewsID=31884#.VYHLA_l_Oko)

Pabón J. (2008). Escenarios de cambio climático para 24 regiones de Colombia. Informe entregado a IDEAM. Departamento de Geografía Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 16 pp.

Pabón J. (2011a). El cambio climático en el territorio de la Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia-Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca. Bogotá D.C. 128 pp.

Pabón J. (2011b). Los incendios de la cobertura vegetal en Colombia y su relación con la variabilidad climática y con el cambio climático. En: Incendios de cobertura vegetal en Colombia (Parra-Lara A.C. (Editor), 2011: Incendios de cobertura vegetal en Colombia. Tomo I. Universidad Autónoma de Occidente – Red Colombiana de Formación Ambiental – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Cali, 232 p.), 145-165 pp.

- Pabón, J. (2012). Cambio climático en Colombia: Tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Revista Academia Colombiana Ciencias*. 36 (139), 127-144 pp.
- Pabón, J. (2016). La Variabilidad Climática y el Cambio Climático en la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Bogotá D.C. 49 pp.
- Padilla, J., Álvarez G., Montoya R., Chaparro A. y Herrera S. (2011). Epidemiology and control of malaria in Colombia Rio de Janeiro. 106: 114-122 pp., 2011.
- Padilla, J. y Peña, S. (2002). Situación de la malaria en Colombia en 2002. Informe epidemiológico, Subdirección de Vigilancia/Instituto Nacional de Salud, Bogotá.
- Parmesan C. y Yohe G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems, *NATURE* Vol. 421.
- Parra, R. (2013). La agroecología como un modelo económico alternativo para la producción sostenible de alimentos. *Revista Arbitrada: Orinoco, Pensamiento y Praxis*, (3), 24-36 pp.
- Pérez, C. (2009). Barreras vivas para producción de granos básicos en zonas de laderas de América Central. Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas, 69 pp.
- Pittaluga, M. y Suvires, G. (2010). Susceptibilidad a las inundaciones por crecientes estivales y por desbordes en las localidades de Villa Nueva, Puchuzum y Villa Corral, Cuenca del Río Castaño, Calingasta, San Juan, *Rev. Asoc. Geol. Argent.* vol.66 no.4 Buenos Aires, Recuperado de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-48222010000300009](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222010000300009).
- Pineda, M. y Elizalde, G. (2011). Determinación de áreas susceptibles a deslizamientos en un sector de la Cordillera de la Costa Central de Venezuela. *Interciencia*, vol. 36, núm. 5. pp. 370-377 Asociación Interciencia Caracas, Venezuela.
- PNUD. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). (2008). Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido.
- 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.
- PRICC. (Plan Regional Integral de Cambio Climático). (2014). Enfoque territorial para el cambio climático. Enfrentando los cambios en el clima desde la planificación y el ordenamiento territorial. Bogotá, Colombia.
- Poveda, G., Quiñones, M., Velez, I., Rjas, W., Rua, G., Ruiz C.,.... Hernandez, O., (2008). Desarrollo de un sistema de alerta temprana para malaria en Colombia. Sevilla. España: Universidad Internacional De Andalucía. 183 pp.

Rannowa, S., Loibl, W., Greiving, S., Gruehn, D. y Meyer, B. (2010). Potential impacts of climate change in Germany - Identifying regional priorities for adaptation activities in spatial planning. *Landscape and Urban Planning* 98, 160–171 pp.

Ratzel, F. (1994) *Géographie politique*. Geneva, Éditions régionales européennes.

Real, L. y Biek, B. (2007). Spatial dynamics and genetic of infectious diseases on heterogeneous landscapes. *J. R. Soc. Interface*. 4: 935-948 pp.

Reid, H. y Huq, S. (2005). Climate change: Biodiversity and livelihood impacts. In Robledo, C; Kanninen, M; Pedroni, L. (eds.). *Tropical forest and adaptation to climate change: In search of synergies*. Bogor, Indonesia, CIFOR. 57-70 pp.

Riera, C. y Pereira, S. (2013). Entre el riesgo climático y las transformaciones productivas: la agricultura bajo riego como forma de adaptación en Río Segundo, Córdoba, Argentina. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*.

Rincón-Romero, M. y Londoño, J. (2009). Mapping malaria risk using environmental and anthropic variables. *Rev. Bras. Epidemiol.* 12: 338-54 pp.

Rubio-Palis, Y. y Zimmerman, R. H. (1997). Ecoregional classification of malaria vectors in the neotropics. *J. Med. Entomol.* 34: 499-510 pp.

Samaniego, J. (2009). Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. *Project documents*, 232 pp.

Sanchez, R., y Bonilla, A. (2013). Urbanización, cambios globales en el ambiente y desarrollo sustentable en América Latina. *ño José dos Campos, Brasil*. 222 pp.

Sarmiento, J. (2008). Gestión del riesgo ante la variabilidad y cambio climático. *Hacia la evaluación de prácticas*, 31 pp.

Schloeder C.A., Zimmerman N.E., Jacobs, M.J. (2001). Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. *Soil Science Society of American Journal* 65:470-479 pp.

Shah, M. (2013). Agricultura sostenible en el siglo XXI Seguridad alimentaria, biocombustibles y cambio climático. *Revista Palmas*, (34), 273-280 pp.

Sharma K. y Gosain A. (2010) Application of Climate Information and Predictions in Water Sector: Capabilities, *Procedia Environmental Sciences*, 120-129 pp.

Shenglian Guo et al. (2002). Article :A macro-scale and semi-distributed monthly water balance model to predict climate change impacts in China *Journal of Hydrology*, Volume 268, Issues 1–4, 1 November 2002, 2002. Pages 1-15 pp.

Solomon, S., Qin, M., Manning, R. Alley, T., Berntsen, N., Bindoff, Z. Chen, A., Chidthaisong, J., Gregory, G., Hegerl, M., Heimann, B., Hewitson, B., Hoskins, F., Joos, J., Jouzel, V., Kattsov, U., Lohmann, T., Matsuno, M., Molina, N., Nicholls, J., Overpeck, G., Raga, V., Ramaswamy, J., Ren, M., Rusticucci, R., Somerville, T., Stocker, P. y Whetton, R. (2007).

Wood and D. Wratt: Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Souza-Santos, R., G. de Oliveira, M., Escobar, A., Ventura, R. y Coimbra Jr. C. (2008). Spatial heterogeneity of malaria in Indian reserves of Southwestern Amazonia, Brazil. *Int. J. Health Geogr.* 7(55): 1-10 pp.

Stern, N. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge, Cambridge University Press. 265 - 280 pp.

Strelcová, K., Mátyás, C., Kleidon, A., Lapin, M., Matejka, F., Blaženec, M. y Holécy, J. (2009). Bioclimatology and natural hazards. *Bioclimatology and Natural Hazards*. <http://doi.org/10.1007/978-1-4020-8876-6>

Tebaldi, C. y Knutti, R. (2007). The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1857), 2053-2075 pp.

Turc, L. (1955). Le bilan d'eau des sols. Relation entre la precipitation, l'évaporation et l'écoulement. *Ann. Agron.* 5., 491-569 pp.

Unwin, T. (1995). *El lugar de la geografía*. Madrid: Editorial Cátedra. 342 pp.

Utria, R. (1993). Ordenamiento territorial: hacia un enfoque conceptual. En: IGAC, COT, DNP. *Ordenamiento territorial. conceptualizaciones y orientaciones: hacia un lenguaje común*. Santa Fe de Bogotá. 41-52 pp.

UNESCO, ITC, THE NETHERLANDS, CEPREDENAC y SECRETARIA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (2010). *Desarrollo de Una Metodología Para la Identificación de Amenazas y Riesgos a Inundaciones y Deslizamientos en la Cuenca del Río San Juan*. Retrieved 2 July, 2015, from <http://www.itc.nl/external/unesco-rapca/Publicaciones%20RAPCA%5CRepublica%20Dominicana%5CEstudio%20Cuenca%20Rio%20San%20Juan%20Republica%20Dominicana.PDF>

UNESCO. (2010). *Glosario hidrológico internacional* [documento en línea]. Consultado el 21 de agosto de 2014 en <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/HINDES.HTM>.

Vásquez, M. (2013). Cambio climático y seguridad alimentaria. *Rev. REDUCA*, 4(15): 76-84 pp.

Verweij, P.A.; Kok, K.; Budde, P.E. (2003). Aspectos de la transformación del páramo por el hombre. En: Van der Hammen, T., Dos Santos, A.G. (eds.). *Estudios de ecosistemas tropoandinos*. Vol. 5. La Cordillera Central Colombiana. Transecto Parque Los Nevados. Berlin-Stuttgart. Germany: Cramer (Borntraeger). 545p. Vilá, V., (1983), *Introducción al estudio teórico de la geografía*, Vol. 1., Barcelona, Ed. Ariel. 377 pp.

Vörösmarty, C., Federer, C. y Schloss, A. (1998). Potential evaporation functions compared on US watersheds: implications for global-scale water balance and terrestrial ecosystem modeling. *J. Hydrol.* 1998. 207, 147-169 pp.

van der Hammen T., Pabón J.D., Gutierrez H. y Alarcón J.C. (2002). El Cambio Global y los Ecosistemas de Alta Montaña. En: *Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en Condiciones HotSpot & Global Climatic Tensor*. (Castaño-Uribe C (Editor), 2002, Bogotá D.C., 387 páginas; ISBN: 8067-05-7), 163-209 pp.

van't Veer, R., Islebe, G. y Hooghiemstra, H. (2000). Climate change during the Younger Dryas chron in northern South America: a test of the evidence. *Quaternary Science Reviews* 19: 1821–1835 pp.

Vittor A., Pan W., Gilman R., Tielsch J., Glass G., Shields T., et al. (2009) Linking deforestation to malaria in the Amazon: characterization of the breeding habitat of the principal malaria vector, *Anopheles darlingi*. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 81: 5-12 pp.

Weart, S. (2006). *El calentamiento global. La Historia de un descubrimiento científico*, Navarra: Laeotoli.

Yangge Tian , Cheng Wen Song Hong. (2008). Global scientific production on GIS research by bibliometric analysis from 1997 to 2006 .*Journal of Informetrics*, Volume 2, Issue 1, January 2008, 65-74 pp.

Yanzhao Yang et al. (2008). Article :Climate-induced changes in crop water balance during 1960–2001 in Northwest China Agriculture, *Ecosystems & Environment*, Volume 127, Issues 1–2, August 2008, 2008. 107-118 pp.

Yasuhara, K., Komine, H., Murakami, S., Chen, G., Mitani, Y., y Duc, D. (2012). Effects of climate change on geo-disasters in coastal zones and their adaptation. *Geotextiles and Geomembranes*, 30, 24–34. <http://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2011.01.005>

Yates, D., Kittel, T. y Cannon, R. (2000). Mechanistic biogeographical models for assessing vegetation distribution response to climatic change. *Climatic Change* 44:59-87 pp.

Yates, D. (1997). Approaches to continental scale runoff for integrated assessment models. *Journal of Hydrology* 1997. 201:289-310 pp.