

Aproximación a un modelo para la evaluación de la vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia ante un posible cambio climático utilizando Sistemas de Información Geográfica SIG con énfasis en la vulnerabilidad de las coberturas nival y de páramo de Colombia

Por Hilda Jeanneth Gutiérrez Rey

Meteoróloga, Especialista en SIG y Sensores Remotos Magister en Medio Ambiente y Desarrollo, IDEAM.

En este trabajo, se presentan en forma breve las metodologías y resultados de la construcción de un modelo prospectivo en SIG (Sistemas de Información Geográfica), con un planteamiento de función directa, metodología IPCC, ajustado a las condiciones bioclimáticas y biogeográficas de Colombia, con el propósito de evaluar el grado de vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia ante un posible cambio climático.

El modelo de vulnerabilidad se subdividió en tres fases o subsistemas:

En la primera fase o subsistema actual, se implementaron los modelos generadores de zonificación bioclimáticas y para este proyecto de grado, de las Zonas de Vida de Holdridge actuales y la Línea Base Climática 1961-1990.

En la segunda fase o subsistema de cambio climático, se desarrollaron los modelos generadores de zonificación bioclimática de las Zonas de Vida de Holdridge futuras bajo Escenarios de Cambio Climático con Duplicación de CO₂ en la atmósfera (2XCO₂).



En la tercera fase o subsistema de vulnerabilidad de las coberturas vegetales, se generaron los modelos de desplazamientos de las Zonas de Vida de Holdridge y del grado de vulnerabilidad de las coberturas vegetales al variar el patrón del clima en Colombia.

Primera Fase

En la parte correspondiente a la primera fase se obtuvieron los modelos en SIG de la distribución espacial de las variables ambientales de precipitación, biotemperatura, evapotranspiración, relación de humedad, el Modelo de Zonificación Bioclimática de las zonas de vida de Holdridge y de las transiciones de las Zonas de Vida para el período 1961-1990. Estos modelos son de tipo raster con una resolución espacial de 230 metros.

Para lograr los modelos óptimos de distribución espacial actual, Línea Base Climática, de biotemperatura, precipitación, evapotranspiración y humedad, y lógicamente de las Zonas de Vida de Holdridge y sus transiciones, se experimentaron muchas opciones mediante varios tipos de entradas a dichos modelos, entre otros los siguientes:

- Utilizando datos puntuales de precipitación, de temperatura y de evapotranspiración de las estaciones meteorológicas de Colombia y de países vecinos y aplicándoles diferentes métodos geoes-tadísticos de interpolación lineal y no lineal.
- Utilizando isolíneas (isotermas e isoyetas) interpoladas y también aplicando varios métodos geoes-tadísticos de interpolación.
- Utilizando valores estimados de temperatura y de evapotranspiración (ETP), generados con fórmulas empíricas e interpolados con ayuda de Modelos de Elevación Digital de Terreno, (DEM), con el fin de solventar la ausencia de información climatológica especialmente sobre los 2.500 metros sobre el nivel del mar.

De acuerdo con el tipo de entrada de las variables a los modelos anteriores, se obtuvo un tipo diferente de salida de distribución espa-

cial tanto de precipitación, biotemperatura, evapotranspiración, relación de humedad, como de unidades bioclimáticas o Zonas de Vida de Holdridge, incluyendo las transiciones de las Zonas de Vida.

Entre estos diferentes modelos preliminares de distribución espacial obtenidos, se seleccionaron los modelos óptimos, a los cuales se les bautizó como IDEAM/2000, por ser los que mejor representaban la realidad bioclimática de Colombia, y que son los que se utilizaron como entrada a los modelos en la Fase Segunda o Subsistema de Cambio Climático. Estos modelos son Temperatura IDEAM/2000, Precipitación IDEAM/2000, Evapotranspiración IDEAM/2000, Relación de Humedad IDEAM/2000, Zonas de Vida de Holdridge IDEAM/2000 y Transiciones de las Zonas de Vida de Holdridge IDEAM/2000.

Segunda Fase

En el Subsistema de Cambio Climático se obtuvieron los modelos en SIG de la distribución espacial para el territorio colombiano de las mismas variables ambientales de precipitación, biotemperatura, evapotranspiración, relación de humedad, de las Zonas de Vida de Holdridge y de las transiciones con escenarios de Cambio Climático.

Aunque se aplicaron otros escenarios climáticos de paleoclima y futuros de carácter optimista y severos, para la validación de estos modelos, en este estudio se presenta específicamente el Escenario Futuro de Cambio Climático Síntesis Hulme (IPCC, 1990). Este es un escenario Moderado A1 con duplicación de concentración de CO₂ en la atmósfera, en el cual se proyectan aumentos de temperatura para el territorio colombiano entre +2.4 °C y +3.0 °C y disminución de la precipitación entre -2% y -20%, a excepción de los piedemontes Llanero y Amazónico, en donde la precipitación se podría incrementar hasta en un +10%.

Tercera Fase

En esta fase se desarrolló el modelo de Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia ante un Cambio climático, aplicando la metodología

del IPCC de Planteamiento de Función Directa, en donde se analizan los cambios en la distribución de las Unidades Bioclimáticas de Holdridge actuales con el nuevo patrón de clima.

Para dar mayor precisión al Modelo de Planteamiento de Transferencia Directa dentro de la realidad bioclimática y biogeográfica de Colombia y para zonificar el país en grados de vulnerabilidad al Cambio Climático, se complementó la parte final del modelo con matrices de ponderación teniendo en cuenta criterios bioclimáticos más específicos como los de Línea de Temperatura Crítica del Diagrama de Holdridge, las Zonas de Transición de las Zonas de Vida de Holdridge, el Índice de Relación de Evapotranspiración de Holdridge y los Grados de Sensibilidad de cada una de las coberturas vegetales del país.

Para calibrar el Modelo de Vulnerabilidad, se utilizaron las Bases de Datos de las Coberturas Vegetales, Uso y Ocupación del Territorio Colombiano IDEAM/96 a escala 1:500.000.

Introducción

Existe la preocupación de que las actividades humanas puedan cambiar el clima de la tierra, y por consiguiente del territorio colombiano, al intensificarse el efecto invernadero como consecuencia de las emisiones de dióxido de carbono, metano, clorofluorocarbonos y de otros gases, que pueden hacer que aumente la temperatura de la superficie terrestre, lo que se ha denominado “calentamiento global”.

Si esto ocurre, los cambios consiguientes en el comportamiento espacial y temporal de los factores climáticos, especialmente de la temperatura y de la precipitación, pueden tener consecuencias importantes en las coberturas vegetales y por consiguiente en los ecosistemas colombianos, ya que el país presenta un territorio multidiverso en lo hidroclimático, biológico, cultural y en lo socioeconómico. Bioclimáticamente, en el país se pueden identificar 28 zonas de vida, según la clasificación de Holdridge, y 38 tipos de coberturas vegetales (IDEAM/96), correspondiendo el 56% de la superficie nacional a bosques, el 26%

a agroecosistemas, el 14% a sabanas, el 1,5% a coberturas xerófitas, el 1.4% a páramos, el 0.03% a cobertura nival, entre otros, y todo esto ligado a la existencia de una alta biodiversidad en donde el clima es un factor limitante especialmente en su productividad primaria.

La distribución geográfica nacional de los tipos de vegetación, podrían variar tanto latitudinal como altitudinalmente, respondiendo al cambio del patrón de clima y al ritmo en que se presente, siendo más vulnerables las coberturas vegetales si éste se presenta en forma rápida.

Este estudio de Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia ante un posible cambio climático fue encomendado a la investigadora por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, para ser desarrollado como Tesis de Grado para optar al título de Magister en Medio Ambiente y Desarrollo, Área de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia, y como parte de la Primera Comunicación Nacional de la República de Colombia ante la Conferencia de las Partes (COP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (UNFCCC), que presentó el IDEAM dentro de los compromisos adquiridos por el país.

En este documento se resumen las metodologías de la construcción del Modelo prospectivo en SIG (Sistemas de Información Geográfica), de Planteamiento de Función Directa, metodología IPCC, utilizado por más de 56 países en sus comunicaciones nacionales, el cual fue ajustado a las condiciones bioclimáticas y biogeográficas de Colombia, para evaluar el grado de vulnerabilidad de las coberturas vegetales del país ante un posible Cambio Climático con énfasis en las coberturas de Páramo y Nival.

5.1 Aspectos Metodológicos y Resultados

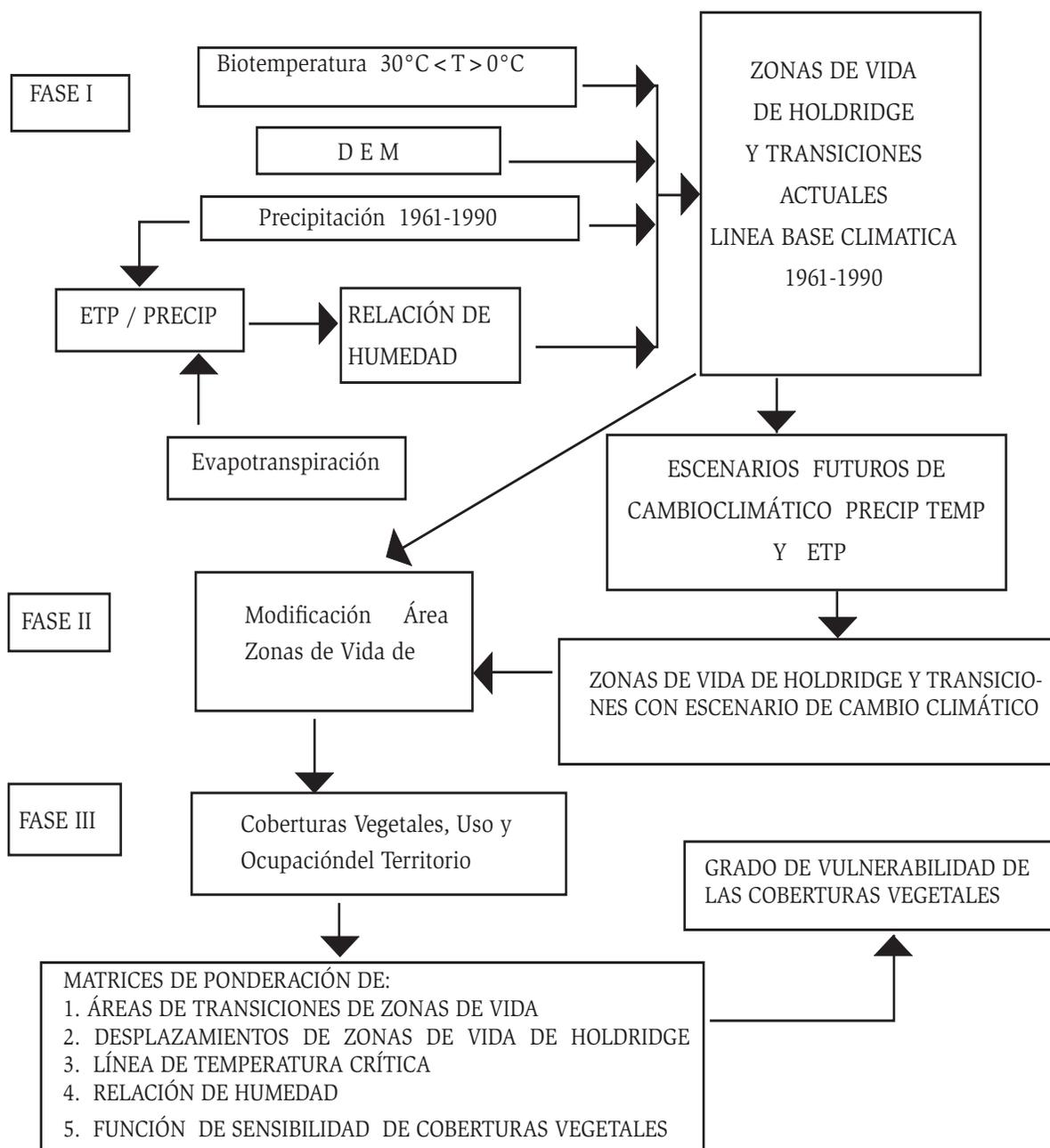
Dado de que el principal objetivo del estudio era desarrollar un modelo prospectivo del grado de vulnerabilidad de las coberturas Vegetales de Colombia ante un posible cambio climático, y que éste se debía implementar operativamente en la

plataforma informática del IDEAM, SIG Arc/Info y Erdas Imagine, en “Spatial Modeler Language”, se dividió el proyecto en 3 fases o subsistemas. El modelo debía estar en capacidad de generar la distribución espacial para el territorio colombiano de variables climatológicas y de Unidades Bioclimáticas, con escenarios climáticos pasados, presentes y futuros, así como evaluar el grado

de vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia frente a un cambio climático.

Las fases de implementación del modelo se representan en la Figura 1: “Diagrama de flujo del modelo de evaluación del grado de vulnerabilidad de las coberturas vegetales ante un Cambio Climático” y fueron las siguientes:

Figura 1 Diagrama de flujo del Modelo de Evaluación del Grado de Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales ante un Cambio Climático



5.1.1 Primera fase: Zonas de Vida de Holdridge actual

La implementación de la primera fase o construcción del Modelo de Zonas de Vida de Holdridge Actual, a partir de la Línea Base Climática 1961-1990, comprende inicialmente la generación de los modelos de distribución espacial de las variables climáticas: biotemperatura, precipitación, evapotranspiración y humedad (Relación de Evapotranspiración Potencial), para el período 1961-1990, y finalmente la generación del Modelo de las Zonas de Vida o Unidades Bioclimáticas de Holdridge, para el mismo periodo, incluyendo las correspondientes Transiciones de las Zonas de Vida.

5.1.1.1 Modelo de Zonas de Vida y de Transiciones de Holdridge para Colombia IDEAM/2000 Línea Base Climática 1961-1990

El modelo de las Zonas de Vida y Transiciones de Holdridge IDEAM/2000 genera la distribución espacial de estos aspectos para el territorio colombiano de acuerdo con el Sistema de Zonificación Ecológica de Leslie R. Holdridge.

Conforme con los resultados obtenidos, existen 28 Unidades Bioclimáticas y 18 transiciones de Zonas de Vida para el territorio colombiano.

Estos resultados se muestran en los Mapas 1: (“Zonas de Vida y Transiciones de Zonas de Vida de Holdridge para Colombia IDEAM/2000 Línea Base Climática 1961-1990”), la Tabla 1: (“Zonas de Vida de Holdridge para Colombia IDEAM/2000” Línea Base Climática 1961-1990”) y la Tabla 2 “(Transiciones de las Zonas de Vida de Holdridge para Colombia IDEAM/2000” Línea Base Climática 1961-1990”).

El Bosque Húmedo Tropical (bh-T), zona de vida que ocupa más de la mitad del territorio colombiano (57%); seguido por el Bosque Seco Tropical (bs-T) y el Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T), que ocupan el 11.3% y el 11.2% respectivamente.

Las tres anteriores zonas de vida suman más del 79% del territorio nacional y están ubicadas sobre el piso térmico cálido, con alturas de 0 a

1000 m.s.n.m., y temperaturas promedio superiores a los 24°C.

Le siguen en área el Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-PM) con el 4.4%; Bosque Húmedo Premontano (bh-PM) con 3.1%; Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB) con 2.9%; Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB) con 2.6%; Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M) con 1.8%; Bosque Muy Seco Tropical (bms-T) con 1.2%; Bosque Pluvial Premontano (bp-PM) con 0.9%; Bosque Pluvial Montano (bp-M) con 0.7%; Bosque Seco Premontano (bs-PM) con 0.7%; Monte Espinoso Subtropical (me-ST) con 0.6% y Bosque Pluvial Tropical (bp-T) con 0.5%.

Las zonas de vida correspondientes al cinturón altitudinal Premontano (que coincide con el cinturón cafetalero de Colombia), con alturas de 1.000 a 2.000 metros sobre el nivel del mar y temperaturas promedio entre 18°C y 24°C, ocupan el 8.5% del territorio colombiano. Las zonas de vida ubicadas en el cinturón altitudinal Montano Bajo ocupan el 6.5% del territorio Nacional, con alturas entre los 2.000 y 2.500 metros sobre el nivel del mar y temperaturas promedio entre 12°C y 18°C.

El Subpáramo de acuerdo con la clasificación de Cuatrecasas, está ubicado en el cinturón Montano, entre los 2.500 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, con un promedio de temperatura anual de 6°C a 12°C, y corresponde a las Zonas de Vida de Holdridge Bosque Húmedo Montano (bh-M), Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M) y Bosque Pluvial Montano (bp-M). Las zonas de subpáramo alcanzan una extensión de aproximadamente el 3% del país.

La Zona de Vida de Bosque Húmedo Montano (bh-M) o Subpáramo Húmedo, ocupa el 0,37% del territorio nacional. Esta zona de Vida del Piso Montano según la Clasificación de Holdridge, está ubicada entre los 2.500 y 3.000 metros sobre el nivel del mar y se caracteriza por tener un promedio de temperatura anual de 6°C a 12°C y precipitaciones entre 500 y 1.000 milímetros promedio multianual.

Tabla 1 Zonas de Vida de Holdridge para Colombia IDEAM/2000 Línea Base Climática 1961-1990

No.	Zona De Vida	Símbolo	Porcentaje
1	Matorral Desertico Premontano	md-PM	0.000005
2	Desierto Premontano	d-PM	0.000009
3	Desierto Tropical	d-T	0.000014
4	Estepa Espinosa Montano Bajo	ee-MB	0.000867
5	Matorral Desértico Montano (Subpáramo)	md-M	0.002031
6	Matorral Espinoso Premontano	me-PM	0.002610
7	Páramo Subalpino (Subandino) (Páramo)	p-SA	0.007256
8	Tundra Pluvial Alpina (Superpáramo)	tp-A	0.035468
9	Nieve	N	0.039887
10	Bosque Seco Premontano	bs-PM	0.143751
11	Matorral Desértico Subtropical	md-ST	0.194310
12	Bosque Pluvial Montano Bajo	bp-MB	0.316872
13	Páramo Pluvial Subalpino (Páramo)	pp-SA	0.2759
14	Bosque Húmedo Montano (Subpáramo)	bh-M	0.3719
15	Bosque Pluvial Tropical	bp-T	0.472042
16	Monte Espinoso Subtropical	me-ST	0.591461
17	bosque seco premontano	bs-PM	0.661123
18	Bosque Pluvial Montano (Subpáramo)	bp-M	0.742927
19	Bosque Pluvial Premontano	bp-PM	0.940366
20	Bosque Muy Seco Tropical	bms-T	1.164187
21	Bosque Muy Humedo Montano (Subpáramo)	bmh-M	1.840000
22	Bosque Húmedo Montano Bajo	bh-MB	2.638982
23	Bosque Muy Húmedo Montano Bajo	bmh-MB	2.869591
24	Bosque Húmedo Premontano	bh-PM	3.069891
25	Bosque Muy Húmedo Premontano	bmh-PM	4.371115
26	Bosque Muy Húmedo Tropical	bmh-T	11.235417
27	Bosque Seco Tropical	bs-T	11.329359
28	Bosque Húmedo Tropical	bh-T	56.98244

La Zona de Vida de Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M), o Subpáramo Muy Húmedo, ocupa el 1,84% del país y sus precipitaciones promedio son de 2.500 a 3.000 milímetros anuales.

La Zona de Vida de Bosque Pluvial Montano (bp-M) o Subpáramo Pluvial, ocupa el 0.743 % del territorio nacional y su promedio anual de lluvias es mayor a 2.000 mm.

La Zona de Vida Matorral Desértico Montano (md-M), o Subpáramo Desértico, ocupa el 0.002031 % del territorio nacional y se caracteriza por tener precipitaciones entre 125 y 250 mm. anuales.

Entre los 3.000 y 3.500 metros de altura y con temperaturas promedios multianuales entre 3 y 6°C, se ubican las Zonas de Vida Subandinas o Subalpinas ocupando aproximadamente el 0.3%

del territorio del país. Estas Unidades Bioclimáticas Subandinas o Subalpinas corresponden al Páramo propiamente dicho y son el Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA) y el Páramo Subandino (p-SA), ocupando aproximadamente el 0,3% del territorio nacional.

La Zona de Vida de Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA), o Páramo Pluvial según Cuatrecasas, se caracteriza por tener precipitaciones mayores a 1.000 milímetros anuales y representa el 0.275% del país.

La Zona de Vida de Páramo Subandino (p-SA), o Páramo propiamente dicho, tiene precipitaciones entre 500 y 1.000 milímetros promedio multianual y representa el 0.0072% del territorio nacional.

Por encima de los 3.500 metros de altura, con temperaturas promedio entre 1.5°C y 3.0°C, encontramos la Zona de Vida de Tundra Pluvial Alpina (tp-A) o Superpáramo según Cuatrecasas, la cual ocupa el 0.04%. Esta zona de vida corresponde a promedios multianuales inferiores a 500 mm. de lluvia.

Tabla 2 Transiciones de las Zonas de Vida de Holdridge IDEAM/2000 Línea Base Climática 1961 - 1990

Símbolo	Zona de vida	Cinturón Altitud	Área (Ha)	%
d-T/md-ST/d-PM	Transición	Tropical/Premontano	0	0,0000
md-ST/me-ST/md-PM	Transición	Tropical/Premontano	139883,47	0,1226
me-ST/bms-T/me-PM	Transición	Tropical/Premontano	184472,88	0,1617
bms-T/bs-T/bs-PM	Transición	Tropical/Premontano	665651,28	0,5834
bs-T/bh-T/bh-PM	Transición	Tropical/Premontano	4634891,69	4,0622
bh-T/bmh-T/bmh-PM	Transición	Tropical/Premontano	16225699,6	14,2208
bmh-T/bp-T/bp-PM	Transición	Tropical/Premontano	1359969,07	1,1919
d-PM/ds-PM/d-T	Transición	Premontano/Tropical	0	0,0000
md-PM/me-PM/me-ST	Transición	Premontano/Tropical	5,29	0,0000
me-PM/bs-PM/bms-T	Transición	Premontano/Tropical	9749,47	0,0085
bs-PM/bh-PM/bs-T	Transición	Premontano/Tropical	493853,24	0,4328
bh-PM/bmh-PM/bh-T	Transición	Premontano/Tropical	1824161,28	1,5988
bmh-PM/bp-PM/bmh-T	Transición	Premontano/Tropical	686314,02	0,6015
d-MB/md-MB/d-M	Transición	Montano Bajo/Montano	0	0,0000

Continúa en la página siguiente

Tabla 2 Transiciones de las Zonas de Vida de Holdridge IDEAM/2000 Línea Base Climática 1961 - 1990 (Viene de la página anterior)

Símbolo	Zona de vida	Cinturón Altitud	Área (Ha)	%
md-MB/ee-MB/md-M	Transición	Montano Bajo/Montano	0	0,0000
ee-MB/bs-MB/e-M	Transición	Montano Bajo/Montano	433,78	0,0004
bs-MB/bh-MB/bh-M	Transición	Montano Bajo/Montano	351134,33	0,3077
bh-MB/bmh-MB/bmh-M	Transición	Montano Bajo/Montano	802175,6	0,7031
bmh-MB/bp-MB/bp-M	Transición	Montano Bajo/Montano	212631,55	0,1864
d-M/md-M/md-MB	Transición	Montano/Montano Bajo	0	0,0000
me-M/e-M/ee-MB	Transición	Montano/Montano Bajo	0	0,0000
e-M/bh-M/bs-MB	Transición	Montano/Montano Bajo	27407,49	0,0240
bh-M/bmh-M/bh-MB	Transición	Montano/Montano Bajo	317452,9	0,2782
bmh-M/bp-M/bmh-MB	Transición	Montano/Montano Bajo	297393,22	0,2606
d-M/md-M/d-SA	Transición	Montano/Subalpino	0	0,0000
md-M/e-M/md-SA	Transición	Montano/Subalpino	0	0,0000
e-M/bh-M/mh-SA	Transición	Montano/Subalpino	0	0,0000
bh-M/bmh-M/p-SA	Transición	Montano/Subalpino	21842,41	0,0191
bmh-M/bp-M/pp-SA	Transición	Montano/Subalpino	128943,75	0,1130
d-SA/md-SA/md-M	Transición	Subalpino/Montano	0	0,0000
md-SA/bh-SA/e-M	Transición	Subalpino/Montano	0	0,0000
bh-SA/p-SA/bh-M	Transición	Subalpino/Montano	0	0,0000
p-SA/pp-SA/bmh-M	Transición	Subalpino/Montano	44070,99	0,0386

Mapa 1

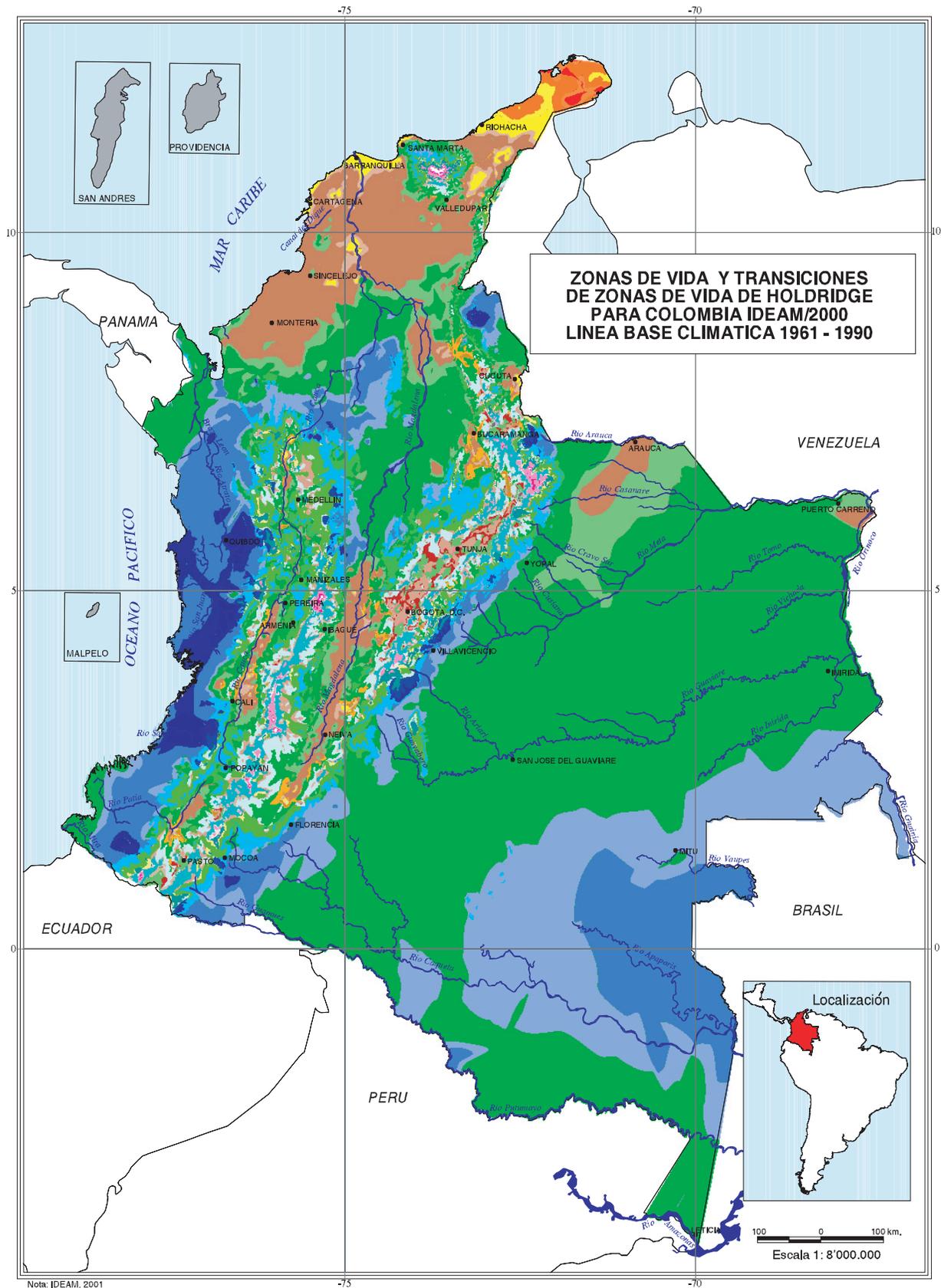


Tabla 3 Posibles cambios climáticos en temperatura y precipitación con Escenario Moderado Síntesis Hulme 2xco2 para 24 regiones de Colombia

No. Región	Regiones Climáticas de Colombia	Incrementos en Temperatura °c	Cambios en Precipitación%
1	San Andrés Y Providencia	+ 2.9 °c	-15 %
2	Alta Guajira	+ 2.4 °C	-15 %
3	Noroeste Sierra Nevada Santa Marta y Cuenca Cesar	+ 2.4 °c	-10 %
4	Litoral Central	+ 2.4 °C	-10 %
5	Bajo Magdalena	+ 2.4 °C	-10 %
7	Catatumbo	+ 2.8 °C	-5 %
8	Medio Magdalena	+ 2.8 °C	-15 %
9	Sinú, San Jorge, Bajo Nechí, Urabá	+ 2.4 °C	-10 %
6	Pacífico Norte y Central	+ 2.5 °C	-2 %
10	Cuenca rio Arauca Y Cuenca Media rio Meta	+ 2.7 °C	-15 %
11	Medio Cauca y Alto Nechí	+ 2.8 °C	-15 %
12	Rio Sogamoso	+ 2.8 °C	-15 %
13	Orinoquía Oriental	+ 2.7 °C	-20 %
14	Piedemonte Llanero	+ 2.8 °C	+ 10 %
15	Alto Magdalena	+ 2.8 °C	-20 %
16	Sabana de Bogotá	+ 2.8 °C	-15 %
17	Alto Cauca	+ 2.8 °C	-20 %
18	Orinoquía Central	+ 2.7 °C	-10 %
19	Piedemonte Amazonico	+ 2.8 °C	+ 10 %
20	Pacífico Sur y Central	+ 2.5 °C	-15 %
21	Amazonía Central	+ 2.9 °C	-10 %
22	Alto Patía	+ 2.8 °C	-10 %
23	Montana Narinense	+ 2.8 °C	-15 %
24	Suroriente Amazónico	+ 2.9 °C	-12 %

Finalmente sobre los 4.500 metros sobre el nivel del mar, la Zona de Vida Nival (N) ocupa el 0.04% y se caracteriza por tener temperaturas promedio entre 0°C y 1.5°C.

5.1.2 Segunda fase: Zonas de Vida de Holdridge con Cambio Climático

Esta segunda fase comprende la implementación de los modelos de distribución espacial en el terri-

torio colombiano de las variables climáticas de biotemperatura, precipitación, evapotranspiración y humedad (Relación de Evapotranspiración Potencial) con el escenario de cambio climático seleccionado para el estudio, y la generación del Modelo de las Zonas de Vida o Unidades Bioclimáticas de Holdridge con escenarios de cambio climático proyectados, incluyendo las correspondientes Transiciones de las Zonas de Vida.

El escenario de cambio climático 2XCO₂, aplicado en este estudio, y sobre una zonificación de 24 Regiones Climáticas de Colombia, (IDEAM/98), se estimó con base en una compilación de proyecciones de 7 modelos de cambio climático de Circulación General, GCM's (2X CO₂), siendo un Escenario Moderado A1 (IPCC,1999) Síntesis Hulme, el cual se aproxima a una duplicación de CO₂ en la atmósfera hacia el año 2100, para los países de los Andes Norte, que se encuentra disponible en el Centro de Distribución del IPCC, como se puede observar en la Tabla 3. "Posibles cambios climáticos en Temperatura y Precipitación con Escenario Moderado Síntesis Hulme 2XCO₂ para 24 regiones de Colombia".

5.1.2.1 Modelo de temperatura del Territorio Colombiano con Escenario de Cambio Climático 2XCO₂

La posible distribución espacial de la temperatura en el territorio colombiano ante un Cambio Climático futuro, se muestra en el Mapa 2: "Temperatura del territorio colombiano con escenario de cambio climático síntesis Hulme (IPCC,1999) 2XCO₂" con su respectiva Leyenda de la Figura 2: "Leyenda del Mapa Raster de Temperatura para Colombia con escenario de cambio climático 2XCO₂".

Este producto se generó en SIG con ayuda de un Modelo de Temperatura del Territorio Colombiano con Escenario 2XCO₂, con programación raster y por objetos en Spatial Modeler Language de Erdas Imagine", y teniendo como entradas fundamentales un Modelo Digital de Elevación (DEM IDEAM/96) con un gradiente vertical de temperatura de -6.25°C /Km. (HIMAT/89), y un Escenario de Cambio Climático. Este modelo de temperatura permite implementar indiferentemente cualquier escenario de cambio de temperaturas.

El modelo se implementó específicamente con el escenario que se presenta en la Tabla 4, con cambio climático Moderado A1 de SRES (IPCC, 1999) síntesis Hulme, el cual proyecta una duplicación del CO₂ atmosférico hacia el año 2100, y

según estos modelos, sobre el territorio colombiano se daría un incremento entre los 2.4°C y 2.9°C, valores que fueron distribuidos en 24 regiones climáticas del país.

El mapa de temperatura con Cambio Climático IDEAM/2000 obtenido, es una cobertura digital raster de tipo de dato continuo y flotante, con 21.459.984 píxeles, cada uno de ellos con resolución espacial de 230 metros.

En el Mapa de Temperatura con Cambio Climático, se obtuvieron áreas de temperaturas medias anuales proyectadas para Colombia, en 255 rangos de valores, entre los 2°C y los 32.2°C, los cuales se simbolizaron en degradé de intensidad de colores, desde las zonas más cálidas con los rojos, hasta las zonas más frías con los azules, pasando por las temperaturas intermedias con anaranjados, amarillos y verdes.

La gama de colores rojos representa las áreas con los valores más altos de temperatura del país, entre los 31°C y 32.2°C, y van descendiendo gradualmente a la gama de los naranjas (de 29.5°C a 31°C), luego a los amarillos (de 21.5°C a 29.5°C), luego a la gama de los verdes claros que representan los valores de temperatura entre 18°C y 21.5°C, pasando a los verdes oscuros (12.5°C a 18°C), hasta los azules claros (3.5°C a 12.5°C) y finalmente a los azules oscuros que representan las temperaturas más bajas del país, inferiores a 3.5°C.

De acuerdo con los resultados de la Tabla 5: "Temperaturas del Territorio Colombiano con escenario de cambio climático 2XCO₂", el 85% del territorio nacional presentaría temperaturas promedio entre 24°C y 32°C, correspondiendo al piso térmico cálido. Habría un incremento del 5% en área para este rango de temperaturas con respecto a las actuales obtenidas con la Línea Base Climática.

Cabe destacar que el 67% del área nacional correspondería con el Cambio Climático a promedios de temperatura mayores de 30°C, mientras que en la actualidad solo tenemos dentro de este rango el 2% del país.

También con el Cambio Climático se esperaría que las temperaturas de 31°C abarquen el 55 % del país y las temperaturas de 32°C el 4 %.

Existiría un 26% del país con temperaturas promedio anual entre 24°C y 30°C, correspondiendo un 8% a las zonas con temperaturas de 30°C, y un 7.2% con temperaturas de 29°C. El rango entre los 18°C y los 24°C ocuparía un 9.5% del territorio colombiano, del cual el 1.7% tendría promedios de 23°C.

Un 6.4% del país tendría temperaturas promedio entre los 12°C y los 18°C.

Un 1.8% tendría temperaturas medias entre los 6°C y los 12°C.

Un 0.4% tendría temperaturas medias entre los 3°C y los 6°C, y el 0.13% temperaturas promedio inferiores a los 3°C.

De acuerdo con los datos obtenidos en este ejercicio, se espera con el cambio climático que los rangos de temperaturas inferiores a los 18°C disminuyan su área en el país, mientras aumentan las áreas más cálidas sobretodo con temperaturas mayores de 30°C.

5.1.2.2 Modelo de Precipitación del Territorio Colombiano con Escenario de Cambio Climático 2XCO2

La posible distribución de la precipitación en el territorio colombiano ante un Cambio Climático se muestra en el Mapa 3: “Precipitación del Territorio Colombiano con Escenario de Cambio Climático por duplicación en la concentración de CO2 en la atmósfera”, y se generó en Erdas Imagine con programación de modelos por objetos en Spatial Modeler Language. Estos modelos están en capacidad de calibrarse con cualquier escenario de cambio climático proyectado.

Los posibles cambios en los porcentajes de precipitación que fueron implementados en 24 regiones del país, van desde reducciones del 20% hasta incrementos del 10%. Ver Tabla 6: “Proyección de la precipitación bajo escenario de cambio climático 2XCO2 para 24 regiones de Colombia”.

El escenario climático implementado es moderado, y es el producto de estimativos de las tenden-

cias reales identificadas sobre el comportamiento a largo plazo sobre el territorio colombiano, y de los resultados de la síntesis de Hulme para los países de los Andes Norte (IPCC, 1999) de 7 Modelos Climáticos de Circulación General CGM y que se encuentra disponibles en el IPCC.

Este Mapa Raster de Precipitación con Cambio Climático 2XCO2 es una cobertura de dato continuo, unsigned-16 bits, con 21.459.984 píxeles de 230 metros de resolución espacial.

Los valores totales de precipitación con Cambio Climático promedios multianuales obtenidos para Colombia se agrupan en 255 rangos de valores, los cuales van desde los 156 mm. hasta los 13.344 mm total promedio multianual.

En la Figura 3: “Leyenda del Mapa Raster de Precipitación para Colombia, con escenario de Cambio Climático” se pueden apreciar los colores representativos para cada una de las posibles áreas promedios de precipitación en degradé de intensidades, desde las zonas más áridas (de menor precipitación) con los rojos, hasta las zonas más lluviosas con los azules, pasando por las precipitaciones intermedias con anaranjados, amarillos y verdes.

La gama de colores rojos en el mapa representa las áreas con los valores más bajos de precipitación, entre los 156 mm y 400 mm. de lluvia.

Los posibles valores de precipitación se van incrementando gradualmente, siendo simbolizados por la gama de los naranjas para precipitaciones de 400 mm. a 1.500 mm., luego con la gama de los amarillos oscuros de 1.500 mm. a 2.500 mm., luego con la gama de los amarillos claros de 2.500 mm. a 4.200 mm., siguiendo a la gama de los verdes claros que representan los valores de precipitación entre 4.200 mm. y 6.000 mm., pasando enseguida a los verdes oscuros (6.000 mm. a 8.100 mm.), hasta los azules claros (8.100 mm. a 11.000 mm.).

La gama de los azules medios representa los valores de precipitación entre 11.000 mm. y 12.300 mm., llegando finalmente a los azules oscuros que representan los valores más altos del país, superiores a 12.000 mm de lluvia anual multianual.

Tabla 4 Proyección de temperaturas con escenario de Cambio Climático Moderado a1 de sres (ipcc, 1999) 2xco2 , Síntesis Hulme para 24 regiones climáticas del territorio colombiano

No. Región	Regiones Climáticas	Cambio Temperatura °C
1	Alta Guajira	+ 2.4
2	Noroeste sierra nevada de Santa Marta	+ 2.4
3	Litoral Central	+ 2.4
4	Bajo Magdalena	+ 2.4
5	Sinú, San Jorge, Bajo Nechí, Urrá	+ 2.4
6	Pacifico Norte y Central	+ 2.5
7	Pacifico Sur y Central	+ 2.5
8	Montaña Nariñense	+ 2.8
9	Alto Cauca	+ 2.8
10	Medio Cauca y Alto Nechí	+ 2.8
11	Alto Magdalena	+ 2.8
12	Medio Magdalena	+ 2.8
13	Sabana de Bogotá	+ 2.8
14	Rio Sogamoso	+ 2.8
15	Catatumbo	+ 2.8
16	Cuenca rio Arauca Y Cuenca Media rio Meta	+ 2.7
17	Piedemonte Llanero	+ 2.8
18	Orinoquía Oriental	+ 2.7
19	Orinoquía Central	+ 2.7
20	Suroriente Amazónico	+ 2.9
21	Amazonía Central	+ 2.9
22	Piedemonte Amazónico	+ 2.8
23	Alto Patía	+ 2.8
24	San Andrés y Providencia	+ 3.0

Los resultados del Mapa Raster de Precipitación con Cambio Climático se condensan en la Tabla 7: “Precipitaciones del Territorio Colombiano con escenario de cambio climático 2XCO2”. De acuerdo con estos resultados, el promedio multi-anual para Colombia podría estar en valores cercanos a los 2.500 mm. de lluvia.

Más de la mitad del país, el 58%, con el cambio climático podría recibir precipitaciones

medias anuales entre 1.600 y 3.000 mm. De estos valores, un área equivalente al 38% recibiría entre 2.200 mm. y 3.000 mm.

Las zonas más áridas de Colombia, con lluvias inferiores a 500 mm ocuparían un área de 0.4% del territorio nacional. Le seguiría un 6 % del territorio con precipitaciones entre 500 y 1.000 mm, lo que nos indica que se duplicaría la superficie existente en la actualidad para ese rango.

Mapa 2

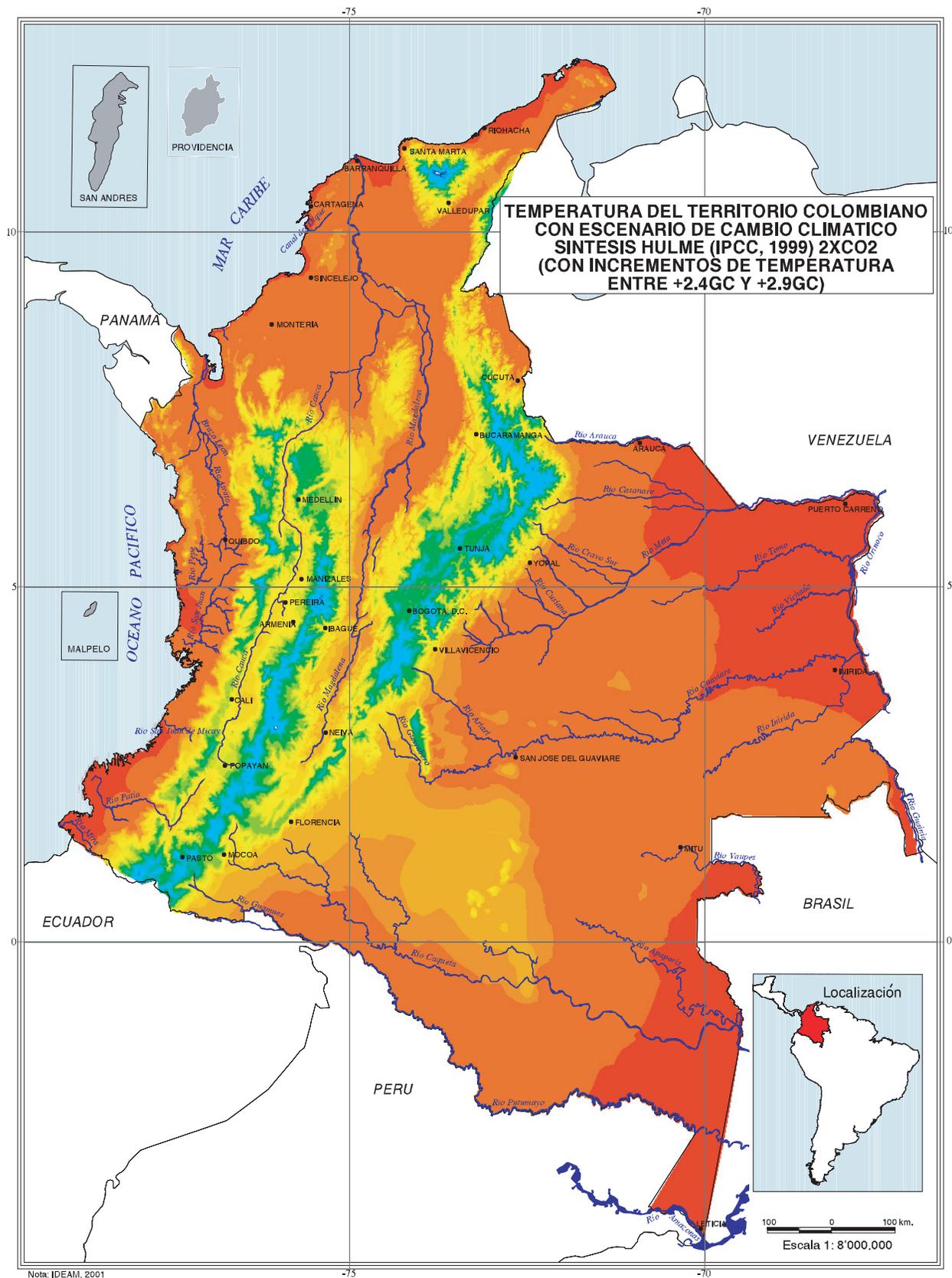


Figura 2. Leyenda del Mapa Raster de temperatura para Colombia con escenario climático 2x CO₂

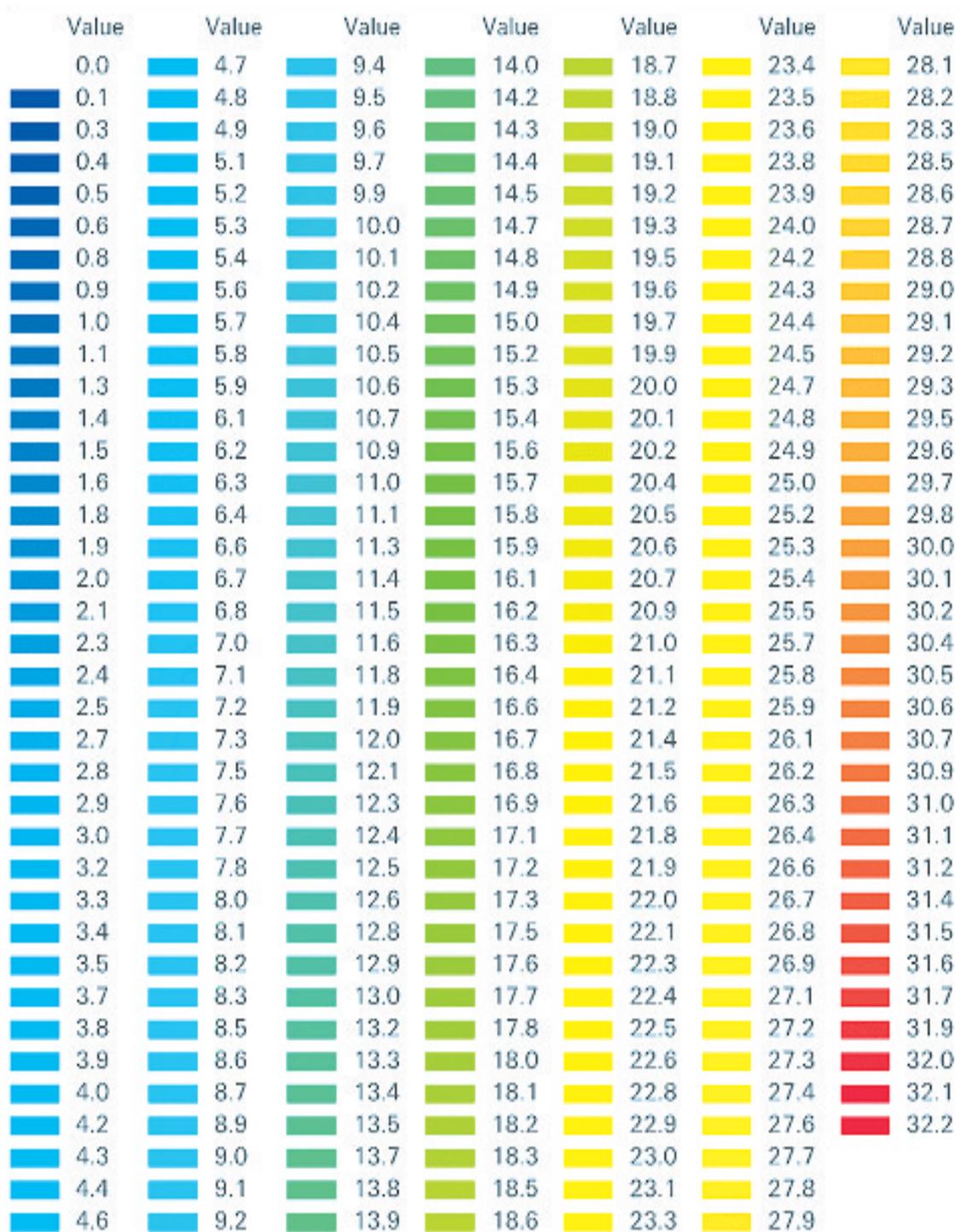


Tabla 5 Temperaturas del territorio colombiano con escenario de Cambio Climático 2XC02

Temperatura (°c)	Porcentaje
3,0	0,13
4,0	0,13
5,0	0,06
6,0	0,04
7,0	0,06
8,0	0,13
9,0	0,43
10,0	0,15
11,0	0,45
12,0	0,54
13,0	1,14
14,0	0,50
15,0	1,25
16,0	0,67
17,0	1,40
18,0	0,93
19,0	1,70
20,0	0,93
21,0	1,62
22,0	1,36
23,0	1,70
24,0	1,29
25,0	2,07
26,0	1,40
27,0	2,16
28,0	3,73
29,0	7,24
30,0	8,13
31,0	54,57
32,0	4,09

Un 27.5% del país recibiría precipitaciones entre 1.000 y 2.000 mm., aumentándose en 5.5% el área actual existente con este rango.

Exactamente la mitad del territorio colombiano tendría precipitaciones entre 2.000 mm. y 3.000 mm. de precipitación, aumentando su superficie en el 13%.

Se espera que un 15% del país reciba entre 3.000 y 4.000 mm. de precipitación, o sea que disminuiría en un 10% su área con respecto a la actual.

Aproximadamente un 2.3% tendría entre 4.000 y 5.000 mm. de precipitación, lo que indica una disminución del 5.3% con respecto a la actual.

Cerca del 3.6% del territorio colombiano captaría entre 5.000 y 8.000 mm. de lluvias promedio al año.

Finalmente un 0.2% del territorio nacional tendría precipitaciones mayores de 8.000 mm., lo que correspondería a la mitad de la superficie del país que recibe esa precipitación.

5.1.2.3 Modelo de Zonas de Vida de Holdridge y transiciones de Zonas de vida para Colombia con escenario de Cambio Climático 2XC02

Con el modelo desarrollado en Spatial Modeler Language de Erdas Imagine se obtuvo la distribución espacial raster de las Zonas de Vida de Holdridge para Colombia y sus respectivas transiciones con escenario de cambio climático (2xCO2), y que se muestra en el Mapa 4 con su respectiva leyenda y simbología de color en la Figura 4.

Este mapa producto es una cobertura temática, de tipo raster y de dato unsigned de 8 bits, que abarca un área de 114.097.978,64 Hectáreas, con 21.568.616 pixeles de 230 metros de resolución espacial.

Analizando los resultados obtenidos con la duplicación de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de acuerdo con el escenario de Cambio Climático moderado de síntesis de Hulme (SRES-IPCC, 1999), cerca del año 2100, en Colombia podrían existir 26 Unidades Bioclimáticas o Zonas de Vida de Holdridge, las cuales se detallan en Tabla 8 : “Zonas de Vida de Holdridge para Colombia con escenario de cambio climático 2X CO2”.

En orden descendente por extensión, las zonas de vida obtenidas con escenario de cambio climático 2X CO2, serían las siguientes:

El Bosque Húmedo Tropical (bh-T), zona de vida que ocuparía más de la mitad del territorio colombiano (58.5%); seguido por el Bosque Seco Tropical (bs-T) y el Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T), que ocupan el 17.8% y el 5.7% respectivamente. Estas tres anteriores zonas de vida sumarían el 82% del territorio nacional y estarían

ubicadas sobre el piso térmico cálido, con alturas de 0 a 1000 m.s.n.m., y temperaturas promedio superiores a los 24°C (no mayores de 30°C).

Le seguirían en área el Bosque Húmedo Premontano (bh-PM) con el 3.8%; luego el Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-PM) con el 3.0%; el Bosque Húmedo Montano Bajo (bmh-MB) con 2.6%; el Bosque Muy Seco Tropical (bms-T) con 2.2%; el Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB) y el Bosque Seco Premontano (bs-PM) con 1.2%; el Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M) con 1.1%); el Monte Espinoso Subtropical (me-ST) con 0.6%; el Bosque Pluvial Premontano (bp-PM) con 0.5%; el Bosque Seco Premontano (bs-PM); el Bosque Pluvial Tropical (bp-T) con 0.4%; el Matorral Desértico Subtropical (md-ST) y el Bosque Húmedo Premontano (bh-PM) con 0.3%

Las zonas de vida correspondientes al cinturón altitudinal Premontano, que coincide con el cinturón cafetalero de Colombia, con alturas de 1.000 a 2.000 metros sobre el nivel del mar y temperaturas promedio entre 18°C y 24°C, ocuparían el 7.7% del territorio colombiano.

Las zonas de vida ubicadas en el cinturón altitudinal Montano Bajo con el nuevo patrón de clima, ocuparían el 5.2% del territorio nacional, con alturas entre los 2.000 y 2.500 metros sobre el nivel del mar y temperaturas promedio entre 12°C y 18°C.

El Subpáramo de acuerdo con Cuatrecasas, está ubicado en el cinturón Montano, entre los 2.500 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, con un promedio de temperatura anual de 6°C a 12°C, y corresponde a las Zonas de Vida de Holdridge Bosque Húmedo Montano (bh-M), Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M), Bosque Pluvial Montano (bp-M) y el Matorral Desértico Montano (md-M). Las zonas de Subpáramo con el nuevo patrón de clima ocuparían una extensión de 1.6% del territorio nacional, lo que nos indica que se podrían reducir en un poco más de la mitad.

La Zona de Vida de Matorral Desértico Montano (md-M), o Subpáramo Desértico, con precipitaciones entre 125 y 250 milímetros al año,

mantiene en el territorio nacional con el Cambio Climático un área de 0.0002%.

La Zona de Vida de Bosque Húmedo Montano (bh-M) de Subpáramo Húmedo, con el cambio climático se reduciría un poco ocupando el 0,29% del territorio nacional. Esta Zona de Vida del Piso Montano, según la clasificación de Holdridge, está localizada entre los 2.500 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, con un promedio anual de temperatura entre 6°C a 12°C y precipitaciones entre 500 y 1.000 milímetros promedio multianual.

La Zona de Vida de Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M) o de Subpáramo Muy Húmedo, con el cambio climático tendría una ligera disminución y podría llegar a ocupar 1,09% del país. Esta Zona de Vida se caracteriza por tener precipitaciones promedio anual entre 2.500 a 3.000 milímetros.

La Zona de Vida de Bosque Pluvial Montano (bp-M), o de Subpáramo Pluvial según Cuatrecasas, con el nuevo patrón de clima se reduce en un 0.5%, y ocuparía solo el 0.2% del territorio nacional. Esta Zona de Vida tiene su promedio anual de lluvias mayor a 2.000 mm.

Entre los 3.000 y 3.500 metros de altura, con temperaturas entre 3 y 6°C, se ubican las Zonas de Vida Subandinas o Subalpinas o de Páramo según Cuatrecasas.

Estas Unidades Bioclimáticas son el Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA) y el Páramo Subandino (p-SA). Con el nuevo patrón de clima, estas zonas se reducirían de 0.3% del territorio nacional, al 0.07%.

La Zona de Vida de Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA), corresponden al Páramo Pluvial según Cuatrecasas, con precipitaciones mayores a 1.000 mm., y ocuparían el 0.07% del territorio del país.

La Zona de Vida de Páramo Subalpino (p-SA), corresponde al Páramo propiamente dicho, con precipitaciones entre 500 y 1.000 mm. anuales, con el Cambio Climático ocuparía una extensión de 0.0002% del país.

Sobre los 3.500 metros de altura, con temperaturas promedio entre 1.5°C y 3.0°C, tenemos la Tundra Pluvial Alpina (tp-A) o Superpáramo según

Mapa 3

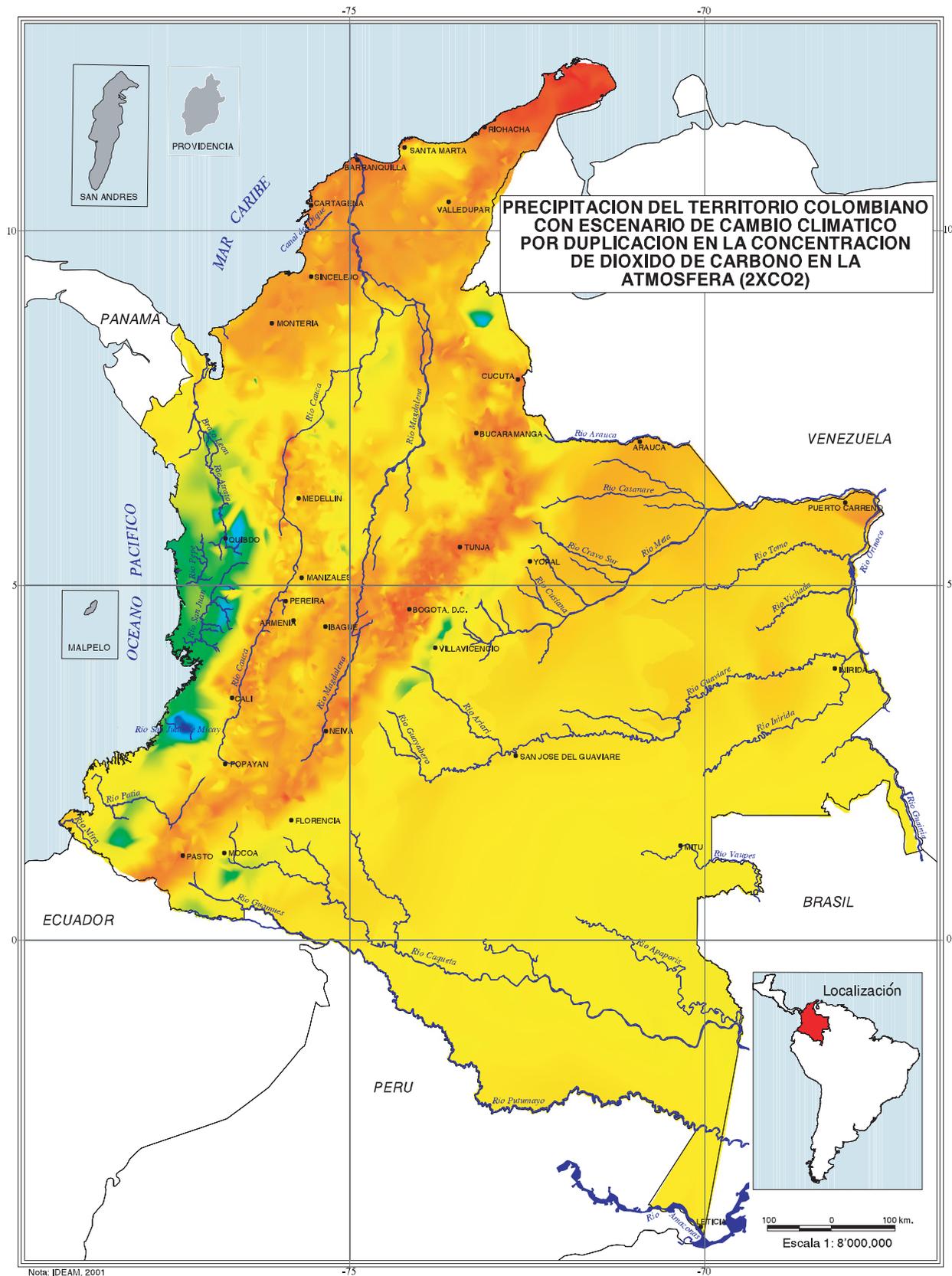


Figura 3 Leyenda del Mapa Raster de precipitación para Colombia con escenario de cambio climático 2x CO₂

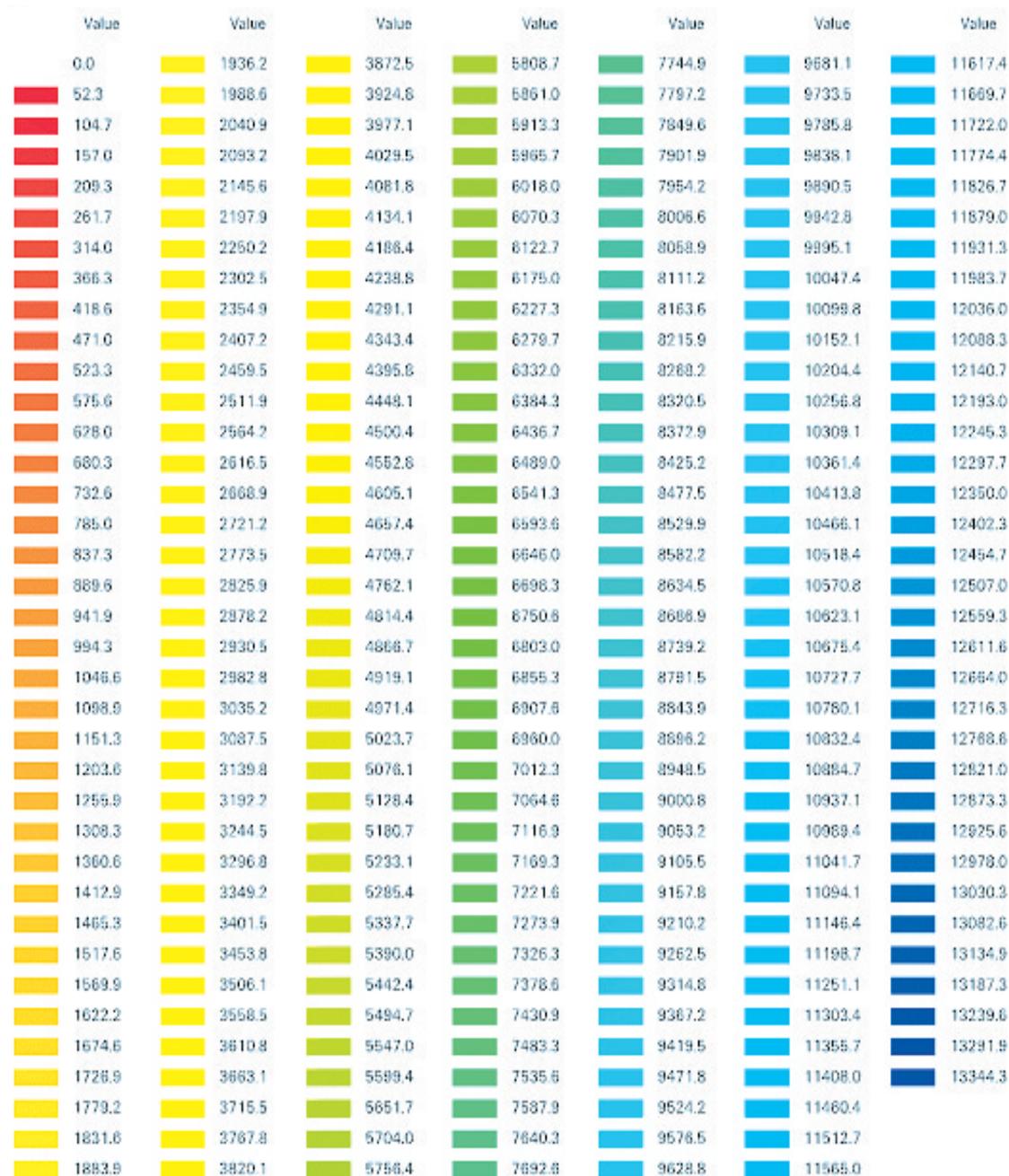


Tabla 6 Posibles cambios climáticos en precipitación para 24 regiones del territorio colombiano

No. Región	Regiones Climáticas	Cambio % Precipitación
1	Alta Guajira	-15
2	Noroeste Sierra Nevada De Santa Marta	-10
3	Litoral Central	-10
4	Bajo Magdalena	-10
5	Sinu, San Jorge, Bajo Nechí, Urrá	-10
6	Pacífico Norte y Central	-2
7	Pacífico Sur y Central	-15
8	Montaña Nariñense	-15
9	Alto Cauca	-20
10	Medio Cauca y Alto Nechí	-15
11	Alto Magdalena	-20
12	Medio Magdalena	-15
13	Sabana de Bogotá	-15
14	Rio Sogamoso	-15
15	Catatumbo	-5
16	Cuenca rio Arauca y Cuenca media rio Meta	-15
17	Piedemonte Llanero	10
18	Orinoquía Oriental	-20
19	Orinoquía Central	-10
20	Suroriente Amazónico	-12
21	Amazonia Central	-10
22	Piedemonte Amazónico	10
23	Alto Patía	-10
24	San Andrés y Providencia	-15

Cuatrecasas, y con el nuevo clima se reduciría de 0.04% al 0.005% del territorio del país.

Y finalmente sobre los 4.500 metros sobre el nivel del mar, la Zona de Vida Nival (N), con temperaturas promedio multianuales entre 0°C y

1.5°C, ocuparía solo el 0.00132%. Actualmente esta Zona de Vida abarca el 0.04% del país.

5.1.3 Tercera Fase: Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales

Esta fase comprende el desarrollo en SIG del Modelo de evaluación del grado de Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia ante un posible Cambio Climático, con la aplicación de la Metodología IPCC de Planteamiento de Función Directa, y el desarrollo de matrices de ponderación de las señales climáticas que parametrizan los efectos del cambio de clima sobre los patrones de las formaciones vegetales, las cuales están ligadas tanto a los desplazamientos en la distribución de las Zonas de Vida, como al grado de sensibilidad de cada una de las coberturas vegetales, a las Transiciones de las Unidades Bioclimáticas, a la Línea de Temperatura Crítica de Holdridge o Línea de Escarcha, a la variación del Índice de Relación de Humedad y déficits hídricos, con el propósito de afinar el modelo a la realidad bioclimática y biogeográfica del país.

5.1.3.1. Modelo de Desplazamiento de las Zonas de Vida de Holdridge con Escenario de Cambio Climático 2xCO2

La metodología del IPCC de Planteamiento de Función Directa o Función de Transparencia Directa para la evaluación de la vulnerabilidad de las coberturas vegetales, consiste en el análisis de las distribuciones bioclimáticas actuales de los tipos de vegetación y sus posibles distribuciones futuras al cambiar el patrón del clima. Este análisis supone que la varianza geográfica de los controles del clima es igual a la varianza geográfica de la vegetación.

La implementación de la metodología de Planteamiento de la Función Directa en este estudio, con el fin de obtener las áreas de desplazamiento de las Zonas de Vida de Holdridge con el cambio climático por duplicación de CO2 en la atmósfera (2XCO2), se logró aplicando a las bases de datos generadas en las fases uno y dos de este estudio, al modelo desarrollado en Spatial Modeler Language que se muestra en la Figura 5: “Modelo para calcu-

Tabla 7 Precipitaciones del territorio colombiano con escenario de cambio climático 2XC02

No.	Rangos Precipitación (mm)	Área (Ha)	Porcentaje
1	53-250	440297,28	0,39
2	250-500	635984,96	0,56
3	500-1000	6726764,00	5,93
4	1000-1200	1346609,92	5,45
5	1200-1400	4354050,88	3,84
6	1400-1600	6286466,72	5,54
7	1600-1800	8830406,56	7,78
8	1800-2000	5601559,84	4,93
9	2000-2200	6897990,72	6,08
10	2200-2400	12401706,72	10,92
11	2400-2600	12695238,24	11,18
12	2600-2800	9784384,00	8,62
13	2800-3000	9148399,04	8,06
14	3000-3200	3718065,92	3,28
15	3200-3400	3302229,60	2,91
16	3400-3600	3351151,52	2,95
17	3600-3800	4916652,96	4,33
18	3800-4000	1369813,76	1,21
19	4000-4200	758289,76	0,67
20	4200-4400	342453,44	0,30
21	4400-4600	440297,28	0,39
22	4600-4800	415836,32	0,37

Continúa en la página siguiente

Tabla 7 Precipitaciones del territorio colombiano con escenario de cambio climático 2XC02 (Viene de la página anterior)

No.	Rangos Precipitación (mm)	Área (Ha)	Porcentaje
23	4800-5000	611524,00	0,54
24	5000-5200	538141,12	0,47
25	5200-5400	269070,56	0,24
26	5400-5600	317992,48	0,28
27	5600-5800	244609,60	0,22
28	5800-6000	366914,40	0,32
29	6000-6200	342453,44	0,30
30	6200-6400	244609,60	0,22
31	6400-6600	97843,84	0,09
32	6600-6800	440297,28	0,39
33	6800-7000	269070,56	0,24
34	7000-7200	244609,60	0,22
35	7200-7400	317992,48	0,28
36	7400-7600	146765,76	0,13
37	7600-7800	97843,84	0,09
38	7800-8000	97843,84	0,09
39	8000-8200	24460,96	0,02
40	8200-8400	24460,96	0,02
41	8400-8600	0,00	0
42	8600-8800	0	0
43	8800-9000	0	0
44	9000-9200	0	0

Continúa en la página siguiente

Tabla 7 Precipitaciones del territorio colombiano con escenario de cambio climático 2XCO2 (Viene de la página anterior)

No.	Rangos Precipitación (mm)	Área (Ha)	Porcentaje
45	9200-9400	24460,96	0,02
46	9400-9600	0	0
47	9600-9800	24460,96	0,02
48	9800-10000	171226,72	0,04
49	10000-10200	0	0
50	10200-10400	0	0
51	10400-10600	0	0
52	10600-10800	0	0
53	10800-11000	0	0
54	11000-11200	0	0
55	11200-14000	0	0
56	11400-11600	0	0
57	11600-11800	0	0
58	11800-12000	0	0
59	12000-12200	0	0
60	12200-12400	24460,96	0,02
61	12400-12600	24460,96	0,02
62	12600-12800	24460,96	0,04
63	12800-13000	0	0
64	13000-13200	0	0

Tabla 8 Zonas de Vida de Holdridge para Colombia con Escenario de Cambio Climático 2XC02

No.	Símbolo	Zona de Vida	Área (Ha)	Porcentaje
1	bh-T	Bosque Húmedo Tropical	66633035.73	58.48
2	bs-T	Bosque Seco Tropical	20240481.62	17.76
3	bmh-T	Bosque Muy Húmedo Tropical	6466554.19	5.68
4	bh-PM	Bosque Húmedo Premontano	4326601.07	3.80
5	bmh-PM	Bosque Muy Húmedo Premontano	3456977.97	3.03
6	bh-MB	Bosque Húmedo Montano Bajo	2956469.91	2.59
7	bms-T	Bosque Muy Seco Tropical	2532894.32	2.22
8	bmh-MB	Bosque Muy Húmedo Montano Bajo	1392730.04	1.22
9	bs-PM	Bosque Seco Premontano	1354255.87	1.19
10	bmh-M	Bosque Muy Húmedo Montano (Subpáramo)	1242779.70	1.09
11	me-ST	Monte Espinoso Subtropical	678188.58	0.60
12	bp-PM	Bosque Pluvial Premontano	531724.35	0.47
13	bs-PM	Bosque Seco Premontano	480649.40	0.42
14	bp-T	Bosque Pluvial Tropical	476348.63	0.42
15	md-ST	Matorral Desértico Subtropical	333703.78	0.29
16	bh-M	Bosque Húmedo Montano (Subpáramo)	325752.91	0.29
17	bp-M	Bosque Pluvial Montano (Subpáramo)	223121.62	0.20
18	bp-MB	Bosque Pluvial Montano Bajo	137815.08	0.12
19	pp-SA	Páramo Pluvial Subalpino	84333.18	0.07
20	ee-MB	Estepa Espinosa Montano Bajo	49810.64	0.04
21	tp-A	Tundra Pluvial Alpina (Superpáramo)	5982.99	0.005
22	me-PM	Matorral Espinoso Premontano	5819.00	0.01
23	d-T	Desierto Tropical	4105.04	0.00
24	N	Nieve	1814.47	0.0026
25	md-M	Matorral Desértico Montano	714.15	0.0006
26	p-SA	Páramo Subalpino (Subandino)	497.26	0.0004
27	d-PM	Desierto Premontano	0.00	0.00
28	md-PM	Matorral Desértico Premontano	0.00	0.00
29	d-MB	Desierto Montano Bajo	0.00	0.00
30	md-MB	Matorral Desértico Montano Bajo	0.00	0.00
31	d-M	Desierto Montano	0.00	0.00
32	e-M	Estepa Montana	0.00	0.00
33	d-SA	Desierto Subalpino	0.00	0.00
34	md-SA	Matorral Desértico Subalpino	0.00	0.00
35	mh-SA	Monte Húmedo Subalpino (Puna)	0.00	0.00
36	ts-A	Tundra Seca Alpina	0.00	0.00
37	th-A	Tundra Húmeda Alpina	0.00	0.00
38	tmh-A	Tundra Muy Húmeda Alpina	0.00	0.00

lar áreas de desplazamiento de las zonas de vida de Holdridge”.

De acuerdo con los resultados obtenidos y que se muestran en las Tablas 9 y 10, todo indica que se podría ver afectado el 23% del territorio nacional, en donde las Zonas de Vida existentes en la actualidad pasarían a tener condiciones bioclimáticas características de las zonas de vida inmediatamente más secas, y además podrían presentar desplazamientos altitudinales descendentes dentro del Diagrama de Holdridge.

De acuerdo con los resultados obtenidos del Modelo de Desplazamientos de las Zonas de Vida de Holdridge por un cambio climático, en los cinturones altitudinales Montano, Subalpino o Subandino, Alpino y Nival, ubicadas sobre los 2.500 metros de altura, y que corresponden a los Subpáramos, Páramos, Superpáramos y Nieves, vemos que con el nuevo patrón de clima podrían verse afectadas entre un 91% y 100% de sus áreas actuales, con desplazamientos altitudinales a elevaciones inferiores.

Teniendo en cuenta que el Subpáramo de acuerdo con la clasificación de Cuatrecasas, está ubicado en el cinturón Montano de Holdridge, entre los 2.500 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, con un promedio de temperatura anual de 6°C a 12°C, correspondiendo a las Zonas de Vida de Holdridge Bosque Húmedo Montano (bh-M), Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M), Bosque Pluvial Montano (bp-M) y Matorral Desértico Montano (md-M).

La Zona de Vida de Matorral Desértico Montano (md-M) se desplazaría en un 100% a la zona de vida inmediatamente más seca y ubicada altitudinalmente más baja, como es la Estepa Espinosa Montano Bajo (ee-MB).

La Zona de Vida de Bosque Húmedo Montano (bh-M) se vería afectada en un 76% de su extensión, pasando a Matorral Desértico Montano un 0.15%; a Bosque Seco Montano bajo (bs-MB) el 72.6% y a Estepa Espinosa Montano Bajo (ee-MB) un 2.74% Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M).

La Zona de Vida de Bosque Pluvial Montano (bp-M) se vería afectada por el cambio climático en un 78%. Pasando en un 12.6% a Pluvial Montano Bajo (bp-MB), un 40% a Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB) y un 21.14% a Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB).

La Zona de Vida de Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M) permanece en un 41%. Al cambiar el 51% de la extensión de esta Zona de Vida, equivaldría a una variación del 1% del territorio nacional. Con el cambio climático se modifica en un 8% a Bosque Húmedo Montano (bh-M), un 40,95% a Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB) y un 9.45% a Bosque Seco Montano Bajo (bs-MB).

La Zona de Vida Páramo Subalpino (p-SA) o de Páramo propiamente dicho de acuerdo con Cuatrecasas, pasaría en un 100% a Bosque Húmedo Montano (bh-M).

La Zona de Vida Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA) cambiaría en el 92% de su extensión, pasando a Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M) en un 76%, a Bosque Pluvial Montano el 9%, a Bosque Húmedo Montano el 6% y a Bosque Pluvial Montano el 0.1%.

En el caso específico de la Zona de Vida Tundra Pluvial Alpina (tp-A) o Superpáramo de acuerdo con Cuatrecasas, pasaría el 99.6% a Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA) y el 0.4% a Páramo Subalpino (p-SA).

La Zona de Vida Nival (N) se vería afectada en el 92%, desplazándose un 65% a Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA), y un 27% a Superpáramo o Tundra Pluvial Alpina (tp-A).

En la Tabla 11 se muestran los resultados de los cambios en las Zonas de Vida por un Cambio Climático 2XCO₂, con el Escenario Moderado Hulme (IPCC, 1999). Hay que tener muy presente que se refiere exclusivamente a las Zonas de Vida de Holdridge, las cuales se clasificaron como unidades homoclimáticas, según los rangos de temperatura y precipitación del Diagrama de Zonas de Vida de Holdridge.

De acuerdo con los resultados de la Tabla 11, el Cinturón Altitudinal Montano de Zonas de Vida de Holdridge y que corresponde al Subpáramo según Cuatrecasas, se vería disminuido en un 47,6% de su extensión total. El Subpáramo en general tiene como límites climáticos una biotemperatura media aproximada entre 6 y 12°C.

El Cinturón Altitudinal Subalpino o Subandino que corresponde al Páramo propiamente dicho según Cuatrecasas, se vería afectado en un 75.6% de su extensión. El Páramo en general tiene como límites climáticos una biotemperatura media aproximada entre 3 y 6°C.

El Cinturón Altitudinal de Tundra de las Zonas de Vida de Holdridge, o Superpáramo, según Cuatrecasas, se disminuiría por un posible cambio climático en un 85%. El Superpáramo en general tiene como límites climáticos una biotemperatura media aproximada entre 1.5 a 3°C.

Y el Cinturón Altitudinal Nival de las Zonas de Vida de Holdridge hasta en un 94% de su extensión actual.

5.1.3.2 Coberturas Vegetales IDEAM/96 afectadas por desplazamiento de las Zonas de Vida de Holdridge con escenario de Cambio Climático 2XC02

Calibrando el Modelo de Función Directa para el Desplazamiento de las Zonas de Vida de Holdridge debido a el cambio climático 2XC02 Síntesis Hulme, con las bases de datos de las Coberturas Vegetales, Uso y Ocupación del Territorio Colombiano IDEAM/96, se determinaron las Coberturas Vegetales de Colombia IDEAM/96 afectadas por modificaciones de las Zonas de Vida de Holdridge, las cuales se condensan en la Tabla 12.

De acuerdo con los resultados arrojados por el modelo, en el caso específico de la Cobertura de Páramo (P), y que se muestra en la Tabla 13, podría verse afectada por un cambio climático con duplicación en la concentración de CO₂ en la atmósfera, en más de la mitad de su extensión (55.5%). Si su extensión actual conforme a las bases de datos de las Coberturas Vegetales

IDEAM/96, es de 1.620.463 Ha., con el cambio climático se perdería 898.485.8 Ha.

En cuanto a la Cobertura Nival (Nieve) podría afectarse en un 77.8% de su extensión por el patrón de clima futuro. De acuerdo con las Coberturas Vegetales, Uso y Ocupación del territorio colombiano IDEAM/96, de 40.217 Ha. actuales se perderían 31.284 Ha.

5.1.4 Zonificación del Territorio Colombiano en Grados de Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia frente a un Cambio Climático 2XC02

En el numeral anterior se definieron las coberturas vegetales de Colombia que podrían verse afectadas por un Cambio Climático, desde el punto de vista de Desplazamientos de las Zonas de Vida de Holdridge al cambiar estas su ubicación y distribución de acuerdo con el nuevo patrón de clima, y con base en la aplicación de la metodología IPCC del Modelo de Planteamiento de función directa.

Para el presente estudio fue necesario además, incorporar al análisis un gradiente de “sensibilidad” de las coberturas vegetales a los factores climáticos, y para tal efecto se construyó en SIG un ajuste al Modelo de Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia ante un Cambio Climático teniendo en cuenta criterios adicionales como los que se derivan de la Línea de Temperatura Crítica o Línea de Escarcha del Diagrama de Holdridge, las Zonas de Transición de las Zonas de Vida de Holdridge, el Índice de Relación de Evapotranspiración de Holdridge con sus déficits hídricos y los Grados de Sensibilidad de cada una de las Coberturas Vegetales del país. Ver Figura 6: “Modelo de Evaluación del Grado de Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia ante un posible cambio climático 2XC02”.

El modelo de zonificación del territorio colombiano en grados de vulnerabilidad se calibró utilizando las bases de datos de las Coberturas Vegetales, Uso y Ocupación del Territorio Colombiano (IDEAM /96 a escala 1:500.000) y

los resultados obtenidos se condensaron en 3 grados de vulnerabilidad: Baja, Media y Alta, en la Tabla 14: “Porcentajes de las Áreas de las Coberturas Vegetales de Colombia según el Grado de Vulnerabilidad frente a un Cambio Climático con Escenario Futuro 2xCO2” y en el Mapa 5: “Grado de Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia frente a un cambio climático 2XCO2”.

De acuerdo con la zonificación de vulnerabilidad generada, se puede observar que cerca de la mitad del territorio colombiano (49.1%) tendría un grado de vulnerabilidad “Baja” al cambio climático en las coberturas vegetales, y se representa en el mapa de color azul y verde claro, lo que correspondería de manera generalizada a las zonas basales tropicales de la Amazonia, del centro y sur de la Orinoquía y del Litoral Pacífico.

Tabla 9 Desplazamientos y modificaciones de las Zonas de Vida de Holdridge con Cambio Climático 2XCO2

Zona Vida de Holdridge ZVH	% que Permanece	Pasa a ZVH -1	%	Pasa a ZVH -2	%	Pasa a ZVH -3	%	Pasa a ZVH- 4	%	% Total de Cambio en ZVH
d-PM	0	d-T	100							100
md-PM	0	md-ST	100							100
md-M	0	ee-MB	100							100
d-SA	0	bh-M	100							100
p-SA	0	bh-M	100							100
tp-A	0	p-SA	0.34	pp-SA	99.66					100
N	8.21	tp-A	27.06	pp-SA	64.73					91.79
pp-SA	8.28	p-SA	0.1	bp-M	9.42	bmh-M	76.16	bh-M	6.05	91.73
bp-M	22.35	bmh-M	12.62	bp-MB	3.73	bmh-MB	40.17	bh-MB	21.14	77.66
bh-M	24.53	md-M	0.15	bs-MB	72.57	ee-MB	2.75			75.47
bp-MB	29.38	bmh-MB	9.39	bp-PM	45.73	bmh-PM	15.49			70.61
bmh-MB	31.12	bh-MB	14.47	bmh-PM	37.87	bh-PM	16.64			68.98
bp-PM	34.16	bmh-PM	14.21	bp-T	1.23	bmh-T	35.93	bh-T	14.47	65.84
bmh-PM	40.3	bh-PM	14.9	bh-T	33.09	bs-T	11.71			59.7
bmh-M	41.04	bh-M	8.55	bh-MB	40.95	bs-MB	9.45			58.95
bmh-T	46.95	bh-T	53.05							53.05
bh-MB	48.04	bs-MB	7.3	bh-PM	40.94	bs-PM	3.72			51.96
bh-PM	51.59	bs-PM	4.48	bs-T	39.91	bms-T	4.02			48.41
bs-PM	51.62	me-PM	1.83	bms-T	44.23	me-ST	2.32			48.38
me-PM	52.58	me-ST	47.42							47.42
bs-MB	78.57	ee-MB	4.44	bs-PM	16.82	me-PM	0.17			21.43
me-ST	82.4	md-ST	17.6							17.6
bp-T	85.98	bmh-T	14.02							14.02
bh-T	89.98	bs-T	10.02							10.02
bms-T	90.88	me-ST	9.12							9.12
bs-T	91.33	bms-T	8.67							8.67
md-ST	98.14	d-t	1.86							1.86
d-t	100									0
ee-MB	100									0

Figura 4 Leyenda de las Zonas de Vida de Holdridge para Colombia con Escenario de Cambio Climático 2XCO₂

SIMBOLO	ZONAS DE VIDA	PRECIPITACION	TEMPERATURA	ALTURA	%
d-T	DESIERTO TROPICAL TROPICAL	62.5 a 125	> 24	0-1000	0.00%
md-ST	MATORRAL DESERTICO SUBTROPICAL	125 a 250	> 24	0-1000	0.19%
me-ST	MONTE ESPINOSO SUBTROPICAL	250 a 500	> 24	0-1000	0.59%
bms-T	BOSQUE MUY SECO TROPICAL	500 a 1000	> 24	0-1000	1.17%
bs-T	BOSQUE SECO TROPICAL	1000 a 2000	> 24	0-1000	11.50%
bh-T	BOSQUE HUMEDO TROPICAL	2000 a 4000	> 24	0-1000	55.60%
bmh-T	BOSQUE MUY HUMEDO TROPICAL	4000 a 8000	> 24	0-1000	12.09%
bp-T	BOSQUE PLUVIAL TROPICAL	> 8000	> 24	0-1000	0.47%
d-PM	DESIERTO PREMONTANO	62.5 a 125	18 a 24	1000-2000	0.00%
md-PM	MATORRAL DESERTICO PREMONTANO	125 a 250	18 a 24	1000-2000	0.00%
me-PM	MATORRAL ESPINOSO PREMONTANO	250 a 500	18 a 24	1000-2000	0.00%
bs-PM	BOSQUE SECO PREMONTANO	500 a 1000	18 a 24	1000-2000	0.14%
bh-PM	BOSQUE HUMEDO PREMONTANO	1000 a 2000	18 a 24	1000-2000	3.08%
bmh-PM	BOSQUE MUY HUMEDO PREMONTANO	2000 a 4000	18 a 24	1000-2000	4.35%
bp-PM	BOSQUE PLUVIAL PREMONTANO	>4000	18 a 24	1000-2000	0.95%
d-MB	DESIERTO MONTANO BAJO	62.5 a 125	12 a 18	2000-2500	0.00%
md-MB	MATORRAL DESERTICO MONTANO BAJO	125 a 250	12 a 18	2000-2500	0.00%
ee-MB	ESTEPA ESPINOSA MONTANO BAJO	250 a 500	12 a 18	2000-2500	0.00%
bs-MB	BOSQUE SECO MONTANO BAJO	500 a 1000	12 a 18	2000-2500	0.66%
bh-MB	BOSQUE HUMEDO MONTANO BAJO	1000 a 2000	12 a 18	2000-2500	2.63%
bmh-MB	BOSQUE MUY HUMEDO MONTANO BAJO	2000 a 4000	12 a 18	2000-2500	2.87%
bp-MB	BOSQUE PLUVIAL MONTANO BAJO	> 4000	12 a 18	2000-2500	0.32%
d-M	DESIERTO MONTANO	62.5 a 125	6 a 12	2500-3000	0.00%
md-M	MATORRAL DESERTICO MONTANO	125 a 250	6 a 12	2500-3000	0.00%
e-M	ESTEPA MONTANA	250 a 500	6 a 12	2500-3000	0.00%
bh-M	BOSQUE HUMEDO MONTANO	500 a 1000	6 a 12	2500-3000	0.42%
bmh-M	BOSQUE MUY HUMEDO MONTANO	1000 a 2000	6 a 12	2500-3000	1.84%
bp-M	BOSQUE PLUVIAL MONTANO	> 2000	6 a 12	2500-3000	0.74%
d-SA	DESIERTO SUBALPINO	62.5 a 125	3 a 6	3000-3500	0.00%
md-SA	MATORRAL DESERTICO SUBALPINO	125 a 250	3 a 6	3000-3500	0.00%
mh-SA	MONTE HUMEDO SUBALPINO (PUNA)	250 a 500	3 a 6	3000-3500	0.00%
p-SA	PARAMO SUBALPINO	500 a 1000	3 a 6	3000-3500	0.01%
pp-SA	PARAMO PLUVIAL SUBALPINO	>1000	3 a 6	3000-3500	0.31%
ts-A	TUNDRA SECA ALPINA	62.5 a 125	1.5 a 3	3500-4500	0.00%
th-A	TUNDRA HUMEDA ALPINA	125 a 250	1.5 a 3	3500-4500	0.00%
tmh-A	TUNDRA MUY HUMEDA ALPINA	250 a 500	1.5 a 3	3500-4500	0.00%
tp-A	TUNDRA PLUVIAL	>500	1.5 a 3	3500-4500	0.04%
N	NIEVE	> 0	0 a 1.5	> 4500	0.01%

Tabla 10 Porcentaje del territorio nacional afectado por desplazamiento de Zonas de Vida de Holdridge con Cambio Climático 2X CO2

Símbolo	Zona de Vida	Disminución Área (Ha)	% Colombia
bmh-T	Bosque Muy Húmedo Tropical	6813673.41	5.98
bh-T	Bosque Húmedo Tropical	6534356.12	5.73
bmh-PM	Bosque Muy Húmedo Premontano	2978079.56	2.61
bmh-MB	Bosque Muy Húmedo Montano Bajo	2255671.87	1.98
bh-PM	Bosque Húmedo Premontano	1696243.79	1.49
bh-MB	Bosque Húmedo Montano Bajo	1564834.90	1.37
bmh-M	Bosque Muy Húmedo Montano	1239812.01	1.09
bs-T	Bosque Seco Tropical	1130599.96	0.99
bp-PM	Bosque Pluvial Premontano	706548.27	0.62
bp-M	Bosque Pluvial Montano	658351.08	0.58
bh-M	Bosque Húmedo Montano	357572.26	0.31
pp-SA	Paramo Pluvial Subalpino	329127.93	0.29
bp-MB	Bosque Pluvial Montano Bajo	255305.98	0.22
bs-PM	Bosque Seco Premontano	161651.82	0.14
bms-T	Bosque muy Seco Tropical	129377.53	0.11
me-ST	Monte Espinoso Subtropical	122177.84	0.11
bs-PM	Bosque Seco Premontano	79355.29	0.07
bp-T	Bosque Pluvial Tropical	75488.30	0.07
N	Nieve	43695.40	0.04
tp-A	Tundra Pluvial Alpina	40468.50	0.04
p-SA	Páramo Subalpino (Subandino)	8278.85	0.01
md-ST	Matorral Desértico Subtropical	6088.79	0.01
md-M	Matorral Desértico Montano	2317.02	0.002
me-PM	Matorral Espinoso Premontano	1412.43	0.00
d-T	Desierto Tropical	10.58	0.00
d-PM	Desierto Premontano	10.58	0.00
md-PM	Matorral Desértico Premontano	5.29	0.00

Casi en la otra mitad del país (44,8%) las coberturas vegetales tendrían una vulnerabilidad “Media” al cambio climático proyectado. En el mapa se representa con color verde, amarillo y anaranjado, correspondiendo a las zonas ubicadas en el Litoral Atlántico, norte de la Orinoquía, Piedemontes Llanero y Amazónico, Zonas Interandinas y Andinas de baja montaña.

La distribución geográfica de las Coberturas Vegetales con un Grado “Alto” de Vulnerabilidad a un posible Cambio Climático proyectado 2XCO₂, se representan en el mapa con color rojo y morado, y podrían llegar a ocupar el 6.1% del territorio colombiano, correspondiendo a las zonas de alta y media montaña.

Tabla 11 Cambios en las Zonas Vida De Holdridgezh De Alta Montaña del territorio colombiano con escenario futuro 2xCO2 (Datos tomados de Gutiérrez, 2001, Vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia ante un posible cambio climático)

Zona vida de Holdridge ZVH de Alta montaña	ZVH	Cinturón Altitudinal ZVH	Equivalente Cuatre Casas	Precip mm	Temp ° C	Area ZVH Actual Ha		ZVH Futura		Area ZVH Perdida		
								Ha	Ha		% Total	
Matorral Desértico Montano	md-M	Montano	Subpáramo	125 a 250	6 a 12	2318.85	3427583.-06	715.5907	1603.26	1631516.6-6	69.14	47.60
Bosque Húmedo Montano	bh-M			500 a 1000	6 a 12	473839.-75		326425.0119	147414.-73		31.11	
Bosque muy Húmedo Montano	bmh--M			1000 a 2000	6 a 12	2103163.-40		1245343.83-53	857819.-57		40.79	
Bosque Pluvial Montano	bp-M			> 2000	6 a 12	848261.-06		223581.970-3	624679.-09		73.64	
Páramo Subandino	p-SA	Subandino	Páramo	500 a 1000	3 a 6	8284.77	367375.3-8	4567.1301	3717.64	278301.07	44.87	75.75
Páramo Pluvial Subalpino	pp-SA			> 1000	3 a 6	359090.-60		84507.1784	274583.-42		76.47	
Tundra pluvial Alpina	tp-A	Tundra	Superpáramo	> 500	1.5 a 3	40496.7-4	40496.74	5995.3343	34501.41	34501.41	85.20	85.20
Nieve	N	Nival	Nieve	> 0	0 a 1.5	45542.2-8	45542.28	2968.6346	43595.40	43695.40	94.48	94.48

El Páramo específicamente presentaría un área de 30% con grado de “Vulnerabilidad Alta” y el resto de cobertura de Páramo (70%) podría presentar un grado de “Vulnerabilidad Media” al Cambio Climático proyectado 2XCO2.

La Cobertura Nival tendría una “Vulnerabilidad Alta” en un 12.4% de su extensión y una “Vulnerabilidad Media” en el 87.6% restante de su área.

5.1.5 Conclusiones

5.1.5.1 Primera Fase

De acuerdo con el Modelo de Zonas de Vida de Holdridge IDEAM/2000 para la Línea Base Climática 1961-1990, desarrollado en la primera fase de este trabajo se puede concluir lo siguiente para las Zonas de Vida Nival y de Páramos:

- Teniendo en cuenta que el Subpáramo de acuerdo con la clasificación de Cuatrecasas está ubicado en el cinturón Montano entre los 2.500 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, con un promedio de temperatura anual de 6°C a 12°C, le corresponde a las Zonas de Vida de Holdridge Bosque Húmedo Montano (bh-M), Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M), Bosque Pluvial Montano (bp-M) y Matorral Desértico Montano (md-M). De acuerdo con los resultados obtenidos de Línea Base Climática estas zonas de subpáramo alcanzan una extensión de aproximadamente del 3% del país.
- La Zona de Vida de Bosque Húmedo Montano (bh-M) o Subpáramo Húmedo, ocupa el 0,37% del territorio nacional. Esta zona de Vida del Piso Montano según la Clasificación de Holdridge, está ubicada entre los 2.500 y 3.000 metros sobre el nivel del mar y se caracteriza por tener un promedio de temperatura anual de 6°C a 12°C y precipitaciones entre 500 y 1.000 milímetros promedio multianual.
- La Zona de Vida de Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M), o Subpáramo Muy Húmedo, ocupa el 1,84% del país y sus precipitaciones promedio son de 2.500 a 3.000 milímetros anuales.
- La Zona de Vida de Bosque Pluvial Montano (bp-M) o Subpáramo Pluvial, ocupa el 0.743%

Tabla 12 Coberturas Vegetales de Colombia IDEAM/96 afectadas por desplazamientos de las Zonas de Vida de Holdridge con escenario de Cambio Climático 2XC02

	Cobertura Vegetal	Símbolo IDEAM/96	% Área Afectado	% Cob. Veg. Afectado	% Nal
1	Agroecosistema Andino	AA	14.028	46.9047619	6.5798
2	Bosque Basal Amazónico	BBam	30.011	14.7079829	4.414
3	Bosque Andino	BA	7.986	42.8188731	3.4195
4	Sabana Herbácea	Sh	4.07	43.7945473	1.7824
5	Sabana Arbustiva	Sar	8.867	15.5645776	1.3801
6	Agroecosistema Andino Fragmentado	AAf	2.676	41.3307164	1.106
7	Agroecosistema Basal	AB	8.68	11.4149058	0.9908
8	Páramo	P	1.419	55.4462389	0.7868
9	Agroecosistema Andino Interandino	AAi	2.88	22.7640509	0.6556
10	Agroecosistema Basal Fragmentado	ABf	6.048	9.9105444	0.5994
11	Bosque Ripario	Br	2.947	16.3610256	0.4822
12	Especial Pantano Caribe	EPc	2.046	18.1643804	0.3716
13	Bosque Basal Pacífico	BBp	3.88	7.34176197	0.2849
14	Xerofitia Basal	XB	1.055	25.6491106	0.2706
15	Xerofitia Andina	XA	0.553	36.911344	0.2041
16	Especial Rupícola Amazónico	ERam	0.553	26.5724474	0.1469
17	Cobertura Hídrica Ciénaga	HBc	0.241	15.7196618	0.0379
18	Sabana Arbustiva	Sa	1.112	3.09518397	0.0344
19	Cobertura Nival (Nieve)	N	0.035	77.7916713	0.0272
20	Especial Rupícola Caribe	ERc	0.234	11.2790749	0.0264
21	Manglar Pacífico	Mp	0.247	8.98394828	0.0222
22	Manglar Caribe	Mc	0.058	19.0617077	0.0111
23	Cobertura Hídrica Andina Embalse	HAe	0.023	47.1217862	0.0108
24	Bosque Andino Plantado	BApl	0.014	66.5253826	0.0093
25	Bosque Basal Orinoco	BBo	0.018	30.0669722	0.0054
26	Bosque Basal Plantado	BBpl	0.017	18.4526654	0.0031
27	Especial Pantano Andino	EPa	0.004	75.4119822	0.003
28	Insular Atlántico	Ia	0.003	39.2312206	0.0012
32	Insular Pacífico	Ip	0.001	94.9889791	0.0009
33	Bosque Basal Caribe	BBc	0.007	0	0
34	Especial Pantano Amazónico	EPam	0.156	0	0

del territorio nacional y su promedio anual de lluvias es mayor a 2.000 mm.

- La Zona de Vida Matorral Desértico Montano (md-M), o Subpáramo Desértico, ocupa el 0.002031 % del territorio nacional y se caracteriza por tener precipitaciones entre 125 y 250 mm anuales.
- Entre los 3.000 y 3.500 metros de altura y con temperaturas promedios multianuales entre 3 y 6°C, se ubican las Zonas de Vida Subandinas o Subalpinas ocupando aproximadamente el 0.3% del territorio del país. Estas Unidades Bioclimáticas Subandinas o Subalpinas corresponden al Páramo propiamente dicho y son el Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA) y el Páramo Subandino (p-SA), ocupando aproximadamente el 0,3% del territorio nacional.
- La Zona de Vida de Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA), o Páramo Pluvial según Cuatrecasas, se caracteriza por tener precipitaciones mayores a 1.000 milímetros anuales y representa el 0.275% del país.
- La Zona de Vida de Páramo Subandino (p-SA), o Páramo propiamente dicho, tiene precipitaciones entre 500 y 1.000 milímetros promedio multianual y representa el 0.0072 % del territorio nacional.
- Por encima de los 3.500 metros de altura, con temperaturas promedio entre 1.5°C y 3.0°C, encontramos la Zona de Vida de Tundra Pluvial Alpina (tp-A) o Superpáramo según Cuatrecasas, la cual ocupa el 0.04%. Esta zona

de vida corresponde a promedios multianuales inferiores a 500 mm de lluvia.

- Finalmente sobre los 4.500 metros sobre el nivel del mar, la Zona de Vida Nival (N) ocupa el 0.04% y se caracteriza por tener temperaturas promedio entre 0°C y 1.5°C.

5.1.5.2 Segunda Fase

De acuerdo con los resultados obtenidos con el Modelo de Zonas de Vida de Holdridge con Escenario de Cambio Climático Moderado Síntesis Hulme (IPCC, 1999) 2XCO₂, desarrollado en la segunda fase de este trabajo se puede concluir lo siguiente para las Zonas de Vida Nival y de Páramos:

- Ya se había mencionado que el Subpáramo de acuerdo con Cuatrecasas, está ubicado en el cinturón Montano, entre los 2.500 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, con un promedio de temperatura anual de 6°C a 12°C, y que corresponde a las Zonas de Vida de Holdridge Bosque Húmedo Montano (bh-M), Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M), Bosque Pluvial Montano (bp-M) y el Matorral Desértico Montano (md-M). Con el nuevo patrón de clima las zonas de Subpáramo ocuparían una extensión de 1.6% del territorio nacional, lo que nos indica que se podrían reducir en un poco más de la mitad.
- La Zona de Vida de Matorral Desértico Montano (md-M), o Subpáramo Desértico, con precipitaciones entre 125 y 250 milímetros al año, mantiene en el territorio nacional con el Cambio Climático un área de 0.0002%.

Tabla 13 Coberturas Vegetales de Colombia IDEAM/96 afectadas por desplazamientos de las Zonas de Vida de Holdridge (Páramo y Nieve) con escenario de Cambio Climático 2XCO₂

Cobertura	Área IDEAM/96 2xco2	Área Perdida	% Perdido
Páramo	1.620.463	898.485,79	55,45
Nival	40.217	31.285,48	77,79

Figura 5 Modelo para calcular áreas de desplazamiento

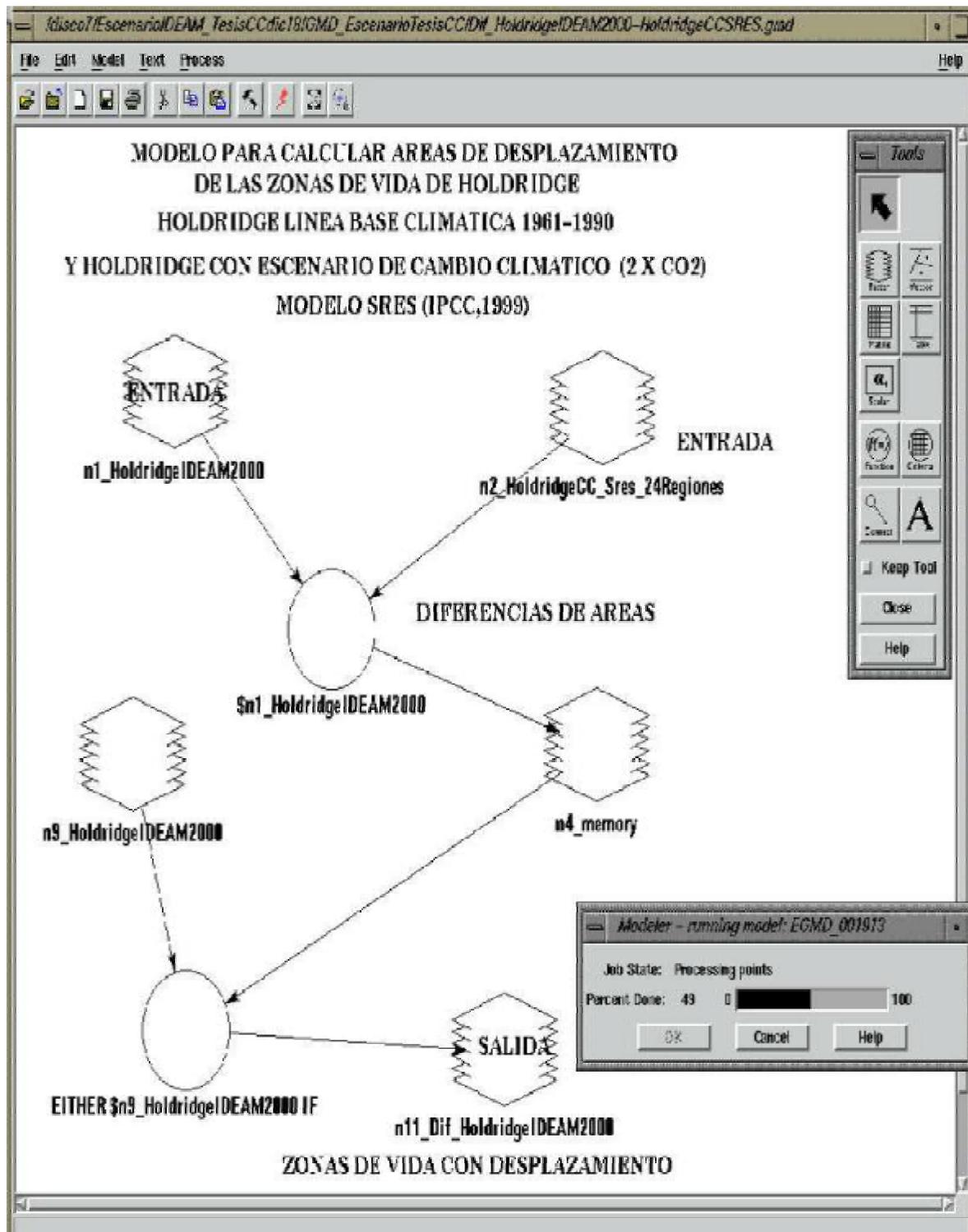


Tabla 14 Porcentajes de las áreas de las Coberturas Vegetales de Colombia según el grado de vulnerabilidad frente a un Cambio Climático con escenario futuro 2XCO2

Cobertura Vegetal	Símbolo	% Alta	% Media	% Baja
Agroecosistema Andino	AA	37.1	62.9	
Páramo	P	30	70.0	
Xerofitia Andina	XA	27.1	72.9	
Cobertura Nival (Nieve)	N	12.4	87.6	
Bosque Andino Plantado	BApl	6.4	93.6	
Bosque Andino	BA	4.2	95.8	
Agroecosistema Andino Fragmentado	AAf	2.8	97.2	
Agroecosistema Andino Interandino	AAi	1.2	98.8	
Agroecosistema Basal	AB	0.2	99.8	
Agroecosistema Basal Fragmentado	ABf	0.1	99.9	
Xerofitia Basal	XB		100.0	
Bosque Basal Caribe	BBc		100.0	
Bosque Basal Plantado	BBpl		100.0	
Insular Atlántico	Ia		100.0	
Insular Pacífico	Ip		100.0	
Sabana Herbácea	Sh		100.0	
Especial Pantano Andino	EPa		98.7	1.3
Bosque Basal Orinoco	BBo		30.2	69.8
Sabana Arbustiva	Sar		16.8	83.2
Sabana Arbolada	Sa		4.7	95.3
Especial Rupícola Amazónico	ERam		1.4	98.6
Bosque Basal Pacífico	BBp		0.3	99.7
Especial Pantano Caribe	EPc			100.0
Especial Pantano Amazónico	EPam			100.0
Bosque Basal Amazónico	BBam			100.0
Especial Rupícola Caribe	ERc			100.0
Bosque Basal Pacífico	BBp			100.0
Bosque Ripario	Br			100.0
Manglar Pacífico	Mp			100.0
Manglar Caribe	Mc			100.0

Mapa 5

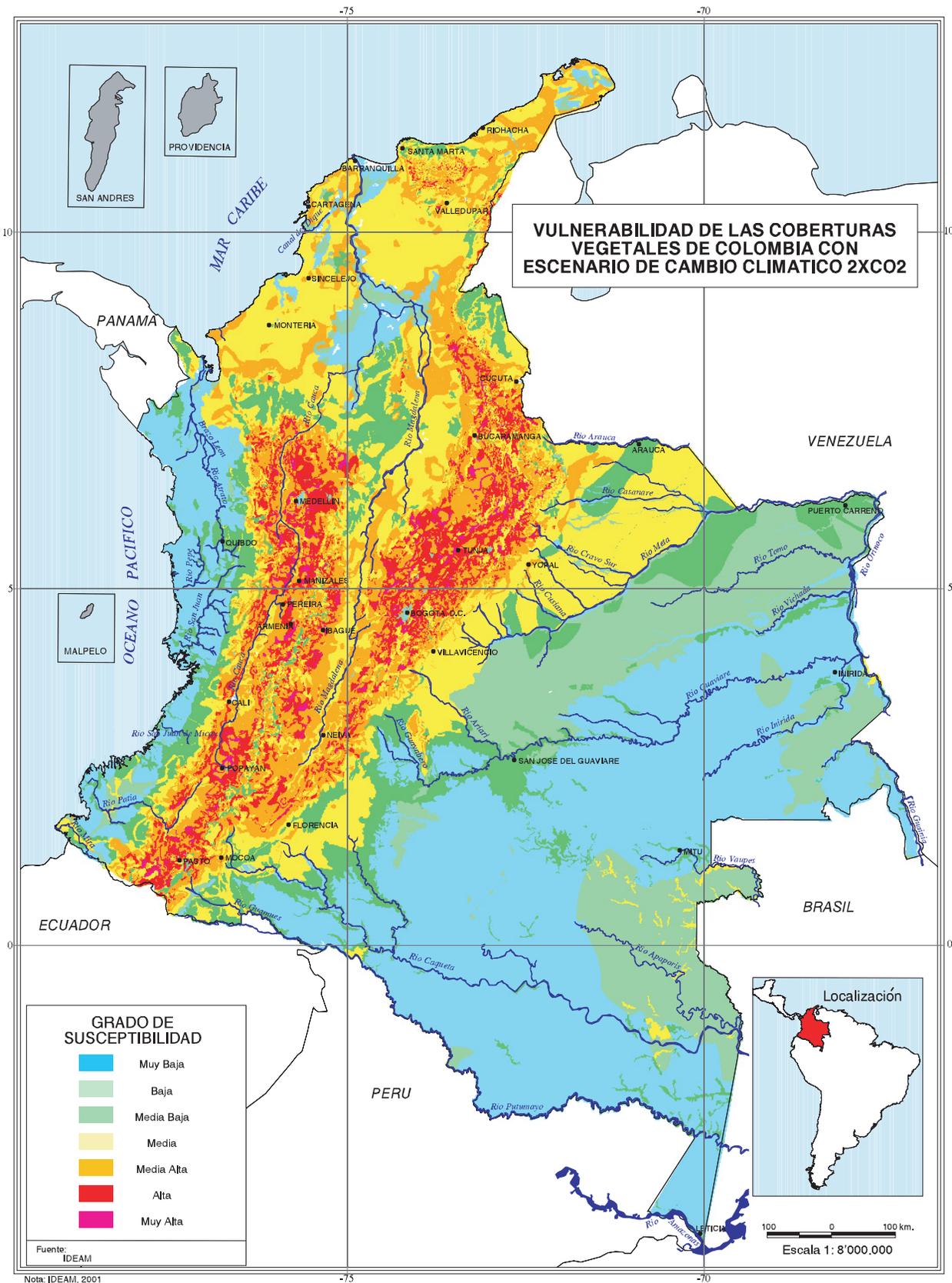
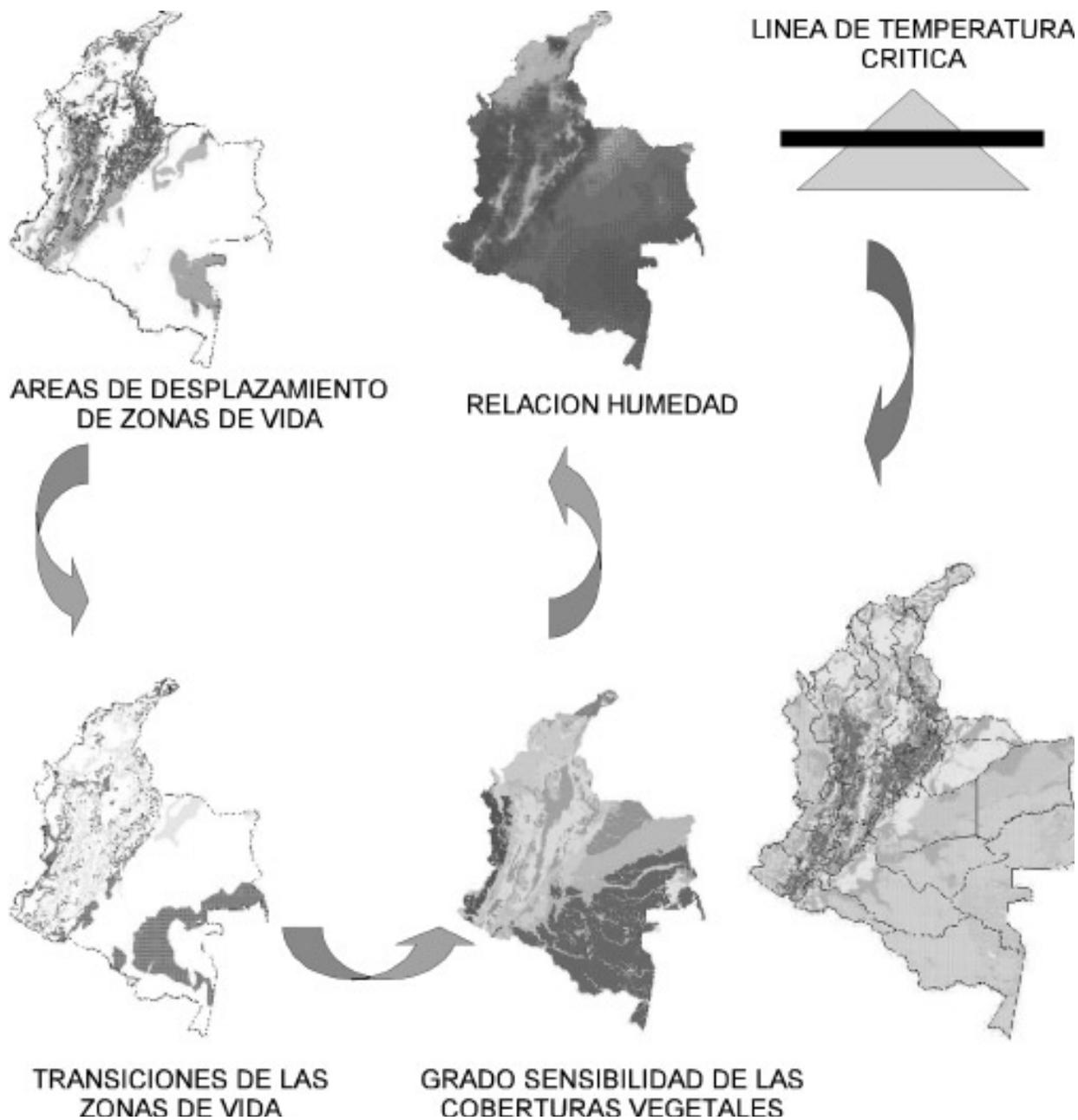


Figura 6 Modelo de Evaluación del Grado de Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia ante un posible Cambio Climático 2XC02



- La Zona de Vida de Bosque Húmedo Montano (bh-M) de Subpáramo Húmedo, con el Cambio Climático se reduciría un poco ocupando el 0,29% del territorio nacional. Esta Zona de Vida del Piso Montano, según la Clasificación de Holdridge, está localizada entre los 2.500 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, con un promedio anual de temperatura entre 6°C a 12°C y precipitaciones entre 500 y 1.000 milímetros promedio multianual.
- La Zona de Vida de Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M) o de Subpáramo Muy Húmedo, con el cambio climático tendría una ligera disminución y podría llegar a ocupar 1,09% del país. Esta Zona de Vida se caracteriza por tener precipitaciones promedio anual entre 2.500 a 3.000 milímetros.
- La Zona de Vida de Bosque Pluvial Montano (bp-M), o de Subpáramo Pluvial según Cuatrecasas, con el nuevo patrón de clima se reduce en un 0.5%, y ocuparía solo el 0.2% del territorio nacional. Esta Zona de Vida tiene su promedio anual de lluvias mayor a 2.000 mm.
- Entre los 3.000 y 3.500 metros de altura, con temperaturas entre 3 y 6°C, se ubican las Zonas de Vida Subandinas o Subalpinas o de Páramo según Cuatrecasas.
- Estas Unidades Bioclimáticas son el Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA) y el Páramo Subandino (p-SA). Con el nuevo patrón de clima, estas zonas se reducirían de 0.3% del territorio nacional, al 0.07%.
- La Zona de Vida de Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA), corresponden al Páramo Pluvial según Cuatrecasas, con precipitaciones mayores a 1.000 mm., y ocuparían el 0.07% del territorio del país.
- La Zona de Vida de Páramo Subalpino (p-SA), corresponde al Páramo propiamente dicho, con precipitaciones entre 500 y 1.000 mm anuales, con el cambio climático ocuparía una extensión de 0.0002% del país.
- Sobre los 3.500 metros de altura, con temperaturas promedio entre 1.5°C y 3.0°C, tenemos

la Tundra Pluvial Alpina (tp-A) o Superpáramo según Cuatrecasas, y con el nuevo clima se reduciría de 0.04% al 0.005% del territorio del país.

- Y finalmente sobre los 4.500 metros sobre el nivel del mar, la Zona de Vida Nival (N), con temperaturas promedio multianuales entre 0°C y 1.5°C, ocuparía solo el 0.00132%. Actualmente esta Zona de Vida abarca el 0.04% del país.

5.1.5.3 Tercera Fase

- De acuerdo con los resultados obtenidos del Modelo de Desplazamientos de las Zonas de Vida de Holdridge por un Cambio Climático, en los cinturones altitudinales Montano, Subalpino o Subandino, Alpino y Nival, ubicadas sobre los 2.500 metros de altura, y que corresponden a los Subpáramos, Páramos, Superpáramos y Nieves, vemos que con el nuevo patrón de clima podrían verse afectadas entre un 91% y 100% de sus áreas actuales, con desplazamientos altitudinales a elevaciones inferiores.
- Adicionalmente y teniendo en cuenta que el Subpáramo de acuerdo con la clasificación de Cuatrecasas, está ubicado en el cinturón Montano de Holdridge, entre los 2.500 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, con un promedio de temperatura anual de 6°C a 12°C, correspondiendo a las Zonas de Vida de Holdridge Bosque Húmedo Montano (bh-M), Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M), Bosque Pluvial Montano (bp-M) y Matorral Desértico Montano (md-M).
- La Zona de Vida de Matorral Desértico Montano (md-M) se desplazaría en un 100% a la zona de vida inmediatamente mas seca y ubicada altitudinalmente mas baja, como es la Estepa Espinosa Montano Bajo (ee-MB).
- La Zona de Vida de Bosque Húmedo Montano (bh-M) se vería afectada en un 76% de su extensión, pasando a Matorral Desértico Montano un 0.15%; a Bosque Seco Montano bajo (bs-MB) el 72.6% y a Estepa Espinosa Montano Bajo (ee-MB) un 2.74% Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M) .

- La Zona de Vida de Bosque Pluvial Montano (bp-M) se vería afectada por el cambio climático en un 78%. Pasando en un 12.6% a Pluvial Montano Bajo (bp-MB), un 40% a Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB) y un 21.14% a Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB).
- La Zona de Vida de Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M) permanece en un 41%. Al cambiar el 51% de la extensión de esta Zona de Vida, equivaldría a una variación del 1% del territorio nacional. Con el cambio climático se modifica en un 8% a Bosque Húmedo Montano (bh-M), un 40,95% a Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB) y un 9.45% a Bosque Seco Montano Bajo (bs-MB).
- La Zona de Vida Páramo Subalpino (p-SA) o de Páramo propiamente dicho de acuerdo con Cuatrecasas, pasaría en un 100% a Bosque Húmedo Montano (bh-M).
- La Zona de Vida Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA) cambiaría en el 92% de su extensión, pasando a Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M) en un 76%, a Bosque Pluvial Montano el 9%, a Bosque Húmedo Montano el 6% y a Bosque Pluvial Montano el 0.1%.
- En el caso específico de la Zona de Vida Tundra Pluvial Alpina (tp-A) o Superpáramo de acuerdo con Cuatrecasas, se desplazaría en un 99.6% a Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA) y el 0.4% a Páramo Subalpino (p-SA).
- La Zona de Vida Nival (N) se vería afectada en el 92%, desplazándose un 65% a Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA), y un 27% a Superpáramo o Tundra Pluvial Alpina (tp-A).
- En los resultados de los cambios en las Zonas de Vida por un Cambio Climático 2XCO₂, con el Escenario Moderado Hulme (IPCC, 1999), hay que tener muy presente que se refieren exclusivamente a las Zonas de Vida de Holdridge, las cuales se clasificaron como unidades homoclimáticas, según los rangos de biotemperatura y precipitación del Diagrama de Zonas de Vida de Holdridge.
 - De acuerdo con estos resultados, el Cinturón Altitudinal Montano de Zonas de Vida de Holdridge y que corresponde al Subpáramo según Cuatrecasas, se vería disminuido por el nuevo patrón de clima, en un 47,6% de su extensión total. El Subpáramo en general tiene como límites climáticos una biotemperatura media aproximada entre 6 y 12°C.
 - El Cinturón Altitudinal Subalpino o Subandino que corresponde al Páramo propiamente dicho según Cuatrecasas, podría verse afectado en un 75.6% de su extensión. El Páramo en general tiene como límites climáticos una biotemperatura media aproximada entre 3 y 6°C.
 - El Cinturón Altitudinal de Tundra de las Zonas de Vida de Holdridge, o Superpáramo, según Cuatrecasas, se disminuiría por un posible cambio climático en un 85%. El Superpáramo en general tiene como límites climáticos una biotemperatura media aproximada entre 1.5 a 3°C.
 - El Cinturón Altitudinal Nival de las Zonas de Vida de Holdridge hasta en un 94% de su extensión actual.
 - De acuerdo con los resultados obtenidos en la segunda parte de la tercera fase de este estudio, en la cual se aplica el Modelo de Zonificación de Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia ante un Cambio Climático 2XCO₂, calibrado con las bases de datos de las Coberturas Vegetales de Colombia, Uso y Ocupación del Territorio (IDEAM 96), se puede observar lo siguiente:
 - Cerca de la mitad del territorio colombiano (49.1%) tendría un grado de vulnerabilidad “Bajo” al Cambio Climático en las coberturas vegetales, lo que correspondería de manera generalizada a las zonas basales tropicales de la Amazonia, del centro y sur de la Orinoquía y del Litoral Pacífico.
 - Casi en la otra mitad del país (44,8%) las coberturas vegetales tendrían una Vulnerabilidad “Media” al Cambio Climático proyectado. Estas zonas

están ubicadas en el Litoral Atlántico, norte de la Orinoquía, piedemontes Llanero y Amazónico, Zonas Interandinas y Andinas de baja montaña.

- La distribución geográfica de las coberturas vegetales con un grado “Alto” de vulnerabilidad a un posible Cambio Climático proyectado 2XCO₂, podría llegar a ocupar el 6.1% del territorio colombiano, correspondiendo a las zonas de alta y media montaña.
- El Páramo específicamente presentaría un área de 30% con grado de “Vulnerabilidad Alta” y el resto de cobertura de Páramo (70%) podría presentar un grado de “Vulnerabilidad Media” al cambio climático proyectado 2XCO₂.
- La Cobertura Nival tendría una “Vulnerabilidad Alta” en un 12.4% de su extensión y una “Vulnerabilidad Media” en el 87.6% restante de su área.
- Se debe tener en cuenta que el Modelo de evaluación de la Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia desarrollado en este estudio y de acuerdo a la metodología IPCC de Planteamiento de Función Directa, modela solo factores bioclimáticos y no incluye otros criterios y variables, de tipo edáfico, de producción primaria, de balances hídricos ó de tipo socioeconómico, etc. Además por hacer parte del Modelo Institucional de Cambio Climático del IDEAM, y se sobreentiende que se incorpora a los modelos socioeconómicos y biofísicos sectoriales tanto agrícolas, como industriales, energéticos, de recursos hídricos y costeros, de sistemas silvopastoriles, de salud, entre otros, que se desarrollan dentro de los estudios de cambio climático para la Primera Comunicación Nacional, con la finalidad de valorar los posibles impactos del Cambio Climático y así determinar la vulnerabilidad de cada sector.

Referencias bibliográficas

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, CONAMA, GEF, PNUD.1999. Chile: Primera Comunicación Nacional Bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Santiago de Chile, Chile.

ESPINAL L. S. & E. MONTENEGRO. 1963. Formaciones Vegetales de Colombia. Memoria Explicativa sobre el Mapa Ecológico. Instituto Geográfico Agustín Codazo, IGAC. Bogotá, Colombia.

GUHL, ANDRÉS. 1999. Ecological Zoning of Colombia using the Holdridge Life Zones System. CD. IDEAM-University of Illinois, Urbana, USA.

GULH, ANDRÉS & LEYVA PABLO.1997. Zonificación Ecológica de Colombia usando las Zonas de Vida de Holdridge. C.D. IDEAM, Bogotá, Colombia.

GUTIÉRREZ REY, HILDA JEANNETH. 1989. Clasificaciones Climáticas. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, HIMAT. Bogotá, Colombia. p. 38.

GUTIÉRREZ REY, HILDA JEANNETH, 2001. Aproximación a un Modelo para la evaluación de la Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia ante un Posible Cambio Climático utilizando SIG. IDEAM, Bogotá, Colombia.

HOLDRIDGE, LESLIE. 1996. Ecología Basada en Zonas de Vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. San José de Costa Rica. p.225.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1976. Zonas de Vida o Formaciones Vegetales de Colombia. Memoria Explicativa sobre el Mapa Ecológico. Bogotá, Colombia.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC. 1997. Impactos regionales del Cambio Climático: Evaluación de la Vulnerabilidad. Informe Especial del Grupo de Trabajo II del IPCC.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC. 1998. Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies. Vrije Universiteit Amsterdam.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC. Introducción a los Modelos Climáticos simples utilizados en el segundo Informe de Evaluación del IPCC. Documento Técnico II del IPCC.

- RAMOS MANE C. (ed) 1997. Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Latin America. Proceeding of Workshop in April 1996, Montevideo, Uruguay, Climate Research, Volume 9: Nos. 1 and 2.
- U.S. COUNTRY STUDIES PROGRAM. 1995. Central America: Vulnerability Assessment to Climate Change for the Water, Coastal and Agricultural Resources. Central America Country Studies Project Team.: Climate Change Country Studies.
- U.S. COUNTRY STUDIES PROGRAM. 1998. Climate Change Assesments by Developing and Transition Countries. Octubre.
- U.S. COUNTRY STUDIES PROGRAM. México ante el Cambio Climático. 1995. Memorias del Segundo Taller de Estudio de País. Cuernavaca, Morelos, México. 250 pp.
- VILLERS RUIZ LOURDES & TREJO VASQUEZ IRMA. Vegetación actual de México y escenario aplicando un incremento de 2°C en temperatura y disminución del 10% en la precipitación. Instituto de Geografía, UNAM, México. P 165 - 174.
- VILLERS RUIZ L. & I. TREJO VASQUEZ. 1998. Impacto del Cambio Climático en los Bosques y Areas Naturales Protegidas de México. Revista Interciencia (ISSN 0378-1874) Venezuela, Vol. 23 No. 1: 10-19
- VILLERS RUIZ. L.& I. TREJO VÁSQUEZ. 1997. Assesment of Vulnerability of forest Ecosystems to climate change in México. Climate Research, Bonn, Germany Vol. 9: 87-93.