

PROYECCIONES CLIMÁTICAS Y SUS IMPACTOS EN EL ECOSISTEMA PÁRAMO DE TUNGURAHUA



JUAN CALLES L.

Geoinformática y Sistemas Cia. Ltda.



Contenido

Antecedentes	3
Introducción	4
Conceptos clave	4
Clima versus Tiempo	5
Escenarios, modelos y tendencias climáticas.....	5
Clima del páramo	6
Ecosistemas de páramo	6
Alcance del análisis.....	8
Metodología.....	9
Área de análisis	9
Información utilizada	9
Análisis cartográfico	10
Resultados.....	12
Proyecciones climáticas	12
Temperatura	12
Precipitación.....	15
Disponibilidad de agua	18
Índice Ombrotérmico	19
Impactos.....	21
Impactos inevitables	22
Impactos del cambio climático en el ecosistema páramo	22
Evapotranspiración	23
Distribución de ecosistemas	22
Reducción de glaciares.....	22
Impactos mitigables	23
Conclusiones y recomendaciones	25
Bibliografía	26
Anexos.....	27

Antecedentes

El Programa Biodiversidad, Cambio Climático y Desarrollo Sostenible (ProCamBío) de la Cooperación Alemana al Desarrollo - GIZ en Ecuador tiene como objetivo principal que las comunidades indígenas y organizaciones de productores implementen modelos de conservación y uso sostenible de la biodiversidad considerando el cambio climático.

El Programa implementa su estrategia de intervención mediante 4 líneas de acción que son: 1) Producción Sostenible, 2) Sistema de Incentivos, 3) Control de Comercio Ilegal de Flora y Fauna y 4) Cambio Climático. El Programa ProCamBío trabajará en el ecosistema páramo de las provincias de Chimborazo y Tungurahua, con el propósito de impulsar su conservación y uso sostenible. Así se pretende impulsar la aplicación del Plan Nacional de Cambio Climático, la Política de Ecosistemas Alto Andinos, y el capítulo Páramo del Programa Nacional de Incentivos del MAE. En este contexto, surge la necesidad de parte del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua de contar con una caracterización de los páramos de la provincia, lo cual servirá como base para una intervención integral sostenible en este ecosistema.

La identificación de áreas de páramo y recomendaciones para el manejo de los mismos puede ser abordado mediante una caracterización ambiental, geográfica, hidrológica, socioeconómica y política de los páramos en la provincia de Tungurahua considerando la cobertura y uso del suelo, la estructura y composición de la vegetación, la degradación del páramo de pajonal, la capacidad de regulación hídrica y la situación social. El objetivo es comprender las relaciones socioecológicas que dominan el paisaje de páramo en la provincia de Tungurahua.

La Agenda Ambiental de Tungurahua (HGPT, 2014) ya considera al Cambio Climático como un eje transversal para la planificación ambiental de la provincia. Este reconocimiento permite establecer estrategias para la mitigación y adaptación al cambio climático en la provincia de Tungurahua. La Agenda reconoce algunos efectos del cambio climático a nivel local como la reducción de los glaciares o el cambio en la estacionalidad de las precipitaciones. Además, se reconoce localmente el incremento de la temperatura y la presencia de periodos secos de varias semanas que alteran los ciclos de cultivo en la provincia y aumenta las necesidades de riego en las parcelas.

En este marco es necesario entender las posibles implicaciones para el manejo del ecosistema páramo en un escenario de cambio climático. El presente documento busca establecer de manera puntual los probables impactos relacionados al cambio climático en el páramo de Tungurahua basados en información disponible para la zona y en los modelos desarrollados por el IPCC.

Introducción

Conceptos clave

El cambio climático es uno de los fenómenos que mayor importancia ha cobrado en los últimos años. Las Naciones Unidas reconocen al cambio climático como uno de los mayores desafíos para la humanidad en el siglo XXI. Las condiciones climáticas a nivel mundial dependen de múltiples fenómenos físicos, químicos, biológicos, geoquímicos, y solares. El último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) publicado en año 2013 reconoce la influencia humana en el cambio del clima nivel mundial (IPCC, 2013).

El IPCC define al Cambio Climático como un cambio en el estado del clima que puede ser identificado (por ejemplo, mediante el uso de pruebas estadísticas) por los cambios en la media y/o la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, típicamente décadas o más. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o forzamientos externos como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra.

En el Ecuador las principales condicionantes del tiempo y el clima son: la presencia de la cordillera de los Andes, las corrientes marinas del Océano Pacífico, la presencia de la Amazonía y la ubicación del país en la región ecuatorial del planeta. Estas condiciones hacen que el Ecuador no presente variaciones estacionales a lo largo del año y más bien se conoce periodos secos y periodos lluviosos. Estas condiciones geográficas han dado lugar a la formación de los pisos bioclimáticos que varían desde el piso desértico en la costa ecuatoriana hasta el pluvial en la Amazonía, estribaciones andinas y la costa norte (Figura 1).

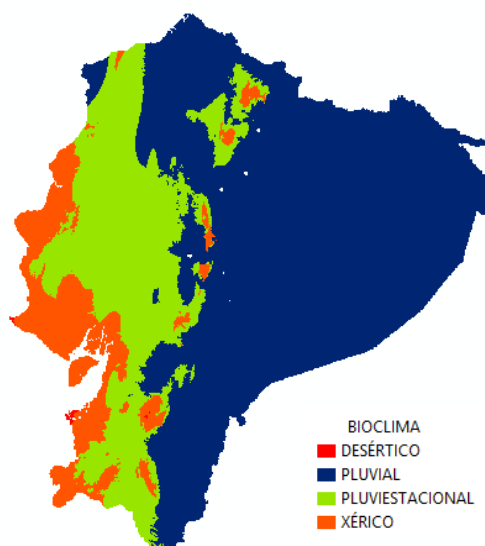


Figura 1. Pisos bioclimáticos en el Ecuador continental. Fuente: MAE (2013).

Esta variación bioclimática ha permitido la formación de diversos ecosistemas altamente dependientes de las condiciones de temperatura y precipitación e influenciados por la alta variación altitudinal que da lugar a ecosistemas de altura como el páramo. La provincia de Tungurahua se ubica en el centro del Ecuador en el corazón de los Andes. La presencia de los Andes y la ubicación de nuestro país en la zona ecuatorial del planeta definen en gran medida las

condiciones climáticas en las montañas. Los páramos al encontrarse en las zonas más altas de los Andes tienen una gran influencia de las masas húmedas continentales provenientes de la Amazonía y de las masas húmedas provenientes del Océano Pacífico.

Clima versus Tiempo

Según el IPCC se debe distinguir claramente los conceptos de *tiempo* y *clima* que utilizamos al referirnos al estado de las condiciones atmosféricas locales. Estos conceptos son básicos para entender la complejidad de los sistemas climáticos locales y globales. Por otro lado, esta diferenciación permite distinguir las percepciones de los habitantes locales sobre estos factores que a menudo se confunden.

Según el IPCC (IPCC, 2013) el *Tiempo* describe las condiciones de la atmósfera en un cierto lugar y tiempo con referencia a la temperatura, presión, humedad, viento, y otros parámetros clave (elementos meteorológicos); presencia de las nubes, la precipitación; y la ocurrencia de fenómenos especiales, tales como tormentas eléctricas, tormentas de polvo, tornados y otros.

Mientras el *Clima* en un sentido estricto se define generalmente como el tiempo promedio, o, más rigurosamente, como la descripción estadística en términos de la media y la variabilidad de las cantidades pertinentes durante un período de tiempo que varía de meses a miles o millones de años. La organización mundial meteorológica determina un periodo de 30 años y evalúa la variación de la precipitación, temperatura y viento (IPCC, 2013).

Escenarios, modelos y tendencias climáticas

- Predicción climática.- La predicción climática es un intento para producir un estimado de la evolución actual del clima en el futuro.
- Escenarios de emisión.- Los escenarios de emisión describen las futuras emanaciones a la atmósfera de gases de efecto invernadero, aerosoles, y otros contaminantes; junto con información de uso del suelo y cobertura vegetal proveen información a los modelos climáticos.
- Modelo climático.- Representación numérica del sistema climático basado en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, sus interacciones y procesos de respuesta y cuantificar algunas de sus propiedades conocidas.
- Proyección climática.- Una proyección climática es la respuesta simulada del sistema climático a un escenario de futuras emisiones o concentraciones de gases de efecto invernadero, y aerosoles, generalmente usando modelos climáticos.

En la Figura 2 se muestran los escenarios de emisión definidos por el IPCC (IPCC, 2013) en su quinto informe. Se muestran las tendencias de incremento de la temperatura bajo los escenarios de emisión (RCP) correspondientes. Esto muestra que la temperatura promedio global se podría incrementar hasta 5°C a finales del siglo en un escenario de emisiones altas RCP 8,5.

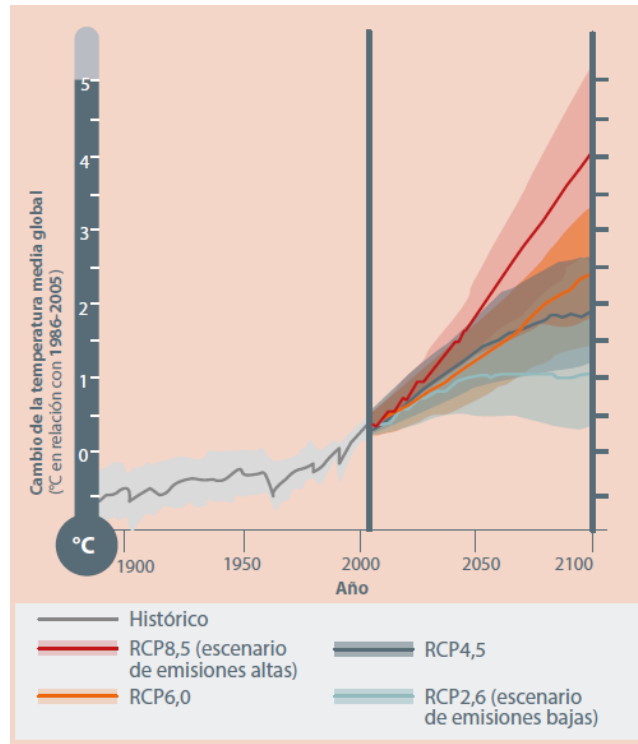


Figura 2. Escenarios de cambio climático para el Siglo XXI. Fuente: CDKN (2014).

Clima del páramo

En términos generales el clima típico del páramo es frío, húmedo y con una alta radiación solar y nubosidad (Hofstede, *et. al.*, 2014). Estos componentes del clima del páramo hacen de este ecosistema un excelente regulador del ciclo hidrológico por lo que se le llega a considerar una esponja natural. La información disponible del Mapa bioclimático del Ecuador (MAE, 2013) muestra que para la zona de estudio la temperatura promedio anual es de 6,05°C, alcanzando un mínimo promedio de 1,69°C en las cumbres del Chimborazo y Carihuairazo y un máximo promedio de 10,16°C en la zona baja del área de estudio.

Esta misma fuente de información (MAE, 2013) muestra que la precipitación promedio en el área de estudio es de 939 mm anuales, con registros mínimos de 13 mm en el mes de agosto y máximo de 207 mm en el mes de abril.

Ecosistemas de páramo

La presencia del ecosistema páramo en altitudes superiores a los 3000 metros en el Ecuador y en la provincia dependen de la altitud, precipitación y temperatura presentes en la zona. El Mapa de Ecosistemas del Ecuador continental desarrollado por el Ministerio del Ambiente (MAE, 2013) indica la presencia de 11 ecosistemas en el área de estudio. De estos 3 representan a ecosistemas boscosos ubicados en los páramos de Tungurahua (Figura 3).

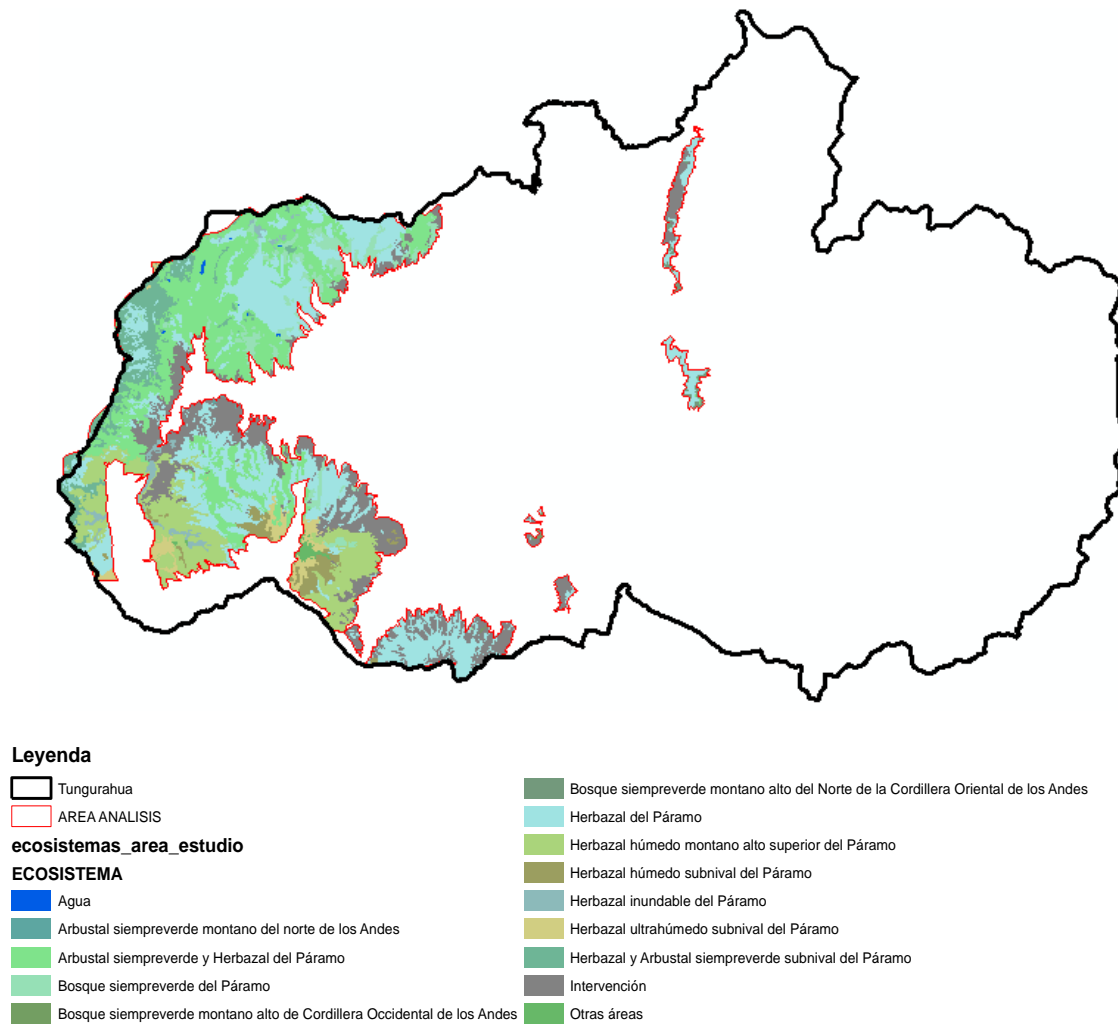


Figura 3. Ecosistemas del páramo de Tungurahua. Fuente: MAE (2013).

El ecosistema que mayor extensión del área de estudio cubre es el Herbazal de páramo (28,74%) y en conjunto con el Arbustal siempre verde y Herbazal de Páramo representan el 53% del área de estudio. De acuerdo a esta información el 16,66% corresponde a áreas de intervención ubicadas en la zona más baja del área de estudio. El ecosistema con menor representación en el área es el Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes que cubre apenas 63,36 hectáreas y representa apenas el 0,10% del total del área (Tabla 1). Ocho de los 11 ecosistemas presentes corresponden a páramo comúnmente conocido formado especialmente por pajonales y almohadillas.

Los ecosistemas con formaciones boscosas o matorrales se encuentran en la zona baja del área de estudio y en las quebradas ubicadas en el páramo. Son los ecosistemas con el mayor grado de intervención, ya que al encontrarse en la zona baja del área de estudio, han sido convertidas a zonas agrícolas y ganaderas.

Tabla 1. Extensión de los ecosistemas en el páramo de Tungurahua. Fuente: MAE (2013).

Ecosistema	Área (Ha)	%
Herbazal del Páramo	18048,44	28,74
Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo	15019,38	23,92
Intervención	10459,49	16,66
Herbazal húmedo montano alto superior del Páramo	7423,18	11,82
Herbazal y Arbustal siempreverde subnival del Páramo	4448,48	7,08
Bosque siempreverde del Páramo	2832,95	4,51
Herbazal ultrahúmedo subnival del Páramo	1511,62	2,41
Herbazal húmedo subnival del Páramo	1323,11	2,11
Herbazal inundable del Páramo	881,85	1,40
Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	345,79	0,55
Otras áreas	302,88	0,48
Bosque siempreverde montano alto de Cordillera Occidental de los Andes	68,15	0,11
Agua	67,68	0,11
Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes	63,36	0,10
Total	62796,35	100

Alcance del análisis

El fenómeno del cambio climático ocurre a nivel global y presenta diversos efectos sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos con efectos sobre las variables climáticas. Los parámetros más relacionados al cambio climático son la temperatura y la precipitación. La combinación de la temperatura y precipitación determina en gran medida los patrones de distribución de los ecosistemas, sus características y servicios que ofrecen. El presente análisis se enfoca en 1 de los modelos (HadGEM2) disponibles utilizando la información presentada por el IPCC y bajada de escala por WorldClim¹. El modelo HadGEM2 fue desarrollado en la Oficina de Meteorología del Reino Unido por el Centro Global Hadley para Modelamiento Ambiental (Hadley Centre Global Environment Model). Este modelo considera las interacciones atmosféricas, la vegetación, la biología del océano, y la química de la atmósfera.

Existe una alta incertidumbre sobre los resultados de los modelos climáticos, especialmente en lo referente a la precipitación. En cuanto a la temperatura la mayoría de modelos coinciden en un incremento generalizado de las temperaturas a nivel mundial. Las tendencias climáticas que se presentan para los años 2050 y 2070 representa el resultado del modelo analizado (HadGEM2) y los resultados obtenidos pueden diferir si se analizan otros modelos disponibles. En la actualidad no se cuenta con una evaluación local de los modelos presentados por el IPCC en el año 2013 para el Ecuador.

¹ <http://www.worldclim.org>

Metodología

Área de análisis

El área de análisis incluye una extensión de 62 796 hectáreas (área que se encuentra fuera del SNAP) ubicadas en los páramos de la provincia de Tungurahua considerando la cota altitudinal de 3600 metros de altitud. La mayor extensión de páramo se encuentra en el lado occidental de la provincia en los límites con las provincias de Cotopaxi, Bolívar y Chimborazo (Figura 4). La mayoría de cobertura de páramos en la provincia se encuentra en terrenos comunitarios indígenas.

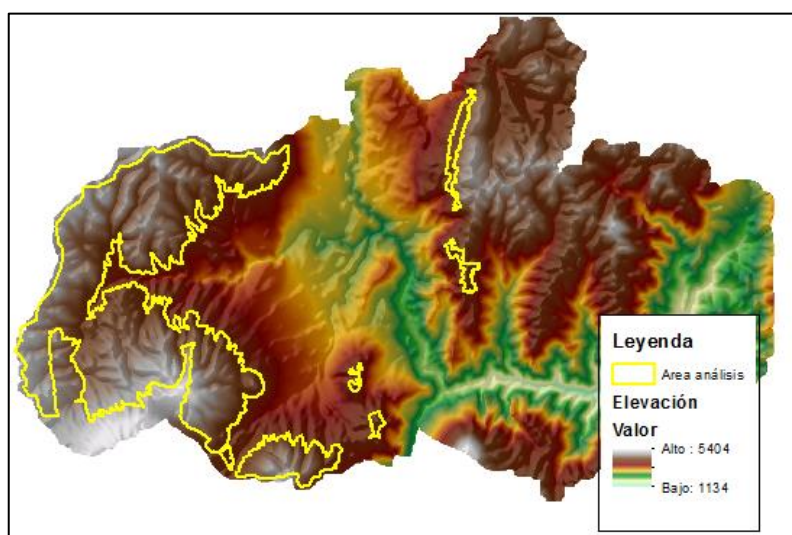


Figura 4. Área de análisis de los páramos de Tungurahua.

Información utilizada

Para el presente análisis se utilizó la información de proyecciones climáticas para el año 2050 y 2070. La información de línea base (actual) que se utilizó es la proveniente del Modelo Bioclimático del Ecuador desarrollado por el Ministerio del Ambiente y el INAMHI para el Mapa de Ecosistemas del Ecuador para el periodo 1950-2000 (MAE, 2013). Esta información se basa en el modelo climático global desarrollado por WORLDCLIM (Hijmans *et. al.*, 2005) y fue corregida con la información climática local disponible por el INAMHI y el Ministerio del Ambiente del Ecuador. Esta será la información de línea base para caracterizar el clima actual de los páramos de la provincia de Tungurahua en las variables definidas de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.

En el caso de las proyecciones futuras de cambio climático se utilizó el modelo climático desarrollados por WORLDCLIM² en base a los modelos de circulación global (GCM) presentados por el IPCC en el año 2013. Se utilizó el escenario de radiación RCP 6.0 (Representative Concentration Pathways o Trayectorias Representativas de Concentración (Ver recuadro abajo) que considera concentraciones medio-altas de CO₂ y otros gases de efecto de invernadero en la atmósfera en comparación con el período pre-industrial (año 1850). Los escenario de RCP fueron adoptados por el IPCC para la evaluación de los escenarios climáticos futuros en su quinto informe (IPCC, 2013).

² http://www.worldclim.org/cmip5_30s

RCP

Las Trayectorias Representativas de Concentración (RCP's) son escenarios que incluyen series de tiempo de las emisiones y concentraciones del conjunto de gases de efecto invernadero, los aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso de la tierra/cobertura vegetal. La palabra representativa significa que cada RCP proporciona sólo uno de los muchos escenarios posibles que conduzcan a las características de trayectorias representativas. El término Trayectorias enfatiza que no solo los niveles de concentración a largo plazo son importantes, sino también la trayectoria tomada en el tiempo para llegar a ese resultado (IPCC, 2013).

Las RCP's reemplazan a los escenarios que el IPCC venía utilizando hasta el año 2013 conocidos como A1, B2, A2, B2. Los valores de RCP's definidos por el IPCC son: 2,6 (Emisiones bajas); 4,5; 6,0 y 8,5 (Emisiones altas). En este análisis se utilizó un escenario de emisiones medio altas en las cuales la humanidad ha implementado algunos sistemas para reducción de emisiones pero no ha llegado a eliminar las emisiones.

El Modelo de Circulación Global (GCM) analizado fue el HadGEM2 desarrollado por el Centro Hadley en Reino Unido. El GCM utilizado se acordó con el equipo técnico del Gobierno Provincial de Tungurahua y del Programa PROCAMBIO en conjunto con el equipo técnico del grupo consultor. Las variables que se analizaron fueron temperatura mínima (tn), temperatura máxima (tx) y precipitación (pr) mensuales para los periodos actual, 2050 y 2070.

La información del modelo climático se encuentra a una resolución espacial de 1km² (30 segundos) y dadas las condiciones y extensión de los páramos, el utilizar información con menor detalle no aportaría a la creación de escenarios locales. Por esta razón, se escogió esta información obtenida de la página de WorldClim en base a los modelos del IPCC.

Análisis cartográfico

Para el análisis de la información en formato raster se utilizó el programa ArcMap versión 10.2. Con la herramienta Spatial Analyst se obtuvo las estadísticas de valores máximo, mínimo, promedio, rango, desviación estándar para cada cobertura. Se analizó un total de 108 coberturas mensuales y 6 coberturas anuales para obtener la información para los 3 periodos analizados.

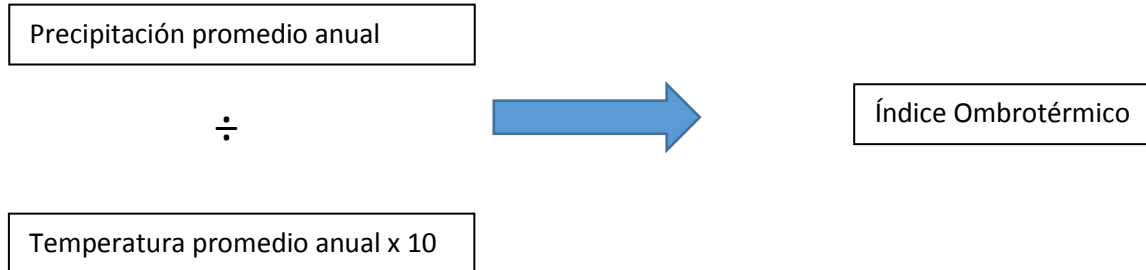
Para obtener la información estadística mensual se utilizó como máscara la cobertura del área de estudio de los páramos de Tungurahua, por lo que la información representa a los datos dentro de esta máscara de análisis sobre los 3600 metros de altitud.

En el **Anexo 1** se muestra la lista de coberturas utilizadas para el análisis. Además se cuenta con la información en formato digital tipo raster para su uso a nivel provincial.

Índice ombrotérmico

El índice ombrotérmico mide la disponibilidad relativa y efectiva del monto anual de la precipitación en relación a las temperaturas medias anuales (MAE, 2013). Basados en la información de variables bioclimáticas de precipitación y temperatura promedio se construyó el

Índice Ombrotérmico para los páramos de la provincia de Tungurahua que permite comparar las condiciones actuales y las futuras a los años 2050 y 2070. Este índice se construyó siguiendo la metodología establecida por el Ministerio del Ambiente (MAE, 2013). Para la construcción de este índice se utilizó las coberturas raster con la siguiente fórmula:



El resultado obtenido como raster se reclasificó de acuerdo a la metodología establecida para el Mapa Bioclimático del Ecuador (MAE, 2013) (Figura 5).

Ombrotipo	Io
Desértico	0-1
Semi-árido Inferior	1-1,5
Semi-árido superior	1,5-2
Seco Inferior	2 – 2,8
Seco Superior	2,8 – 3,6
Sub-húmedo Inferior	3,6 – 4,8
Subhúmedo Superior	4,8 – 7
Húmedo Inferior	7 – 10,5
Húmedo Superior	10,5 - 14
Hiper-húmedo Inferior	
Hiper-húmedo Superior	14 – 21
Ultra-hiperhúmedo	21-28
	≥ 28

Figura 5. Valores para la clasificación del índice Ombrotérmico para el Ecuador. Fuente: MAE (2013).

Resultados

Proyecciones climáticas

De acuerdo al escenario analizado (RCP 6,0) y el modelo utilizado (HadGEM2) el cambio climático tendrá sus efectos sobre las condiciones de precipitación y temperatura de los páramos de Tungurahua. Los efectos varían de acuerdo a la variable analizada, en el caso de la temperatura los resultados indican un aumento de las temperaturas mínimas y máximas para la zona mientras que para la precipitación los cambios muestran mayor variación dependiendo de los meses analizados. Para los períodos analizados, 2050 y 2070, en el total anual hay una disminución de la cantidad de precipitación en el área de estudio.

Temperatura

Al analizar la temperatura promedio anual para el periodo actual, 2050 y 2070, la tendencia es a un incremento de la temperatura. La temperatura promedio anual en los páramos de Tungurahua en la actualidad está en 6,05°C, para el año 2050 se espera un incremento de 1,82°C alcanzando los 7,87°C y para el año 2070 se alcanzaría los 8,58°C que significa un incremento de 2,53°C respecto a la temperatura actual. Estos valores superan el incremento recomendado por los científicos de 2°C para final del siglo, ya que este valor se alcanzaría a mediados del siglo XXI. El valor de 2°C se considera un límite sobre el cual los efectos adversos del cambio climático a nivel global serían irreversibles.

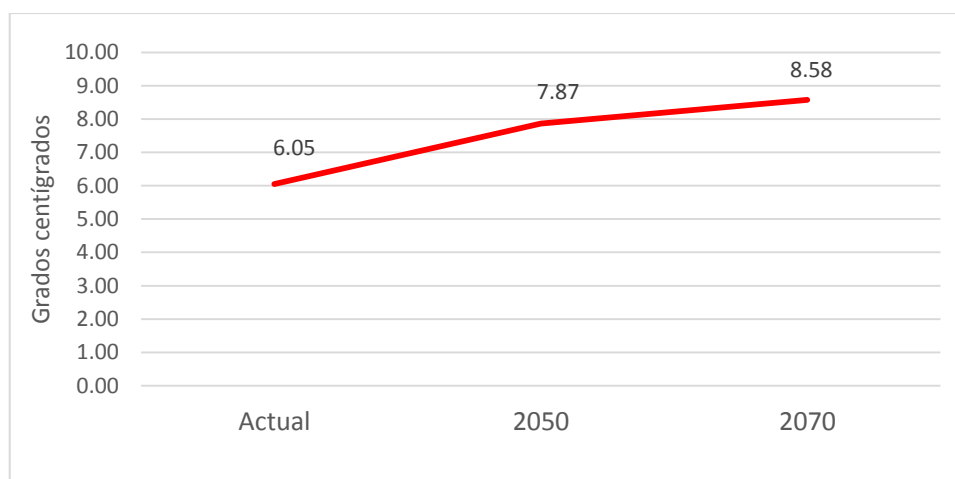


Figura 6. Variación en temperatura promedio anual en los tres períodos analizados.

En términos espaciales el área de análisis en la actualidad mantiene un rango de temperatura entre los 0 y 8 °C. Los valores más bajos se registran en las estribaciones del Chimborazo y Carihuairazo (Figura 7).

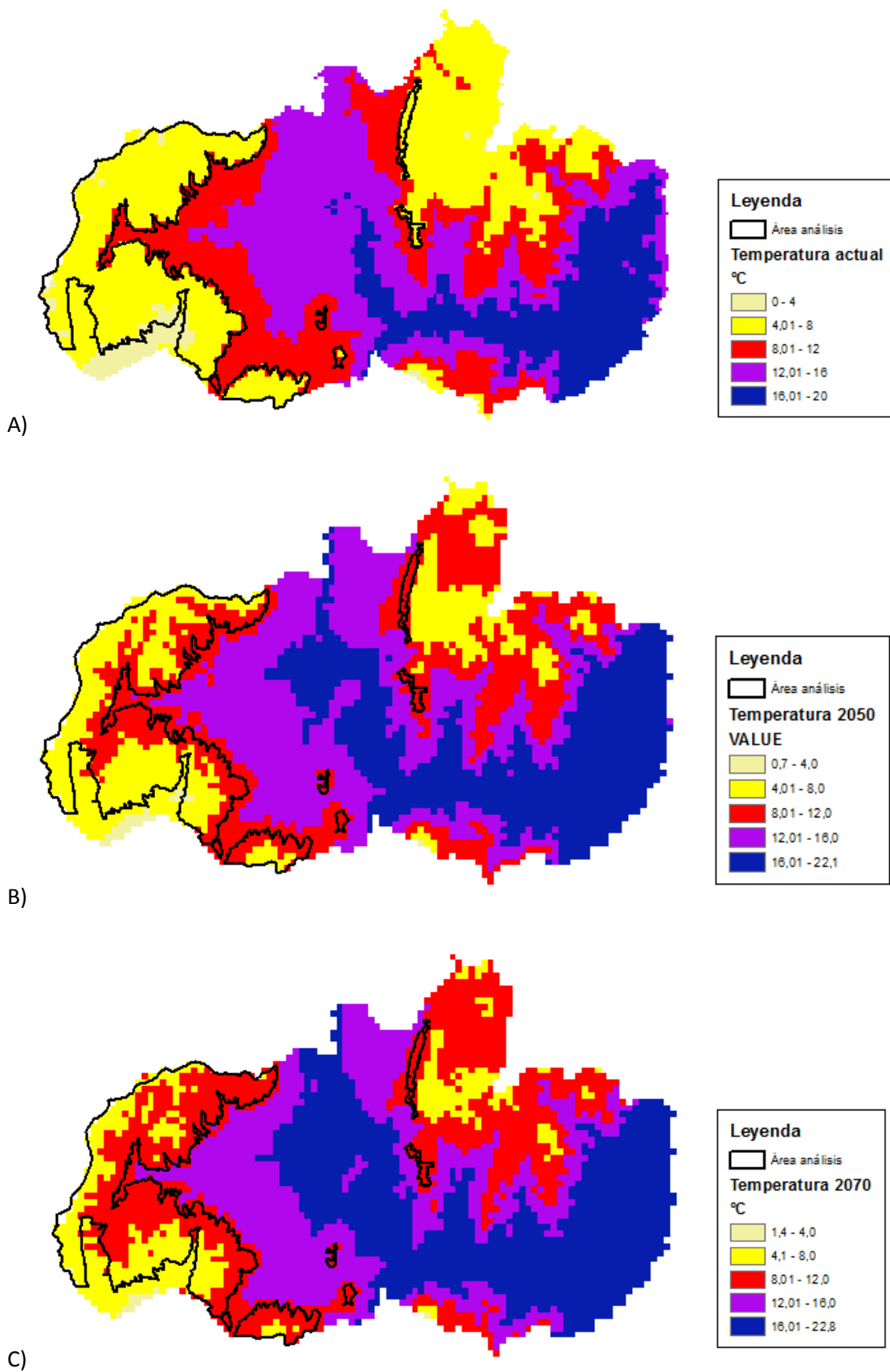


Figura 7. Valores de temperatura entre las (A) condiciones actuales y los años (B) 2050 y (C) 2070.

Del área de estudio, en el lado occidental se muestra un incremento de temperatura en el año 2050 en donde el rango promedio de 8 a 12°C ocupa aproximadamente la mitad de esta área. Mientras el frente oriental se encuentra en su totalidad en el rango entre 8 a 12°C (Figura 7). Esta tendencia se mantiene hacia el año 2070 aunque en menor proporción que el observado al año 2050. En ambos casos hay un incremento de temperatura que coincide con mayor temperatura en las zonas más altas del páramo.

Al analizar la temperatura mínima promedio mensual actual, el mes de agosto presenta el valor más bajo (0,93°C), y el mes de marzo el más alto (2,14°C). En el año 2050, el mayor incremento se registrará en el mes de agosto con un aumento de 2,02 con respecto a la temperatura mínima actual. En el año 2070, el mayor incremento ocurre en los meses de junio, julio y agosto donde se alcanza un incremento de 2,74°C en comparación con la temperatura actual.

Tabla 2. Temperatura mínima promedio mensual y la diferencia de temperatura (°C) entre las condiciones actuales y los años 2050 y 2070.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Actual	1,69	1,78	2,14	2,06	1,86	1,43	1,12	0,93	1,26	1,40	1,08	1,13
2050	3,43	3,52	3,78	3,79	3,69	3,37	3,06	2,95	3,20	3,16	2,74	2,87
2070	4,06	4,12	4,48	4,49	4,49	4,17	3,86	3,67	3,83	3,86	3,37	3,49
DIFERENCIA												
2050-actual	1,74	1,74	1,63	1,74	1,83	1,94	1,94	2,02	1,94	1,76	1,66	1,74
2070-actual	2,37	2,34	2,33	2,44	2,63	2,74	2,74	2,74	2,56	2,46	2,30	2,36

Al analizar la temperatura máxima promedio mensual actual, el mes de noviembre presenta el valor más alto (11,59°C), y el mes de julio el más bajo (9,64°C). En el año 2050, el mayor incremento se registrará en el mes de octubre con un aumento de 2,01 con respecto a la temperatura máxima actual. En el año 2070, el mayor incremento ocurre en el mes de septiembre donde se alcanza un incremento de 2,72°C en comparación con la temperatura actual.

Tabla 3. Temperatura máxima promedio mensual y la diferencia de temperatura (°C) entre las condiciones actuales y los años 2050 y 2070.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Actual	11,07	10,65	10,69	10,77	10,50	10,09	9,64	9,73	10,60	11,36	11,59	11,24
2050	12,79	12,46	12,51	12,59	12,23	11,92	11,51	11,65	12,54	13,38	13,38	12,86
2070	13,49	13,10	13,15	13,29	12,96	12,63	12,26	12,36	13,42	14,09	14,10	13,66
DIFERENCIA												
2050-actual	1,72	1,82	1,82	1,82	1,72	1,83	1,87	1,93	1,94	2,01	1,79	1,62
2070-actual	2,42	2,45	2,45	2,52	2,46	2,53	2,63	2,64	2,83	2,72	2,51	2,41

El incremento de temperatura tiene relación directa con la cantidad de agua que consumirán los ecosistemas naturales y las zonas agrícolas. Una mayor temperatura representa un incremento en las necesidades de agua para los cultivos y una reducción en la capacidad de almacenamiento de agua en los páramos.

Precipitación

A diferencia de la clara tendencia observada en el caso de la temperatura, la precipitación presenta valores más cambiantes en los escenarios futuros. En la Figura 8 se pueden observar los patrones de precipitación mensuales actuales para el área de estudio.

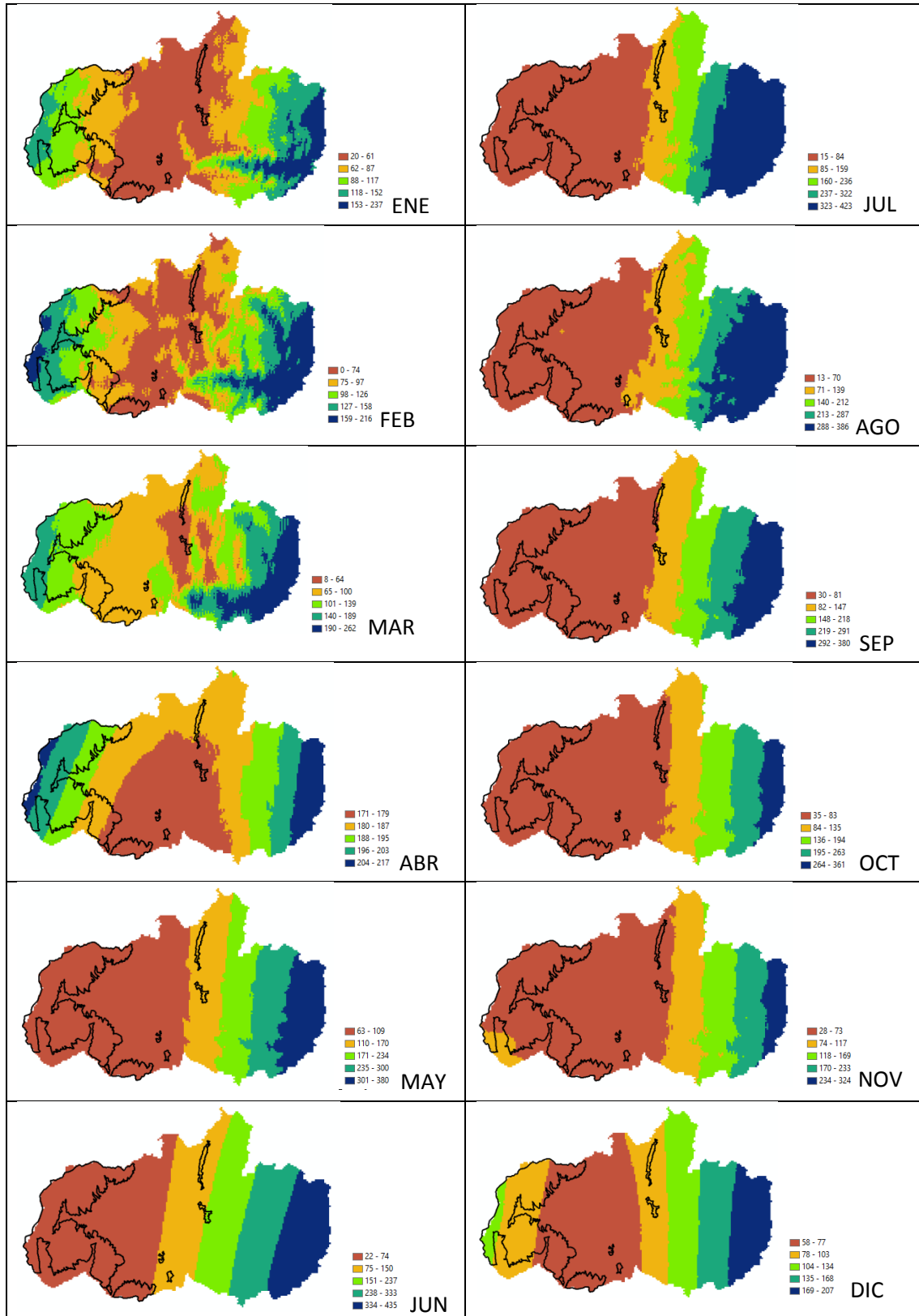


Figura 8. Precipitación promedio mensual actual.

La mayor precipitación en la actualidad se presenta en la zona oriental de los páramos de Tungurahua. Y en los meses de diciembre a abril se incrementan las precipitaciones en el lado occidental de los páramos (Figura 8).

La precipitación actual alcanza un promedio anual de 940 mm, este promedio para el año 2050 será de 849 mm y para el año 2070 de 871 mm. Los cambios registrados muestran incrementos y reducciones en comparación con las condiciones actuales dependiendo de los meses que se analice. Las mayores diferencias encontradas en los escenarios futuros al 2050 y 2070 es la reducción de la precipitación de los meses de enero a abril, especialmente en abril, considerado el mes más lluvioso en la actualidad. Mientras entre los meses de junio a noviembre se registra un ligero aumento de la precipitación en el 2050 y 2070 (Figura 9).

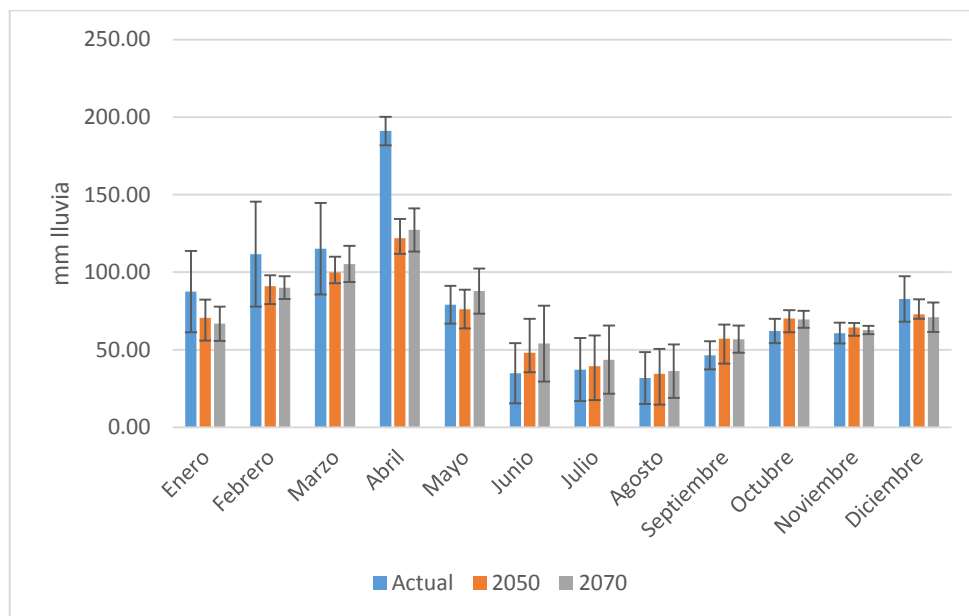


Figura 9. Precipitación mensual actual, 2050 y 2070.

Los cambios observados dan una reducción de 94 mm en el año 2050 y 69 mm en el año 2070 comparados con los datos actuales. Esta reducción representa 10,01% y 7,34% menos de agua anualmente en la zona de estudio bajo escenarios de cambio climático (Figura 10).

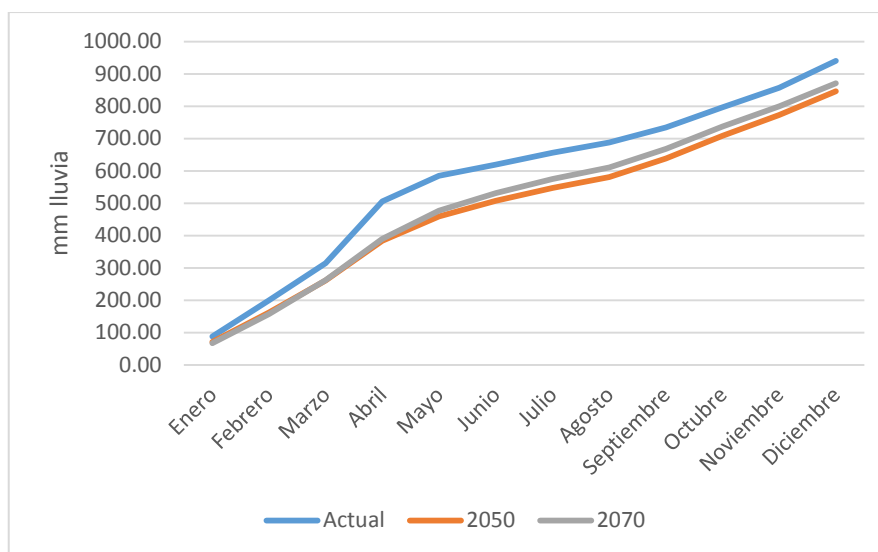


Figura 10. Precipitación anual acumulada en los periodos analizados.

Al revisar los porcentajes de reducción o aumento de precipitación comparados con el escenario actual se registra que la mayor reducción de precipitación promedio mensual (-36,14%) ocurre en el mes de abril para el año 2050. Por el contrario, el mayor incremento se registra en el mes de septiembre con un aumento del 23,49% en relación a las condiciones actuales.

Tabla 4. Precipitación actual y comparada con el año 2050 y las diferencias en mm y porcentuales.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Actual (mm)	87,46	111,67	115,13	191,01	79,04	34,86	37,17	31,75	46,33	62,04	60,69	82,68
2050	70,59	91,05	99,76	121,99	76,03	48,01	39,37	34,35	57,21	70,12	64,43	72,84
Diferencia (mm)	-16,87	-20,62	-15,37	-69,03	-3,01	13,15	2,19	2,60	10,88	8,08	3,74	-9,84
Porcentaje (%)	-19,29	-18,46	-13,35	-36,14	-3,81	37,72	5,90	8,19	23,49	13,03	6,16	-11,90

Para el año 2070, los porcentajes de reducción o aumento de precipitación comparados con el escenario actual registra que la mayor reducción de precipitación promedio mensual (-33,39%) ocurre también en el mes de abril. Por el contrario, el mayor incremento se registra en el mes de junio con un aumento del 54,70% en relación a las condiciones actuales (Tabla 5).

Tabla 5. Precipitación actual y comparada con el año 2070 y las diferencias en mm y porcentuales.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Actual (mm)	87,46	111,67	115,13	191,01	79,04	34,86	37,17	31,75	46,33	62,04	60,69	82,68
2070	66,76	90,02	105,33	127,23	87,84	53,93	43,52	36,24	56,80	69,60	62,72	70,91
Diferencia (mm)	-20,70	-21,66	-9,80	-63,78	8,80	19,07	6,35	4,49	10,48	7,56	2,03	-11,77
Porcentaje	-23,67	-19,39	-8,51	-33,39	11,13	54,70	17,08	14,13	22,61	12,19	3,35	-14,23

La variación mensual puede tener algunos impactos sobre las actividades productivas locales, la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos del páramo y la cantidad de agua que se pueda almacenar en los embalses Chiquihurco y Mula Corral.

Disponibilidad de agua

Uno de los mayores desafíos para la gestión del agua y del ecosistema páramo en un escenario de cambio climático en el siglo XXI será la variación de la precipitación que define la cantidad de agua disponible en la zona de estudio. Como muestran los resultados de este análisis el cambio en la precipitación reduce la cantidad de agua en el mes más lluvioso (abril) y cambios en otros meses. La disponibilidad de agua total para un territorio determinado está definido por la cantidad de precipitación que cae sobre esa área. Para determinar la disponibilidad de agua per cápita se toma en cuenta solamente la cantidad de agua que precipita ya que resulta complicado estimar la cantidad de agua que es retenida en el suelo, que se infiltra o se almacena en los glaciares. Sin embargo, todos estos fenómenos dependen de la cantidad de precipitación presente en una zona determinada. La disponibilidad se calcula en función de la cantidad de agua que precipita anualmente y la cantidad de personas que viven en dicho territorio. Esto nos da un resultado de m^3 /persona/año.

Se considera que si en un área definida la cantidad de agua es menor a $1700 m^3$ /año, esta área experimentará “estrés hídrico” en la cual la escasez de agua puede ocurrir frecuentemente. En áreas donde la disponibilidad de agua es menor a $1000 m^3$ /año por persona, las consecuencias son más severas y conllevan problemas en la producción de alimentos, sanidad, desarrollo económico y pérdida de ecosistemas (Hinrichsen *et. al.* 1998).

En el caso de los páramos de Tungurahua se consideró la población actual y futura (2050) de la provincia. Se realizó esta consideración ya que casi la totalidad de los habitantes de la provincia dependen del agua proveniente del área de análisis para el desarrollo de sus actividades agrícolas, ganaderas, industriales o domésticas.

Según el Censo de población del año 2010 (INEC, 2011) la provincia tiene una población total de 504 583 habitantes. De acuerdo a SENPLADES (SENPLADES, 2013), con la proyección de crecimiento poblacional de la provincia en el año 2050 Tungurahua tendría un total de 728 809 habitantes.

Considerando el área de análisis de 62 796 hectáreas se efectuó el cálculo de disponibilidad hídrica mensual para el año 2050 y se comparó con las condiciones actuales (Tabla 6). Las lluvias que caen en el mes de abril en la actualidad representan el 20,32% de la disponibilidad anual. Este valor se reduce al 14,42% en el año 2050.

Tabla 6. Disponibilidad hídrica m^3 /habitante/año para la provincia de Tungurahua considerando el área de análisis.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Actual	108,85	138,98	143,28	237,72	98,37	43,39	46,26	39,51	57,65	77,21	75,53	102,89	1169,63
2050	60,82	78,45	85,95	105,11	65,51	41,37	33,92	29,59	49,29	60,42	55,51	62,76	728,71

En la actualidad si la totalidad de los habitantes de la provincia dependieran del agua proveniente del área de estudio ya se encontraría en una situación de estrés hídrico ya que alcanza un valor anual de $1169 m^3$ /año/persona. Considerando el crecimiento poblacional y la cantidad de agua disponible para el año 2050 la situación ya alcanza valores críticos de $728 m^3$ /año por persona.

En un escenario en el cual solamente el 50% de la población de la provincia dependiera del agua proveniente del área de estudio se alcanzarían valores menores a 1700 m³/año en el año 2050, y por tanto ya se consideraría una situación de estrés hídrico.

Índice Ombrotérmico

El índice ombrotérmico permite combinar las condiciones de precipitación y temperatura y mostrar su relación en la definición de paisajes climáticos. Este índice permite mostrar cuales serían las condiciones de una zona determinadas por la humedad presente en cada sitio. Para esto se definen ombrotipos que clasifican la interacción entre precipitación y temperatura y se agrupan de acuerdo a los valores resultantes. El índice construido para los años 2050 y 2070 muestra un cambio en los ombrotipos locales en los páramos de Tungurahua. Esto demuestra que las condiciones para el desarrollo de los ecosistemas se modifica creando nuevas condiciones que pueden favorecer el desarrollo de algunos ecosistemas y la desaparición o reducción del área de cobertura de otros. Asimismo estas condiciones ambientales se relacionan directamente a la capacidad de ciertos lugares para el desarrollo de cultivos denominados a secano que son completamente dependientes de la precipitación y temperatura en las cuales se desarrollan.

En la Figura 11 se resume el porcentaje del área de cobertura de los ombrotipos presentes en el área de estudio de los páramos de Tungurahua. Al comparar las condiciones actuales con las de los años 2050 y 2070 se refleja una reducción de los ombrotipos más húmedos. En el año 2050 casi la totalidad de los páramos de Tungurahua corresponderán a los ombrotipos Húmedo inferior y Húmedo superior. El ombrotipo Sub-húmedo superior y Ultra hiper húmedo representan menos del 2% del área. En el año 2070 se refleja una prevalencia del ombrotipo húmedo inferior que muestra una reducción general de la humedad en los páramos de Tungurahua. Estos cambios se deben principalmente al aumento de la temperatura en esta zona lo que conlleva a una modificación de la humedad y la relación entre temperatura y precipitación que determinan la conformación de los ombrotipos correspondientes.

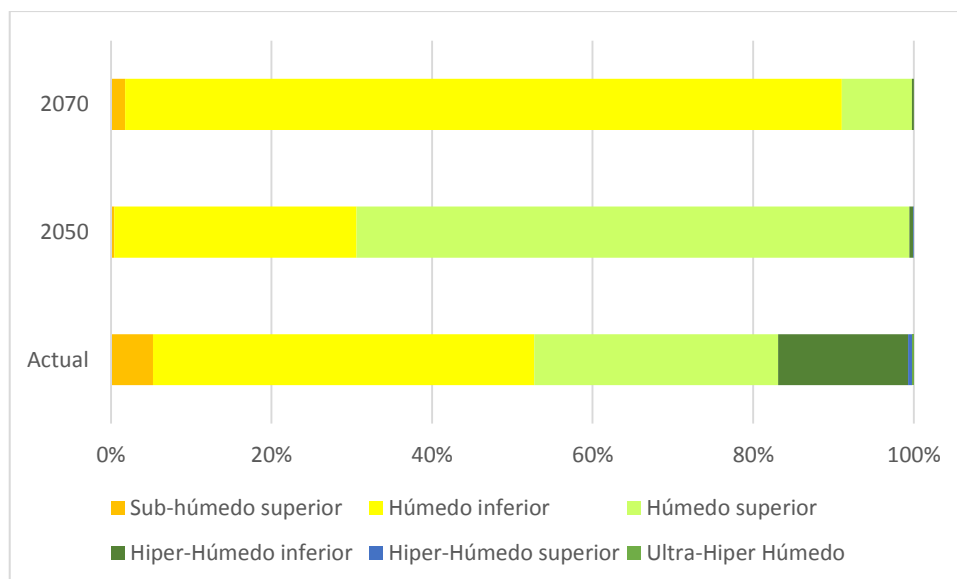


Figura 11. Cambios en los porcentajes de cobertura de los ombrotipos en los páramos de Tungurahua.

La Figura 12 muestra los ombrotipos presentes en los páramos de Tungurahua en la actualidad. La diversidad de ombrotipos está relacionado a la distribución de la precipitación y la temperatura determinada por la diferencia altitudinal de los páramos. En la actualidad se presentan 6 ombrotipos en la zona de estudio, los ombrotipos predominantes en área son el Húmedo inferior (50,10 % del área) y Húmedo superior (32,08 % del área).

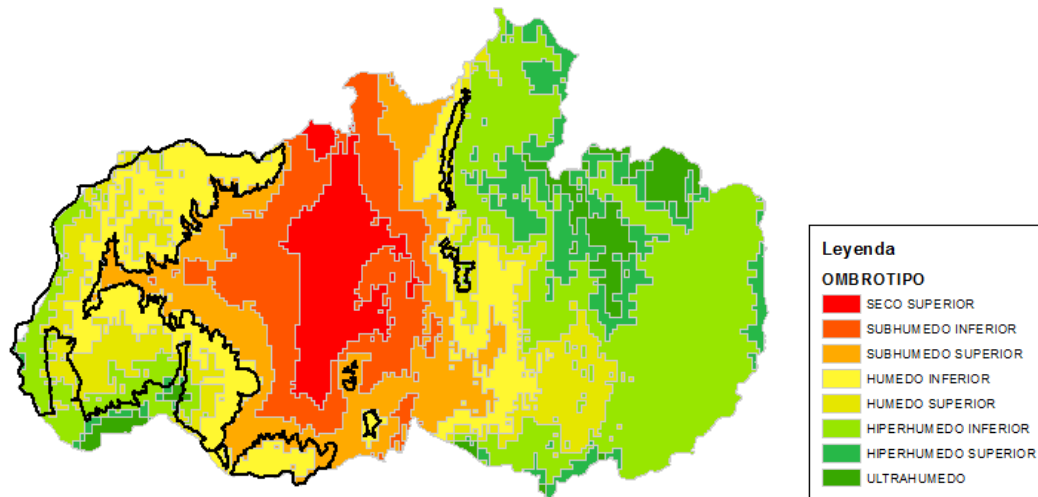


Figura 12. Índice ombrotérmico actual para los páramos de Tungurahua.

En el año 2050 se muestra una ampliación del ombrotipo Húmedo superior y una reducción del Húmedo inferior, ambos representan el 99,47% del área de estudio. Esto muestra una ampliación de los ombrotipos menos húmedos en los páramos y una reducción del ombrotipo Hiper-húmedo inferior de 17,07% del área en la actualidad a 0,45% en el año 2050 (Figura 13).

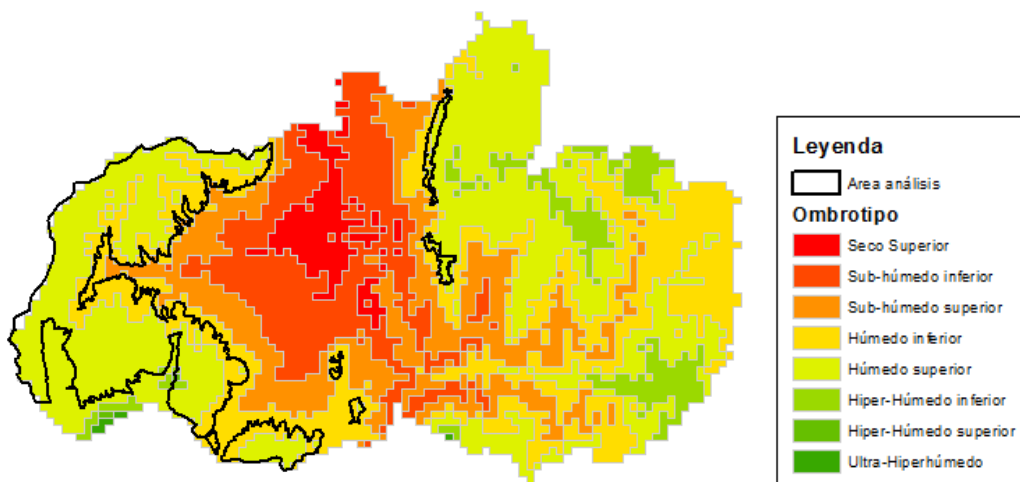


Figura 13. Índice ombrotérmico para el año 2050.

Para el año 2070, la variación más importante ocurre con el ombrotipo Húmedo inferior que pasa de cubrir el 30,30% en el año 2050 a cubrir el 90,88% en el año 2070 (Figura 14). Esto muestra una consolidación en área del ombrotipo húmedo inferior convirtiendo a los páramos en zonas menos húmedas comparadas con la condición actual y el año 2050.

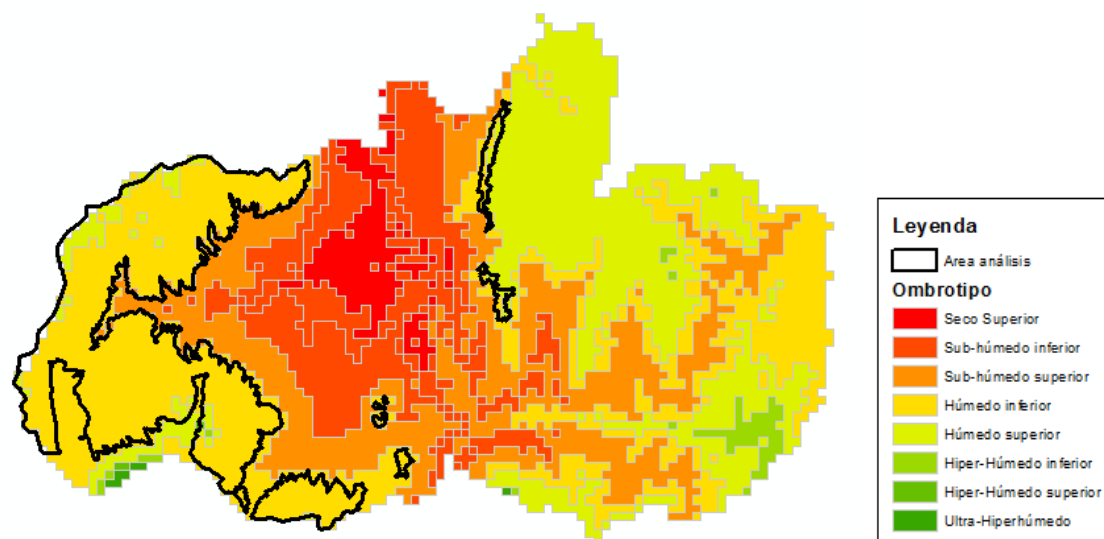


Figura 14. Índice ombrotérmico para el año 2070.

Impactos

El IPCC define los impactos como los efectos sobre los sistemas naturales y humanos. Los impactos a largo plazo se utilizan principalmente para hacer referencia a los efectos en la física y los sistemas humanos de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos y del cambio climático. Los impactos generalmente se refieren a los efectos sobre la vida, medios de vida, la salud, los ecosistemas, la economía, la sociedad, la cultura, los servicios y la infraestructura debido a la interacción de los cambios climáticos o eventos climáticos peligrosos que ocurren dentro de un período de tiempo específico y la vulnerabilidad de una sociedad o sistema expuesto. Los impactos son también conocidos como consecuencias o resultados. Los impactos del cambio climático en los sistemas geofísicos, incluyendo inundaciones, sequías, y aumento del nivel del mar, son un subconjunto de los impactos llamados impactos físicos (IPCC, 2014).

Por tanto, los impactos del cambio climático en el páramo de Tungurahua dependen de una serie de factores físicos, biológicos, sociales y económicos. Las decisiones políticas que se tomen sobre el manejo de los páramos, el uso del suelo y el agua estarán estrechamente relacionados a los impactos que puedan ocurrir como producto del cambio climático y las actividades antrópicas. Los riesgos relacionados con el cambio climático surgen de amenazas relacionadas con el clima (las tendencias y los extremos climáticos) y la vulnerabilidad de las sociedades, comunidades o sistemas expuestos (en términos de medios de subsistencia, infraestructura, servicios ecosistémicos y sistemas de gobernanza). La adopción de medidas eficaces para la adaptación al cambio climático y la reducción de los riesgos asociados con el cambio climático pueden dar respuesta a los tres aspectos del riesgo: amenazas, vulnerabilidad y exposición (CDKN, 2014).

Los impactos que el Cambio climático puede tener sobre el ecosistema páramo y los servicios ambientales que este ecosistema presta se pueden diferenciar entre aquellos sobre los cuales las medidas que se adopten localmente no cambian los impactos, por tanto se denominan impactos inevitables. Por otro lado, están los impactos que pueden ser mitigados con medidas de adaptación locales y políticas públicas adecuadas a las nuevas condiciones de cambio climático.

Impactos inevitables

Estos impactos están estrechamente relacionados al aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de precipitación locales. En su conjunto resultan en afectaciones a los ecosistemas locales y los servicios ambientales como el de regulación del ciclo hidrológico en el páramo. Estos impactos son el resultado del aumento de la temperatura que seguirá incrementándose a esta altitud.

Impactos del cambio climático en el ecosistema páramo

El informe del IPCC (IPCC, 2013) reconoce que incluso en niveles relativamente bajos de calentamiento, de 1 a 2 °C, como los que se identifican para los páramos de Tungurahua, muchos sistemas naturales únicos como los páramos están bajo amenaza, y en algunas regiones la productividad alimentaria, la salud humana y los recursos hídricos podrían sufrir impactos negativos. Estos impactos están relacionados a los cambios en la intensidad de las lluvias, la frecuencia de las mismas y en zonas como Tungurahua al derretimiento de los glaciares.

Distribución de ecosistemas

La información disponible y los análisis realizados en otras zonas de los Andes indican que las formaciones vegetales cambiarán sus patrones de distribución especialmente a nivel altitudinal (Tovar *et. al.*, 2013). En algunos casos los ecosistemas de los Andes ampliarían su distribución hacia zonas más bajas, en otras hacia zonas más altas. En el caso del ecosistema Páramo el estudio realizado por Tovar *et. al.* (2013) indica que habría una pérdida neta del área de cobertura de páramo en los Andes. Este fenómeno se puede esperar considerando los incrementos en la temperatura y por tanto una variación altitudinal de su distribución. Por su parte, los bosques siempre-verdes montanos que limitan con los páramos ocuparían parte del área cubierta actualmente por páramo. La resiliencia de los ecosistemas dependerá en gran parte del uso del suelo en las áreas del páramo y zonas aledañas a este ecosistema.

Reducción de glaciares

El informe del IPCC (IPCC, 2013) reconoce que la reducción de glaciares tiene un nivel de confianza alto de ocurrencia. En el caso de Tungurahua, la reducción de glaciares del Chimborazo y Carihuirazo tendrá un impacto directo sobre la distribución anual del caudal, afectando sobre todo a los caudales base que dependen en gran medida de los glaciares en época de precipitaciones menores. Los estudios realizados en el glaciar del Chimborazo indican pérdidas del 59,3% de su superficie entre 1962 y 1997 (Vuille, 2013) relacionados al cambio climático y aumento de la temperatura. Esta tendencia a la reducción en la superficie del glaciar se corrobora en un estudio desarrollado por La Frenierre (2012) que indica que el glaciar del Chimborazo ha retrocedido aproximadamente un 21% entre 1986 y 2012. Este mismo estudio (La Frenierre, 2012) indica que las comunidades dependientes de canales de riego como Las Abras en el cantón Guano son vulnerables ante una reducción del caudal proveniente del derretimiento del glaciar provocado por el cambio climático. La misma situación puede ocurrir en otros sistemas de riego como Chimborazo-Cunuyacu y Casimiro Pazmiño que dependen en gran medida del agua proveniente de los glaciares del Chimborazo y Carihuirazo.

Las comunidades aledañas al volcán Chimborazo y Carihuirazo dependen no solamente de los ríos formados por el derretimiento de los glaciares sino también de la infiltración de agua hacia vertientes ubicadas a varios kilómetros alrededor de estas montañas. Por tanto, en un escenario

de cambio climático se observará una reducción de la disponibilidad de agua para las comunidades cercanas y dependientes de estas montañas con glaciares.

Evapotranspiración

La evapotranspiración es un proceso clave en la regulación del ciclo hidrológico en los páramos. En la actualidad la alta nubosidad, baja temperatura, vegetación herbácea, alta humedad relativa permiten un bajo consumo de agua por parte del ecosistema páramo. Esto ha hecho del páramo uno de los ecosistemas con mayor rendimiento hídrico. Además, la evapotranspiración depende de otras variables como la dirección del viento, luminosidad, humedad relativa y radiación solar. Por tanto, los efectos del incremento de temperatura tiene efectos a nivel regional, a nivel global se ha observado un incremento de la evapotranspiración (confianza media) entre los años 80 y 90. La cantidad de incremento de evapotranspiración depende del sitio en el cual se analizó la información. Una reducción de la humedad puede llevar también a una reducción de la evapotranspiración a escala global (IPCC, 2013). A escala del páramo, un incremento de temperatura como el identificado por el modelo analizado que varía entre 1,82 y 2,53°C en los páramos de Tungurahua en los años 2050 y 2070, respectivamente; te incremento puede llevar al incremento de la evapotranspiración ya que aún existe la disponibilidad de agua proveniente de la precipitación en los páramos. Adicionalmente, el reemplazo de ecosistemas arbustivos (bosques siempre-verdes) por herbáceos (páramo) tendrá como consecuencia un mayor consumo de agua por parte de los ecosistemas arbustivos.

Impactos mitigables

Los impactos relacionados al cambio climático pueden ser mitigados en parte ya que están relacionados a las actividades antrópicas que se desarrollan en los páramos.

Manejo y recuperación de los páramos

Una de las mayores amenazas para la conservación del páramo es el cambio de uso del suelo para actividades ganaderas principalmente. El Fondo de Páramos de Tungurahua y Lucha Contra la Pobreza y la Dirección de Recursos Hídricos y Gestión Ambiental tienen un rol fundamental de fortalecer las organizaciones locales, incluir el eje de cambio climático en la planificación local y desarrollar medidas de adaptación que consideren los ejes de manejo sustentable de los páramos y recuperación de áreas degradadas. Los programas que se implementen en los páramos requieren considerar las áreas de recuperación necesarias para mantener las condiciones del suelo y por tanto su capacidad para regular el ciclo hidrológico. Se debe prohibir el uso de áreas de humedales para pastoreo o agricultura de cualquier tipo o la implementación de obras de infraestructura en zonas de humedales en buen estado de conservación.

Incremento de áreas de conservación de páramos

Es importante reforzar las iniciativas de conservación de páramos como Socio Páramo en predios que aún no son parte del programa. Por otra parte, se requiere definir áreas de conservación voluntarias tanto de comunidades como de propietarios individuales. Estas áreas de conservación de páramo se requieren para mantener una extensión de páramos lo suficientemente grandes y conectadas entre sí para permitir el flujo de especies de flora y fauna. El aporte de las comunidades para definir límites altitudinales para las actividades ganaderas y agrícolas es un aspecto fundamental a incluir en los planes de manejo de páramos específicos de cada organización.

Uso eficiente del agua

La mayor presión al páramo procede de la extracción de agua desde este ecosistema, el agua se usa principalmente para riego, pero también los poblados y ciudades dependen en su mayoría del agua que se extrae desde los páramos. Por esta razón, en un escenario de cambio climático es necesario implementar medidas de uso eficiente de agua en el sector agrícola, y efectuar un uso adecuado del recurso en las zonas urbanas e industriales. El sector riego es el que mayor atención requiere ya que más del 80% del agua que se consume se utiliza en este sector. Los nuevos sistemas de riego que se construyan y los que ya están en funcionamiento requieren implementar sistemas de medición automático de caudales en sus principales ramales; esta información será de gran importancia para definir las medidas de adaptación más adecuadas para cada sistemas productivos y definir las reales necesidades de agua de cada producto.

El uso eficiente de agua debe también realizarse en las zonas urbanas ya que debido al crecimiento poblacional los requerimientos de agua en las ciudades serán cada vez mayores y por tanto una mayor demanda de agua significa más infraestructura de captaciones en los páramos.

Políticas públicas

Las decisiones que a nivel político se tomen tendrán un impacto directo en la magnitud de los impactos que sufrirán los ecosistemas y los sistemas productivos humanos. De una política ambiental y de desarrollo compatibles con los nuevos escenarios climáticos depende la conservación de los páramos y su mantenimiento como un ecosistema de gran importancia para la regulación del ciclo hidrológico. Algunos de los lineamientos que deben considerar las políticas públicas son las siguientes:

- Considerar en todos los Planes de desarrollo y ordenamiento territorial el eje de cambio climático como un fenómeno transversal a todas las medidas de desarrollo.
- Antes de la construcción de nueva infraestructura de riego así como embalses en áreas de páramos contar con escenarios de cambio climático para efectuar las obras considerando los escenarios futuros en la zona de implementación de las infraestructuras.
- Limitar la construcción de nuevas vías en áreas de páramo que se encuentran en buen estado de conservación para frenar la ampliación de la frontera agrícola hacia zonas más altas.
- Impulsar mecanismos de compensación de servicios ambientales entre usuarios del agua y comunidades y propietarios individuales en los páramos para reducir la presión sobre los mismos.
- Estructurar programas de educación ambiental a largo plazo que privilegie la atención del tema de cambio climático en la agenda productiva y ambiental local.
- Reforzar los sistemas de monitoreo hidrometeorológico en especial aquellos sobre los 3600 metros de altitud para contar con información local para la evaluación de las amenazas climáticas locales sobre los sistemas productivos y ambientales de la provincia.

Conclusiones y recomendaciones

- De acuerdo al modelo y escenario analizados los páramos de Tungurahua experimentarán un aumento de temperatura de hasta 2,53°C para el año 2070.
- El modelo analizado muestra cambios en la cantidad de lluvia que precipitaría sobre los páramos, la reducción anual bordea el 10% en el año 2050 y el 7% en el año 2070 comparado con las condiciones actuales.
- El cambio climático se deber incorporar como un eje transversal en la gestión de los páramos y el ordenamiento del territorio a nivel provincial, y visualizar su importancia hacia el futuro del manejo de los recursos naturales de la provincia.
- El quinto informe del IPCC reconoce que solamente una eficaz adaptación al cambio climático puede reducir los impactos relacionados a este fenómeno sobre las poblaciones humanas, los sistemas productivos locales y los ecosistemas naturales.
- Se requiere reforzar la conservación del páramo como una medida privilegiada de adaptación al cambio climático. Un páramo en buen estado de conservación tendrá un mayor grado de resiliencia para soportar el aumento de la temperatura y el cambio en los patrones de precipitación. Por el contrario, un deterioro mayor de los páramos significaría ahondar los impactos negativos del cambio climático especialmente relacionados a la alteración del ciclo hidrológico que regula el páramo.
- Los cambios en los patrones de precipitación ejercerán una presión adicional al páramo y al requerimiento de agua desde las zonas bajas de la provincia. La reducción de la precipitación y el aumento de la población incrementarán el estrés hídrico en las zonas dependientes de los páramos analizados.

Bibliografía

- CDKN. 2014. El quinto reporte de evaluación del IPCC. ¿Qué implica para América Latina?. CDKN. Alianza Clima y Desarrollo.
- Herzog, S., Martínez, R., Jørgensen, P., Tiessen, H. 2011. Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), 348 pp.
- HGPT. 2014. Agenda Ambiental de Tungurahua. Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones y A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Hinrichsen, D., R. Robey and U. D. Upadhyay. 1998. Solutions for a Water-Short World. *Population Reports, Series M, No. 14*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University School of Public Health, Population Information Program. September 1998.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vázquez, A., y Cerra, M. 2014. Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. UICN, Quito, Ecuador.
- IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [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, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- La Frenierre, J. 2012. Glacier retreat and increased water resources vulnerability at Volcán Chimborazo, Ecuador. Poster. Ohio State University.
- MAE. 2013. Mapa bioclimático del Ecuador. Ministerio del Ambiente. Quito.
- Tovar, C., Arnillas, C.A., Cuesta, F., Buytaert, W. 2013. Diverging Responses of Tropical Andean Biomes under Future Climate Conditions. *PLoS ONE* 8(5): e63634. doi:10.1371/journal.pone.0063634
- Vuille, M. 2013. Climate change and water resources in Tropical Andes. Banco Interamericano de Desarrollo. Nota Técnica No. IDB-TN-515.

Anexos

Anexo 1. Catálogo de coberturas utilizadas para el análisis.

Cobertura	Temporalidad	Tipo	Año	Año	Año
Precipitación	Enero	Raster	Actual	2050	2070
Precipitación	Febrero	Raster	Actual	2050	2070
Precipitación	Marzo	Raster	Actual	2050	2070
Precipitación	Abril	Raster	Actual	2050	2070
Precipitación	Mayo	Raster	Actual	2050	2070
Precipitación	Junio	Raster	Actual	2050	2070
Precipitación	Julio	Raster	Actual	2050	2070
Precipitación	Agosto	Raster	Actual	2050	2070
Precipitación	Septiembre	Raster	Actual	2050	2070
Precipitación	Octubre	Raster	Actual	2050	2070
Precipitación	Noviembre	Raster	Actual	2050	2070
Precipitación	Diciembre	Raster	Actual	2050	2070
Precipitación acumulada	Anual	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura mínima	Enero	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura mínima	Febrero	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura mínima	Marzo	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura mínima	Abril	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura mínima	Mayo	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura mínima	Junio	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura mínima	Julio	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura mínima	Agosto	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura mínima	Septiembre	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura mínima	Octubre	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura mínima	Noviembre	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura mínima	Diciembre	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura máxima	Enero	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura máxima	Febrero	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura máxima	Marzo	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura máxima	Abril	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura máxima	Mayo	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura máxima	Junio	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura máxima	Julio	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura máxima	Agosto	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura máxima	Septiembre	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura máxima	Octubre	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura máxima	Noviembre	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura máxima	Diciembre	Raster	Actual	2050	2070
Temperatura promedio	Anual	Raster	Actual	2050	2070