



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ZONAS DE VIDA DE LA CORDILLERA CARABAYA

PRESENTADA POR:

RENNY DANIEL DIAZ AGUILAR

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAGISTER SCIENTAE EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PUNO, PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS

**EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ZONAS DE VIDA DE LA
CORDILLERA CARABAYA**

PRESENTADA POR:

RENNY DANIEL DIAZ AGUILAR

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

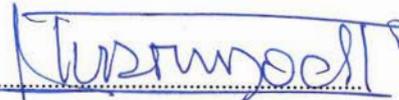
MAGISTER SCIENTAE EN INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE


.....
Ing. Mg. Sc. José David Velezvia Díaz

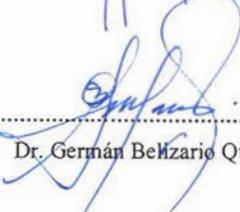
PRIMER MIEMBRO


.....
Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez

SEGUNDO MIEMBRO


.....
M.Sc. Wilber Fermín Laqui Vilca

ASESOR DE TESIS


.....
Dr. Germán Belzario Quispe

Puno, 22 de julio de 2022



DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios.

A mis padres, Daniel Díaz y María Aguilar por ser el motor para lograr mis más anheladas metas y su apoyo incondicional.

Finalmente, a mis hermanos Sheyla y Gerry por su apoyo incondicional.



AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, Universidad Nacional del Altiplano, Escuela de Posgrado, Maestría en Ciencias de la Ingeniería Agrícola, mención en Ingeniería Ambiental.

Al Dr. Germán Belizario Quispe, asesor del presente trabajo por brindarme su apoyo y asesoramiento para el desarrollo de esta tesis.

A los jurados de la presente tesis Ing. Mg. Sc. José David Velezvía Díaz, Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez y Dr. Wilber Fermín Laqui Vilca por los aportes y sugerencias realizadas.

A los docentes de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Agrícola por compartir sus conocimientos.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico	2
1.1.1 El clima y el sistema climático	2
1.1.2 Modelos climático global y simulación	2
1.1.3 Cambio climático (CC)	3
1.1.4 Efecto invernadero	4
1.1.5 Escenarios de cambios climáticos	5
1.1.6 Período de referencia (normal climática)	7
1.1.7 Zonas de vida de Holdridge (HLZ)	7
1.1.8 Ecosistemas de montaña	8
1.1.9 Sistema Holdridge	9
1.2 Antecedentes	12

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



2.1 Identificación del problema	18
2.3 Justificación	19
2.4 Objetivos	20
2.4.1 Objetivo general	20
2.4.2 Objetivos específicos	20
2.5 Hipótesis	20
2.5.1 Hipótesis general	20
2.5.2 Hipótesis específicas	20

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio	21
3.2 Población	21
3.3 Muestra	21
3.5 Descripciones detalladas de métodos por objetivos específicos	22
a) Descripciones de variables examinadas en los objetivos específicos	22
b) Descripciones del uso de materiales y equipos	22
c) Aplicación de prueba estadística inferencial.	24
3.5.1 Determinación de las zonas de vida para el periodo de referencia	24
3.5.2 Estimación de zonas de vidas al periodo 2050 y 2070.	32

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Mapas climáticos del período de referencia	34
4.1.1 Validación de productos climáticos WorldClim (WC)	34
4.1.2 Mapa de biotemperatura	34
4.1.3 Mapa de precipitación	36
4.1.4 Mapa de provincias de humedad o “ratio” de evapotranspiración	38
4.1.5 Validación de las HLZ	39



4.2	HLZ de la cordillera Carabaya.	40
4.2.1	Nival subtropical (NS)	45
4.2.2	Tundra pluvial - Andino subtropical (tp-AS)	45
4.2.3	Páramo muy húmedo – Sub andino subtropical (pmh-SaS)	49
4.2.4	Bosque húmedo - Montano subtropical (bh – MS)	49
4.2.5	Bosque muy húmedo - Montano subtropical (bmh – MS)	52
4.2.6	Bosque húmedo - Montano bajo subtropical (bh – MBS)	52
4.2.7	Bosque muy húmedo - Montano bajo subtropical (bmh – MBS)	54
4.2.8	Bosque muy húmedo - Premontano subtropical (bmh – PS)	56
4.2.9	Bosque pluvial - Premontano subtropical (bp – PS)	57
4.3	Proyección futura de las HLZ	59
4.3.1	Proyecciones de temperatura media anual al periodo 2050 y 2070	60
4.3.2	Proyecciones de precipitación al periodo 2050 y 2070	66
4.3.3	Proyecciones de las HLZ al 2050	72
4.3.4	Proyecciones de las HLZ al 2070	74

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Escenarios del quinto informe del IPCC, proyectados de las temperaturas para el año 2100	6
2. Regiones latitudinales y pisos altitudinales en función a la temperatura	11
3. Estaciones meteorológicas para el área de estudio	23
4. Métricas estadísticas de desempeño para evaluar los productos de WC	26
5. Intervalos de biotemperatura según Holdridge	27
6. Intervalos de precipitación según Holdridge	28
7. Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación	29
8. Relación de evapotranspiración potencial con las provincias de humedad	30
9. Métricas estadísticas de desempeño evaluados de los productos de WorldClim	34
10. HLZ en la cordillera Carabaya para periodo de referencia (1961-1990)	41
11. Tasas de cambio porcentual de las zonas de vida de diez modelos de circulación general evaluados para el RCP4.5 al período 2050	78
12. Tasas de cambio porcentual de las zonas de vida de diez modelos de circulación general evaluados para el RCP8.5 al período 2050	78
13. Tasas de cambio porcentual de las zonas de vida de diez modelos de circulación general evaluados para el RCP4.5 al período 2070	79
14. Tasas de cambio porcentual de las zonas de vida de diez modelos de circulación general evaluados para el RCP8.5 al período 2070	80
15. Variaciones de nuevas zonas de vida en % proyectadas al 2050 bajo el escenario RCP4.5	80
16. Variaciones de nuevas zonas de vida en % proyectadas al 2050 bajo el escenario RCP 8.5	81
17. Variaciones de nuevas zonas de vida en % proyectadas al 2070 bajo el escenario RCP4.5	81
18. Variaciones de nuevas zonas de vida en % proyectadas al 2070 bajo el escenario RCP8.5	82

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Modelo conceptual del sistema climático.....	2
2. Esquema de representación de un modelo global.....	3
3. Contribuciones de los GEI a los forzamientos radiativos en la tierra	4
4. Concentración de CO ₂ en la atmósfera en los últimos 20,000 años	5
5. Concentración de CO ₂ equivalente para distintos escenarios de emisión.....	7
6. Diagrama bioclimático de Holdridge.....	10
7. Ámbito de influencia de la cordillera Carabaya.	21
8. Ubicación de las estaciones meteorológicas para el área de estudio.	24
9. Esquema de aplicación de downscaling estadístico.....	25
10. Diagrama de dispersión para temperatura máxima observada y simulada	35
11. Diagrama de dispersión para temperatura mínima observada y simulada.....	35
12. Mapa de biotemperatura media anual (°C), período 1961-1990.....	36
13. Diagrama de dispersión para precipitación observada y simulada	37
14. Mapa de precipitación anual (mm), período 1961-1990.....	38
15. Mapa de provincias de humedad, período 1961-1990.....	39
16. Ubicación de los puntos de control.....	40
17. HLZ para la cordillera Carabaya, período de referencia	42
18. Comparación de las HLZ para la cordillera Carabaya a) ONERN-INRENA, b) SENAMHI y c) Tesista.....	44
19. HLZ Nival subtropical.....	47
20. HLZ Tundra pluvial - Andino subtropical.....	48
21. HLZ Páramo muy húmedo - Subandino subtropical.	50
22. HLZ Bosque húmedo - Montano subtropical (Distrito Ollachea).	51
23. HLZ Bosque muy húmedo – Montano subtropical (Distrito Ollachea).	53
24. HLZ Bosque húmedo – Montano bajo subtropical (Distrito Ollachea).....	54
25. HLZ Bosque muy húmedo – Montano bajo subtropical (Distrito Ollachea).....	56
26. HLZ Bosque muy húmedo – Premontano subtropical (San Gabán).....	58
27. HLZ Bosque pluvial - Premontano subtropical (San Gabán).	59
28. Ensamble de temperatura media al 2050 y 2070 para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5	61
29. Tendencias de temperatura media - RCP 4.5 al 2050.....	62
30. Tendencias de temperatura media - RCP 4.5 al 2070.....	63
31. Tendencias de temperatura media - RCP8.5 al 2050.....	64
32. Tendencias de temperatura media - RCP8.5 al 2070.....	65



33.	Ensamble de precipitación al 2050 y 2070 para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5	67
34.	Tendencias de precipitación - RCP4.5 al 2050.....	68
35.	Tendencias de precipitación - RCP4.5 al 2070.....	69
36.	Tendencias de precipitación - RCP8.5 al 2050.....	70
37.	Tendencias de precipitación - RCP8.5 al 2070.....	71
38.	Proyecciones de HLZ al 2050 bajo el escenario RCP4.5	83
39.	Proyecciones de HLZ al 2050 bajo el escenario RCP8.5	84
40.	Proyecciones de HLZ al 2070 bajo el escenario RCP4.5	85
41.	Proyecciones de HLZ al 2070 bajo el escenario RCP8.5	86



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Ficha de registros	98
2. Pruebas estadísticas de contrastaciones de hipótesis	107
3. Panel fotográfico	119



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

CC	: Cambio Climático
CMIP	: Proyecto de intercomparación de modelos acoplados
DEM	: Modelo de Elevación Digital
GCM	: Modelos de Circulación General
GEI	: Gases de efecto invernadero
HLZ	: Zonas de Vida de Holdridge
IPCC	: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
INAIGEM	: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña
INRENA	: Instituto Nacional de Recursos Naturales
MINAM	: Ministerio del ambiente
OMM	: Organización Mundial de Meteorología
ONERN	: Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales
PISCO	: Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations
RCP	: Trayectorias de concentración representativas
WORLDCLIM	: Base de datos de datos meteorológicos y climáticos globales de alta resolución espacial
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

RESUMEN

Una alternativa para evaluar los impactos del cambio climático (CC) sobre los ecosistemas de montaña, es a través del uso de Zonas de Vida de Holdridge (HLZ). Se evaluaron los efectos del CC sobre las HLZ de la cordillera Carabaya para un futuro centrado en el 2050 y 2070 de acuerdo a proyecciones de los Modelos de Circulación General, y bajo dos escenarios de emisión RCP4.5 y RCP8.5. Las HLZ para el periodo de referencia (1961-1990), fueron determinados con el modelo bioclimático de Holdridge a partir de información climática grillada del WorldClim (WC) previa reducción de escala estadística y validación con información climática observada. Se determinaron 9 HLZ para la cordillera Carabaya, siendo los más representativos, el Páramo (41.2%), Bosque húmedo-Montano Subtropical (bh-MS, 20.3%) y la Tundra (14.6%); la zona Nival ocupa el 2.2%. Los cambios más alarmantes se observaron bajo el escenario RCP8.5 afectando principalmente las HLZ Nival, Tundra y Páramo con reducciones del 96.1%, 92.7% y 33.9% para el 2050, y 98.8%, 99.2% y 71.7% para el 2070 respectivamente. por otro lado, dichas HLZ se desplazarían a mayores altitudes reduciendo sus áreas de transición entre ellas. Finalmente, la HLZ bh-MS aumentaría en un 86.8% y 131.6% para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente desplazando a la Tundra y Páramo.

Palabras clave:

Cambio climático, cambio de vegetación, cordillera Carabaya, modelo bioclimático de Holdridge, zonas de vida de Holdridge.

ABSTRACT

An alternative to assess the impacts of climate change (CC) on mountain ecosystems is through the use of Holdridge Life Zones (HLZ). The effects of CC on the HLZ of the Carabaya mountain range were evaluated for a future centered on 2050 and 2070 according to projections of the General Circulation Models, and under two emission scenarios RCP4.5 and RCP8.5. The HLZ for the reference period (1961-1990) were determined with the Holdridge bioclimatic model from WorldClim (WC) gridded climate information, after statistical downscaling and validation with observed climate information. 9 HLZ were determined for the Carabaya mountain range, the most representative being the Páramo (41.2%), Subtropical Humid Forest-Montane (bh-MS, 20.3%) and the Tundra (14.6%); the Nival area occupies 2.2%. The most alarming changes were observed under the RCP8.5 scenario, mainly affecting the Nival, Tundra and Páramo HLZs with reductions of 96.1%, 92.7% and 33.9% by 2050, and 98.8%, 99.2% and 71.7% by 2070, respectively. On the other hand, these HLZs would move to higher altitudes, reducing their transition areas between them. Finally, the HLZ bh-MS would increase by 86.8% and 131.6% for the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, respectively, displacing the Tundra and Páramo.

Keywords:

Climate change, vegetation change, Carabaya mountain range, Holdridge bioclimatic model, Holdridge life zones.

INTRODUCCIÓN

Los Andes Tropicales (AT), son ecosistemas con una alta variabilidad climática, morfológica y biótica, que lo hacen muy sensibles frente un cambio climático (CC). Los AT se caracterizan por sus variabilidad en geografía y clima, que condicionan la presencia de ecosistemas y el desarrollo de vegetación dándole una gran heterogeneidad de ecosistémica y por ende de alta biodiversidad, por ello son necesarios políticas para promover su conservación y aprovechamiento sostenible (Josse *et al.*, 2009).

Según el quinto informe del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC), el CC es una de las más importantes amenazas y desafíos para la humanidad del siglo XXI (Romero-Cuéllar *et al.*, 2018), y es el problema ambiental más relevantes a nivel mundial debido a sus impactos que generaría el incremento de la temperatura media mundial y el cambio de la precipitación (Montero-Martínez *et al.*, 2013).

El CC representan una grave amenaza para la biodiversidad, sin embargo, aún persiste la incertidumbre sobre sus posibles impactos en los ecosistemas de montaña, su biodiversidad y en los servicios ecosistémicos que brindan. Con el fin de poder realizar planificación y acciones frentes a los posibles impactos para tomar medidas con el fin de reducir la vulnerabilidad, es necesario identificar los ecosistemas más expuestos y sensibles (IPCC, 2014). En las evaluaciones del CC, generalmente se utilizan Modelos de Circulación General (GCM), que son representaciones numéricas tridimensionales de la dinámica de la atmosfera y la circulación global en la tierra (Salman *et al.*, 2020), que incluyen la simulación de procesos físicos de circulación global de la atmosfera, de los océanos y la superficie terrestre, siendo los instrumentos más confiables para predecir futuras respuestas climáticas al incremento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera (IPCC, 2014).

Frente a lo expuesto, es de necesidad realizar estudios de investigación para identificar los probables efectos del CC en los ecosistemas de montaña de la cordillera Carabaya a través de la aplicación de zonas de vida de Holdridge (HLZ). Con esta metodología se busca aportar información técnica-científica sobre los posibles efectos del CC sobre las HLZ. Se espera con esta investigación aportar en las decisiones y planificación de medidas de adaptación y mitigación en el contexto del CC en la cordillera Carabaya.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 El clima y el sistema climático

Está compuesto de 05 componentes primordiales: la atmósfera, la criósfera, la hidrósfera, la litósfera, la biósfera y la interacción entre estos componentes. El sistema climático (Figura 1) cambia con el tiempo bajo las influencias de sus propias dinámicas internas y de influencias externas. (p. ej., cambios solares, erupciones volcánicas) y forzamientos antropogénicos (p. ej., cambios en las composiciones atmosférica y en el uso de la tierra) (Agencia Estatal de Meteorología y Oficina Española de Cambio Climático, 2021).

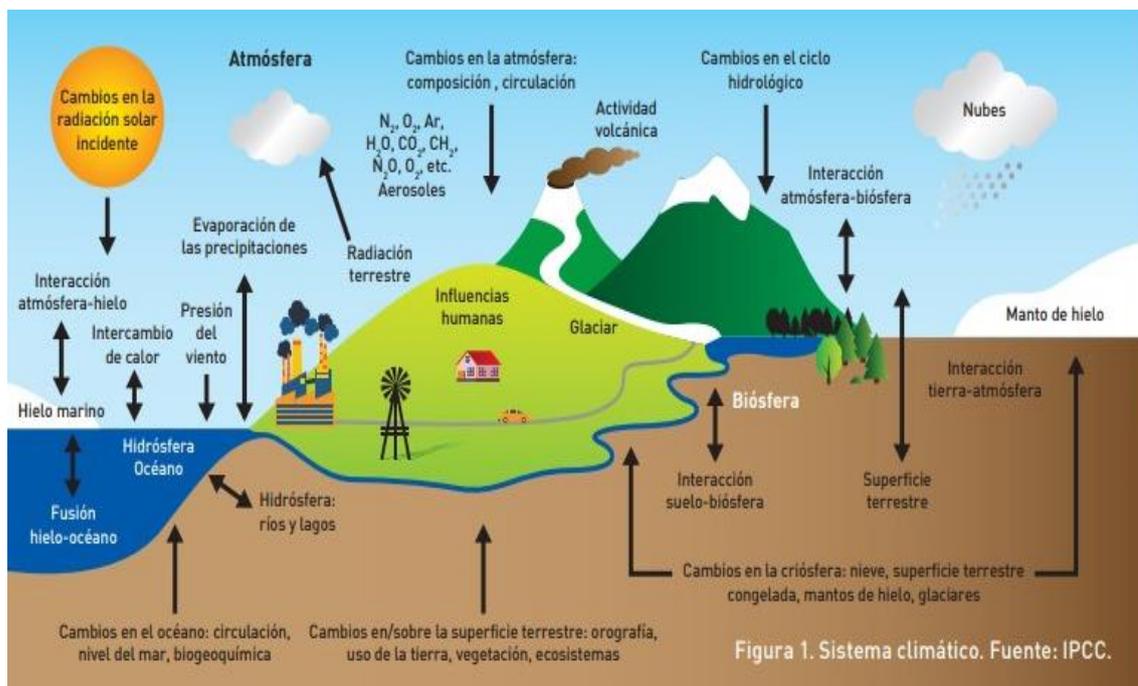


Figura 1. Modelo conceptual del sistema climático

Fuente: IPCC (2021).

1.1.2 Modelos climático global y simulación

Son representaciones matemáticas simplificadas de la realidad climática global, que comprende los procesos atmosféricos, oceánicos y continentales; y de las relaciones que se dan entre sí (Mekonnen *et al.*, 2019). Los modelos de circulación general GCM son actualmente la herramienta más confiable para predecir tendencias futuras en el clima y

la variabilidad (Salman *et al.*, 2020). Las simulaciones de los GCM generados por el proyecto de Inter Comparación de los Modelos Acoplados (CMIP) son más significativos para las proyecciones cuantitativas del clima para el siglo XXI (Baker y Huang, 2014), estos GCM vienen siendo utilizados como las herramientas principales para el análisis de los cambios climáticos del futuro y del pasado (Kim *et al.*, 2020).

Las simulaciones climáticas, tanto pasadas como futuras, se realizan con ayuda de modelos que tratan de producir el comportamiento del sistema climático. Estos modelos climáticos son programas informáticos que se fundamentan en ecuaciones de los diferentes procesos físicos de los componentes del sistema climático y que controlan las evoluciones de los diferentes mecanismos del sistema climático, su interacción y proceso de retroalimentación, ver Figura 2. Estos modelos permiten estimar posibles incertidumbres clave para producir cambios en los factores climáticos (Agencia Estatal de Meteorología y Oficina Española de Cambio Climático, 2021).

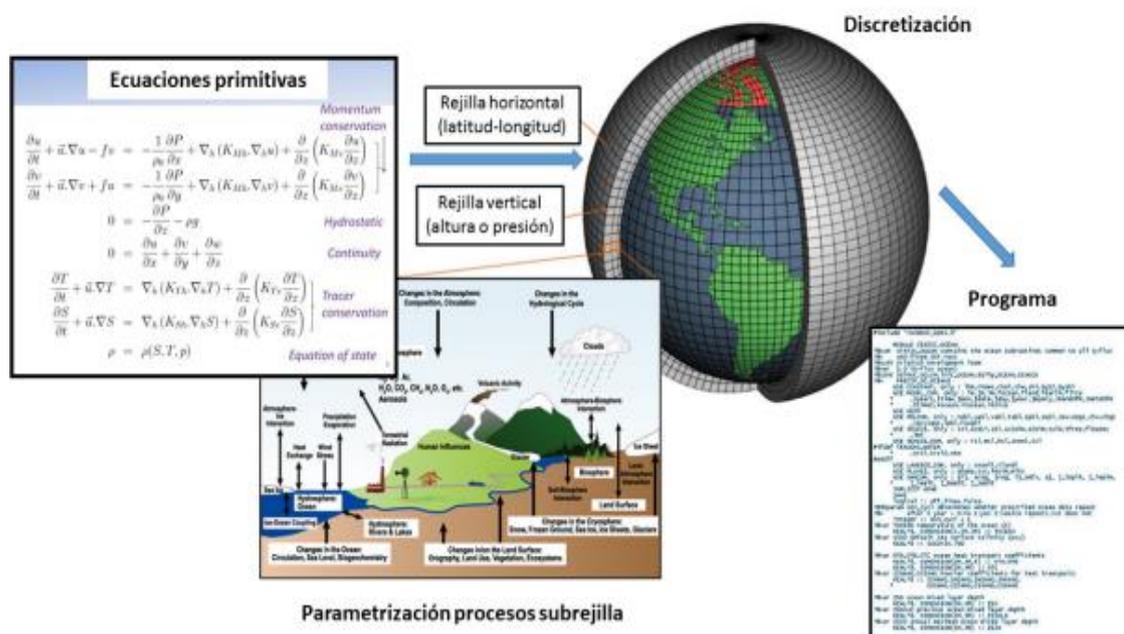


Figura 2. Esquema de representación de un modelo global

Fuente: Oficina Española de Cambio Climático y Agencia Estatal de Meteorología (2021).

1.1.3 Cambio climático (CC)

Según el IPCC (2019), CC ocurre cuando es posible identificar con los cambios en los valores medios o las variabilidades en sus propiedades del clima, mediante comparaciones con sus medias y pruebas estadísticas, durante un período largo de tiempo de 30 años o más. Asimismo, se ha mencionado que dichos cambios pueden atribuirse a procesos naturales internos o externos, como la modulación del ciclo solar, la erupción volcánica y el continuo cambio antropogénico en las composiciones atmosférica o el uso del suelo, ver Figura 3.

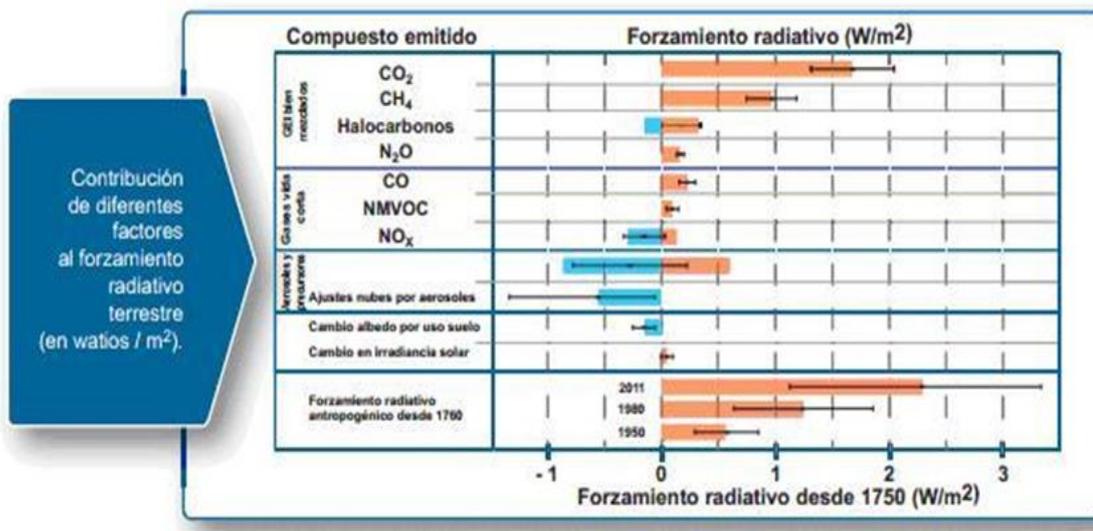


Figura 3. Contribuciones de los GEI a los forzamientos radiativos en la tierra

Fuente: IPCC (2014).

1.1.4 Efecto invernadero

Hace referencia a un mecanismo por el cual la atmósfera de la tierra se calienta. En la Figura 4 observamos la evolución de las concentraciones de CO₂ en el tiempo (IPCC, 2014). El incremento de las concentraciones atmosférica de CO₂ contribuye al efecto invernadero, ya que los gases como el CO₂ absorben y emiten energía que queda atrapada en la atmósfera.

Según el IPCC, los gases de efecto invernadero son uno de los principales impulsores de los cambios climáticos ya que contribuyen decisivamente al forzamiento radiativo, generando cambios en el balance energético entre las entradas y salidas de energía en el sistema Tierra-atmósfera (Organización Meteorológica Mundial, 2021). En la Figura 4, se muestra la variación en el tiempo de la concentración de CO₂, pudiendo observar los

cambios temporales de la presencia este gas de efecto invernadero, es notorio observar que el CO₂ se ha incrementado de manera significativa desde la revolución industrial.



Figura 4. Concentración de CO₂ en la atmósfera en los últimos 20,000 años

Fuente: IPCC (2021).

1.1.5 Escenarios de cambios climáticos

Son representaciones del climas futuros de manera simplificada y están destinados a ser utilizados en simulaciones para estudiar los efectos del CC antropogénico sobre los ecosistemas y medios de vida de la humanidad (Ríos, 2016).

Según el Quinto Informe del IPCC (2014), se consideran 4 escenarios de emisión, conocidos como Vías de Concentraciones Representativas (RCPs). Estos RCPs representan fluctuaciones entre 2,6 y 8,5 W/m² debido a sus forzamientos radiativos totales al año 2100. Los cuatro escenarios RCPs contienen posibles tendencias sobre, como los esfuerzos de mitigación dan como resultado niveles de forzamientos que pueden ser: escenarios muy optimistas (RCP2.6), 02 escenarios de estabilizaciones (RCP4.5 y RCP6.0) en los que la emisión se reduce de forma efectiva, alcanzando una meseta en promedio para 2050, y un escenario de emisiones muy altas (RCP8.5), en el que no se

toman medidas y seguirían las emisiones en el mismo grado que hoy en día, como se evidencia en la Tabla 1 y la Figura 5.

Tabla 1

Escenarios del quinto informe del IPCC, proyectados de las temperaturas para el año 2100

	FR	Tendencia del FR	CO ₂ en 2100
RCP 2.6	2,6 W/m ²	Decreciente en 2100	421 ppm
RCP 4.5	4,5 W/m ²	Estable en 2100	538 ppm
RCP 6.0	6,0 W/m ²	Creciente	670 ppm
RCP 8.5	8,5 W/m ²	creciente	936 ppm

Fuente: IPCC (2014).

En la Figura 5, se observan los 4 escenarios RCPs con sus respectivos forzamientos radiactivo y sus tendencias de acuerdo a la evolución de las concentraciones de CO₂ al 2100.

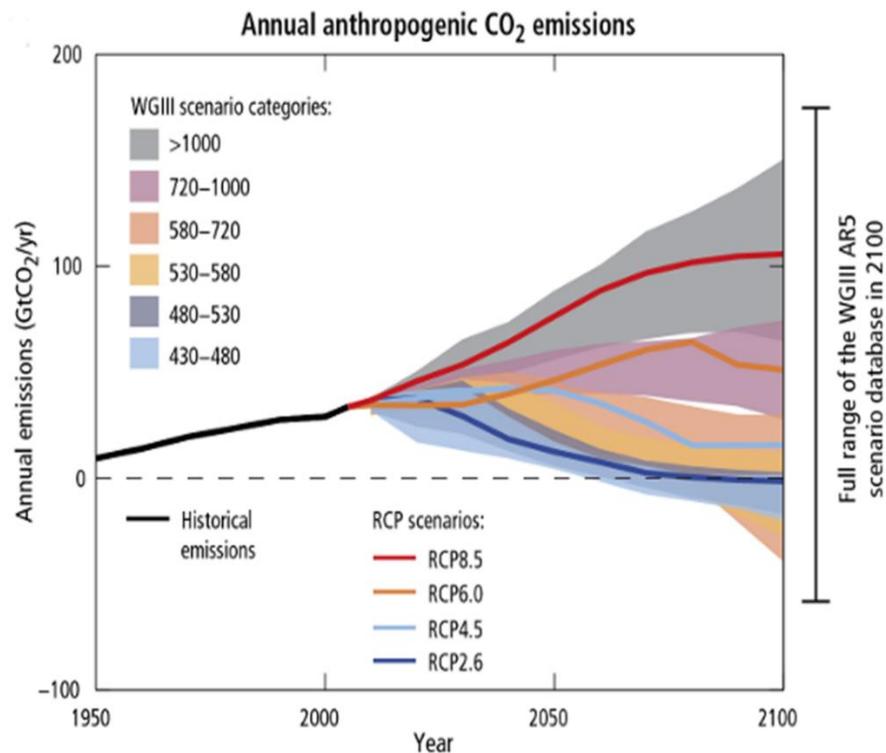


Figura 5. Concentración de CO₂ equivalente para distintos escenarios de emisión

Fuente: IPCC (2014).

Las continuas emisiones de gases de efecto invernadero están causando el calentamiento global actual. Si las emisiones continúan siendo igual o superior a la actual, darán como resultado cambios en las mayorías de los elementos de los sistemas climáticos, algunos de estos cambios no tienen precedentes en cientos o miles de años (IPCC, 2014).

1.1.6 Período de referencia (normal climática)

La Organización Mundial de Meteorología (OMM) menciona que es necesario considerar una línea base climática estable para las evaluaciones a largo plazo como los impactos del CC y las variabilidades del clima. La OMM, plantea períodos de referencias fijos de 30 años desde el 1 de enero de 1961 hasta el 31 de diciembre de 1990 como el periodo de referencia para la evaluaciones del CC (OMM, 2012), adicionalmente el SENAMHI toma en consideración dichas recomendaciones estableciendo la normal climática para las vigilancias de los CC y variabilidades climáticas los períodos de referencias fijos o normal climática los años comprendidos entre 1961-1990 (Correa *et al.*, 2019).

1.1.7 Zonas de vida de Holdridge (HLZ)

Son conjuntos de territorios que contienen distintas componentes de paisajes con características similares en vegetación y clima. Las HLZ se establecen a partir de la combinación de 3 variables climáticas: biotemperatura, precipitación y la relación entre evapotranspiración y precipitación. Se ha demostrado que las condiciones climáticas de un territorio condicionan la presencia o no de la vegetación, en ese sentido se podría afirmar que las HLZ son clasificaciones bioclimáticas que limitan el desarrollo de la vegetación y ecosistemas. Un cambio en las variables climáticas, provocaría cambios en la distribución de las HLZ, en ese sentido las HLZ permiten inferir las posibles consecuencias del CC en diferentes ecosistemas en función de la relación de las variables climáticas con las HLZ (Holdridge, 1978 como se citó en Aybar *et al.*, 2017).

1.1.8 Ecosistemas de montaña

El concepto de ecosistema se ha convertido en una herramienta poderosa para integrar la ecología con otras disciplinas como la geoquímica, la hidrología, las ciencias atmosféricas y sociales. En ese sentido se define ecosistema como un conjunto de organismos (elementos) y su medio físico interactuando en un lugar y que en conjunto forman una unidad básica de la naturaleza que pueden incluir una o más comunidades (Tansley, 1935). Podríamos afirmar que las montañas son grandes ecosistemas con un conjunto de elementos físicos (geomorfológicos, fisiográficos, climáticos, etc.), y elementos biológicos (flora y fauna) que interactúan entre sí, las interacciones entre todos estos elementos del ecosistema proveen de servicios a otros ecosistemas que dan sostenibilidad a la vida y al desarrollo del hombre (MINAM, 2015).

Dentro de estos grandes ecosistemas, existen pequeños subsistemas como: lagunas, bofedales, bosques, pajonales, valles rocosos y glaciares, estos subsistemas se encuentran en plena transformación debido al CC poniendo en riesgo la alta biodiversidad endémica que habita en ellas. Según el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM, en los Andes peruanos existen seis tipos de ecosistemas: “*bofedales, bosque relicto altoandino, bosque xérico interandino, cardonal, matorral arbustivo y pajonal andino*”. Por otro lado, el ministerio del ambiente – MINAM, identificó 12 ecosistemas en la región andina: “*páramo, pajonal de puna seca, pajonal de puna húmeda, bofedal, zona periglacial y glaciar, jalca, matorral de puna seca, bosque relicto altoandino (queñoal y otros), bosque relicto montano de vertiente*”.

occidental, bosque relicto mesoandino, bosque estacionalmente seco interandino y matorral andino” (MINAM, 2015).

1.1.9 Sistema Holdridge

Muchos estudios ecológicos han demostrado que el desarrollo de las plantas y la presencia de animales responden a otros factores ambientales como la temperatura, la precipitación y el clima en general (Holdridge, 1978). Durante el último siglo, se han venido realizando esfuerzos continuos por diferentes ciencias ambientales para lograr una clasificación global de los organismos vivos según sus características generales. La relación que existe entre el clima y la distribución de las especies es motivo de esfuerzos que buscan correlacionar la distribución de la flora y los tipos de vegetación con diversos factores climáticos (Yue *et al.*, 2001). Thornthwaite (1931) ideó una clasificación climática considerando las características de vegetación, suelo y drenaje sobre la base de la clasificación climática de Köppen, sin embargo, estas clasificaciones son a nivel global y de baja resolución.

Para mejorar el inconveniente de los sistemas de clasificación anteriores que son demasiado toscos e inaplicables a todo el mundo, Holdridge en 1947 ideó un modelo de clasificación bioclimática (Figura 6) al que denominó zonas de vida de Holdridge (HLZ). El modelo de HLZ divide al mundo en más de 100 HLZ en términos de la biotemperatura, precipitación y evapotranspiración potencial.

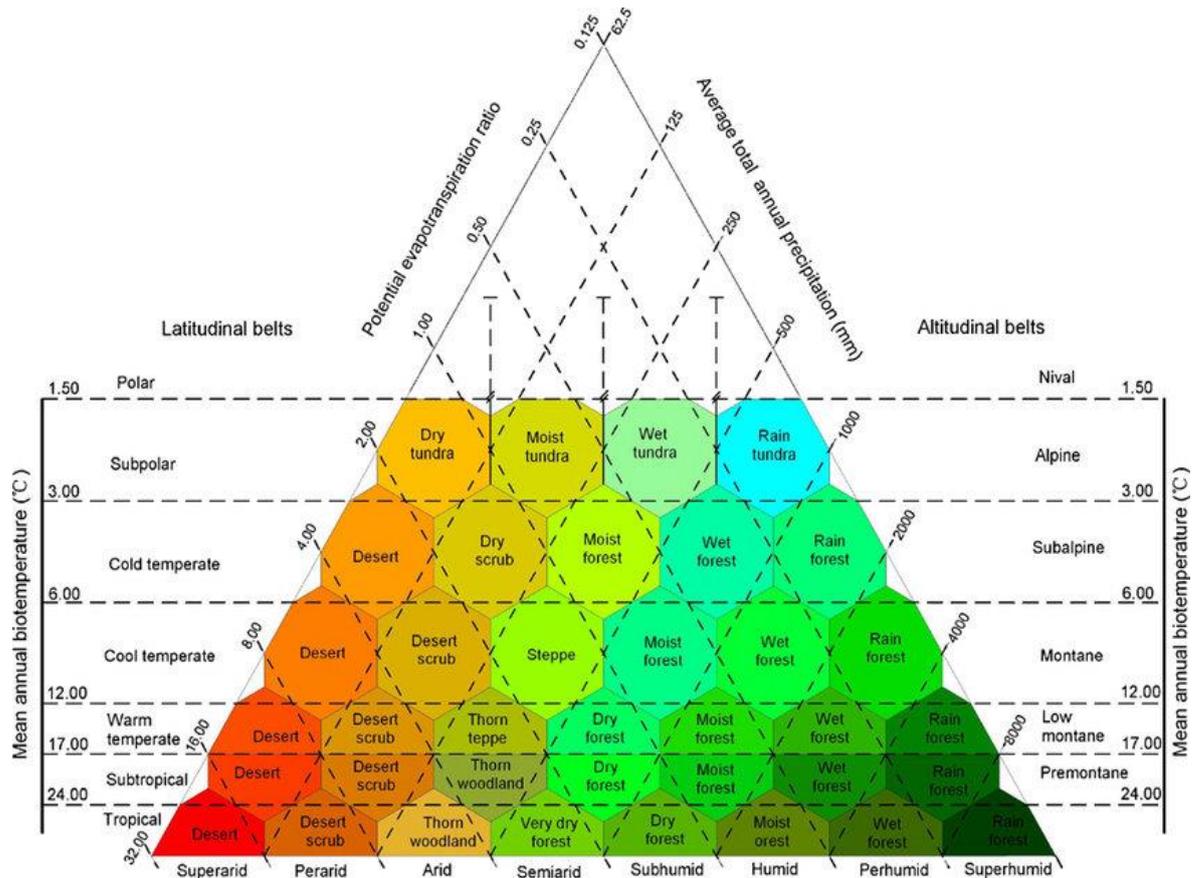


Figura 6. Diagrama bioclimático de Holdridge

Fuente: Fan (2013), citado de Holdridge (1947).

1.1.9.1 Variables para clasificación de zonas de vida

a. Biotemperatura (BT)

Holdridge (1947) define la BT, como la temperatura del aire que varía en el rango de 0°C a 30°C. Este factor climático condiciona el ritmo y las intensidades de los procesos fisiológicos de las plantas (respiración, transpiración y fotosíntesis), y la pérdida de agua por procesos de evaporación directas del agua contenida en el suelo y las plantas (INRENA, 1995 como se citó en Aybar *et al.*, 2017).

Existe 3 formas de estimar la biotemperatura (BT) mensual o diaria:

- Contar con datos mensuales o diarios de temperaturas máximas y mínimas. Se suma los dos valores y se divide por 2, suponiendo que un valor negativo es 0 °C y un valor mayor es 30 °C.

- Contar con datos de temperatura por hora (o valores medidos a las 7:00 a. m., 1:00 p. m., 7:00 p. m.), los valores negativos son 0 °C, así mismo 30 °C cualquier otro valor superior a este y finalmente se obtiene el promedio de estas.
- Un método menos preciso es usar los datos mensuales directamente, si la temperatura promedio está entre 6 °C y 24 °C, entonces BT es igual:

La biotemperatura (BT) superior a 24 °C, se tabula como:

$$T = T_{med} - \frac{3 * lat}{100} (T_{med} - 24)^2$$

Donde:

- Tmed-- son datos de temperatura media
- lat -- presenta la latitud.

Finalmente, si la biotemperatura es inferior a 6 °C, la BT media se tabula como:

$$BT = \frac{T_{mmax}^2}{2 * (T_{mmax} - T_{mmin})}$$

Tabla 2

Regiones latitudinales y pisos altitudinales en función a la temperatura

Temperatura	Regiones latitudinales	Pisos altitudinales
Más de 24° C	Tropical	Tropical
De 18° C a 24° C	Subtropical	Premontano
De 12° C a 18° C	Templado	Montano bajo
De 6° C a 12° C	Templada fría	Montano
De 3° C a 6° C	Boreal	Subalpino
De 1.5° C a 3° C	Subpolar	Alpino
Menos de 1.5° C	polar	Nival

Fuente: Aybar *et al.* (2017).

b. Precipitación (PP)

Es el agua de la atmósfera que cae a la superficie terrestre en forma líquida o sólida (Gutiérrez, 2014). Según Davie y Wyndham (2019), “es la liberación de agua de la atmósfera para llegar a la superficie de la Tierra”, incluidas todas las formas en las que caen: nieve, la aguanieve, el granizo y la lluvia. Para la estimación de las HLZ, se requiere de la precipitación total de un año expresado en milímetros (mm).

c. Humedad ambiental o “ratio” de Evapotranspiración

Está determinado por las interrelaciones de 2 variables: biotemperatura (BT) y la precipitación (PP); por lo que cuanto mayor sea la tasa de evapotranspiración, mayor será la BT, si hay suficiente agua almacenada en el suelo (Aybar *et al.*, 2017).

La ratio de evapotranspiración potencial (RETP), es la relación entre la cantidad de agua que se evapora de forma directa del suelo y otras superficies; además, de la transpiración de la vegetación (plantas), con respecto a la cantidad de precipitación total anual. Esta relación genera en un estado óptimo de humedad sobre las características del suelo y las plantas. La RETP depende de varios factores como: la radiación solar, las presiones atmosféricas, las velocidades del viento, la temperatura del aire, el flujo de calor en el suelo y la humedad relativa (Ordoñez, 2011).

A diferencias de las PP y BT, la RETP no se puede estimar directamente. Sin embargo, Holdridge demostró que esto se puede estimar el RETP para una asociación climática al dividir la “evapotranspiración potencial anual” por la “precipitación anual” (Aybar *et al.*, 2017).

$$R_{ETP} = \frac{ETP}{PP}$$

Donde:

R_{ETP} = Representa el “ratio” de evapotranspiración

PP = Representa la precipitación.

ETP = Evapotranspiración potencial

1.2 Antecedentes

Fan y Bai (2021), determinaron la distribución espacial de los posibles tipos de vegetación en la meseta Qinghai-Tíbet que presenta una zonificación vertical significativa, explicaron las diferencias verticales de la distribución potencial de la vegetación bajo el cambio climático futuro en la meseta de Qinghai-Tíbet, sobre la base de los datos climáticos observados en 1981–2010 (T0), bajo los escenarios de RCP2.6, RCP4.5 y RCP8.5 del CMIP5 para los periodos: 2011 a 2040 (T1), 2041 a 2070 (T2) y 2070 a 2100 (T3), y los datos de los modelos de elevaciones digitales (DEM), los modelos de la zona de vida de Holdridge (HLZ) lo han mejorado para simular los escenarios de distribución potencial de la vegetación en las diferentes zonas de gradiente de la meseta de Qinghai-Tíbet. Los resultados simulados muestran que existe 17 tipos de vegetación potenciales en la meseta de Qinghai-Tíbet. La tundra húmeda, el bosque húmedo muy frío y el nival son los principales tipos de vegetación potencial y cubren el 56.26 % del área total de la meseta de Qinghai-Tíbet. Bajo los tres escenarios, el nival tendría la mayor área disminuida que se reduciría en 3340 km² por década, y el bosque muy húmedo frío tendría la mayor área aumentada que se incrementaría en 3340 km² en promedio por década de T0 a T3. Los tipos de vegetación potencial distribuidos en la zona alpina mostrarían la relación de cambio más rápida (11.32% por década) y los de montaña baja y otras zonas mostrarían la relación de cambio más lenta (7.54% por década) en promedio. En general, los tipos de vegetación potencial distribuidos en el área de gran elevación generalmente tienen una mayor sensibilidad al cambio climático en la meseta de Qinghai-Tíbet en el futuro.

Jiménez (2019), evaluó los efectos del CC sobre las HLZ en Costa Rica entre 2061 y 2080 con base en 18 escenarios de cambios climáticos de 10 modelos de circulaciones (GCM) y 02 rutas concentradas representativas (RCPs), RCP4.5 y RCP8.5, con base en datos climáticos de WorldClim (WC), compuestos con informaciones de precipitaciones y biotemperatura, para producir nuevas zonas de vida correspondiente al periodo de estudio y estimar anomalías en dichas variables; dando como resultado en ambos escenarios RCPs, las zonas de vida páramo pluvial desaparecieron por completo, y también se mostró la aparición de la zona de vida bosque seco premontano; en los modelos y escenarios estudiados se proyectaron una gran dinámica en las zonas de vida, donde el escenario más drástico es el RCP8.5 debido al aumento de temperaturas.

Tapiador *et al.* (2019), indican que las clasificaciones climáticas basadas en mediciones de temperatura y precipitación se utiliza cada vez más para estudios ambientales y

de cambio climático, usando tres métodos de clasificación (Köppen, Extended Köppen y Holdridge) con proyecciones de alta resolución MCG para climas futuros bajo los supuestos de tres trayectorias de concentraciones específicas (RCP4.5, RCP2.6, y RCP8.5) y productos regionales (RCM), utilizando RCM y dos GCM para escenarios de cambios climáticos presentes y futuros, se discuten qué tan bien los modelos en realidad representan los climas del mundo. Resultando que tanto los GCM como los RCM parecen estar todavía limitados a proporcionar estimaciones prácticas de los climas del mundo, incluso para las condiciones climáticas actuales. La modelización de la precipitación sigue siendo el talón de Aquiles de los modelos, dando como conclusión, los resultados del modelo a escala regional deben tomarse con extrema precaución sin aventurarse en informar políticas que presenten impactos sociales potencialmente grandes.

Szelepcsényi *et al.* (2018), realiza las evaluaciones del impacto del CC en los ecosistemas empleando el sistema de zonas de vida de Holdridge (HLZ) en la región de Cárpatos, observándose cambios esperados en los patrones de distribución espacial y altitudinal de los tipos, para la evaluación se realizó 11 simulaciones de precipitación y temperatura de modelos climáticos regionales corregidos por sesgo. De acuerdo con las proyecciones aplicadas es probable que los rangos altitudinales se expandan en el futuro, los límites altitudinales inferior y superior, así como los puntos medios altitudinales, pueden moverse a altitudes más altas, y se espera un desplazamiento hacia el norte para la mayoría de los tipos de HLZ. En relación con los desplazamientos hacia el norte, los tipos HLZ estepa espinosa templada cálida y bosque seco subtropical también pueden aparecer en el segmento sur del área de estudio. Sin embargo, existe incertidumbre en los cambios estimados de los patrones de precipitación por lo que el cambio esperado en la HLZ estepa templada fría es extremadamente incierto porque no hay consenso entre las proyecciones incluso en términos de signo del cambio (alta variabilidad entre modelos).

Serrano y Calderón (2016), establecieron los cambios ocasionados en la HLZ en Guayas-Ecuador, mediante el análisis a nivel espacial entre 1978 y 2000. Los resultados mostraron que la clasificación en el año 2000 estaba dividida en 6 zonas de vida, a diferencia de las 8 zonas de vida de 1978, lo que mostró que desaparecieron el bosque húmedo y el bosque espinoso tropical, mientras que el área del bosque seco tropical aumentó en superficie en 72.9%.

Sapta *et al.* (2015), identificaron los cambios en el ecosistema en la isla de Lombok basados en el clima histórico de datos y también para identificar la dominación de la vegetación en función del resultado de la verdad del suelo. El análisis de datos realizaron utilizando SIG para analizar la distribución espacial de las zonas del ecosistema. El procesamiento de datos espaciales realizaron mediante el método de interpolación para estimar los valores en ubicaciones desconocidas o puntos adyacentes. Los tipos de ecosistemas en este estudio fueron determinados por zonas de vida de Holdridge, que son generados a partir de datos climáticos históricos de 1975 a 2012 y descrito por el mapa de series de tiempo de 1975, 1995 y 2012. El resultado indica que se produjo un cambio en el ecosistema en la isla de Lombok, que se muestra en el mapa de series de tiempo de la zona del ecosistema. En 2012 había solo cinco HLZ que eran el bosque húmedo-tropical, bosque muy seco-tropical, bosque seco-tropical, bosque húmedo-subtropical. Además, se observó la presencia del bosque seco tropical que dominaba el área de la isla de Lombok.

Roy *et al.* (2015), elaboraron el mapa de vegetación de la India usando una técnica de interpretación visual en pantalla y tiene un precisión del 90%, utilizando 15,565 puntos de control en tierra. India ha estado utilizando hasta ahora el potencial mapa de tipo de vegetación/bosque. En ese contexto, caracterizaron y cartografiaron la distribución del tipo de vegetación en el país en términos de ocurrencia y distribución, área ocupación, porcentaje de área protegida cubierta por cada tipo de vegetación, rango de elevación, media temperatura y precipitación anual en los últimos 100 años. Este mapa de tipo de vegetación es el más completo desarrollado para la India hasta ahora. Utilizaron datos de teledetección satelital estacional de 23.5 m, muestras de campo y información relativa a la biogeografía, el clima y el suelo.

Asante y Amuakwa (2015), examinaron el impacto y las proyecciones del cambio climático en Ghana, y la variabilidad en diversos sectores (agrícola, salud y energía) y su implicación en la ecología, uso del suelo, pobreza y bienestar. Sugieren que hay una temperatura alta proyectada y disminuciones de las lluvias en los años 2020, 2050 y 2080, por lo cual estiman que la desertificación avanza a un ritmo tasa de 20,000 hectáreas por año, donde las temperaturas de la superficie del mar aumentarán y esto tendrá efectos drásticos en la pesca, habrá una reducción de las áreas de cultivo de arroz y un aumento evapotranspiración de los árboles de cacao para el 2050. La generación hidroeléctrica

también estaría en riesgo y habrá un aumento en la tasa de incidencia de enfermedades relacionadas con el agua debido a las proyecciones climáticas.

Chávez *et al.* (2014), realizaron la zonificación bioclimática en las HLZ, identificando regiones correspondientes a transiciones entre cálidas y cálidas-secas para México. Concluyeron que el 29.61% de la superficie continental de la República Mexicana se halla en la zona de transición, donde los aumentos de temperatura bajo el escenario RCP2.6 a los años 2016-2035 del IPCC darían lugar a cambios considerables en las clasificaciones bioclimáticas. Un aumento de temperatura de 0.3 °C resultaría en un cambio de 17.25% del área total estimada de la zona de transición, y un aumento de 0.7 °C resultaría en un cambio de 34.65%, resultando en un clima caracterizado por latitudes más cálidas y regiones de humedad más secas.

Alarcon y Pabón (2013), utilizaron el modelo de Holdridge a base de datos climáticos de 1970 a 2000 con una resolución de 900 m, examinando los probables cambios en las distribuciones de la vegetación en el territorio colombiano bajo 2 escenarios de cambio climático. Además, observaron cambios futuros en la vegetación utilizando variables climáticas para 02 escenarios, A2 y B2, del IPCC para el período 2011-2040 y 2070-2100. Los resultados de los dos períodos analizados muestran que los ecosistemas altoandinos como los páramos y zonas nivales son los más sensibles a dicho calentamiento y tienen una marcada tendencia a desaparecer incluso más rápido que las estimaciones globales, el cambio más dramático que se vio ocurrió en el escenario A2 durante el período 2070-2100, así también, los bosques altoandinos sufrieron cambios drásticos, que según los escenarios analizados desaparecerían a mediados del siglo XXI.

Chakraborty *et al.* (2013), analizaron las variaciones probables en la distribución de los ecosistemas en la India, empleando datos climáticos de WorldClim y elevación digital (DEM) a 90m con la metodología de Holdridge, clasificados de distancia mínima y conjuntos de datos climáticos para evaluar el patrón de distribución potencial de biomas en escenarios de cambios climáticos, ejecutaron el modelado aplicando distintas composiciones; el primero con datos climáticos actuales (1950-2000) y luego bajo escenarios con el incremento de temperatura y precipitaciones en el futuro. Se identificaron diecinueve zonas de vida en el subcontinente indio; 7 biomas y 19 sub-biomas. La precisión general y el coeficiente kappa del mapa del bioma para los escenarios climáticos actuales fue del 82.8% y 0.8, respectivamente. Los resultados del

modelo predicen disminuciones significativas en la superficie cubierta de desiertos tropicales (llanuras), matorrales desérticos tropicales y bosques húmedos tropicales.

Sisneros *et al.* (2011), indican que las zonas de vida son un método conveniente y cuantificable para delimitar áreas con comunidades similares de plantas y animales en función de las condiciones bioclimáticas, tales técnicas de ecorregionalización han resultado útiles para definir hábitats y para estudiar cómo estos hábitats pueden cambiar debido al cambio ambiental. Los impactos ecológicos del cambio climático son de particular interés. Porque, mostraron que las visualizaciones de la proyección geográfica de las zonas de vida se pueden aplicar a la investigación de los posibles impactos ecológicos de los cambios climáticos utilizando los resultados de las simulaciones del modelo climático global. Utilizando un esquema de clasificación de múltiples factores, identificaron regiones de alta sensibilidad al cambio climático a partir de dos simulaciones climáticas globales bajo 02 escenarios diferentes de emisiones de gases de efectos invernaderos. Finalmente, identificaron cómo los hábitats humanos pueden cambiar bajo estos escenarios.

Jiménez *et al.* (2009), realizaron un estudio en Centroamérica, evaluando los impactos del cambio climático en las distribuciones de zonas de vida, utilizando información climática de WC (1950-2000) y datos climáticos futuro (2011-2040) del IPCC para dos escenarios de cambio climático A.2 y B.1. Obteniendo once zonas de vida, siendo las más extensas: el bosque húmedo tropical, el bosque seco tropical y el bosque húmedo premontano. En los dos escenarios estudiados, la mayoría de las zonas de vida experimentan cambios de elevación más bajos; el escenario A2 sufre cambios más drásticos, donde las zonas de vida más afectadas son los bosques secos y los páramos.

En el Perú Tossi (1960) elabora el primer mapa ecológico del Perú, en el que se dio a conocer el sistema de clasificación de zonas de vida, donde varias zonas de la sierra y en la selva quedaron sin clasificar por falta de datos meteorológicos, falta de materiales cartográficos y las pocas accesibilidades. En el año 1976 se publica la segunda edición del Mapa Ecológica (ONERN, 1976) contando con el mismo Dr. Tossi. INRENA ha publicado la 3ra edición del Mapa (INRENA, 1995), el cual se empleó en el Perú por más de veinte años. Finalmente, Aybar *et al.* (2017) elaboran el mapa de zonas de vida del Perú a cargo del SENAMHI, a base de datos PISCO.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

La cordillera Carabaya, por su compleja topografía, alberga diferentes ecosistemas de montaña como: glaciar y periglaciar, bofedales, pajonales, paramos, matorrales y bosques de montaña a bosques tropicales. Estos ecosistemas proveen de servicios ecosistémicos que son vitales como la provisión de agua dulce y regulación hídrica, control de la erosión, producción de alimentos, sitios de esparcimiento y recreación. Frente a un CC y sus impactos sobre los ecosistemas de montaña, existe un vacío de información y de metodologías o herramientas que permitirían la evaluación de los impactos del CC sobre los ecosistemas de montaña y como estos afectarían los servicios ecosistémicos que brindan.

Según Mark (2008), los glaciares son muy susceptibles a los cambios del clima, en los Andes tropicales (AT) la principal reserva de agua dulce para las poblaciones y comunidades provienen de los glaciares. Sin embargo, existe información limitada sobre las tendencias climáticas y sus posibles impactos en los ecosistemas glaciar, periglaciar, tundra y paramo que actúan como reguladores hídricos. Según el INAIGEM (2018), la cordillera Carabaya ha perdido el 71% (76.12 km²) de su superficie glaciar en los últimos 54 años hasta el 2016, con una tasa de retroceso 1.45 km²/año. En este contexto, Díaz *et al.* (2017) examinaron las coberturas glaciares del nevado Chichicapac y Allincapac durante los últimos 40 años (1975-2015) y encontraron una reducción del 67%, equivalente a una disminución aproximada de 17% por década, con una velocidad de 0.89 km/año.

Por otro lado, en el área de estudio existen proyectos hidroenergético como San Gabán I, II y III, cuyo principal recurso hídrico para la generación de energía eléctrica proviene de los ecosistemas de montaña de la cordillera Carabaya. Finalmente, existe una población local y comunidades que dependen directa o indirectamente de los servicios ecosistémicos que aportan los glaciares y ecosistemas de cordillera Carabaya. Esta situación dificulta la implementación de planes y programas de adaptación y mitigaciones que se establecen sobre los ecosistemas frente a los cambios climáticos.

De lo descrito anteriormente, en el presente estudio se emplea las HLZ como una alternativa para estimar los impactos del CC sobre ecosistemas de montaña. Las HLZ son conjuntos de territorios que albergan ecosistemas con características similares en clima y en vegetación, aprovechando la existe de una estrecha relación entre las condiciones climáticas y la formación de vegetación y los ecosistemas. En ese contexto, un cambio en las condiciones climáticas provocaría cambios en las HLZ y este a su vez en la vegetación y los ecosistemas.

2.2 Enunciado del problema

¿Cuáles serán los posibles efectos del cambio climático de las zonas de vida en la cordillera Carabaya?

2.3 Justificación

La alta biodiversidad que presenta los ecosistemas de montaña es producto de la evolución geológica, climática y ecológica, que es esencial para el desarrollo sostenible y la provisión de servicios ambientales (como el agua, el clima, la producción de alimentos, el apoyo al ciclo de nutrientes, etc.), al mismo tiempo, son altamente sensibles frente a un CC. En las montañas se evidencian las señales más visibles del CC, como el retroceso de los glaciares. Desde la Conferencia de la Tierra en Río de Janeiro en 1992, las montañas han sido el centro de atención del mundo porque contienen una biota única y son altamente vulnerables al CC (Cuesta *et al.*, 2012).

Se espera que el CC genere cambios en la biodiversidad, sobre todo en los ecosistemas de montañas presentes en los AT de la cordillera de Carabaya. En ese sentido, es fundamental desarrollar estudios sobre los posibles impactos del CC en los ecosistemas de montaña que ayuden a la toma de decisiones para establecer medidas de adaptación o mitigación, ya que actualmente no existe información sobre los posibles impactos del CC en los ecosistemas de montaña de la cordillera Carabaya.

Este estudio busca plantear una alternativa para la evaluación de los posibles efectos del CC sobre los ecosistemas de montaña de la cordillera Carabaya, a través del uso de las HLZ.

Esta información servirá como base o referencia para que los tomadores de decisiones e investigadores, presten mayor atención y valoren los ecosistemas de montaña como los

presentes en la cordillera de Carabaya en el futuro. Por otro lado, dicho estudio servirá de información para estudios de Zonificación Ecológica Económica (ZEE), que es un instrumento esencial para la gestión de territorios y ecosistemas y para la toma de decisiones futuras, en los gobiernos locales y regionales para que implementen planes de conservaciones y estrategias oportunas de adaptaciones para el sector minero energético, agua y actividades agropecuarias.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Determinar los posibles efectos del cambio climático en la distribución espacial de las zonas de vida en la cordillera Carabaya.

2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar las zonas de vida de la cordillera Carabaya para el periodo de referencia (1961-1990) a partir de datos climáticos grillados del WorldClim.
- Estimar las zonas de vida de la cordillera Carabaya para los escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP8.5 para un periodo futuro centrado en los años 2050 y 2070.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

El cambio climático genera efectos en la distribución espacial de las zonas de vida en la cordillera Carabaya.

2.5.2 Hipótesis específicas

- Se determinan las zonas de vida de la cordillera Carabaya para un periodo de referencia (1961-1990) a partir de datos climáticos grillados de WorldClim.
- Se determinan las zonas de vida de la cordillera Carabaya para los escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP8.5 para un periodo futuro centrado en los años 2050 y 2070.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

La cordillera Carabaya (Figura 7) se ubica al sur del Perú y tienen un área de influencia de 11,679 km², con una altitud de 5,804 m.s.n.m. Geográficamente, está delimitado entre las coordenadas 13°07'13.02" S y 14°52'07.62" S y 69°14'44.13" a 71°16'12.67" W de longitud. Políticamente, comprende los ámbitos de los departamentos de Cusco (provincia de Quispicanchi) y Puno (provincias de Azángaro, Melgar, Sandia y Carabaya), (INAIGEM, 2018).



Figura 7. Ámbito de influencia de la cordillera Carabaya.

3.2 Población

La población es la cordillera Carabaya.

3.3 Muestra

Las muestras son las zonas de vida del área de investigación (cordillera Carabaya).

3.4 Método de investigación

Es de tipo correlacional, tiene como propósito de relacionar el nivel de relación entre las variables.

3.5 Descripciones detalladas de métodos por objetivos específicos

a) Descripciones de variables examinadas en los objetivos específicos

Variable dependiente:

Zonas de vida.

Variable independiente:

Cambio climático.

b) Descripciones del uso de materiales y equipos

Materiales:

- Office 2016, Google Earth pro y ArcGIS v-10.3
- Fichas de registro para puntos de control.

Insumos:

- Base de datos climáticos grillados del WorlClim (WC), en coordenadas geográficas, con una resolución espacial de 1 km² o 30 s. de 1961 a 1990 (versión 1.4), en formato ráster. Son de libre acceso y contienen información sobre diecinueve variables, incluida las temperaturas mínima y máxima y las precipitaciones. Se consideró este período, debido a que encontramos productos interpolados de precipitación y temperatura históricos de muy alta resolución para áreas terrestres globales WC. En comparación con las climatologías globales de otros productos, WC tiene la ventaja de contar con una climatología de alta resolución espacial a diferencia de las demás bases de datos. La Organización

Mundial de Meteorología (OMM) mencionó la necesidad de establecer líneas de base climáticas estables para las evaluaciones a largo plazo de los cambios climáticos y de las variabilidades del clima, en el sentido de que la OMM definió un período de referencia fijo de 30 años que abarca el período comprendido entre el 1 de enero de 1961 y 31 de diciembre de 1990 (OMM, 2012), además, el SENAMHI tomó en cuenta estas recomendaciones y estableció normales climatológicas, periodos fijos de referencia o normales climatológicas para el seguimiento de los cambios climáticos y las variabilidades climáticas, para el período 1961-1990 (Correa *et al.* 2019).

- Base de datos grillados WC para el futuro al 2050 y 2070 de las variables de: Temperatura (máximas y mínimas) y precipitación, con una resolución espacial de 1 km². Para 2 escenarios de emisión (moderados RCP4.5 y altas emisiones RCP8.5) de los modelos de circulación general (ACCESS1.0, CCSM4, GFDL-CM3, HadGEM2-AO, HadGEM2-CC, IPSL-CM5A-LR, HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR, MIROC5 y MRI-CGCM3)
- Modelo de elevación digital (DEM ALOS) de Google Earth Engine en formato ráster de resolución a 20 m.
- Información climática observada de las estaciones meteorológicas: precipitación y temperatura (máxima, mínima y media) de 7 estaciones meteorológicas (Figura 8). Se utilizaron para ajustar los datos climáticos de la base de datos del WC. En la Tabla 3, se presentan las estaciones:

Tabla 3

Estaciones meteorológicas para el área de estudio

Número	Estación	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)
1	Macusani	344624.9	8444057.6	4345
2	Crucero	389377.0	8412855.4	4183
3	Aymaña	319793.9	8465713.9	4175
4	Upina	383002.8	8464736.0	3878
5	Cuyo Cuyo	440839.8	8398129.9	3414
6	Ollachea	338170.2	8473457.9	2850
7	San Gabán	347908.6	8513682.9	635



Figura 8. Ubicación de las estaciones meteorológicas para el área de estudio.

c) Aplicación de prueba estadística inferencial.

La correlación de Pearson (r) y el coeficiente de determinación (R^2): describen el nivel de colinealidad entre los datos simulados y observados. El coeficiente de correlación varía desde -1 a 1, es un índice del grado de relación lineal entre el valor observado y simulado. Del mismo modo, R^2 describe la proporción de variación de los datos medidos es explicada por el modelo.

3.5.1 Determinación de las zonas de vida para el periodo de referencia

a) Completación de valores faltantes

Es muy habitual en muchas bases de datos encontrar valores faltantes. Esto se debe a problemas durante la recopilación de los mismos, fallos en los instrumentos, cambio de personal, traslado del lugar de observación, etc.

En esta etapa, a la información de precipitación y temperatura observada se realiza el control de calidad y se homogeneiza mediante la aplicación del paquete R Climatol, que incluye las siguientes funciones homogeneización, control de calidad y completar los datos faltantes en un rango de cualquier variable climática.

b) Reducción de escala

Se realizó la reducción de escala aplicando un downscaling estadístico mediante las regresiones lineales múltiples de una resolución espacial de 1 km a 20 m, para un mayor análisis, ver Figura 9.

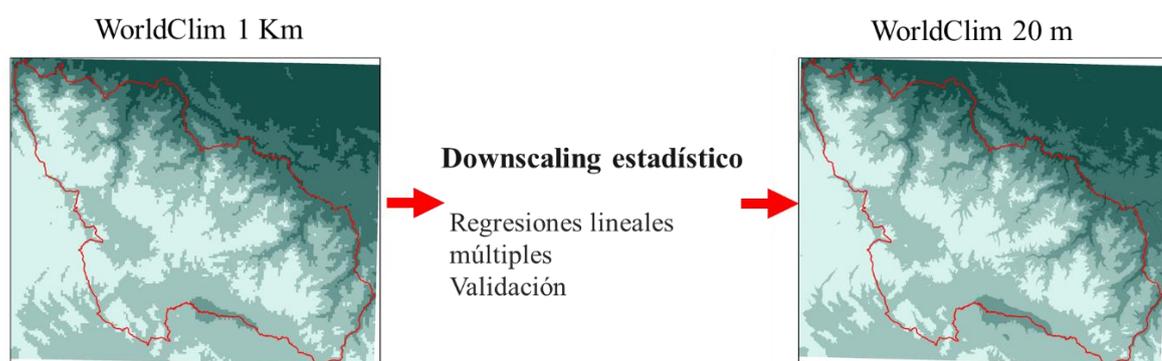


Figura 9. Esquema de aplicación de downscaling estadístico

c) Validación de productos climáticos WC

Los productos de precipitación, temperaturas máximas y mínimas del WC fueron extraídos de la cuadrícula de pixel a partir de puntos de coordenadas de estaciones meteorológicas. Se emparejaron los datos y para evaluar el rendimiento de WC, se utilizaron tres métricas de desempeño que incluyen el CC, la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el sesgo relativo (RB), ver Tabla 4.

CC denota el grado de correlación entre los valores de WC y las mediciones de observaciones, con valores que van de -1 a 1. RMSE evalúa el grado de error de los productos WC, con valores que van de 0 a $+\infty$. RB indica el sesgo sistemático entre los productos de WC y las observaciones.

Tabla 4

Métricas estadísticas de desempeño para evaluar los productos de WC

Métricas	Ecuación	Unidad	Valor óptimo
Coeficiente de correlación (CC)	$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \underline{O})(S_i - \underline{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \underline{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \underline{S})^2}}$	-	±1
Raíz del error medio cuadrático (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (S_i - O_i)^2}$	Mm	0
Relative bias (RB)	$RB = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100$	%	0

Nota: S son los valores de simulados; O los valores observados; \underline{S} y \underline{O} denotan los valores medios de S y O respectivamente; n indica el número de pares de datos.

d) Cálculos de la biotemperatura media anual

A partir de los datos históricos de temperaturas mínimas y máximas mensuales obtenidos del WorldClim, se extrajo las coordenadas y alturas con su respectivo Modelo Digital de Elevación (DEM ALOS) después fueron exportadas a Microsoft Excel para su correspondiente procesamiento y análisis estadístico.

- Determinación de la biotemperatura: Se estimó a partir de las temperaturas medias anual de datos observados y grillados. Usando la información mensual directamente, tratando cualquier valor negativo como 0 °C y cualquier valor superior como 30 °C.

La biotemperatura media anual se calculó con las siguientes fórmulas:

$$\text{BioT } ^\circ\text{C de un año} = \frac{\sum T^\circ\text{C } \bar{x}/\text{mes}}{12}$$

- Análisis estadísticos: Se realizó mediante la regresión lineal entre la biotemperatura anual y la altitud, analizando el coeficiente de determinación (R^2), para determinar los residuos y el tipo de interpolación.
- Reclasificación: El ráster final de biotemperatura anual se utiliza para clasificar el mapa bioclimático según los rangos de biotemperatura, ver Tabla 5.

Tabla 5

Intervalos de biotemperatura según Holdridge

Biotemperatura (°C)	Piso Altitudinal
< 1.5	Nival
1.5 – 3	Alpino (Andino)
3 – 6	Subalpino (Subandino)
6 – 12	Montano
12 – 18	Montano Bajo
18 – 24	Premontano
>24	Piso basal

Fuente: Aybar *et al.*, 2017.

e) Cálculos de las precipitaciones acumulada anual

De los datos históricos de precipitaciones acumulada mensual obtenidos por WorldClim, extraer las coordenadas y la altitud correspondiente del modelo de elevación digital (DEM ALOS), y luego se exportó a Microsoft Excel para el procesamiento y análisis correspondiente, estadísticas analizar.

La precipitación acumulada anual se calculará con la siguiente fórmula:

$$Pp \text{ anual} = \sum Pp \text{ mensual}$$

- Análisis estadísticos: Mediante la regresión lineal entre la precipitación anual y la altitud, se comprende la asociación entre ambas variables, analizando el coeficiente de determinación (R^2), determinando los residuos y el tipo de interpolación.

- Reclasificación: El ráster final de precipitación anual acumulada se utiliza para clasificarla según los rangos del diagrama bioclimático, ver Tabla 6.

Tabla 6

Intervalos de precipitación según Holdridge

Rangos de precipitaciones	Provincias de humedad
0 – 125	
125 – 250	Superárido
250 – 500	Perárido
500 – 1000	Árido
1000 – 2000	Semiárido
2000 – 4000	Subhúmedo o seco
4000 – 8000	Húmedo

f) Estimación de la evapotranspiración potencial (ETP)

La estimación de la ETP se realizó con la información de temperatura media, horas máximas de insolación y radiación solar, siguiendo la metodología de Thornthwaite, basada en la fórmula simplificada:

$$T_o = ET_o' * \frac{N}{12} * \frac{d}{30}$$

Donde:

ET_o' = Evapotranspiración potencial mensual sin corregir.

ET_o = Evapotranspiración potencial mensual corregida (mm/mes).

D = Número de días del mes.

N = Duraciones máximas diarias medias de las horas de fuerte insolación (Tabla 7)

$$ET_o' = 16 * \left(\frac{10 * t}{I}\right)^a$$

Donde:

t = Temperatura media mensual (°C)

ETo' = Evapotranspiración potencial mensual sin corregir.

I = Índice de calor anual

Exponente (a):

$$a = 0.6751 * 10^{-6} * I^3 - 0.771 * 10^{-4} * I^3 + 0.01792 * I + 0.49239$$

Determinación del índice térmico mensual (i)

$$i_n = \left(\frac{T_{med}}{5}\right)^{1.514}$$

Dónde: Tmed es temperatura media

Determinación del índice térmico anual (I)

$$I = \sum_{n=1}^{n=12} i_n$$

Tabla 7

Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación

Lat. Norte	En	Feb	Mar	Abr	May	Jn	Jul	Ag	Sep	Oc	Nov	Dic
Lat Sur	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
50	8,5	10,1	11,8	13,8	15,4	16,3	15,9	14,5	12,7	10,8	9,1	8,1
48	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
46	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7
44	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9
42	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,9	11,1	9,8	9,1
40	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
35	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8
30	10,4	11,1	12,0	12,9	13,6	14,0	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2
25	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7	13,5	13,0	12,3	11,6	10,9	10,6
20	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9
15	11,3	11,6	12,0	12,5	12,8	13	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2
10	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5
5	11,8	11,9	12,0	12,2	12,3	12,4	12,3	12,3	12,1	12,0	11,9	11,8
0° Ecuador	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1

g) Cálculo de provincias de humedad

Están determinados por el índice de evapotranspiración potencial obtenido al dividir la "evapotranspiración potencial media anual" por la "precipitación media anual", ver Tabla 8.

$$R_{ETP} = \frac{ETP}{PP}$$

Donde:

R_{ETP} = representa el "ratio"

ETP = es la evapotranspiración potencial

PP= presenta la precipitación

Tabla 8

Relación de evapotranspiración potencial con las provincias de humedad

Evapotranspiración potencial	Provincias de humedad
0.125 a 0.25	Superhúmedo o pluvial
0.25 a 0.5	Perhúmedo o muy húmedo
0.5 a 1	Húmedo
1 a 2	Subhúmedo o seco
2 a 4	Semiárido
4 a 8	Árido
8 a 16	Perárido
16 a 32	Superárido

Fuente: Aybar *et al.* (2017).

h) Determinación de las HLZ

Se utilizó la guía explicativa del mapa ecológico del INRENA que considera el diagrama bioclimático de Holdridge, el cual consta de interrelaciones de la biotemperatura, precipitación anual, y provincias de humedad (INRENA, 1995, citado en Aybar *et al.*,

2017). Holdridge emplea 4 ejes (precipitación, biotemperatura, altitud y área de latitud) para definir las HLZ.

Para la interpretación del diagrama de las HLZ, se debe sobreponer los datos de biotemperatura, precipitación y evapotranspiración potencial, de tal manera que la intersección de estas tres variables resulte dentro de un hexágono, el cual representará una zona de vida, pero si resulta dentro de los triángulos representa una zona transicional.

i) Proceso de validación

La validación de las HLZ se realizó mediante puntos de control (datos recogidos de campo y la información secundaria). Así también se efectuaron en contraste con los datos del mapa mediante el cálculo de la matriz de confusión, las métricas que se utilizaron son el índice global y el coeficiente de Kappa.

- **Método de muestreo:**

Se realizó mediante el muestreo aleatorio simple para validar los puntos de control, la fórmula empleada por Cochran (1977) es:

$$n = \frac{z^2}{d^2} O(1 - O)$$

Donde:

O: Precisiones generales expresados como una proporción (0.75)

d: La mitad del ancho del intervalo de confianza para O (0.03)

z: Percentil de las distribuciones normales estándar (z=1.96 para un 95% de confianza)

Para realizar el cálculo de puntos de control se trabajó el software de información geográfica utilizando la herramienta “random point”.

- **Verificación de campo:**

Para corroborar el mapa detallado de zonas de vida, se realizaron salidas de campo, estableciendo puntos de control con información de coordenadas UTM, descripción y fotografía. Las rutas se establecieron de acuerdo a las rutas más accesibles dentro de la cordillera Carabaya.

3.5.2 Estimación de zonas de vidas al periodo 2050 y 2070.

Se aplicó la misma metodología descrita en el ítem 3.5.1 para obtener las variables climáticas de alta resolución espacial para las salidas de los modelos circulación general: CCSM4, ACCESS1.0, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, HadGEM2-AO, HadGEM2-CC, MIROC5, IPSL-CM5A-LR, MRI-CGCM3 y MPI-ESM-LR y bajo escenarios de los cambios climáticos RCP8.5 y RCP4.5:

a) Precipitación futura

Los cambios en la precipitación fueron evaluados a través del método cambio de delta (anomalía) que consiste en cuantificar el cambio relativo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{2050} = \frac{(PGCM_WC_{f(2041-2060)} - PGCM_WC_{c(1961-1990)})}{PGCM_WC_{c(1961-1990)}}$$

$$\Delta P_{2070} = \frac{(PGCM_WC_{f(2061-2080)} - PGCM_WC_{c(1961-1990)})}{PGCM_WC_{c(1961-1990)}}$$

Para proyectar las precipitaciones a nivel de pixel, se consideró la expresión:

$$P_{f(2050)} = P_{c(1961-1990)} \times (1 + \Delta P_{2050})$$

$$P_{f(2070)} = P_{c(1961-1990)} \times (1 + \Delta P_{2070})$$

Donde: ΔP_{2050} y ΔP_{2070} son las tasas de variación de la precipitación al año 2050 (2041-2060) y al año 2070 (2061-2080), $PGCM - WC_{f(2041-2060)}$, y $PGCM - WC_{f(2061-2080)}$ son las precipitaciones futuras al año 2050 y 2070 en mm de los MGC. $PGCM_WC_{c(1961-1990)}$ es la precipitación de referencia del WC, $P_{f(2050)}$, y $P_{f(2070)}$ son las precipitaciones proyectadas para al año 2050 y 2070 en mm respectivamente en referencia a la precipitación de la climatología observada. Este último es afectado por un

factor multiplicador que depende de ΔP obtenido de los GCM_{WC} . Si ΔP es positivo o negativo indica un incremento y disminución de la precipitación respectivamente.

b) Temperatura futura

En la temperatura, para evaluar los cambios proyectados se consideró la expresión matemática:

$$\Delta T_{2050} (^{\circ}C) = TGCM_{WC}_{f(2041-2060)} - TGCM_{WC}_{c(1961-1990)}$$

$$\Delta T_{2070} (^{\circ}C) = TGCM_{WC}_{f(2041-2060)} - TGCM_{WC}_{c(1961-1990)}$$

Para proyectar las temperaturas a nivel de píxel, se consideró las siguientes expresiones:

$$T_{f(2050)} = T_{c(1961-1990)} + \Delta T_{2050}$$

$$T_{f(2070)} = T_{c(1961-1990)} + \Delta T_{2070}$$

Donde: $\Delta T_{2050} (^{\circ}C)$, y $\Delta T_{2070} (^{\circ}C)$ son las variaciones de las temperaturas al año 2050 (2041-2060), y 2070 (2061-2080), respectivamente, $TGCM_{WC}_{c(1961-1990)}$ es la climatología de referencia para la temperatura del WC, y $T_{f(2050)}$, $T_{f(2070)}$ son las temperaturas futuras para los años 2050 y 2070 respectivamente en referencia la temperatura observada por cada píxel.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Mapas climáticos del período de referencia

4.1.1 Validación de productos climáticos WorldClim (WC)

En la Tabla 9 se observa las métricas estadísticas de desempeño evaluados de los productos de WC y de los datos observados (precipitación, temperatura máxima y mínima) de SENAMHI.

Tabla 9

Métricas estadísticas de desempeño evaluados de los productos de WorldClim

	R ²		BIAS		RMSE	
	WC sin corregir	WC corregido	WC sin corregir	WC corregido	WC sin corregir	WC corregido
Precipitación	0.99	1.00	-267.9	-0.01	169.83	0.03
Temperatura						
máxima	0.90	1.00	2.60	0.00	1.80	0.00
Temperatura						
mínima	0.87	1.00	-2.30	0.00	5.75	0.00

4.1.2 Mapa de biotemperatura

Como resultado del análisis espacial para las temperaturas mínimas y máximas se obtuvieron coeficientes de correlación (r), que oscilaron entre 0.95 y 0.94 “correlación muy buena” respectivamente. Estos resultados muestran la alta correlación positiva entre la información climática observada y la información climática del WC. Por otro lado, se obtuvieron coeficientes de determinación (R^2) adecuados para el análisis espacial de temperaturas mínimas y máximas, oscilando entre 0.90 y 0.89, correspondientemente, lo que presenta una "buena" similitud entre la información climática observada y la información climática del WC, como se muestran en las Figuras 10 y 11:

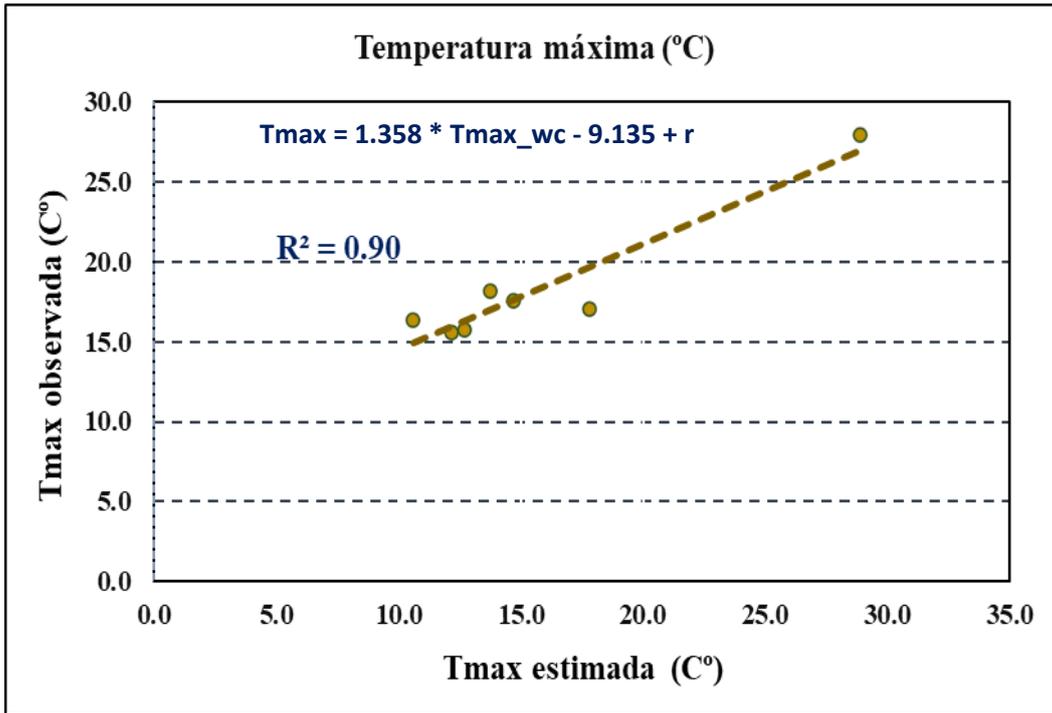


Figura 10. Diagrama de dispersión para temperatura máxima observada y simulada

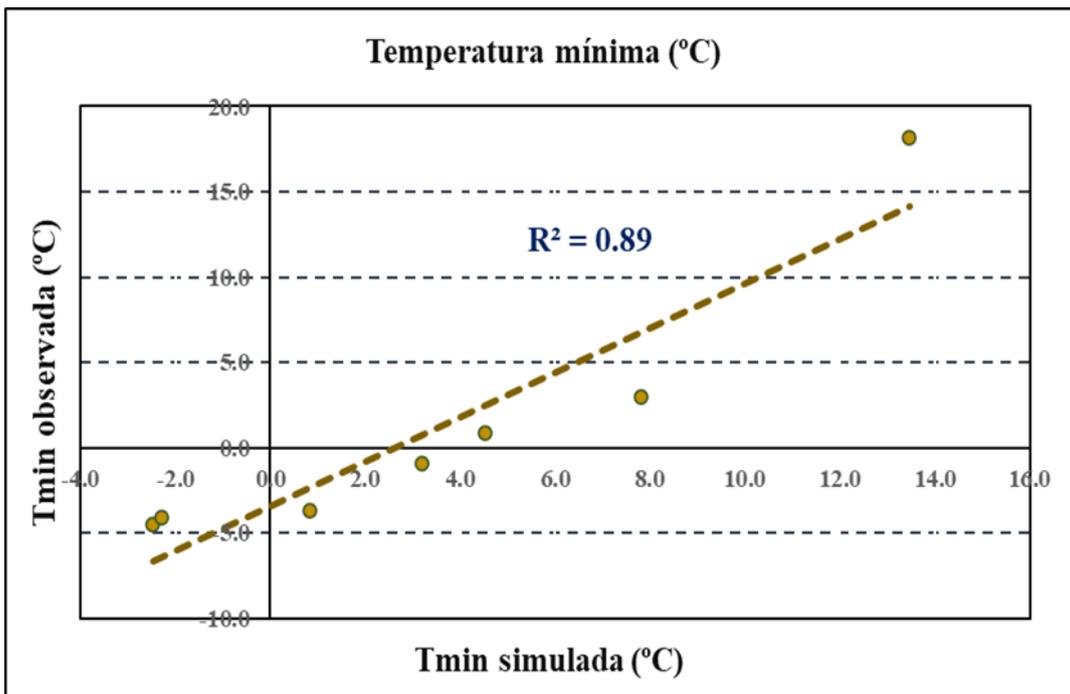


Figura 11. Diagrama de dispersión para temperatura mínima observada y simulada

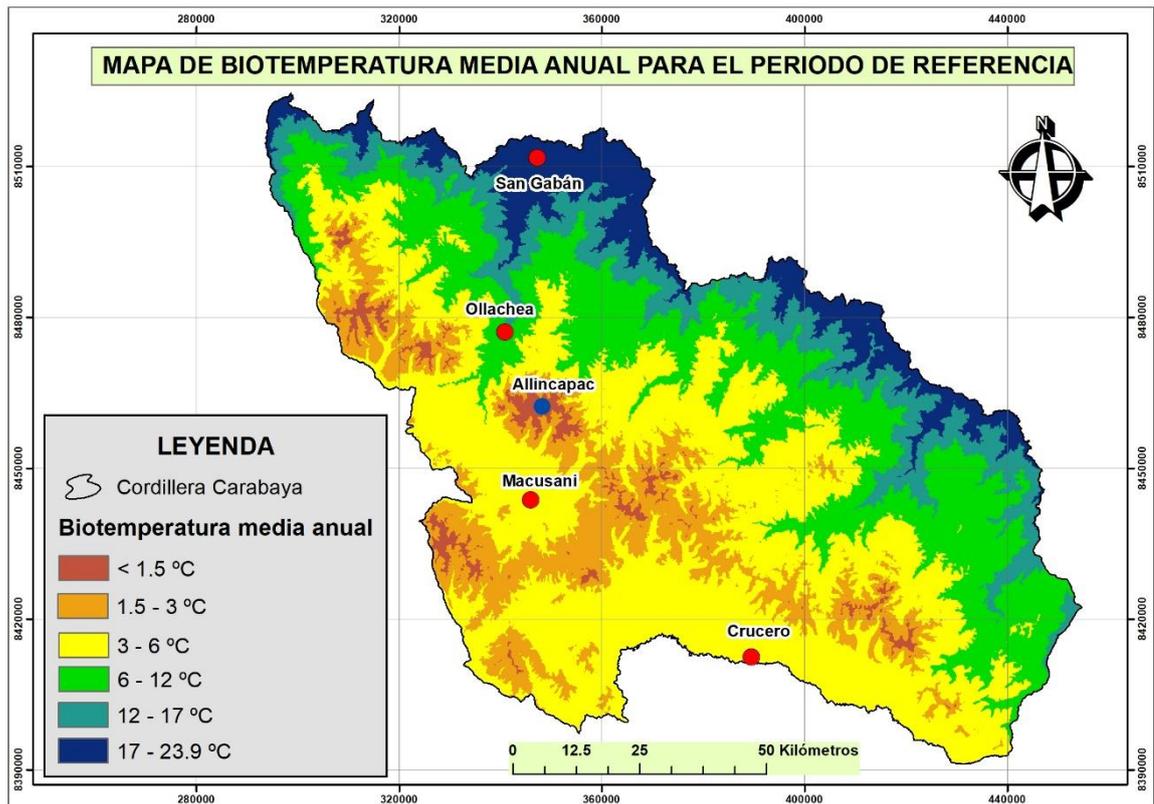


Figura 12. Mapa de biotemperatura media anual (°C), período 1961-1990

4.1.3 Mapa de precipitación

Para el análisis se obtuvo un coeficiente de correlación suficiente, $r = 0.99$, que indica una relación “muy buena”, y coeficientes de determinaciones (R^2) suficiente de 0.99, que indica una relación “muy buena” entre ambos datos, como se puede ver en la Figura 13 a continuación:

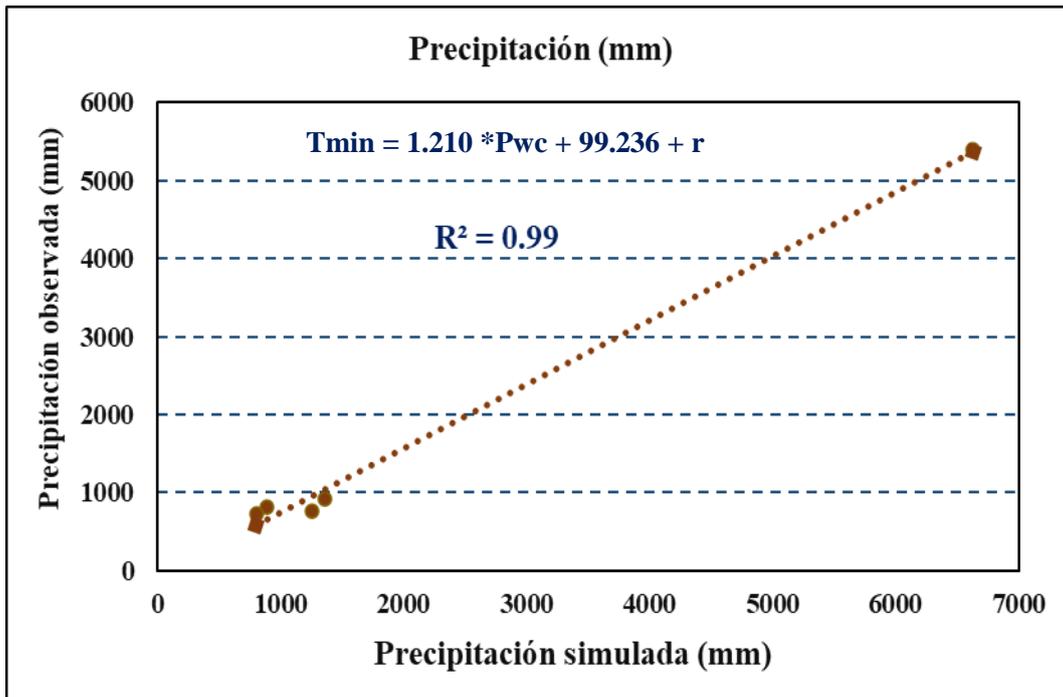


Figura 13. Diagrama de dispersión para precipitación observada y simulada

Con la ecuación $Pp = 1.210 * Pwc + 99.236 + r$, se obtuvo un mapa estratificado de precipitación anual (Figura 14):

Donde:

Pwc = precipitación grillada WC

r = residuo

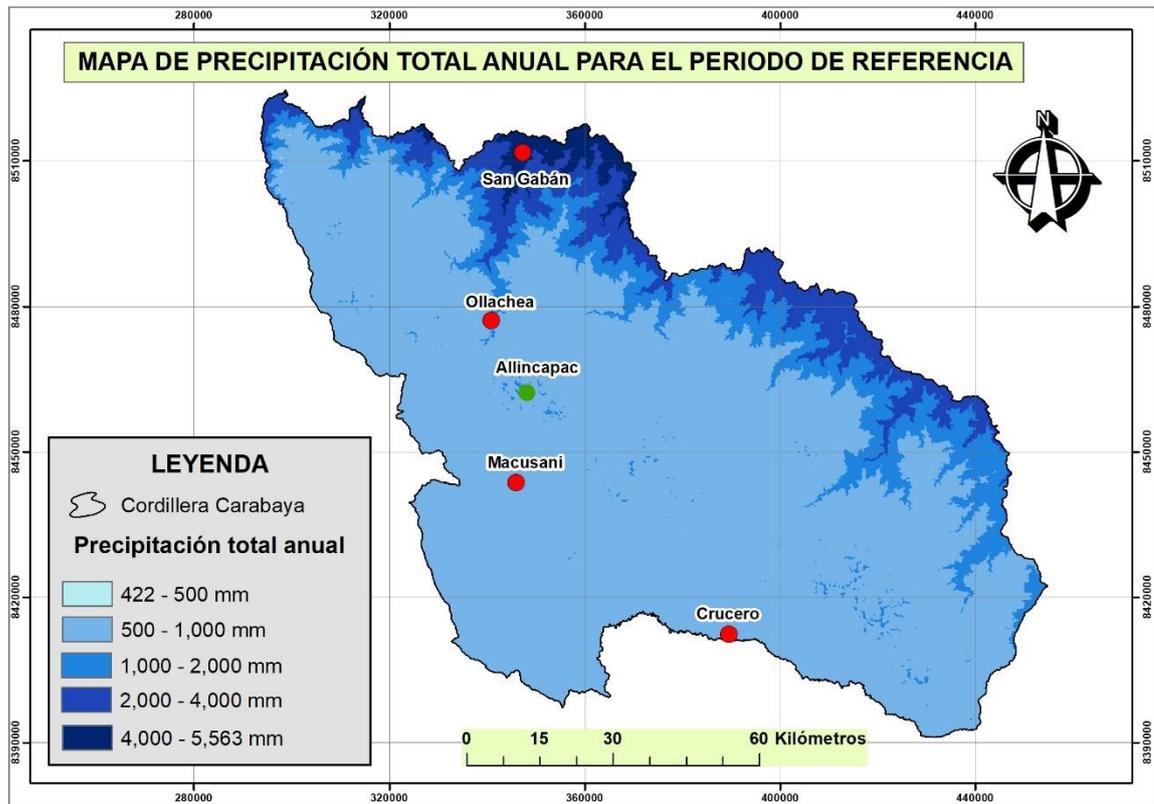


Figura 14. Mapa de precipitación anual (mm), período 1961-1990

4.1.4 Mapa de provincias de humedad o “ratio” de evapotranspiración

La provincia de humedad o "tasas" de evapotranspiración dentro del área de estudio varían dentro de los siguientes rangos: húmedo, semihúmedo, super-húmedo (ver Figura 15).

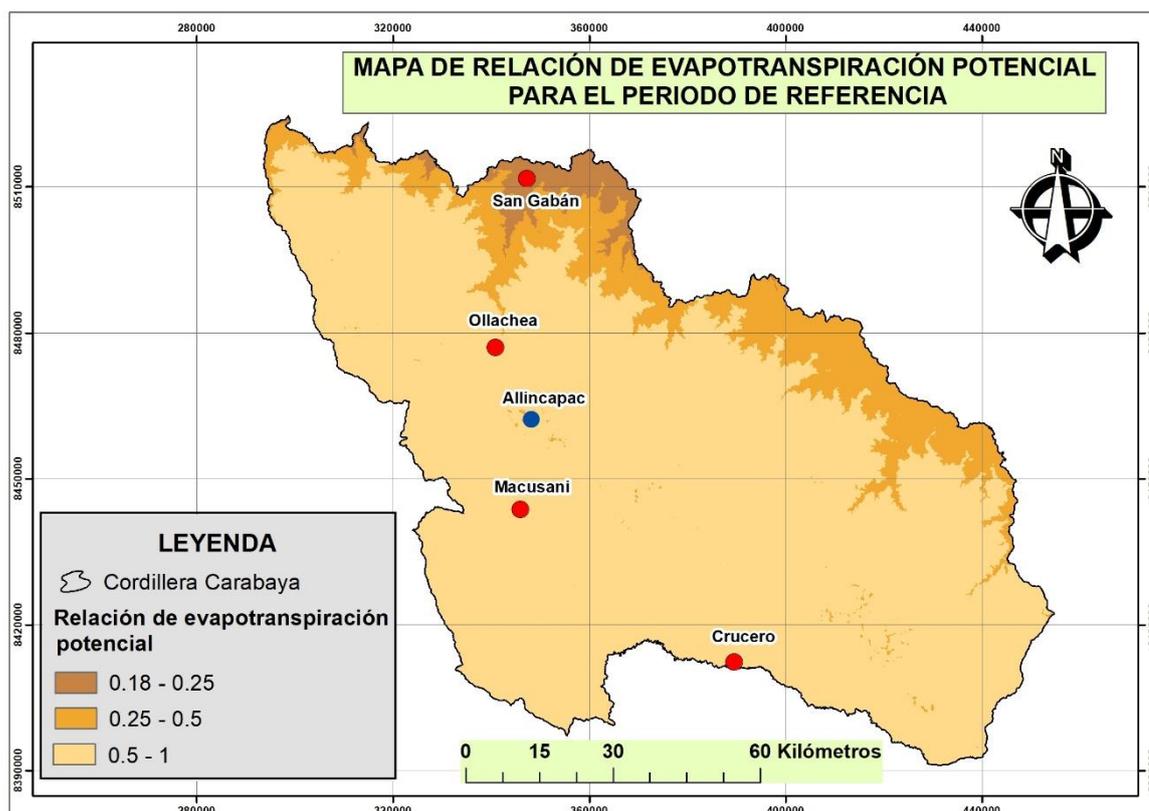


Figura 15. Mapa de provincias de humedad, período 1961-1990

4.1.5 Validación de las HLZ

Se obtuvieron 385 puntos de muestreo aplicando la herramienta “random point” del ArcGis (Figura 16), 44 de ellos fueron verificados en campo, el resto con información secundaria del mapa nacional de ecosistemas del MINAM.

Para la validación del mapa de HLZ se utilizó el mapa de ecosistemas, haciéndose uso del índice estadístico Kappa (k), el cual compara la similitud que hay entre dos mapas. Las métricas que se utilizaron son el índice global y el coeficiente de Kappa, dando como resultado:

- Índice Global: 81.83
- Coeficiente de Kappa: 0.84

Según Altman (1991), el coeficiente de Kappa obtenido en la presente investigación se encuentra en el rango “muy bueno”. En ese sentido, los resultados obtenidos presentan

un alto grado de concordancia, otorgando confiabilidad al mapa de HLZ para la cordillera Carabaya.

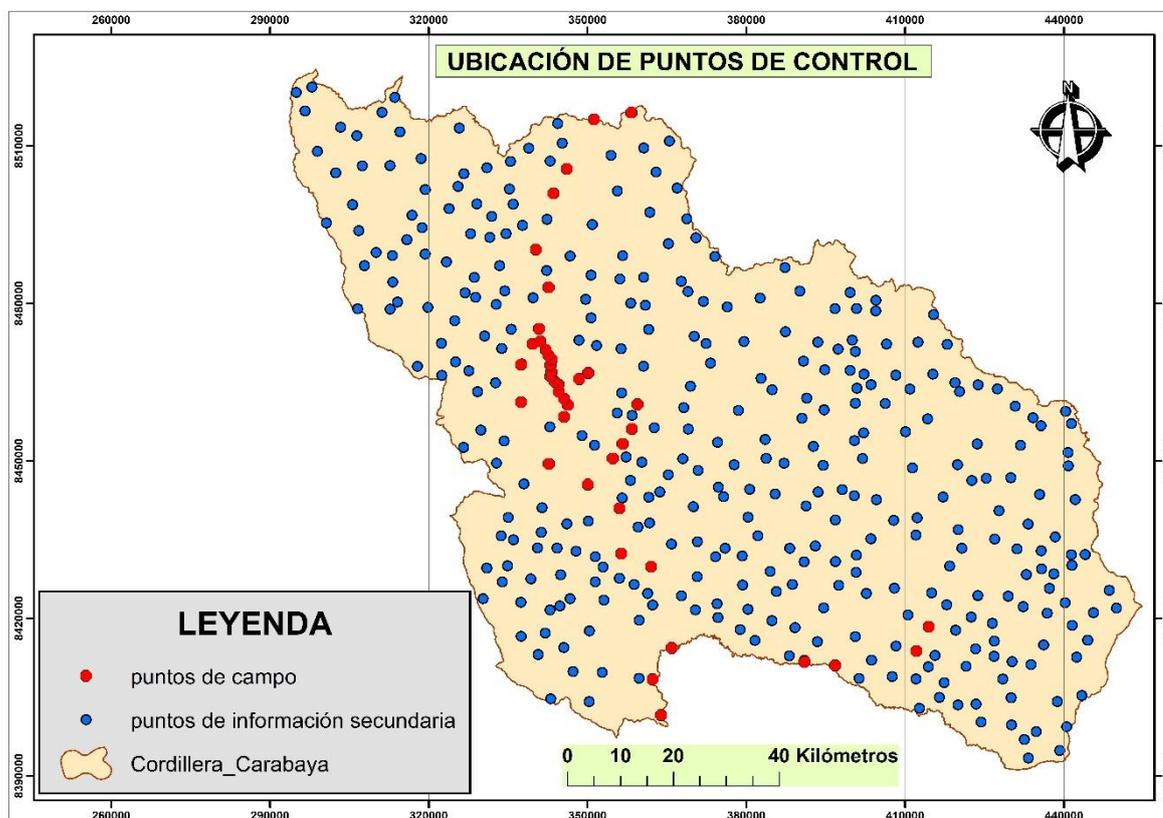


Figura 16. Ubicación de los puntos de control

4.2 HLZ de la cordillera Carabaya.

Se logró identificar 9 HLZ a partir de la información climática grillada de las variables (precipitación, biotemperatura y ratio de evapotranspiración), en la Tabla 10 se presenta las HLZ para la cordillera Carabaya con sus respectivas áreas y porcentaje respecto al área total de la cordillera, y en la Figura 17 se presenta el mapa de HLZ para la cordillera Carabaya.

Tabla 10

HLZ en la cordillera Carabaya para periodo de referencia (1961-1990)

Zonas de vida	Símbolo	Superficie (Km ²)	Porcentaje (%)
Nival Subtropical	NS	254.8	2.2
Tundra pluvial - Andino Subtropical	tp-AS	1 700.1	14.6
Páramo muy húmedo - Subandino	pmh-SaS	4 814.9	41.2
Subtropical			
Bosque húmedo - Montano	bh-MS	2372.4	20.3
Subtropical			
Bosque muy húmedo - Montano	bmh-MS	279.2	2.4
Subtropical			
Bosque húmedo - Montano Bajo	bh-MBS	1103.8	9.5
Subtropical			
Bosque muy húmedo - Montano	bmh-MBS	153.5	1.3
Bajo Subtropical			
Bosque muy húmedo - Premontano	bmh-PS	802.3	6.9
Subtropical			
Bosque pluvial - Premontano	bp-S	198.8	1.7
Subtropical			
Total		11 679.9	100



Figura 17. HLZ para la cordillera Carabaya, período de referencia

En esta investigación se lograron determinar 9 HLZ para cordillera Carabaya, ver Tabla 10. Mientras que, en el atlas de zonas de vida en el Perú elaborado por el SENAMHI, se identifican 7 HLZ. Estas diferencias se deberían principalmente a la diferente fuente de información utilizada, ya que el SENAMHI trabajó con datos grillados PISCO “*Peruvian Interpolated data of the SENAMHI’s Climatological and hydrological Observations*”, cuya resolución espacial es de 10 km. Por otro lado, en la presente investigación se trabajó con datos grillados del WC con una resolución espacial de 1km que posteriormente se realiza la reducción de escala estadística a 20m para una mejor representación de las diferencias geográficas en zonas de montaña, no se consideró los datos grillados PISCO para la presente investigación debido a su gruesa resolución espacial, y debido a que OMM recomienda que para estudios de cambio climático se considere una línea base climática de 1961- 1990, y PISCO tiene una línea base climática de 1981-2010.

En la figura 18, se representa mapas de HLZ para la cordillera Carabaya a) ONERN-INRENA, b) SENAMHI y c) Tesista. Se observa que los tres mapas de zonas de vida presentan las zonas de vida: nival, tundra, páramo y bosque muy húmedo y pluviales, sin embargo, también se observan diferencias. La principal diferencia con el mapa de HLZ

del SENAMHI es que este presenta zonas de vida matorral y estepa, para que dichas zonas de vida existan de acuerdo al modelos bioclimático de Holdridge, las precipitaciones tienen que variar entre 250-500 mm/año para matorral y 125-250 mm/año para estepa, sin embargo, la precipitación promedio anual en la estación de Macusani es de 737.3 mm/año, en ese sentido dichas zonas de vida presentados por SENAMHI no se ajustarían a la realidad de la cordillera Carabaya.

Por otro lado, el mapa de HLZ de la ONERN – INRENA diferencia dos tipos de paramos (páramo pluvial y páramo muy húmedo). Según el modelo bioclimático de Holdridge para que exista el páramo pluvial la precipitación debe variar entre los 1000 a 2000 mm/año, sin embargo, la precipitación media anual observada en Ollachea, ubicada al este de la estación Macusani y en una menor gradiente altitudinal, registra una precipitación media anual de 1174.8 mm/año. Si bien es cierto que es posible que en algunas zonas se pueda presentar las condiciones para la formación de un páramo pluvial este sería en zonas muy puntuales y de áreas reducidas debido a la alta variabilidad espacial de las precipitaciones que presenta el área de estudio. A continuación, se realiza la descripción de las HLZ determinadas para la cordillera Carabaya.

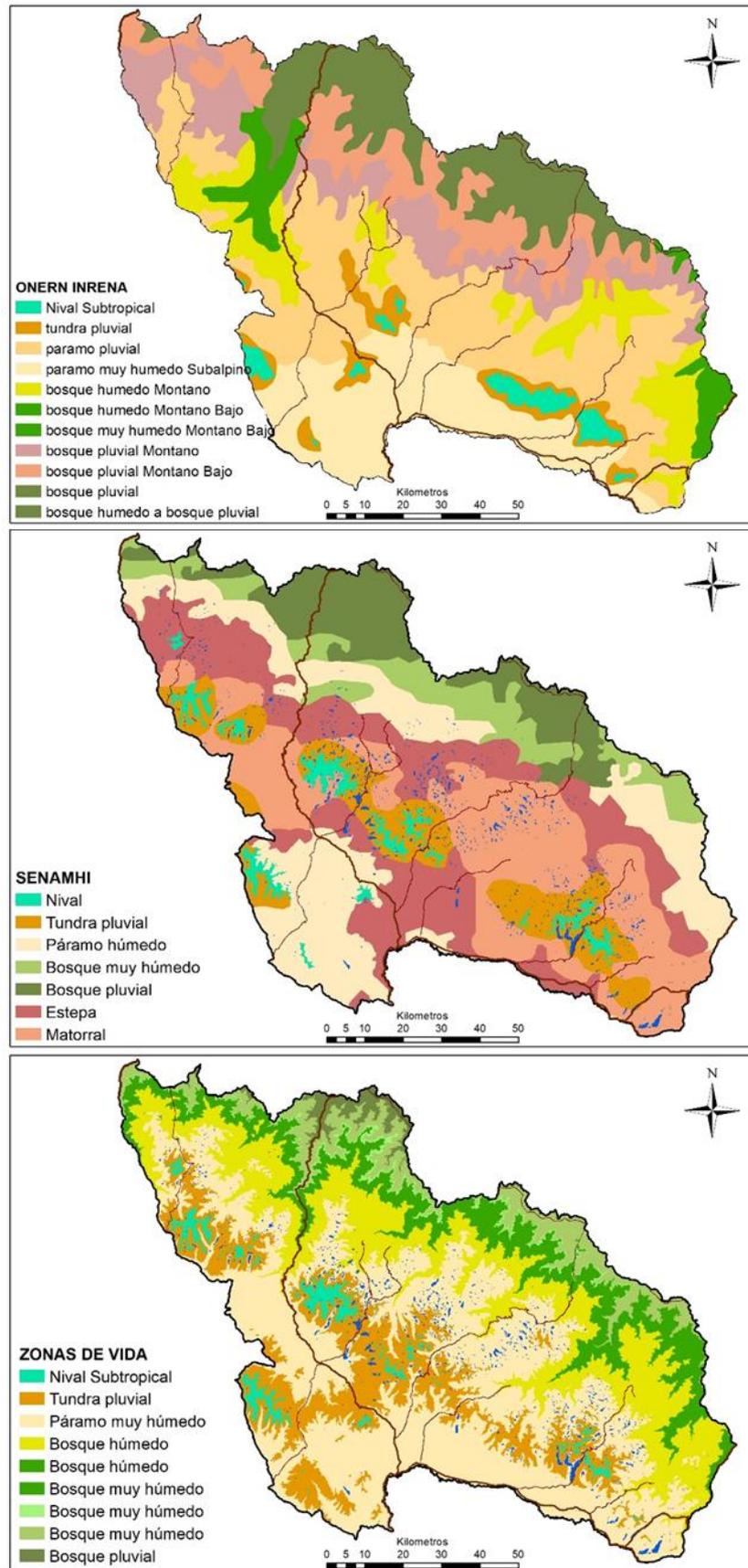


Figura 18. Comparación de las HLZ para la cordillera Carabaya a) ONERN-INRENA, b) SENAMHI y c) Tesista

4.2.1 Nival subtropical (NS)

De relieve abrupta, está constituido principalmente por glaciares y zonas periglaciares, con afloramientos rocosos y lagunas de reciente formación, se extiende a lo largo de las cimas de la cordillera Carabaya por encima de 4900 m.s.n.m., tiene una extensión de 254.8 km² representado el 2.2% del área total de la cordillera. De características climáticas frías, la biotemperatura es inferior a 1.5 °C durante todo el año, con precipitaciones acumuladas anuales que varía entre los 888 y 1000 mm/año, siendo abundante entre los meses de diciembre a marzo y muy escasa o nula entre los meses de junio a agosto. Las bajas temperaturas no favorecen el desarrollo de la vegetación, sin embargo, es posible encontrar líquenes sobre las rocas, por otro lado, en los últimos años el incremento de las temperaturas en la zona nival viene provocando el retroceso de los glaciares y generando condiciones para la colonización de nuevas especies de plantas y líquenes sobre las rocas. En la Figura 19, se observa imágenes de las HLZ Nival donde: a) Vista frontal del nevado Allincapac – Quebrada Janjoyo (Macusani), b y g) vista posterior del nevado Allincapac – Quebrada Cahuana (Ollachea), c y d) nevado Allincapac – laguna Llachujocha y laguna Guardacocha respectivamente (Ayapata), e) nevado Chichicapac – laguna Pucacocha, f) fragmento del nevado Chichicapac - Laguna Jatun Huiscanicocha.

4.2.2 Tundra pluvial - Andino subtropical (tp-AS)

De relieve generalmente accidentado, varía entre colinado a ondulado (valles en U) que dejo la erosión glaciár, se extiende entre los 4500 y 4950 m.s.n.m., tiene una extensión de 1700.1 km² representando el 14.6% del área total de la cordillera. La biotemperatura se encuentra en el rango de 1.5 °C a 3.0 °C durante todo el año, con una precipitación acumulada anual que varía entre los 845.5 y 1000 mm/año, siendo abundante entre los meses de diciembre a marzo, y muy escasa o nula entre los meses de junio a agosto. Según el diagrama bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración promedio oscila entre la octava parte (1/8) y la cuarta parte (1/4) del volumen de la precipitación total anual, dándole la condición de superhmedo (pluvial) como provincia de humedad, ver Figura 20. La vegetación natural de la HLZ es muy abundante y florísticamente más diversificada, conteniendo arbustos y hierbas tipo graminal así como plantas arrosietadas y de porte almohadillado de hasta 0.50 m de altura. Una especie característica es la



Distichia muscoides que es representativo de los bofedales presentes en la tundra, estas almohadillas crecen continuamente en la parte superior de la tundra, mientras que en la parte inferior se va convirtiéndose en turba, (INRENA, 1995).

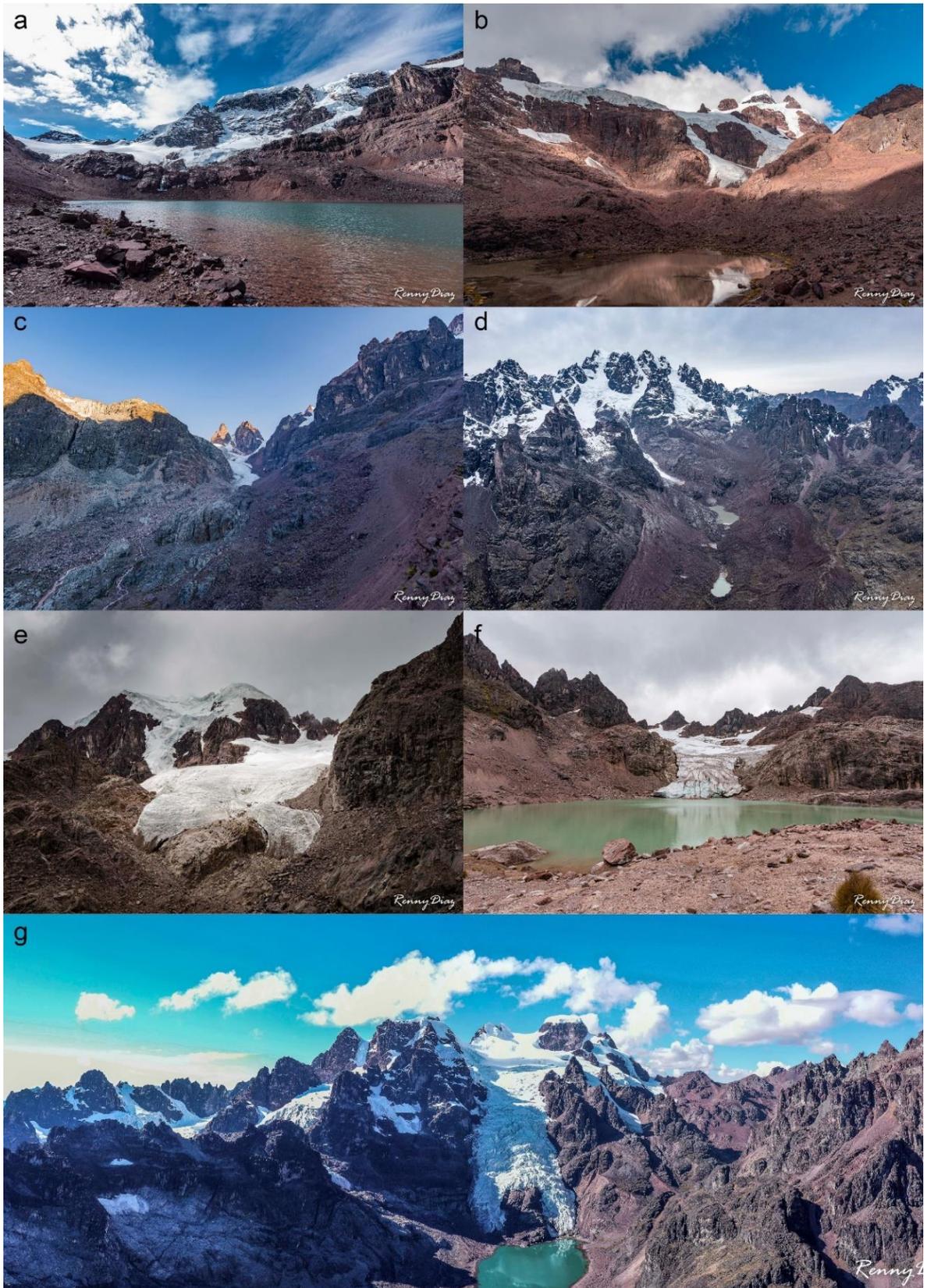


Figura 19. HLZ Nival subtropical

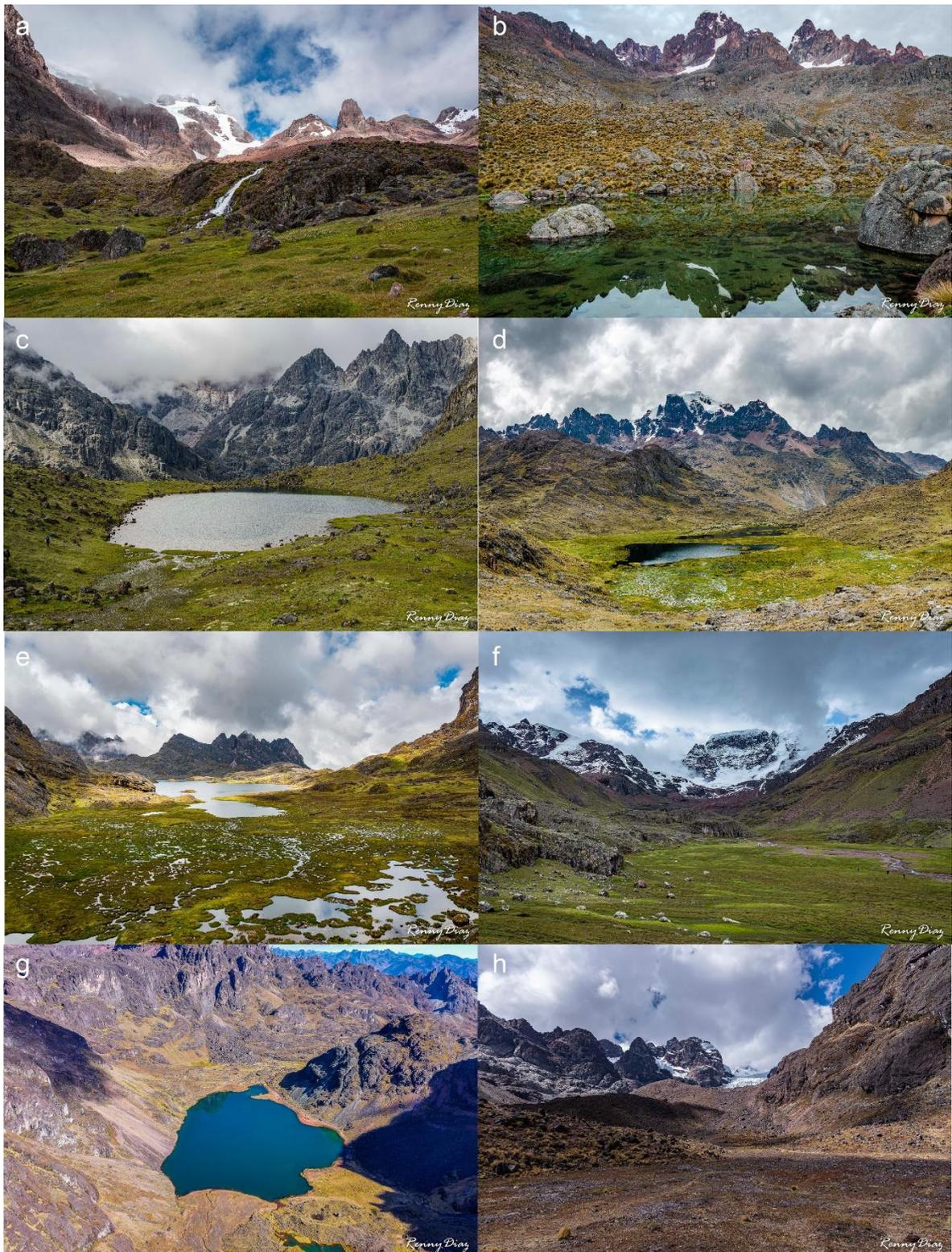


Figura 20. HLZ Tundra pluvial - Andino subtropical

Dónde: a, g y h) vistas posteriores al nevado Allincapac - quebrada Cahuana (Ollachea), b y d) laguna Quimsacocha - quebrada Tocca (Macusani), c) laguna Collpacocha, e) Laguna Jatun Huiscanicocha.

4.2.3 Páramo muy húmedo – Sub andino subtropical (pmh-SaS)

De relieve topográfico variable y extensa, de suaves a ligeramente onduladas y colinadas, se extiende entre los 3900 y 4700 m.s.n.m. y tiene una superficie de 4814.9 km², representa el 41.2% del área total de la cordillera. La biotemperatura varía entre los 3 °C a 6 °C durante todo el año, la precipitación media anual varía entre los 714 y 1000 mm/año siendo abundante entre los meses de diciembre a marzo, y muy escasa entre los meses de junio a agosto. Según el diagrama bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración promedio oscila entre la cuarta parte (1/4) y la mitad (1/2) del volumen de la precipitación total anual, dándole la condición de perhumedo (muy húmedo) como provincia de humedad. La vegetación propia de la HLZ, está constituida por una abundante mezcla de gramíneas y otras hierbas permanentes. Entre las especies dominantes, se tiene la *Festuca dolycophylla*, *Festuca orthophylla*, *Calamagrostis antoniana*, *C. intermedia*, *C. vicunarum*, *Stipa brachyphylla*, *S. ichu*, *S. obtusa* y *S. inconspicua*. Entre las especies forestales es posible encontrar bosques residuales de pequeños árboles de *Polylepis* sp. principalmente. En la Figura 21 se observan imágenes de la HLZ Paramo donde: a) laguna Pitumarca (Ayapata), b y c) quebrada saliente de la laguna Morojota (Ayapata); d, e, y g) valle de la quebrada Chahuana (Ollachea), y h) valle del Tocca (Macusani).

4.2.4 Bosque húmedo - Montano subtropical (bh – MS)

De relieve predominantemente empinado que conforman la parte superior de laderas de los valles interandinos, suavizándose en el límite con el Páramo que representa gradiente moderadas por efecto de la erosión glaciaria. Se extiende entre los 2700 y 4000 m.s.n.m. y tiene una superficie de 2372.4 km² representado el 20.3% del área total de la cordillera. La biotemperatura varía entre los 6 °C y 12 °C durante todo el año, con precipitaciones acumuladas anuales que varían entre los 615.3 y 1000 mm/año, siendo abundante entre los meses de diciembre a marzo, y muy escasa o nula entre los meses de junio a agosto. Según el diagrama bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración promedio oscila entre la mitad (1/2) y una cantidad igual (1) al volumen de la precipitación total anual, dándole la condición de húmedo como provincia de humedad. “La vegetación natural se limita a pequeños relictos o bosques residuales homogéneos de chachacomo (*Escallonia* sp.), queñaules (*Polylepis* sp.), ulcumano, romerillo o intinpa (*Podocarpus* sp) o pequeños bosques heterogéneos constituidos por especies de los géneros *Gynoxis*, *Polylepis*,

Berberis, Eugenia, Senecio, Podocarpus, Baccharis, Oreopanax, Solanum etc” (INRENA, 1995).

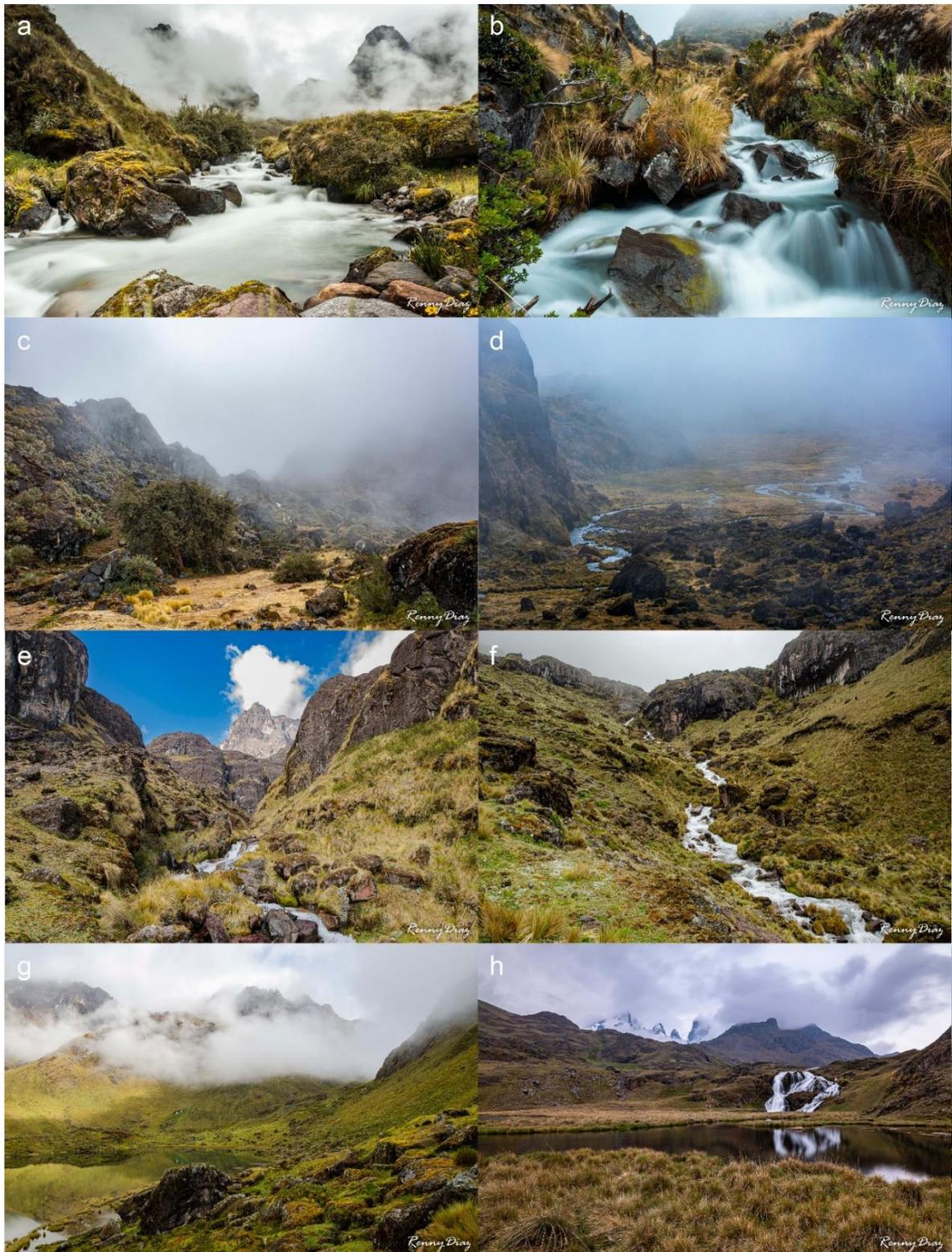


Figura 21. HLZ Páramo muy húmedo - Subandino subtropical.



Figura 22. HLZ Bosque húmedo - Montano subtropical (Distrito Ollachea).

Dónde: a y b) aguar arriba de la laguna Taype (Ayapata), c, d, e, f, g y h) corresponden al valle de la quebrada Chahuana (Ollachea).

4.2.5 Bosque muy húmedo - Montano subtropical (bmh – MS)

De relieve predominantemente accidentado con laderas fuertes sobre 60% de pendiente, se extiende entre los 2700 a 3100 m.s.n.m. y tiene una superficie de 279.2 km² representado el 2.4% del área total de la cordillera. La biotemperatura varía entre los 6 °C y 12 °C durante todo el año, con precipitaciones acumuladas anuales que varían entre los 1000 y 1200 mm/año, siendo abundante entre los meses de diciembre a marzo, y muy escasa o nula entre los meses de junio a agosto. Según el diagrama bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración promedio oscila entre la cuarta parte (1/4) y la mitad (1/2) al volumen de la precipitación total anual, dándole la condición de perhúmedo (muy húmedo) como provincia de humedad, ver Figura 23. La vegetación natural originaria está constituida por especies arbóreas de los géneros *Clusia*, *Brunellia*, *Raoabea*, *Eugenia*, *Ocotea*, *Myrcia*, *Laplacea*, *Solanum*, algunos helechos arbóreos. Al descender a los límites inferiores, se observa el aumento progresivo en el tamaño y densidad de las especies arbóreas, a diferencia de las especies graminales que van desapareciendo (INRENA, 1995).

4.2.6 Bosque húmedo - Montano bajo subtropical (bh – MBS)

De relieve topográfico predominantemente inclinado, se extiende entre los 1700 a 2700 m.s.n.m. y tiene una superficie de 1103.7 km² representado el 9.5% del área total de la cordillera. La biotemperatura varía entre los 12 °C y 17 °C durante todo el año, con precipitaciones acumuladas anuales que varían entre los 1000 y 2000 mm/año, siendo abundante entre los meses de diciembre a marzo, y muy escasa o nula entre los meses de junio a agosto. Según el diagrama bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración promedio oscila entre la mitad (1/2) y una cantidad igual (1) al volumen de la precipitación total anual, dándole la condición de húmedo como provincia de humedad. Según el INRENA, entre las especies propias de la HLZ se tiene el “aliso”, “ulcumano”, “romerillo”, “diablo fuerte”, “carapacho” y algunas “moenas” de la familia de las Lauraceas. Así mismo son indicadores de esta HLZ el “carricillo”, “zarzamora” y el musgo que recubre los árboles con un manto verdoso sobre todo en aquellas asociaciones atmosféricas, (INRENA, 1995). En la Figura 24 se observan imágenes referenciales de la HLZ Bosque húmedo - Montano bajo subtropical (bh – MBS) en donde se aprecia la presencia de bosques en zonas de difícil acceso (a y e). Sin embargo, en los valles se

observa la intervención antrópica con zonas de chacra y pastoreo principalmente (b, c, d y e) las imágenes corresponden al centro poblado de Camatani (Ollachea).

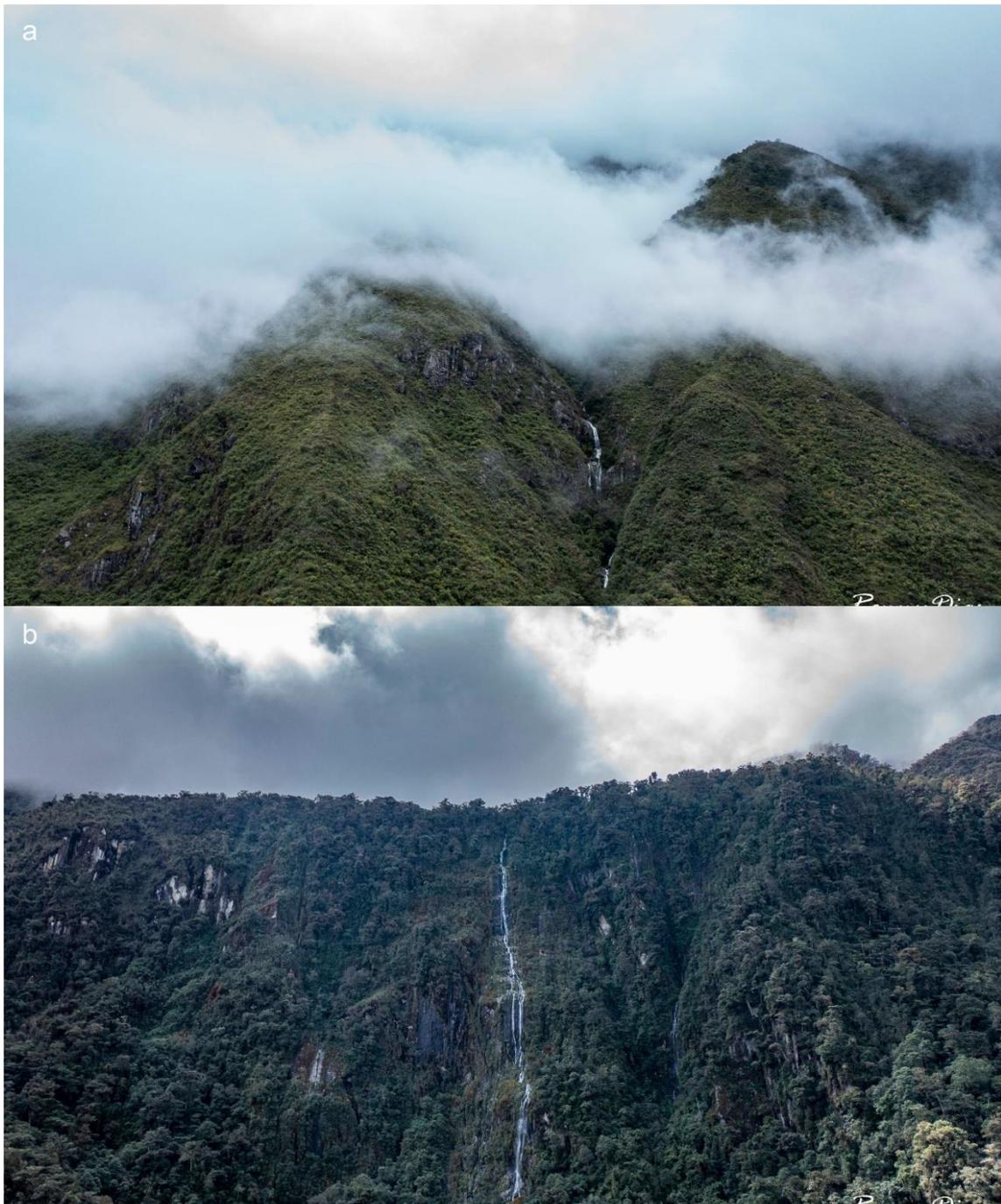


Figura 23. HLZ Bosque muy húmedo – Montano subtropical (Distrito Ollachea).

Dónde: a) zonas elevadas del centro poblado de Camatani (Ollachea), y b) zonas elevadas de la quebrada Chuñuna (Ollachea).



Figura 24. HLZ Bosque húmedo – Montano bajo subtropical (Distrito Ollachea).

4.2.7 Bosque muy húmedo - Montano bajo subtropical (bmh – MBS)

De relieve topográfico predominantemente inclinado, se extiende entre los 1700 a 2700 m.s.n.m. y tiene una superficie de 1103.7 km² representado el 9.5% del área total de la cordillera. La biotemperatura varía entre los 12 °C y 17 °C durante todo el año, con precipitaciones acumuladas anuales que varían entre los 1000 y 2000 mm/año, siendo abundante entre los meses de diciembre a marzo, y muy escasa o nula entre los meses de junio a agosto. Según el diagrama bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración promedio oscila entre la mitad (1/2) y una cantidad igual (1) al volumen de la precipitación total anual, dándole la condición de húmedo como provincia de humedad. Entre las especies propias de esta HLZ se tiene el “aliso”, “ulcumano”, “romerillo”, “diablo fuerte”, “carapacho” y algunas “moenas” de la familia de las Lauraceas. Así mismo, son indicadores de esta zona de vida el “carricillo”, “zarzamora” y el musgo que recubre los árboles con un manto verdoso sobre todo en aquellas asociaciones atmosféricas, (INRENA. 1995). En Figura 24 se observan diferentes vistas de la HLZ Bosque muy húmedo - Montano Bajo Subtropical (bmh – MBS), que corresponde mayormente a zonas de transición entre la HLZ Bosque húmedo – Montano Bajo Subtropical (en zonas más elevadas persisten características de mayor humedad y menor temperatura) y la HLZ Bosque muy húmedo - Premontano Subtropical (en el fondo de valle se observa mayor concentración de especies arbóreas por presentar temperaturas más cálidas).



Figura 25. HLZ Bosque muy húmedo – Montano bajo subtropical (Distrito Ollachea).

4.2.8 Bosque muy húmedo - Premontano subtropical (bmh – PS)

De relieve topográfico abrupto con gradiente sobre los 70% muy susceptible a la erosión, se extiende entre los 800 a 1800 m.s.n.m. con una superficie de 802.3 km² representado

el 6.9% del área total de la cordillera. La biotemperatura varía entre los 17 °C y 24 °C durante todo el año, con precipitaciones acumuladas anuales que varían entre los 2000 y 4000 mm/año, siendo abundante entre los meses de diciembre a marzo, y menor entre los meses de junio a agosto. Según el diagrama bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración promedio oscila entre la cuarta parte (1/4) y la mitad a (1/2) al volumen de la precipitación total anual, dándole la condición de perhúmedo (muy húmedo) como provincia de humedad. Se observa mayor concentración de vegetación de tipos arboles con lianas y bejucos y muchos de ellos cubiertos por epifitas de la familia de las Bromeliaceas. Generalmente los árboles están distribuidos en cuatro estratos: dominantes, suprimidos y oprimidos, sobresaliendo arriba del estrato superior y en forma dispersa, los árboles de mayor tamaño que alcanzan hasta los 45 m de altura, (INRENA, 1995). En la Figura 26 se observan diferentes imágenes que corresponden al centro poblado Salimayo (San Gabán), en donde se aprecia que el HLZ Bosque muy húmedo - Premontano Subtropical tiene mayor presencia de especies arbóreas, con árboles de mayor altura en las zonas bajas de los valles.

4.2.9 Bosque pluvial - Premontano subtropical (bp – PS)

De relieve topográfico abrupto con gradiente sobre los 70% muy susceptible a la erosión, se extiende entre los 400 a 1100 m.s.n.m. con una superficie de 198.8 km² representado el 1.7% del área total de la cordillera. La biotemperatura varía entre los 17 °C y 24 °C durante todo el año, con precipitaciones acumuladas anuales que varían entre los 4000 y superior a los 6000 mm/año, siendo abundante entre los meses de diciembre a marzo, y menor entre los meses de junio a agosto. Según el diagrama bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración promedio oscila entre la octava parte (1/8) y la cuarta parte (1/4) del volumen de la precipitación total anual, dándole la condición de superhúmedo (pluvial) como provincia de humedad. La vegetación es siempre verde con lianas y bejucos y muchos de ellos cubiertos por epifitas de la familia de las Bromeliaceas. Generalmente los árboles están distribuidos en cuatro estratos: dominantes, suprimidos y oprimidos, sobresaliendo arriba del estrato superior y en forma dispersa, los árboles de mayor tamaño que alcanzan hasta los 45 m de altura, (INRENA, 1995), En la Figura 26 se observa imágenes de bosque pluvia-Premontano de características más húmedas y mayor cobertura arbórea, centros poblados San Pedro de Izquilla y Lancuni bajo (San Gabán).



Figura 26. HLZ Bosque muy húmedo – Premontano subtropical (San Gabán).



Figura 27. HLZ Bosque pluvial - Premontano subtropical (San Gabán).

4.3 Proyección futura de las HLZ

Las proyecciones futuras de las HLZ fueron determinadas a partir de las proyecciones climáticas de los GCM: CCSM4, GFDL-CM3, HadGEM2-CC, HadGEM2-AO, ACCESS1.0, HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR, MIROC5, IPSL-CM5A-LR y MRI-CGCM3, y de acuerdo a los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. De los resultados se observaron que los cambios en las zonas de vida fueron considerables al 95% de significancia, a continuación, se detallan los resultados de las proyecciones de HLZ al 2050 y 2070.

4.3.1 Proyecciones de temperatura media anual al periodo 2050 y 2070

- La temperatura media anual proyecta incrementos que varían desde los +1 °C hasta los +6 °C para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente, ver Figuras 29, 30, 31 y 32. En la vertiente amazónica de la cordillera Carabaya se observa que los aumentos de las temperaturas son mayores ($\geq +3$ °C), a diferencia de la zona del altiplano en donde se observa incrementos de temperaturas entre los +1 a +2 °C.
- Se puede observar que los modelos “GFDL-CM3” y “IPSL-CM5A-LR” presentan los valores más extremos proyectando aumentos de temperatura de hasta +6 °C, por otro lado, los modelos “CCSM4” y “MRI-CGCM3” son los más conservadores proyectando aumentos de temperatura de hasta +4 °C. Finalmente, el ensamble realizado de todos los modelos presenta incrementos que varían entre los +1 °C y +3 °C hasta los +2 °C y +4 °C para el 2050 y 2070 bajo el escenario RCP4.5, sin embargo para el escenario RCP8.5 las temperaturas se incrementarían entre +2 °C y +5 °C hasta los +3 °C y +6 °C para 2050 y 2070 respectivamente, ver Figura 28.

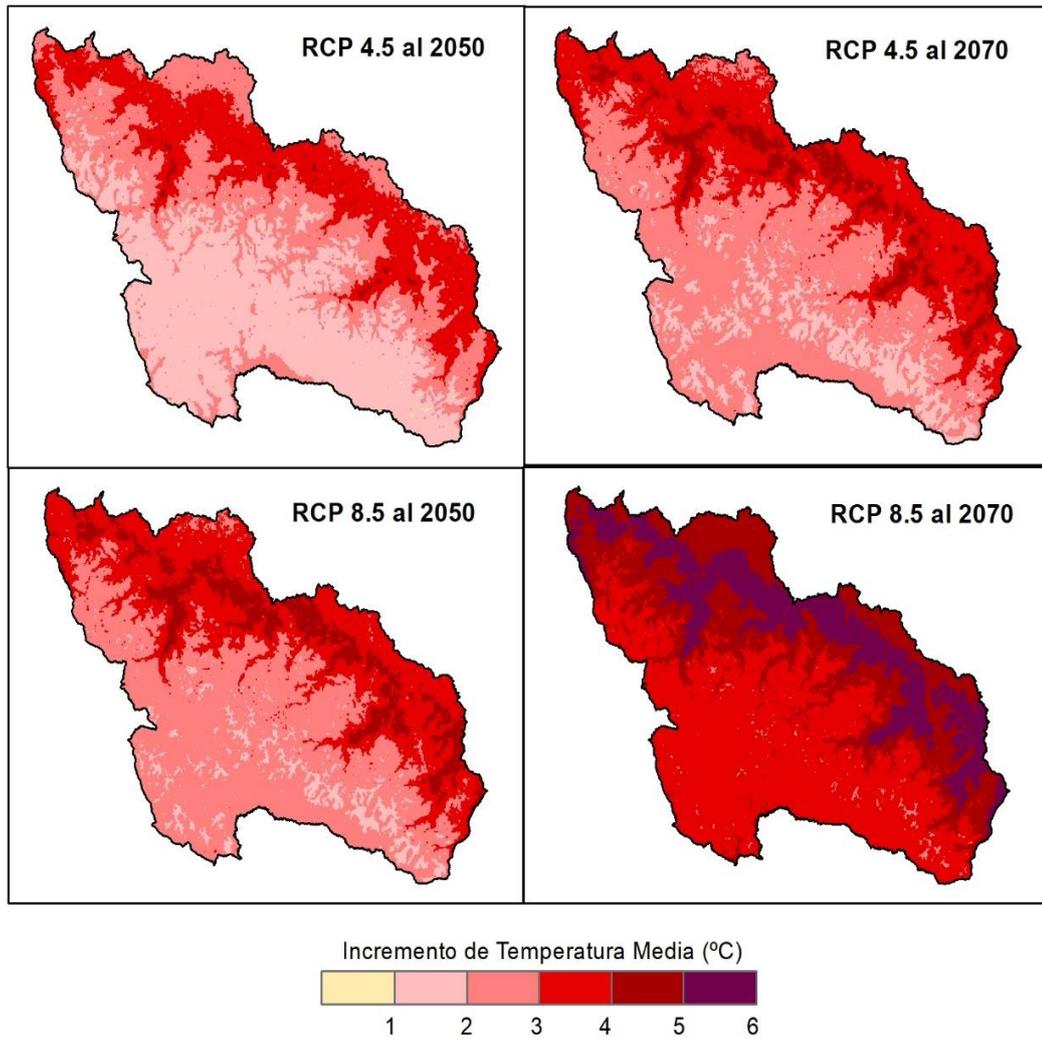


Figura 28. Ensamble de temperatura media al 2050 y 2070 para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5

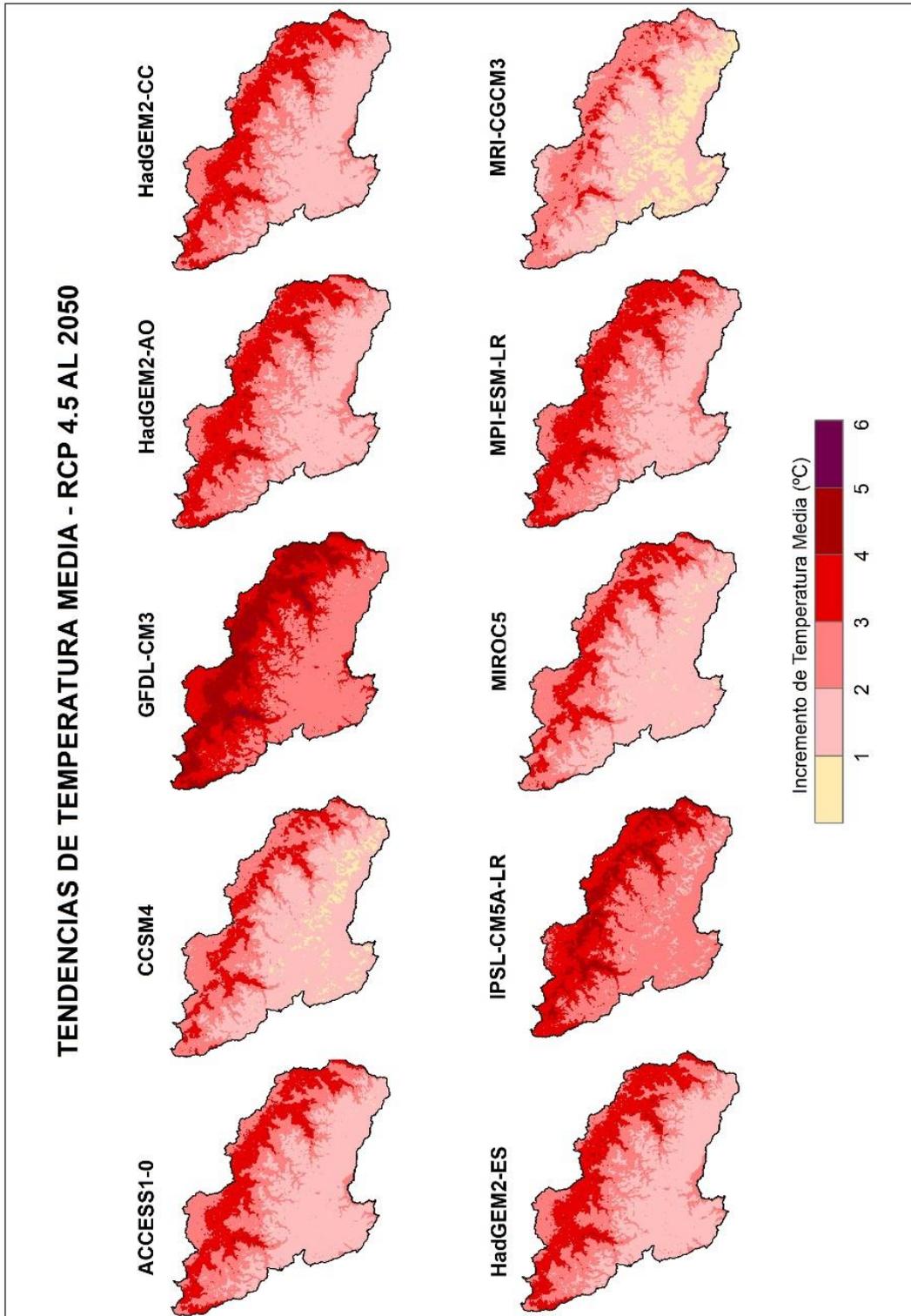


Figura 29. Tendencias de temperatura media - RCP 4.5 al 2050

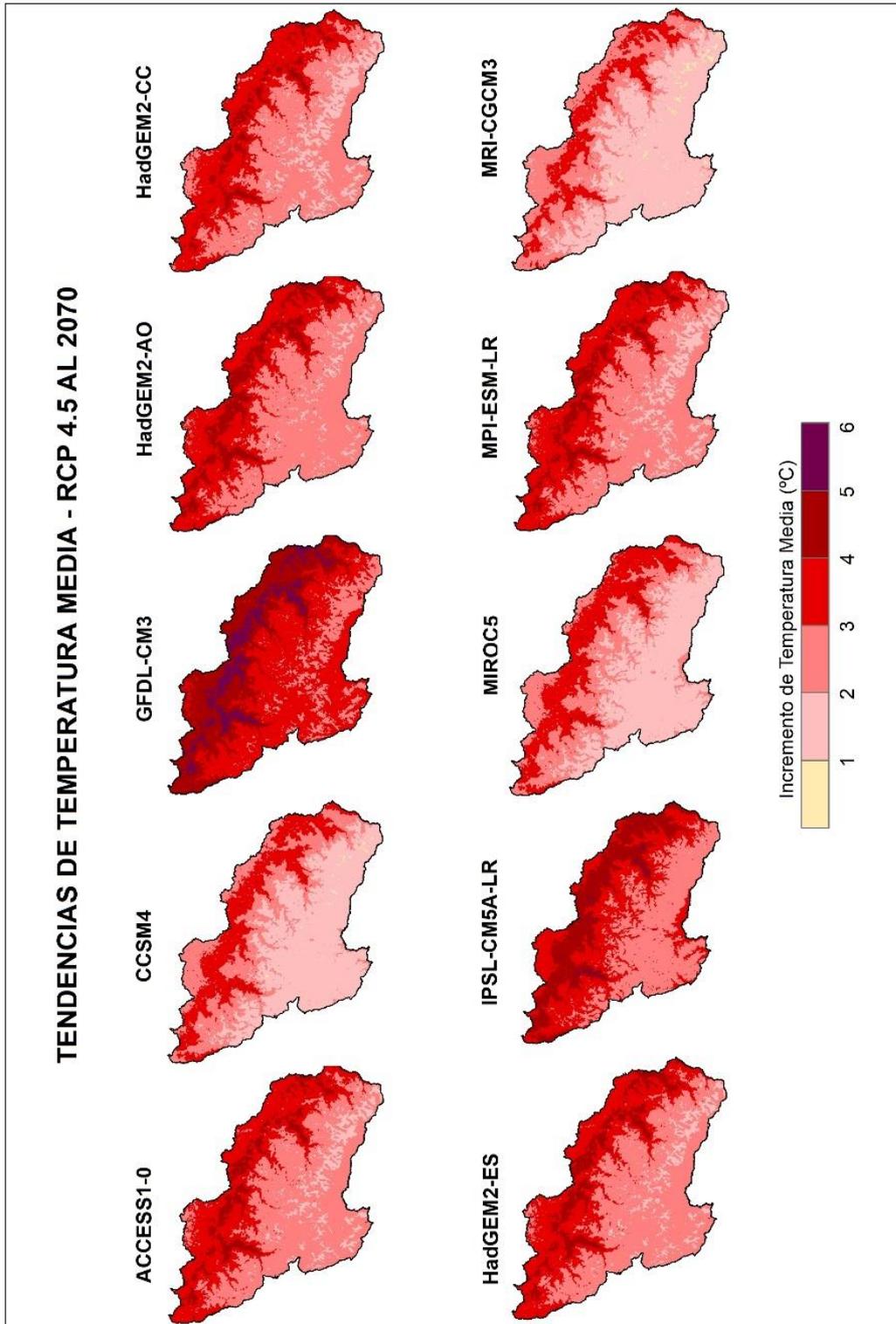


Figura 30. Tendencias de temperatura media - RCP 4.5 al 2070

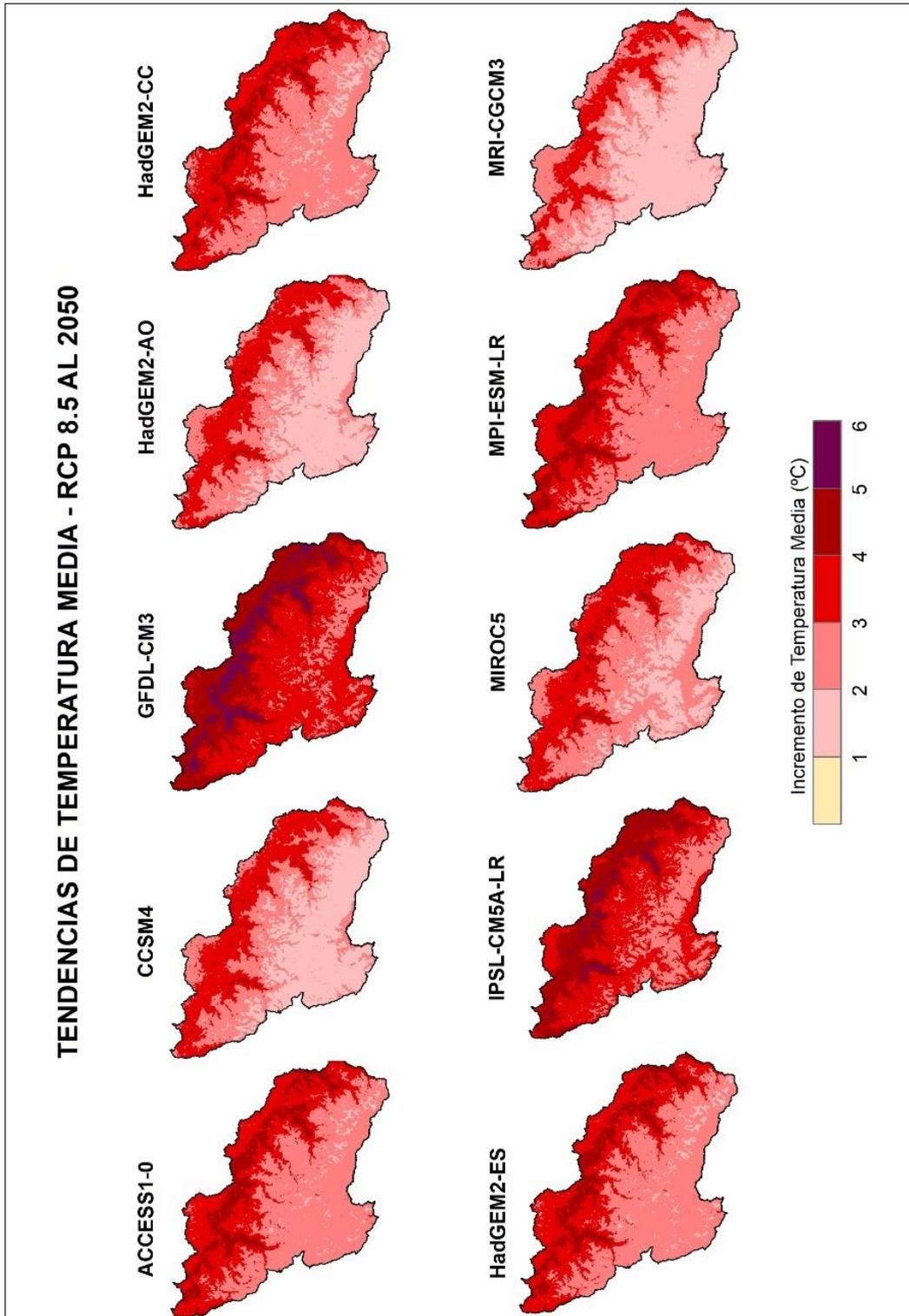


Figura 31. Tendencias de temperatura media - RCP8.5 al 2050

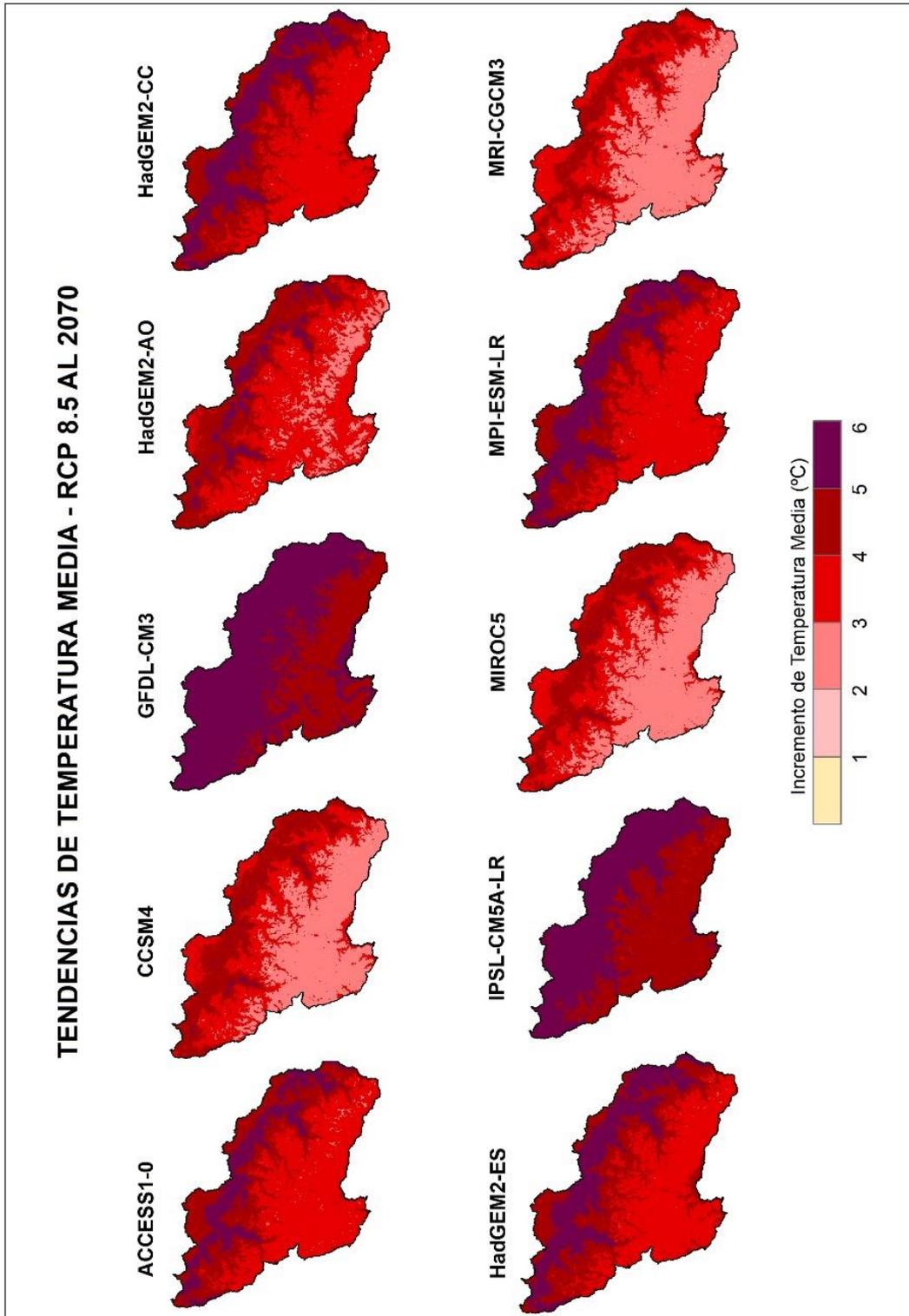


Figura 32. Tendencias de temperatura media - RCP8.5 al 2070

4.3.2 Proyecciones de precipitación al periodo 2050 y 2070

- La proyecciones de precipitación muestran un comportamiento variable en la cordillera Carabaya, se preveen que las precipitaciones se incrementarían entre +10% hasta un +40% en la región amazónica de la cordillera Cayabaya, un panorama distinto de prevee en la región del altiplano en donde se proyecta que las precipitaciones disminuirían hasta en -20%, ver Figuras 34, 35, 36 y 37. De los modelos analizados, el modelo “GFDL-CM3” es el más pesimista con proyecciones de disminución de la precipitación de hasta -30% para la región del altiplano y disminuciones entre -10% y -20% para región amazónica de la cordillera Carabaya.
- Finalmente, el ensamble realizado de todos los modelos proyecta incrementos de la precipitación para la región amazónica de la cordillera que varía entre los +10 hasta los +30% para ambos escenarios y para los años 2050 y 2070. Sin embargo, para la región del altiplano las precipitaciones disminuirían en -10% hasta los -20%. La reducción de la precipitación es más crítica sureste de la cordillera llegando incluso a disminuir en -30%.

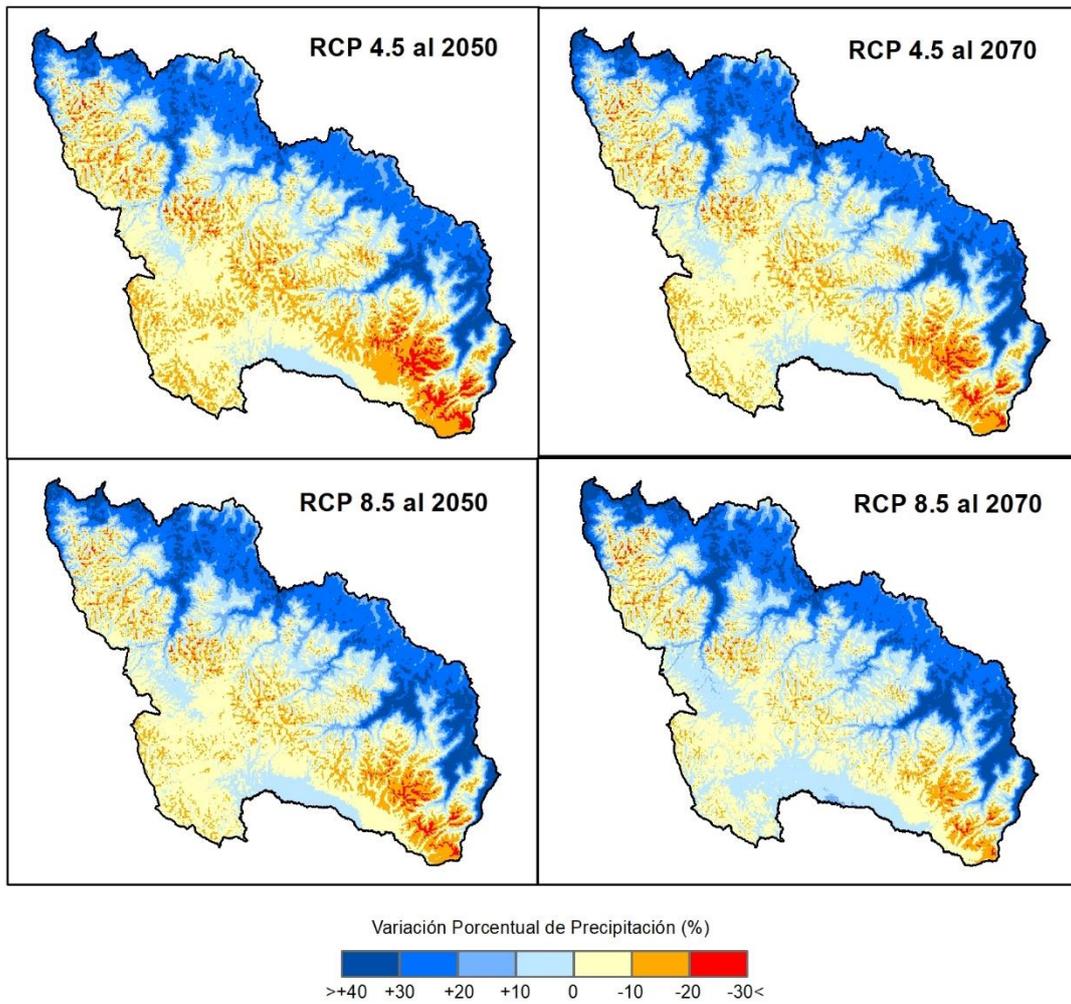


Figura 33. Ensamble de precipitación al 2050 y 2070 para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5

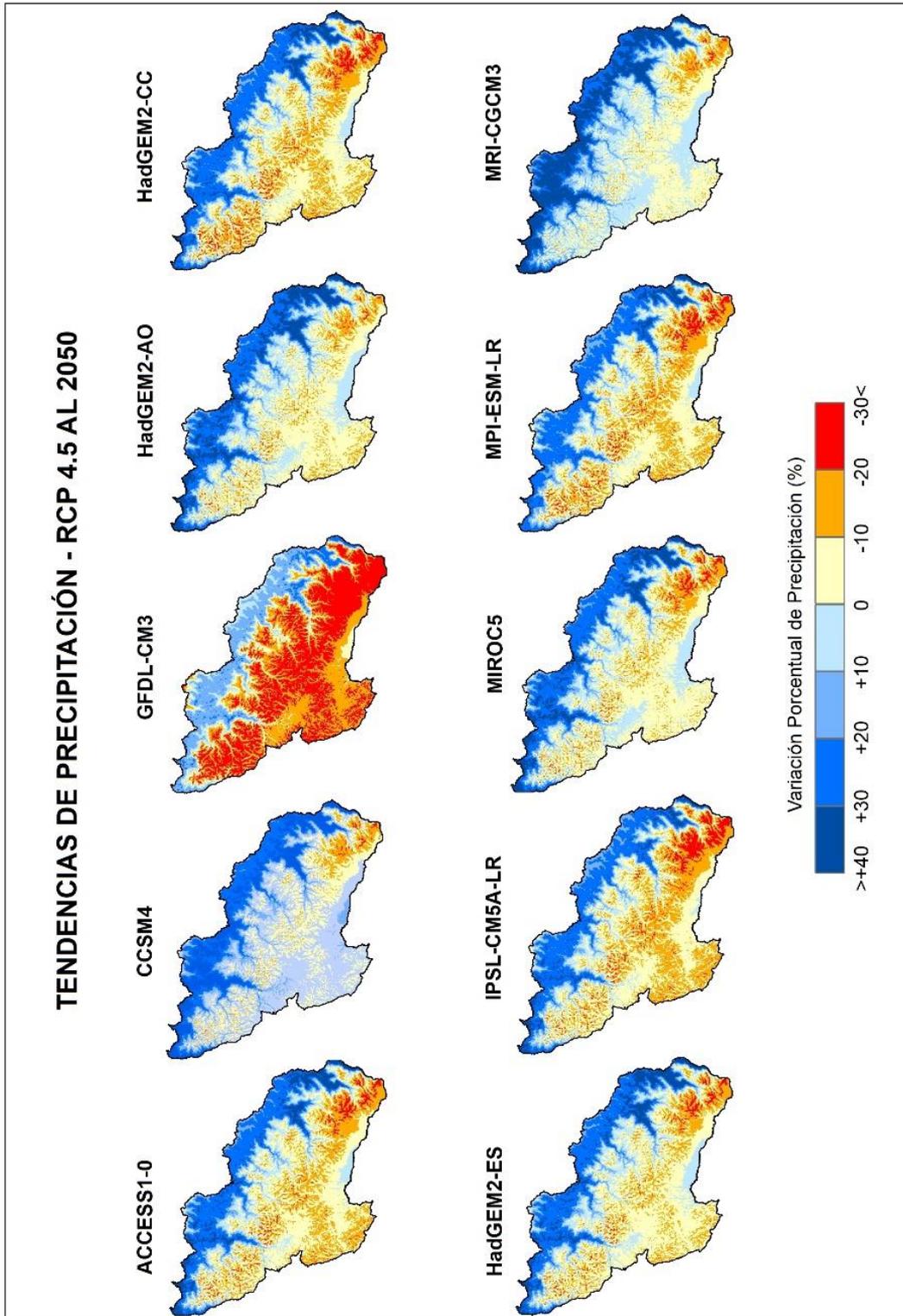


Figura 34. Tendencias de precipitación - RCP4.5 al 2050

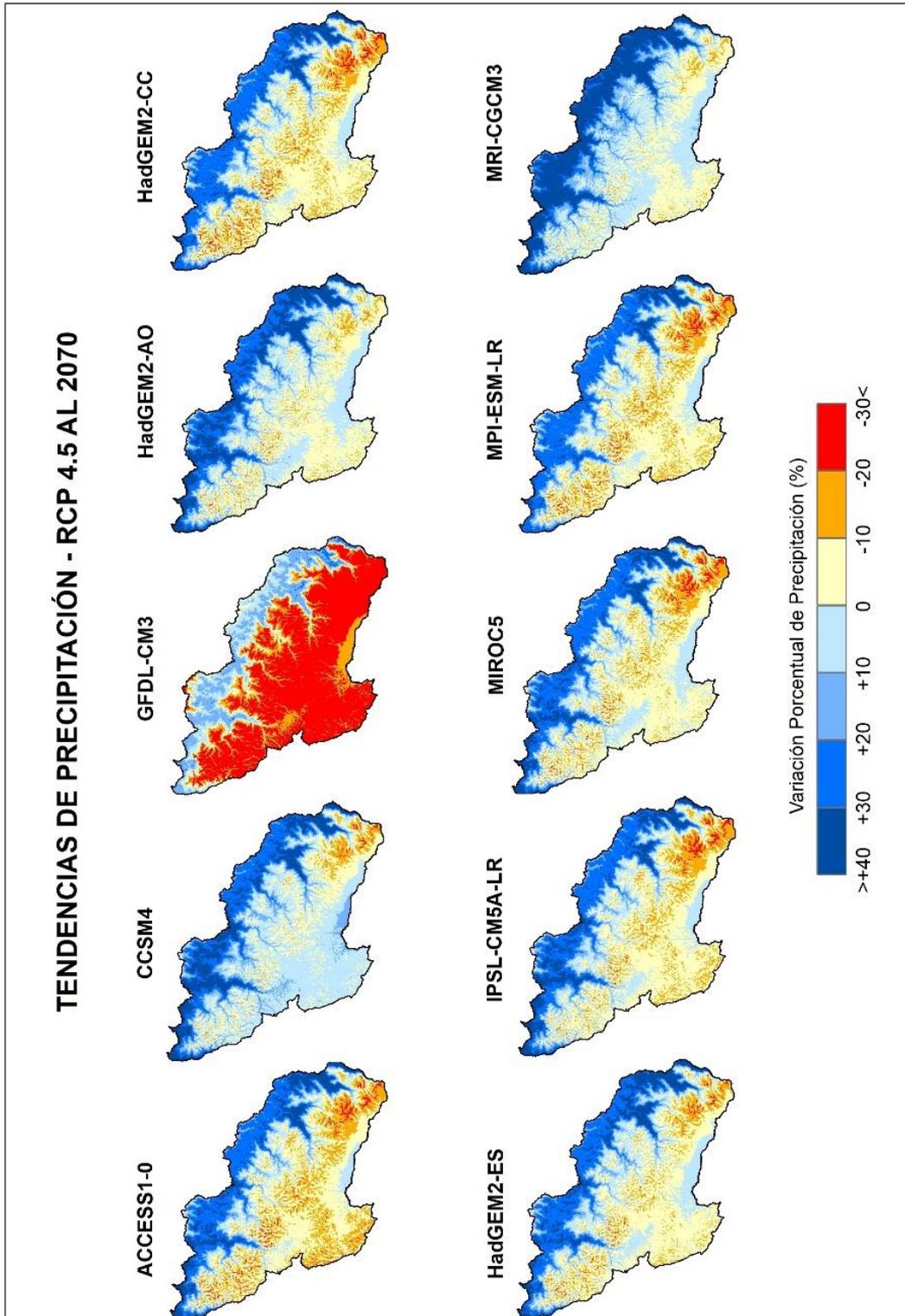


Figura 35. Tendencias de precipitación - RCP4.5 al 2070

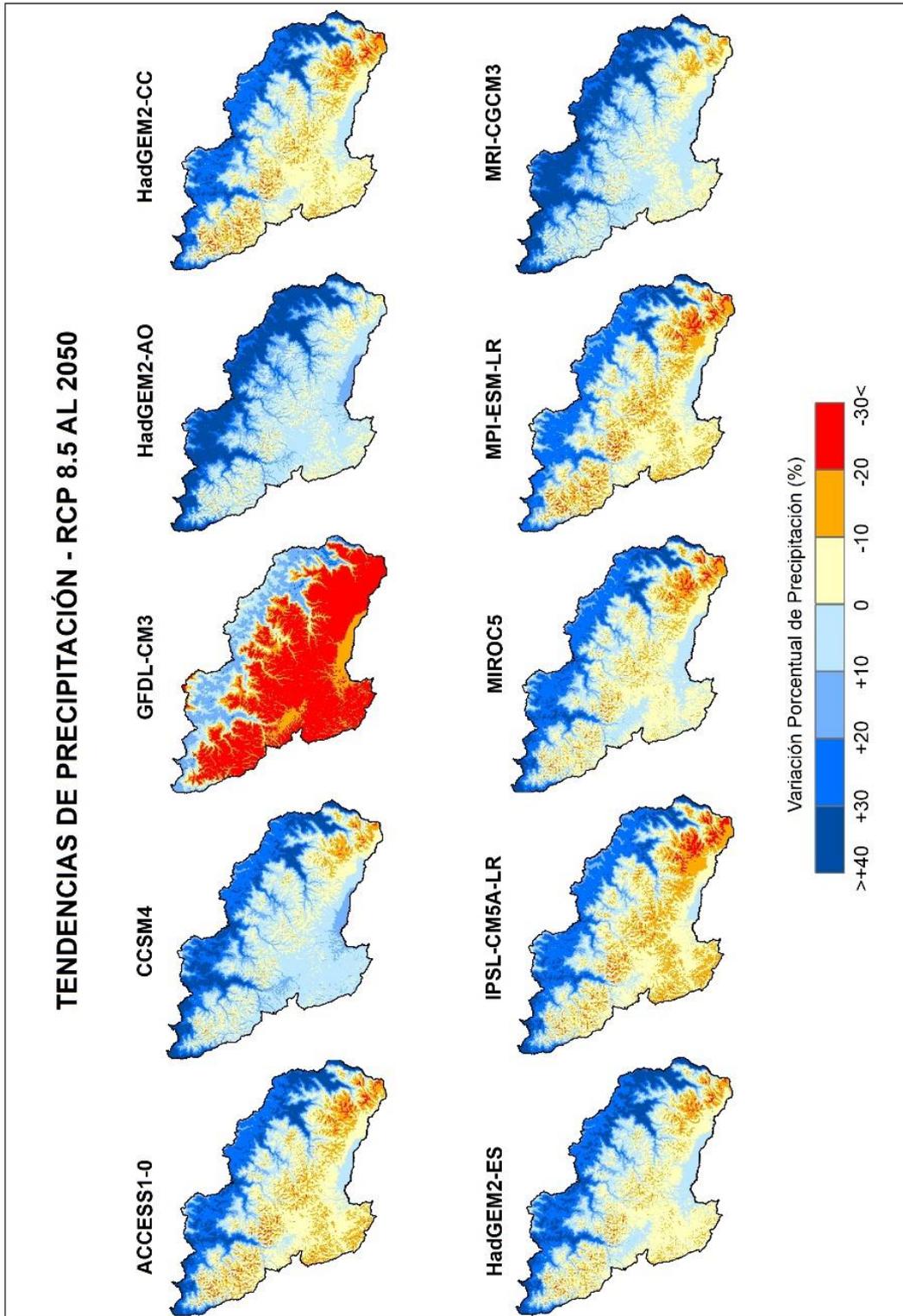


Figura 36. Tendencias de precipitación - RCP8.5 al 2050

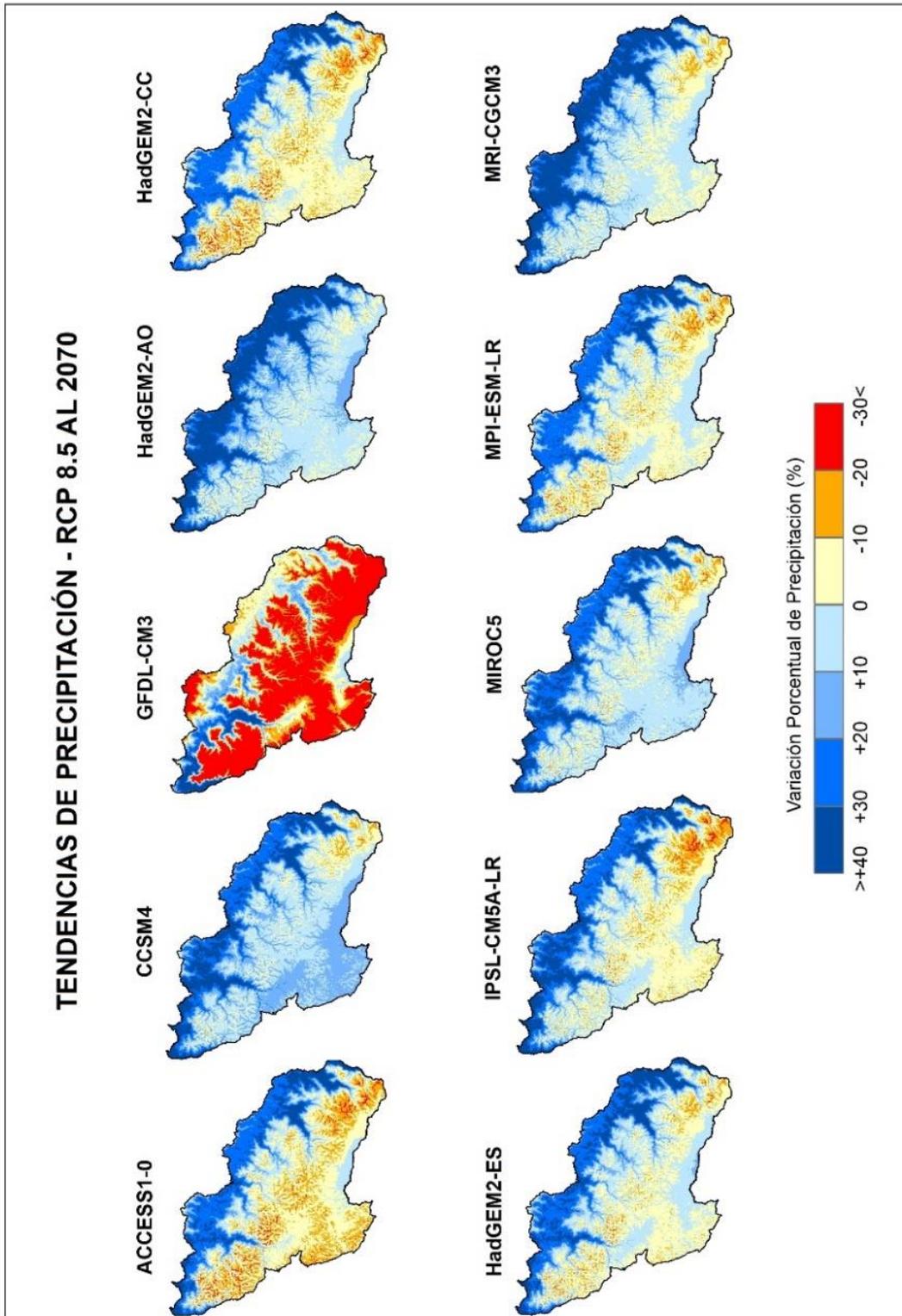


Figura 37. Tendencias de precipitación - RCP8.5 al 2070

4.3.3 Proyecciones de las HLZ al 2050

Se determinaron las HLZ para cada uno de los modelos evaluados y para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente. De acuerdo al análisis se observa que las HLZ Nival Subtropical (NS) y Tundra pluvial-Andino Subtropicales (tp-AS) se reducirían en su extensión hasta en un 92.2% y 85.8% en promedio para el escenario RCP4.5, y en un 96.1% y 92.7% en promedio para el escenario RCP8.5 respectivamente. La zona de vida Páramo muy húmedo-Subandino subtropical (pmh-SaS) se reduciría en un 19.8% y 33.9% en promedio para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente y el bosque muy húmedo-Montano subtropical (bmh-MS) se reduciría en un 64.2% y 67.8% en promedio para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente. Por otro lado, se observa que la zona de vida Bosque húmedo-Montano Subtropical (bh-MS) aumentaría en extensión llegando a 74.5% y 101.0% en promedio tanto para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, ver Figuras 38 y 39 y la Tablas 11 y 12, a continuación, se realiza la descripción por cada zona de vida:

- La HLZ Nival Subtropical (NS) se reduciría de acuerdo a los 10 modelos analizados. Bajo el escenario RCP4.5 se reduciría en 92.2% en promedio con variaciones entre los 78.6% (MRI-CGCM3) y 98.3% (GFDL-CM3). Bajo el escenario RCP8.5 se espera una reducción de 96.1% en promedio con variaciones entre 93.7% (MRI-CGCM3) y 99.3% (GFDL-CM3).
- La HLZ Tundra pluvial-Andino Subtropical (tp-AS) se reduciría de acuerdo a los 10 modelos analizados. Bajo el escenario RCP4.5 se proyecta una reducción de 85.8% en promedio con variaciones entre los 62.7% (MRI-CGCM3) y 97.3% (GFDL-CM3). En cambio, bajo el escenario RCP8.5 se proyecta una reducción de 92.7% en promedio, con variaciones entre 80.7% (MRI-CGCM3) y 99.2% (GFDL-CM3). Las reducciones de las zonas de vida Nival y Tundra se debería principalmente al incremento de la temperatura media entre 2 °C y 4 °C en promedio sobre todo en zonas de alta montaña, y en menor proporción a la disminución de la precipitación para ambos escenarios.
- Para la HLZ Páramo muy húmedo-Subandino Subtropical (pmh-SaS), los 10 modelos analizados bajo el escenario RCP4.5 proyectan una reducción de 19.8% en promedio con variaciones entre los 6.7% (CCSM4) y 48.4% (GFDL-CM3). En cambio, bajo el escenario RCP8.5 se espera una reducción de 33.9% en promedio,

con variaciones entre 15.3% (MRI-CGCM3) y 66.1% (GFDL-CM3). La reducción de la zona de vida Páramo se debe principalmente al incremento de la temperatura logrando un desplazamiento a mayores altitudes, y a la disminución de la precipitación siendo desplazado por el Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS).

- Para la HLZ Bosque húmedo–Montano Subtropical (bh-MS), los 10 modelos analizados bajo el escenario RCP4.5 proyectan un incremento de 74.5% en promedio con variaciones entre los 29.9% (MRI-CGCM3) y 131.0% (GFDL-CM3). En cambio, bajo el escenario RCP8.5 aumentaría en 101.9% en promedio, con variaciones entre 54.9% (MRI-CGCM3) y 157.8% (GFDL-CM3). El incremento del bosque húmedo se debería al aumento de la temperatura y precipitación desplazándose hacia el territorio de la zona de vida Paramo en ambos escenarios.
- Para la HLZ bosque muy húmedo-Montano Subtropical (bmh-MS), los 10 modelos analizados bajo el escenario RCP4.5 proyectan una reducción de 64.2% en promedio solo un modelo (MRI-CGCM3) proyecta un aumento de dicha zona de vida en 16.7%. En cambio, bajo el escenario RCP8.5 la zona de vida bosque muy húmedo disminuiría en 67.8% en promedio, sin embargo, dos modelos (HADGEM2-AO MRI-CGCM3) proyectan aumentos de 25.9% y 20.8% respectivamente. Estas variaciones de deben principalmente a la incertidumbre de los modelos sobre el futuro de las precipitaciones en la región amazónica de la cordillera.
- La variación del Bosque húmedo-Montano Bajo Subtropical (bh-MBS) bajo el escenario RCP4.5, se observa que 8 modelos proyectan un incremento de 12.9% en promedio, sin embargo 2 modelos (GFDL-CM3, IPSL-CM5A-LR) proyectan una disminución de -19.0% en promedio. Bajo el escenario RCP8.5, 7 modelos proyectan un incremento de 11.7% en promedio, por otro lado 3 modelos (GFDL-CM3, IPSL-CM5A-LR, MPI-ESM-LR) proyectan una disminución de -25.5% en promedio. Se observa mayor divergencia de los modelos en cuanto a la proyección futuras de las precipitaciones en la región amazónica de la cordillera.
- Para la HLZ Bosque muy húmedo-Montano Bajo Subtropical (bmh-MBS), los 10 modelos analizados proyectan una reducción de -81.1% y 85.6% en promedio para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente. La reducción de esta zona

de vida se debe principalmente al aumento de la temperatura pasando de la categoría montano a premontano, por otro lado, se espera que las precipitaciones se incrementen.

- Con respecto a la HLZ Bosque muy húmedo–Premontano Subtropical (bmh-PS), los 10 modelos analizados proyectan un incremento de 45.3% y 46.5% en promedio para ambos escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente. Por otro lado, para el Bosque pluvial-Premontano Subtropical (bp-PS), 9 modelos proyectan un incremento de 127.9% y 104.5% en promedio para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente; solo el modelo “GFDL-CM3” proyecta una reducción de -23.0 y 89.2% para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente. En general los modelos proyectan el incremento de las precipitaciones para la región amazónica de la cordillera, en ese sentido es probable que el Bosque pluvial y Bosques muy húmedo aumenten en extensión sobre todo para la región amazónica de la cordillera Carabaya.
- Finalmente, se observa la aparición de nuevas zonas de vida. Por ejemplo, para el escenario RCP4.5 se esperaría la aparición del Bosques seco-Montano Bajo Subtropical (bs-MBS), Bosque húmedo-Premontano Subtropical (bh-PS) y Bosque muy húmedo-Subtropical (bm-S) representando el 1.9%, 1.5% y 0.8% respectivamente del área total de la cordillera Carabaya. Por otro lado, y bajo el escenario RCP8.5 se esperaría la aparición de Bosques seco-Montano Bajo Subtropical (bs-MBS), Bosque seco-Premontano Subtropical (bs-PS), Bosque húmedo-Premontano Subtropical (bh-PS) y Bosque muy húmedo-Subtropical (bmh-PS) representando el 2.8%, 0.1%, 2.4% y 1.3% respectivamente del área total de la cordillera Carabaya. ver Figuras 38 y 39 y las Tablas 11 y 12.

4.3.4 Proyecciones de las HLZ al 2070

Se determinaron las HLZ para cada uno de los modelos evaluados y para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente para un periodo futuro centrado en el 2070. De acuerdo al análisis se observa que las HLZ Nival Subtropical (NS) y Tundra pluvial-Andino Subtropicales (tp-AS) se reducirían en su extensión hasta en un 96.4% y 91.4% en promedio para el escenario RCP4.5, y en un 98.8% y 99.2% en promedio para el

escenario RCP8.5 respectivamente. La zona de vida Páramo muy húmedo-Subandino Subtropical (pmh-SaS) se reduciría en un 32.4% y 71.7% en promedio para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente y el Bosque muy húmedo-Montano Subtropical (bmh-MS) se reduciría en un 72.5% y 93.2% en promedio para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente. Por otro lado, se observa que la HLZ Bosque húmedo-Montano Subtropical (bh-MS) aumentaría en extensión llegando a 99.0% y 161.0% en promedio tanto para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, ver Figuras 40 y 41 y las Tablas 13 y 14, a continuación, se realiza la descripción por cada HLZ:

- La HLZ Nival Subtropical (NS) se reduciría de acuerdo a los 10 modelos analizados. Bajo el escenario RCP4.5 se reduciría en 96.4% en promedio con variaciones entre los 92.9% (MRI-CGCM3) y 99.3% (GFDL-CM3). Bajo el escenario RCP8.5 se espera una reducción de 98.8% en promedio con variaciones entre 97.0% (MRI-CGCM3) y 100% (GFDL-CM3, IPSL-CM5A-LR).
- La HLZ Tundra pluvial-Andino Subtropical (tp-AS) se reduciría de acuerdo a los 10 modelos analizados. Bajo el escenario RCP4.5 se proyecta una reducción de 91.4% en promedio con variaciones entre los 79.2% (MRI-CGCM3) y 99.2% (GFDL-CM3). En cambio, bajo el escenario RCP8.5 se proyecta una reducción de 99.2% en promedio, con variaciones entre 97.0% (MRI-CGCM3) y 100% (6 modelos). Para el 2070 se espera que las zonas de vida Nival y Tundra desaparezcan prácticamente, esto debido al mayor incremento de la temperatura media entre 4°C y 6°C en promedio sobre todo en zonas de alta montaña.
- Para la HLZ Páramo muy húmedo-Subandino Subtropical (pmh-SaS), los 10 modelos analizados bajo el escenario RCP4.5 proyectan una reducción de 32.4% en promedio con variaciones entre los 15.1% (CCSM4) y 66.1% (GFDL-CM3). En cambio, bajo el escenario RCP8.5 se espera una reducción de 71.7% en promedio, con variaciones entre 48.0% (MRI-CGCM3) y 97.0% (GFDL-CM3). La reducción de la zona de vida Páramo se debe principalmente al incremento de la temperatura logrando un desplazamiento a mayores altitudes, y a la disminución de la precipitación siendo desplazado por el Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS).
- Para la HLZ Bosque húmedo–Montano Subtropical (bh-MS), los 10 modelos analizados bajo el escenario RCP4.5 proyectan un incremento de 99.0% en

promedio con variaciones entre los 51.0% (MRI-CGCM3) y 157.6% (GFDL-CM3). En cambio, bajo el escenario RCP8.5 aumentaría en 161.2% en promedio, con variaciones entre 131.0% (MIROC5, CCSM4) y 186.0% (IPSL-CM5A-LR). El incremento del bosque húmedo se debería al aumento de la temperatura y precipitación desplazándose hacia el territorio de la zona de vida Páramo en ambos escenarios.

- Para la HLZ Bosque muy húmedo-Montano Subtropical (bmh-MS), los 10 modelos analizados bajo el escenario RCP4.5 proyectan una reducción de 72.5% en promedio solo un modelo (MRI-CGCM3) proyecta un aumento de dicha zona de vida en 63.5%. En cambio, bajo el escenario RCP8.5 se esperaría una reducción de 93.2% en promedio. Se puede observar que para el escenario RCP8.5 se espera que dicha zona de vida desaparezca al 100% de acuerdo a 8 modelos analizados.
- La variación del Bosque húmedo-Montano Bajo Subtropical (bh-MBS) bajo el escenario RCP4.5, se observa que 8 modelos proyectan un incremento de 11.2% en promedio, sin embargo 2 modelos (GFDL-CM3, IPSL-CM5A-LR) proyectan una disminución de -32.3% en promedio. Bajo el escenario RCP8.5, 6 modelos proyectan una reducción de 36.0% en promedio, por otro lado 3 modelos (CCSM4, HADGEM2-AO, MIROC5 Y MRI-CGCM3) proyectan una disminución de -17.8% en promedio. Se observa mayor divergencia de los modelos en cuanto a la proyección futuras de las precipitaciones en la región amazónica de la cordillera.
- Para la HLZ Bosque muy húmedo-Montano Bajo Subtropical (bmh-MBS), 9 modelos analizados bajo el escenario RCP4.5 proyectan una reducción de -97.2% en promedio. bajo el escenario RCP8.5 se espera una reducción del 100% en todos los modelos analizados. La reducción de esta zona de vida se debe principalmente al aumento de la temperatura pasando de la categoría montano a premontano, por otro lado, se espera que las precipitaciones se incrementen.
- Con respecto a la HLZ Bosque muy húmedo-Premontano Subtropical (bmh-PS), los 10 modelos analizados proyectan un incremento de 47.2% y 39.8% en promedio para ambos escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente, solo para el escenario RCP8.5 el modelo (GFDL-CM3) proyecta una reducción de 37.0%.

- Para el Bosque pluvial-Premontano Subtropical (bp-PS), 9 modelos proyectan un incremento de 102.5% en promedio bajo el escenario RCP4.5, solo el modelo (GFDL-CM3) proyecta una reducción de 89.2%. Sin embargo, bajo el escenario RCP8.5 se observa una mayor divergencia de los modelos para el 2070, por ejemplo 5 modelos proyectan un incremento de 76.4% en promedio, y otros 5 modelos proyectan una reducción de 55.0%. En general se observa mayor divergencia en los resultados de los modelos bajo el escenario RCP8.5, se espera que continúe el incremento de las precipitaciones para la región amazónica de la cordillera, en ese sentido es probable que el Bosque pluvial y Bosques muy húmedo aumenten en extensión sobre todo para la región amazónica de la cordillera Carabaya.
- Finalmente, se observa la aparición de nuevas HLZ. Por ejemplo, para el escenario RCP4.5 se esperaría la aparición del Bosques seco-Montano Bajo Subtropical (bs-MBS), Bosque húmedo-Premontano Subtropical (bh-PS) y Bosque muy húmedo-Subtropical (bm-S) representando el 2.7%, 2.2% y 1.3% respectivamente del área total de la cordillera Carabaya. Por otro lado, y bajo el escenario RCP8.5 se esperaría la aparición de Bosques seco-Montano Bajo Subtropical (bs-MBS), Bosque húmedo-Premontano Subtropical (bh-PS), Bosque húmedo-Subtropical (bh-S) y Bosque muy húmedo-Subtropical (bmh-PS) representando el 6.5%, 5.0%, 1.2% y 2.7% respectivamente del área total de la cordillera Carabaya. ver Figuras 40 y 41 y las Tablas 13 y 14.

Tabla 11

Tasas de cambio porcentual de las zonas de vida de diez modelos de circulación general evaluados para el RCP4.5 al período 2050

Zonas de Vida	Variaciones en % proyectadas al 2050 bajo el escenario RCP4.5										
	access1.0	cesm4	gfdl-cm3	hadgem2-ao	hadgem2-cc	hadgem2-es	ipsl-cm5a-1r	miroc5	mpi-esm-1r	mri-cgcm3	
NS	-94.0	-84.7	-98.3	-94.0	-94.0	-93.9	-97.1	-93.0	-94.1	-78.6	
tp-AS	-85.4	-78.9	-97.3	-91.2	-87.6	-88.4	-95.9	-79.1	-91.2	-62.7	
pmh-SaS	-15.0	-6.7	-48.4	-19.6	-16.8	-19.2	-32.2	-13.5	-19.7	-6.8	
bh-MS	67.5	42.8	131.0	78.2	72.7	75.5	103.9	61.9	81.9	29.9	
bmh-MS	-72.1	-14.7	-100.0	-68.2	-81.3	-60.5	-100.0	-64.3	-97.5	16.7	
bh-MBS	16.7	12.9	-37.3	15.7	11.4	16.2	-0.6	19.2	6.0	5.4	
bmh-MBS	-100.0	-49.6	-100.0	-100.0	-100.0	-86.6	-100.0	-100.0	-100.0	25.6	
bmh-PS	49.0	44.7	35.2	55.0	47.2	54.3	43.8	49.5	50.4	23.8	
bp-PS	140.3	170.9	-23.0	141.5	129.9	136.2	92.2	160.8	95.4	234.8	

Tabla 12

Tasas de cambio porcentual de las zonas de vida de diez modelos de circulación general evaluados para el RCP8.5 al período 2050

Zonas de Vida	Variaciones en % proyectadas al 2050 bajo el escenario RCP 8.5										
	access1.0	cesm4	gfdl-cm3	hadgem2-ao	hadgem2-cc	hadgem2-es	ipsl-cm5a-1r	miroc5	mpi-esm-1r	mri-cgcm3	
NS	-97.1	-94.4	-99.3	-94.1	-94.1	-97.2	-98.4	-95.3	-97.1	-93.7	
tp-AS	-96.7	-88.7	-99.2	-88.8	-87.6	-96.6	-99.2	-92.0	-97.0	-80.7	

pmh-SaS	-37.5	-20.5	-66.1	-20.5	-16.8	-37.1	-56.6	-30.5	-37.8	-15.3
bh-MS	115.0	78.2	157.8	67.3	72.7	111.4	145.2	103.0	113.5	54.9
bmh-MS	-100.0	-66.7	-100.0	25.9	-81.3	-76.9	-100.0	-100.0	-100.0	20.8
bh-MBS	5.4	15.6	-63.3	12.0	11.7	6.8	-11.1	16.6	-2.2	13.7
bmh-MBS	-100.0	-100.0	-100.0	-44.5	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-11.1
bmh-PS	51.7	53.7	18.2	47.9	47.5	57.3	44.5	50.7	50.2	38.2
bp-PS	110.9	140.3	-89.2	203.7	130.1	110.8	38.1	131.1	45.7	223.3

Tabla 13

Tasas de cambio porcentual de las zonas de vida de diez modelos de circulación general evaluados para el RCP4.5 al período 2070

Zonas de Vida	Variaciones en % proyectadas al 2070 bajo el escenario RCP4.5									
	access1.0	ccsm4	gfdl-cm3	hadgem2-ao	hadgem2-cc	hadgem2-es	ipsl-cm5a-ir	miroc5	mpi-esm-ir	mri-cgcm3
NS	-97.1	-93.7	-99.3	-97.1	-97.1	-97.2	-98.3	-93.8	-97.1	-92.9
tp-AS	-93.6	-81.3	-99.2	-96.1	-93.1	-94.5	-97.8	-85.5	-93.5	-79.2
pmh-SaS	-31.0	-15.1	-66.1	-36.0	-30.4	-32.2	-49.0	-17.3	-31.6	-15.4
bh-MS	101.8	61.3	157.6	108.8	100.2	102.3	132.0	71.8	103.0	51.0
bmh-MS	-100.0	-42.8	-100.0	-75.5	-100.0	-84.6	-100.0	-85.6	-100.0	63.5
bh-MBS	10.7	17.7	-64.2	13.0	11.6	7.9	-0.3	20.5	6.1	2.3
bmh-MBS	-100.0	-75.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	19.4
bmh-PS	52.2	51.4	17.2	59.7	52.4	56.7	49.3	49.3	49.6	34.1
bp-PS	109.2	147.1	-89.2	115.9	97.1	107.2	70.8	142.1	87.9	236.6

Tabla 14

Tasas de cambio porcentual de las zonas de vida de diez modelos de circulación general evaluados para el RCP8.5 al período 2070

Zonas de Vida		Variaciones en % proyectadas al 2070 bajo el escenario RCP8.5										
	access1.0	ccsm4	gfdl-cm3	hadgem2-ao	hadgem2-cc	hadgem2-es	ipsl-cm5a-lr	miroc5	mpi-esm-lr	mri-cgcm3		
NS	-99	-99	-100	-99	-99	-99	-100	-97	-99	-97		
tp-AS	-100	-98	-100	-99	-100	-100	-100	-98	-100	-97		
pmh-SaS	-71	-49	-97	-66	-82	-82	-92	-49	-81	-48		
bh-MS	166	131	176	154	180	178	186	131	178	132		
bmh-MS	-100	-99	-100	-53	-100	-100	-100	-100	-100	-80		
bh-MBS	-20	10	-81	27	-28	-18	-44	11	-25	23		
bmh-MBS	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100		
bmh-PS	45	55	-37	61	41	50	31	54	44	54		
bp-PS	8	49	-100	107	-39	-22	-78	71	-36	147		
bh-S	0.4	0.1	6.6	0.1	0.7	0.7	1.5	0.1	0.7	-		
bmh-S	3.0	2.4	0.4	2.6	3.5	3.5	4.5	2.0	3.5	1.9		

Tabla 15

Variaciones de nuevas zonas de vida en % proyectadas al 2050 bajo el escenario RCP4.5

Zonas de Vida		Variaciones en % proyectadas al 2050 bajo el escenario RCP4.5										
	access1.0	ccsm4	gfdl-cm3	hadgem2-ao	hadgem2-cc	hadgem2-es	ipsl-cm5a-lr	miroc5	mpi-esm-lr	mri-cgcm3		
NS	-99	-99	-100	-99	-99	-99	-100	-97	-99	-97		
tp-AS	-100	-98	-100	-99	-100	-100	-100	-98	-100	-97		
pmh-SaS	-71	-49	-97	-66	-82	-82	-92	-49	-81	-48		
bh-MS	166	131	176	154	180	178	186	131	178	132		
bmh-MS	-100	-99	-100	-53	-100	-100	-100	-100	-100	-80		
bh-MBS	-20	10	-81	27	-28	-18	-44	11	-25	23		
bmh-MBS	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100		
bmh-PS	45	55	-37	61	41	50	31	54	44	54		
bp-PS	8	49	-100	107	-39	-22	-78	71	-36	147		
bh-S	0.4	0.1	6.6	0.1	0.7	0.7	1.5	0.1	0.7	-		
bmh-S	3.0	2.4	0.4	2.6	3.5	3.5	4.5	2.0	3.5	1.9		

bs-MBS	1.3	0.5	7.1	1.1	1.8	1.1	3.2	0.7	1.9	0.5
bh-PS	0.7	0.2	5.7	0.9	1.2	0.6	3.0	0.4	2.1	0.1
bh-S	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-
bmh-S	0.7	0.4	1.4	0.8	0.7	0.8	1.3	0.4	0.8	0.2

Tabla 16

Variaciones de nuevas zonas de vida en % proyectadas al 2050 bajo el escenario RCP 8.5

Zonas de		Variaciones en % proyectadas al 2050 bajo el escenario RCP8.5									
Vida	access1.0	ccsm4	gfdl-cm3	hadgem2-ao	hadgem2-cc	hadgem2-es	ipsl-cm5a-lr	miroc5	mpi-esm-lr	mri-cgcm3	
bs-MBS	2.4	1.0	10.4	0.6	1.8	2.3	4.8	1.2	3.4	0.3	
bs-PS	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	
bh-PS	2.4	1.1	7.9	0.4	1.1	2.0	4.1	1.6	3.2	0.1	
bh-S	-	-	1.3	-	-	-	-	-	-	-	
bmh-S	1.3	0.8	2.1	0.8	0.7	1.3	2.4	0.8	1.9	0.4	

Tabla 17

Variaciones de nuevas zonas de vida en % proyectadas al 2070 bajo el escenario RCP4.5

Zonas de		Variaciones en % proyectadas al 2070 bajo el escenario RCP4.5									
Vida	access1.0	ccsm4	gfdl-cm3	hadgem2-ao	hadgem2-cc	hadgem2-es	ipsl-cm5a-lr	miroc5	mpi-esm-lr	mri-cgcm3	
bs-MBS	2.4	1.0	10.4	0.6	1.8	2.3	4.8	1.2	3.4	0.3	
bs-PS	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	
bh-PS	2.4	1.1	7.9	0.4	1.1	2.0	4.1	1.6	3.2	0.1	
bh-S	-	-	1.3	-	-	-	-	-	-	-	
bmh-S	1.3	0.8	2.1	0.8	0.7	1.3	2.4	0.8	1.9	0.4	

bs-MBS	1.9	0.8	10.5	1.7	2.1	2.0	3.8	1.1	2.2	0.6
bs-PS	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-
bh-PS	1.9	0.4	8.0	1.7	1.8	2.0	3.1	0.8	2.6	0.1
bh-S	-	-	1.3	-	-	-	-	-	-	-
bmh-S	1.3	0.7	2.1	1.3	1.3	1.3	2.0	0.8	1.3	0.4

Tabla 18

Variaciones de nuevas zonas de vida en % proyectadas al 2070 bajo el escenario RCP8.5

Zonas de Vida	Variaciones en % proyectadas al 2070 bajo el escenario RCP8.5										
	access1.0	ccsm4	gfdl-cm3	hadgem2-ao	hadgem2-cc	hadgem2-es	ipsl-cm5a-lr	miroc5	mpi-esm-lr	mri-cgcm3	
ph-SaS	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
e-MS	-	-	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-
bs-MBS	6.3	2.5	15.8	1.9	8.1	7.4	10.7	2.7	8.0	1.2	
bs-PS	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	
bh-PS	4.9	3.1	11.9	2.1	5.8	5.1	7.3	2.7	5.4	1.3	
bh-S	0.4	0.1	6.6	0.1	0.7	0.7	1.5	0.1	0.7	-	
bmh-S	3.0	2.4	0.4	2.6	3.5	3.5	4.5	2.0	3.5	1.9	

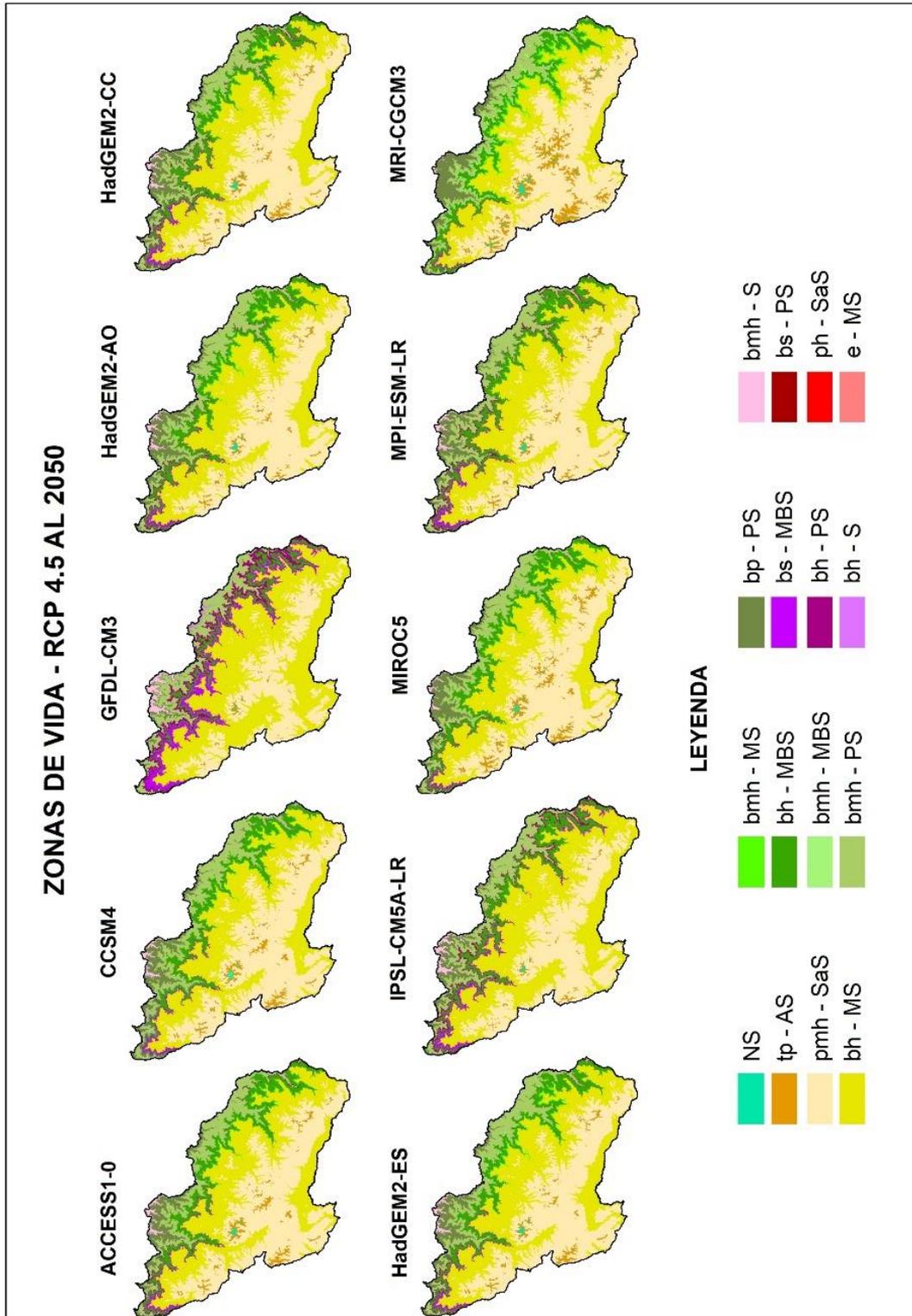


Figura 38. Proyecciones de HLZ al 2050 bajo el escenario RCP4.5

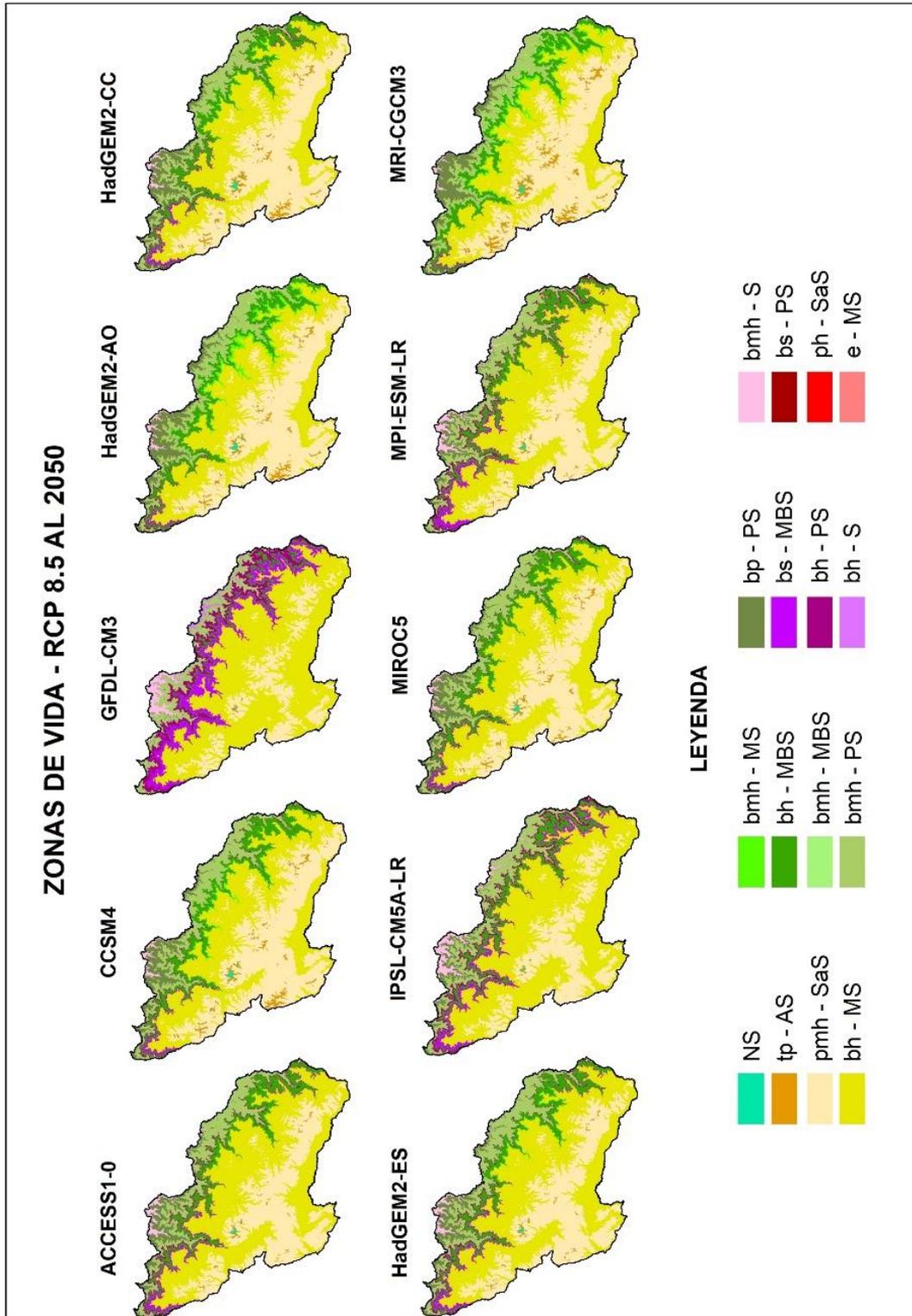


Figura 39. Proyecciones de HLZ al 2050 bajo el escenario RCP8.5

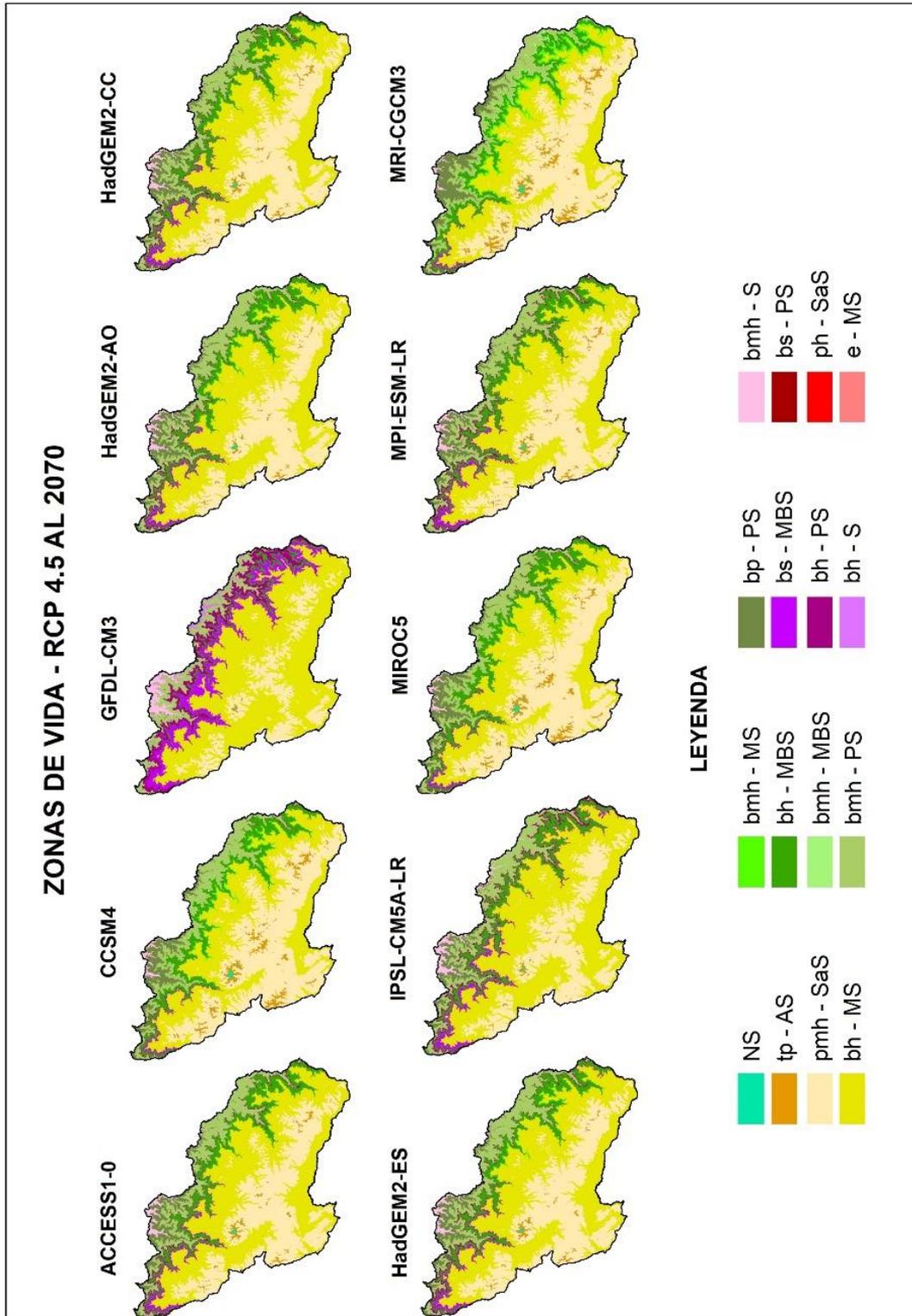


Figura 40. Proyecciones de HLZ al 2070 bajo el escenario RCP4.5

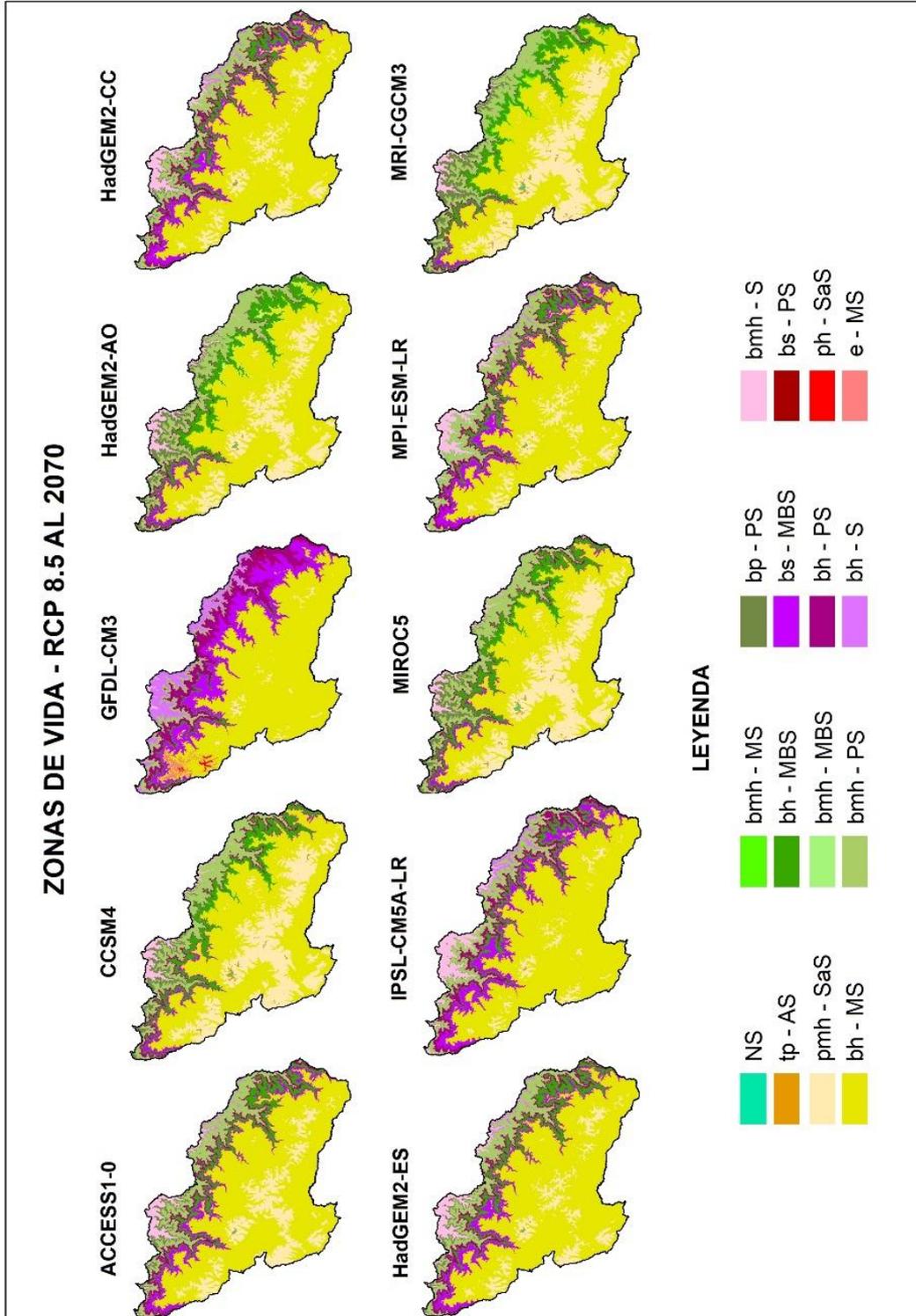


Figura 41. Proyecciones de HLZ al 2070 bajo el escenario RCP8.5

DISCUSIÓN

En la presente investigación se logra determinar las HLZ para la cordillera Carabaya siguiendo el modelo bioclimático de Holdridge con información climática grillada de la base de datos global WC para un periodo de referencia (1961-1990), lográndose identificar 9 HLZ (ver tabla 10). Por otro lado, SENAMHI identificó 7 HLZ para un periodo de referencia (1981-2010). Estas diferencias podrían ser principalmente por las diferentes escalas espaciales utilizadas, dado que SENAMHI utilizó la base de datos PISCO (Interpolación de Perú de Observaciones Climáticas e Hidrológicas de SENAMHI) con una resolución espacial es de 10km. Otra de las diferencias más resaltantes de las HLZ del SENAMHI, es que este presenta dos zonas de vida: matorral y estepa. Sin embargo, para que dichas zonas de vida existan de acuerdo al diagrama bioclimático de Holdridge, las precipitaciones medias anuales tendrían que variar entre 250-500 mm para la presencia de matorral, y variar entre 125-250 mm para la presencia de estepa, sin embargo, la precipitación promedio anual en la estación de Macusani es de 737.3 mm/año, en ese sentido dichas HLZ presentados por SENAMHI no se ajustarían a la realidad de la cordillera Carabaya.

La HLZ Nival Subtropical (NS) se reduciría bajo los escenarios RPC4.5 y RCP8.5 en 92% y 96.1% para el 2050, y en 96.4% y 98.8% para el 2070 respectivamente, esto debido al incremento de la temperatura. La HLZ Nival en la Cordillera Carabaya se encuentran ubicadas alrededor de los picos de los principales glaciares como el Allincapac y el Chichicapac, según los modelos se espera que la HLZ Nival sea desplazada por la Tundra Pluvial. Lo mismo sucedió en otros estudios, donde la capa de nieve retrocedió rápidamente debido a las temperaturas más cálidas. Estos resultados se correlacionan con los hallazgos de Jiménez, Locatelli y Chain (2009) y Pabón y Alarcón (2013), quienes afirman que los ecosistemas de montañas serían los más vulnerable frente al CC. Por otro lado, investigaciones del INAIGEM (2018) y Díaz et al. (2017) confirmaron una disminución de las coberturas glaciares en la cordillera Carabaya. Según Baraer *et al.* (2012) notaron que en la cordillera Blanca igualmente disminuyó el área glaciar.

Según Van der Hammen, Alarcón y Pabón, Gutiérrez (2002), mencionan que las proyecciones climáticas indicarían que el calentamiento en la cordillera de los Andes se intensifica con la altitud, siendo más sensible a los cambios aquellos ecosistemas y zonas de vida de mayores altitudes, como la pérdida de cobertura glaciar que puede tener

impactos significativos y sobre todo sobre el consumo de agua dulce y la generación de energía. Una gran parte de la población dependen de manera directa o indirecta de los ecosistemas de los Andes tropicales para el acceso al agua y la energía, lo que crea una necesidad urgente de estrategias para adaptarse al cambio climático. Un problema crítico que se viene observado en los Andes es la reducción de las fuentes de agua de los glaciares, y dada la convergencia de los modelos climáticos bajo diferentes escenarios climáticos futuros con resultados poco alentadores sobre las reservas de agua en los Andes, la gestión del agua debe abordarse de manera integral que permitan el desarrollo de la capacidad para la adaptación frente a los impactos del cambio climático (Torres, 2014).

La zona de vida Tundra pluvial - Andino Subtropical (tp-AS) se reduciría en 85.8% a 92.7% para 2050 y en 91.4% y 99.2% para el 2070 para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente. Cardona (2017) señaló que la tundra andina puede desaparecer por completo, debido a los acelerados cambios climáticos como el incremento de las temperaturas en zonas de montaña, que vienen superando la capacidad adaptativa de los ecosistemas a las nuevas condiciones climáticas y con ello provocando su extinción.

Para el caso de la zona de vida Páramo muy húmedo - Subandino Subtropical (pmh-SaS), se espera que para el 2050 una reducción de 19.8% y 33.9% para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente, para el 2070 se espera una reducción de 32.4% y 71.7% para el 2070. Según Van der Hammen (2002), menciona que los Páramos también son muy vulnerables frente al cambio climático por sus extensiones y ubicación convirtiéndolas en zonas de vida con pocas capacidades adaptativas. La relación entre los glaciares y los páramos juegan un papel primordial en la generación y regulación hídrica. Gran parte del área que cubren los páramos actualmente se encuentran en el límite de elevación inferior, es decir que muy vulnerables frente al incremento de las temperaturas, que provocarían la colonización de otras especies arbóreas.

Las HLZ Nival, Tundra y Páramos y los ecosistemas que ellos albergan son muy vulnerables frente al CC. Los cambios en el volumen de los glaciares de montaña debido a los incrementos de la temperatura tendrían un impacto dramático sobre la disponibilidad de los recursos hídricos. De manera semejante los resultados obtenidos para las zonas de bosques montanos, bosques montanos bajos y bosques premontano están relacionados con lo planteado por Jiménez, Locatelli y Chain (2009), Fernanda y Serrano (2017) y



Chávez *et al.* (2014), quienes concuerdan que los incrementos de área se deben especialmente al aumento de la temperatura y precipitación en la región amazónica, debido a que el aumento de la temperatura favorece el crecimiento de varias especies, en especial las arbustivas, incrementándose la productividad de las comunidades, aunque hay mucha respuesta especie- o sitio-específica (Elmendorf *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

- Se determinaron 9 HLZ en la cordillera Carabaya siguiendo el modelo bioclimático de Holdridge. Las HLZ como: Bosque húmedo - Montano Subtropical (bh-MS), Tundra pluvial - Andino Subtropical (tp-AS) y Páramo muy húmedo – Subandino Subtropical (ph-SaS) son los de mayor extensión ocupando el 41.2%, 20.3% y 14.6% del área total de la cordillera respectivamente; las zonas de vida con menor extensión territorial son el Nival Subtropical (NS), Bosque muy húmedo - Montano Bajo Subtropical (bmh-MBS) y Bosque pluvial - Premontano Subtropical (bp-PS) ocupando el 2.2%, 1.7% y 1.3% del área total de la cordillera respectivamente.
- El CC generaría cambios significativos en todas las HLZ con un nivel de confianza del 95%, los cambios más dramáticos se darían bajo el escenario RCP8.5 afectando principalmente las HLZ Nival, Tundra y Páramo con reducciones del 96.1%, 92.7% y 33.9% para el 2050, y 98.8%, 99.2% y 71.7% para el 2070 respectivamente. Mientras que bajo el escenario RCP4.5, las HLZ Nival, Tundra y Paramo se reducirían en 92.2%, 85.8% y 19.8% para el 2050, y 96.4%, 91.4% y 32.2% para el 2070 respectivamente, por otro lado, la zona de vida Bosque húmedo-Montano Subtropical aumentaría en un 86.8% y 131.6% para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente, finalmente se observa la aparición de nuevas HLZ, como el Bosque seco-Montano Bajo Subtropical, Bosque húmedo-Premontano Subtropical, Bosque húmedo-Subtropical y Bosque muy húmedo – Subtropical.

RECOMENDACIONES

- Una de las limitaciones en la presente investigación fue la falta de información observada para validar los modelos, en ese sentido es una necesidad contar con más estaciones meteorológicas de monitoreo para mejorar los resultados de los estudios relacionados al cambio climático, por ello se recomienda ampliar la red de estaciones meteorológicas sobre todo en zonas de alta montaña, considerando que son los ecosistemas más sensibles y vulnerables frente al cambio climático.
- Los resultados obtenidos con información grillada son óptimos de acuerdo a análisis de comparación con respecto al mapa de ecosistemas del MINAM, sin embargo, es necesarios establecer alternativas y metodologías para la validación de las zonas de vida determinadas para el área de estudio, la validación permitirá realizar ajustes al modelo bioclimático de Holdridge.
- La falta de evidencias de los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas de montaña que albergan las zonas de vida, limitan la validación de las proyecciones de los modelos climáticos sobre las zonas de vida, ya que existe la incertidumbre sobre la capacidad adaptativa de los ecosistemas generando incertidumbre a la hora de plantear propuestas de medidas de adaptaciones y mitigaciones para reducir las vulnerabilidades y mejorar las políticas públicas de desarrollo sostenible, en ese sentido se recomienda incentivar y promover las investigaciones relacionados al cambio climático en zonas de montaña.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Estatal de Meteorología y Oficina Española de Cambio Climático. (2021). Guía resumida del sexto informe de evaluación del IPCC, Grupo I. *Cambio Climático : Bases Físicas*, 1-44.
- Alarcon, J., & Pabón, J. (2013). El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia. *Colombia forestal*, 16(2), 171-185. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423939620004>
- Asante, F. A., & Amuakwa-Mensah, F. (2015). Climate change and variability in Ghana: Stocktaking. *Climate*, 3(1), 78-99. <https://doi.org/10.3390/cli3010078>
- Aybar, C., Lavado, W., Sabino, E., Huerta, A., & Felipe, O. (2017). ATLAS DE ZONAS DE VIDA DEL PERÚ Guía Explicativa LIMA-PERÚ. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (SENAMHI). Dirección de Hidrología.*, 003, 30. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/259>
- Baker, N. C., & Huang, H. P. (2014). A comparative study of precipitation and evaporation between CMIP3 and CMIP5 climate model ensembles in semiarid regions. *Journal of Climate*, 27(10), 3731-3749. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00398.1>
- Chakraborty, A., Joshi, P. K., Ghosh, A., & Arendran, G. (2013). Assessing biome boundary shifts under climate change scenarios in India. *Ecological Indicators*, 34, 536-547. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.06.013>
- Chávez, Á., Flores, H., De La Mora, C., Ruíz, J. A., Ramírez, G., & Rubio, E. (2014). Sensibilidad de zonas bioclimáticas de México frente al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (10), 2021-2033. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i10.1041>
- Correa, K., Avalos, G., Cubas, F., De la Cruz, G., & Díaz, A. (2019). Orientaciones para el análisis del clima y determinación de los peligros asociados al cambio climático. *Nota Técnica N° 001-2019/SENAMHI/DMA*, 1-29. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/360>
- Cuesta, F., Muriel, P., Beck, S., Meneses, R., Halloy, S., Salgado, S., ... Becerra, M.

- (2012). Biodiversidad y Cambio Climático en los Andes Tropicales. *Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación*, 180.
<https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/201357161125gloria.pdf>
- Davie, T., & Wyndham, N. (2019). *Fundamentals of hydrology*. New York.
<https://www.routledge.com/Fundamentals-of-Hydrology/Davie/p/book/9780415858700>
- Díaz, R., Sanchez, S., Lujano, E., & Lujano, A. (2017). Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 19(3), 265-274. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.291>
- Fan, Z., & Bai, X. (2021). Scenarios of potential vegetation distribution in the different gradient zones of Qinghai-Tibet Plateau under future climate change. *Science of the Total Environment*, 796. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148918>
- Gutiérrez, C. (2014). *Hidrología básica y aplicada* (Editorial). Quito, Ecuador.
- Holdridge, L. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. IICA (p. 219). p. 219.
<https://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>
- INAIGEM. (2018). Inventario nacional de glaciares. *Las Cordilleras Glaciares del Perú*, (9), 283-293. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/handle/16072021/57>
- INRENA. (1995). Mapa ecológico del Perú- Guía Explicativa. *Ministerio de Agricultura*, p. 271. Recuperado de <https://keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Maps/INRENA-mapa-ecologico.pdf>
- IPCC. (2014a). Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. En *Cambio climático 2014*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- IPCC. (2014b). Cambio climático 2014 Informe de síntesis Resumen para responsables de políticas. *Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, 27. [https://doi.org/10.1016/S1353-8020\(09\)70300-1](https://doi.org/10.1016/S1353-8020(09)70300-1)
- IPCC. (2019). Calentamiento Global de 1,5 °C. En *Intergovernmental Panel on Climate*

- Change*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- Jiménez, María. (2019). *Impacto del cambio climático en las zonas de vida de Holdridge en Costa Rica para el periodo 2061-2080*. 47. <https://hdl.handle.net/2238/10850>
- Jiménez, Mildred, Chain, A., & Locatelli, B. (2009). Efectos del cambio climático en la distribución de zonas de vida en Centroamérica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 59-60(59), 32-40 p. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6131>
- Josse, C., Cuesta, F., Navarro, G., Barrena, V., Cabrera, E., Chacón-Moreno, E., ... Tovar, A. (2009). *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. 7-93. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/39336>
- Kim, Y. H., Min, S. K., Zhang, X., Sillmann, J., & Sandstad, M. (2020). Evaluation of the CMIP6 multi-model ensemble for climate extreme indices. *Weather and Climate Extremes*, 29, 100269. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100269>
- Mark, B. G. (2008). Tracing tropical Andean glaciers over space and time: Some lessons and transdisciplinary implications. *Global and Planetary Change*, 60(1-2), 101-114. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.032>
- Mekonnen, D. G., Moges, M. A., Mulat, A. G., & Shumitter, P. (2019). The impact of climate change on mean and extreme state of hydrological variables in Megech watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. En *Extreme Hydrology and Climate Variability: Monitoring, Modelling, Adaptation and Mitigation*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00011-7>
- MINAM. (2015). Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. *Memoria descriptiva*, 105. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/178>
- Montero-Martínez, M. J., Ojeda-Bustamante, W., Santana-Sepúlveda, J. S., Prieto-González, R., & Lobato-Sánchez, R. (2013). Sistema de consulta de proyecciones regionalizadas de cambio climático para México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(2), 113-128. <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531982007.pdf>
- OMM. (2012). *WMO: Commission for Climatology*. <https://public.wmo.int/en/our-mandate/how-we-do-it/technical-commissions/commission-climatology-ccl>

- ONERN. (1976). Mapa ecológico del Perú: Guía explicativa. *Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1052>
- Ordoñez, J. J. (2011). Balance Hídrico Superficial. *Sociedad Geográfica de Lima*, 44. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf
- Organización Meteorológica Mundial. (2021). *Indicadores climáticos y desarrollo sostenible*. Suiza. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/estado-del-clima-en-2021-los-fen%C3%B3menos-extremos-y-sus-principales>
- Ríos, E. (2016). Manejo de Cuencas y adaptación al cambio climático. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas*.
- Romero-Cuéllar, J., Buitrago-Vargas, A., Quintero-Ruiz, T., & Francés, F. (2018). Simulación hidrológica de los impactos potenciales del cambio climático en la cuenca hidrográfica del río Aipe, en Huila, Colombia. *Ribagua*, 5(1), 63-78. <https://doi.org/10.1080/23863781.2018.1454574>
- Roy, P. S., Behera, M. D., Murthy, M. S. R., Roy, A., Singh, S., Kushwaha, S. P. S., ... Ramachandran, R. M. (2015). New vegetation type map of India prepared using satellite remote sensing: Comparison with global vegetation maps and utilities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39, 142-159. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.03.003>
- Salman, S. A., Nashwan, M. S., Ismail, T., & Shahid, S. (2020). Selection of CMIP5 general circulation model outputs of precipitation for peninsular Malaysia. *Hydrology Research*, 51(4), 781-798. <https://doi.org/10.2166/NH.2020.154>
- Sapta, S., Sulistyantara, B., Fatimah, I. S., & Faqih, A. (2015). Geospatial Approach for Ecosystem Change Study of Lombok Island under the Influence of Climate Change. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 165-173. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.022>
- Serrano, P., & Calderón, M. (2016). *Análisis geoespacial del cambio de las zonas de vida de Holdridge en la provincia del Guayas*. (January). <https://doi.org/10.18687/laccei2016.1.1.185>



- Sisneros, R., Huang, J., Ostrouchov, G., & Hoffman, F. (2011). Visualizing life zone boundary sensitivities across climate models and temporal spans. *Procedia Computer Science*, 4, 1582-1591. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.04.171>
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Kis, A., Pongrácz, R., & Sümegi, P. (2018). Assessment of projected climate change in the Carpathian Region using the Holdridge life zone system. *Theoretical and Applied Climatology*, 131(1-2), 593-610. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1987-3>
- Tapiador, F. J., Moreno, R., Navarro, A., Sánchez, J. L., & García-Ortega, E. (2019). Climate classifications from regional and global climate models: Performances for present climate estimates and expected changes in the future at high spatial resolution. *Atmospheric Research*, 228, 107-121. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.05.022>
- Torres, J. (2014). *Adaptacion de Ecosistemas Andinos*. Lima.
- Tossi, J. (1960). Zonas de vida natural en el Perú. *Memoria explicativa sobre el mapa ecológico del Perú*. <https://doi.org/10.3406/geo.1963.16466>
- Yue, T., Liu, J., Jürgensen, S. E., Gao, Z., Zhang, S., & Deng, X. (2001). Changes of Holdridge life zone diversity in all of China over half a century. *Ecological Modelling*, 144(2-3), 153-162. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00370-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00370-2)



ANEXOS

Anexo 1: Ficha de registros

FICHA DE REGISTRO DE MAPAS DE ZONAS DE VIDA						
1. ZONA DE VIDA: Nival Subtropical					FICHA DE REGISTRO:	
2. DATOS GENERALES					PC - 23	
Departamento	Provincia	Distrito		Centro poblado cercano		
Puno	Carabaya	Macusani		Vela Cunca		
Accesibilidad	Vía		Ríos		Caminata	X
3. DATOS DE LOCALIZACION						
ALTITUD	5274 m.s.n.m.					
COORDENADAS	ESTE: 346330			NORTE: 8460665		
						
4. TIPO DE COBERTURA VEGETAL						
Las vegetaciones en esta zona de vida de vida son nulas, se puede observar masas de hielo y suelos o rocas desnudos.						

FICHA DE REGISTRO DE MAPAS DE ZONAS DE VIDA						
1. ZONA DE VIDA: Tundra pluvial – Andino Subtropical					FICHA DE REGISTRO: PC - 17	
2. DATOS GENERALES						
Departamento	Provincia		Distrito		centro poblado cercano	
Puno	Carabaya		Antauta		Jatuncancha	
Accesibilidad	Vía	X	Ríos		Caminata	
3. DATOS DE LOCALIZACION						
ALTITUD	4886 m.s.n.m.					
COORDENADAS	ESTE: 356386			NORTE: 8432318		
4. TIPO DE COBERTURA VEGETAL						
Suelo desnudo y pedregoso, la vegetación se reduce a tipo gramínea.						

FICHA DE REGISTRO DE MAPAS DE ZONAS DE VIDA					
1. ZONA DE VIDA: Páramo muy húmedo - Subandino Subtropical				FICHA DE REGISTRO: PC - 31	
2. DATOS GENERALES					
Departamento	Provincia	Distrito	Centro poblado cercano		
Puno	Carabaya	Ollachea	Socos Tacca / Socos Pata		
Accesibilidad	Vía	Ríos	Caminata	X	
3. DATOS DE LOCALIZACION					
ALTITUD	4022 m.s.n.m.				
COORDENADAS	ESTE: 343283		NORTE: 8469387		
					
4. TIPO DE COBERTURA VEGETAL					
La flora está compuesta por abundantes mezclas de gramíneas y otras de habitad perenne, como los pajonales, también se encuentra los bofedales con una humedad.					

FICHA DE REGISTRO DE MAPAS DE ZONAS DE VIDA					
1. ZONA DE VIDA: Bosque húmedo - Montano Subtropical				FICHA DE REGISTRO: PC - 32	
2. DATOS GENERALES					
Departamento	Provincia	Distrito	Centro poblado cercano		
Puno	Carabaya	Ollachea	Tambillo		
Accesibilidad	Vía	Ríos	Caminata	X	
3. DATOS DE LOCALIZACION					
ALTITUD	3818 m.s.n.m.				
COORDENADAS	ESTE: 342616		NORTE: 8470183		
4. TIPO DE COBERTURA VEGETAL					
<p>En su composición de flora se puede observar pequeños arbustos y bosques relictos. En la parte alta de estas zonas de vida se observan esta la presencia de extensos pastos andinos.</p>					

FICHA DE REGISTRO DE MAPAS DE ZONAS DE VIDA					
1. ZONA DE VIDA: Bosque muy húmedo - Montano Subtropical				FICHA DE REGISTRO: PC - 33	
2. DATOS GENERALES					
Departamento	Provincia	Distrito		Centro poblado cercano	
Puno	Carabaya	Ollachea		Tambillo	
Accesibilidad	Vía		Ríos	Caminata	X
3. DATOS DE LOCALIZACION					
ALTITUD	3629 m.s.n.m.				
COORDENADAS	ESTE: 342147		NORTE: 8471126		
					
4. TIPO DE COBERTURA VEGETAL					
<p>La flora está compuesta por elementos arbustos que se desenrollan en un estrato herbáceo donde predominan las gramíneas, entre ellas se observa las del género <i>Polylepis</i> conocidos como los queñuales.</p>					

FICHA DE REGISTRO DE MAPAS DE ZONAS DE VIDA						
1. ZONA DE VIDA: Bosque húmedo - Montano Bajo Subtropical					FICHA DE REGISTRO: PC - 7	
2. DATOS GENERALES						
Departamento	Provincia	Distrito		Centro poblado cercano		
Puno	Carabaya	Ollachea		Chuani Pujro		
Accesibilidad	Vía	X	Ríos		Caminata	
3. DATOS DE LOCALIZACION						
ALTITUD	2098 m.s.n.m.					
COORDENADAS	ESTE: 342667			NORTE: 8483070		
4. TIPO DE COBERTURA VEGETAL						
<p>La flora natural está conformada por arbustos y arboles de talla mediana, esta foto se encuentra cerca al proyecto San Gabán.</p>						

FICHA DE REGISTRO DE MAPAS DE ZONAS DE VIDA					
1. ZONA DE VIDA: Bosque muy húmedo - Montano Bajo Subtropical				FICHA DE REGISTRO: PC - 6	
2. DATOS GENERALES					
Departamento	Provincia	Distrito		Centro poblado cercano	
Puno	Carabaya	San Gabán		Nueva Esperanza	
Accesibilidad	Vía	X	Ríos	Caminata	
3. DATOS DE LOCALIZACION					
ALTITUD	1587 m.s.n.m.				
COORDENADAS	ESTE: 340243		NORTE: 8490253		
					
4. TIPO DE COBERTURA VEGETAL					
La flora es densa, alta y siempre verde, donde los árboles la mayoría son de tallo bajos, delgados y algunas con mala conformación.					

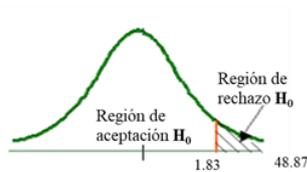
FICHA DE REGISTRO DE MAPAS DE ZONAS DE VIDA						
1. ZONA DE VIDA: Bosque muy húmedo - Premontano Subtropical					FICHA DE REGISTRO: PC - 4	
2. DATOS GENERALES						
Departamento	Provincia		Distrito		Centro poblado cercano	
Puno	Carabaya		San Gabán		Sangari	
Accesibilidad	Vía	X	Ríos		Caminata	
3. DATOS DE LOCALIZACION						
ALTITUD	866 m.s.n.m.					
COORDENADAS	ESTE: 344158			NORTE: 8502984		
						
4. TIPO DE COBERTURA VEGETAL						
<p>La flora es siempre verde, donde los árboles se encuentran cubiertos con “Lianas” y “Bejucos” y cubiertos por “epífitas”, también conocidas como enredaderas.</p>						

FICHA DE REGISTRO DE MAPAS DE ZONAS DE VIDA					
1. ZONA DE VIDA: Bosque pluvial - Premontano Subtropical				FICHA DE REGISTRO:	
2. DATOS GENERALES				PC - 3	
Departamento	Provincia	Distrito	Centro poblado cercano		
Puno	Carabaya	San Gabán	Pampa Alegre		
Accesibilidad	Vía	X	Ríos	Caminata	
3. DATOS DE LOCALIZACION					
ALTITUD	578 m.s.n.m.				
COORDENADAS	ESTE: 351251		NORTE: 8515067		
					
4. TIPO DE COBERTURA VEGETAL					
<p>La flora natural se compone de árboles pequeños y esbeltos, de los cuales las palmeras y los helechos arborescentes son los más altos, y las epífitas son muy abundantes en casi todos los árboles.</p>					

Anexo 2: Pruebas estadísticas de contrastaciones de hipótesis

Prueba de t de Student para la zona de vida Nival Subtropical - RCP 4.5 al 2050

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Nival Subtropical	25483.1	1518.1	ACCESS1.0
	25483.1	3909.6	CCSM4
	25483.1	428.6	GFDL-CM3
	25483.1	1527.1	HadGEM2-AO
	25483.1	1528.8	HadGEM2-CC
	25483.1	1546.3	HadGEM2-ES
	25483.1	729.7	IPSL-CM5A-LR
	25483.1	1782.9	MIROC5
	25483.1	1515.4	MPI-ESM-LR
	25483.1	5448.9	MRI-CGCM3

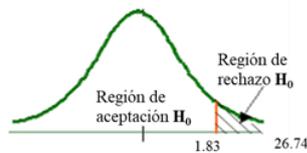


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	25483.08821	1993.55021
Varianza	0	2309978.81
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las me	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	48.87316636	
P(T<=t) una cola	0.000000	
Valor crítico de t (una cola)	1.833112933	
P(T<=t) dos colas	0.000000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.262157163	

Prueba de t de Student para la zona de vida Tundra pluvial - Andino Subtropical (RCP 4.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Tundra pluvial - Andino Subtropical	170008.6	24794.9	ACCESS1.0
	170008.6	35873.3	CCSM4
	170008.6	4595.5	GFDL-CM3
	170008.6	14994.3	HadGEM2-AO
	170008.6	21100.1	HadGEM2-CC
	170008.6	19651.9	HadGEM2-ES
	170008.6	6959.1	IPSL-CM5A-LR
	170008.6	35505.5	MIROC5
	170008.6	15013.6	MPI-ESM-LR
	170008.6	63334.3	MRI-CGCM3

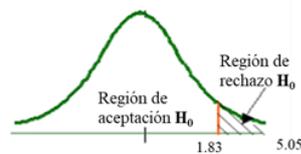


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	170008.5801	24182.2475
Varianza	0	297438188
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las me	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	26.73853387	
P(T<=t) una cola	0.0000000003	
Valor crítico de t (una cola)	1.833112933	
P(T<=t) dos colas	0.0000000007	
Valor crítico de t (dos colas)	2.262157163	

Prueba de t de Student para la zona de vida Páramo muy húmedo - Subandino Subtropical (RCP 4.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
	481493.2	409031.4	ACCESS1.0
	481493.2	449398.6	CCSM4
	481493.2	248315.1	GFDL-CM3
Páramo muy húmedo - Subandino Subtropical	481493.2	386947.0	HadGEM2-AO
	481493.2	400383.3	HadGEM2-CC
	481493.2	389234.0	HadGEM2-ES
	481493.2	326305.4	IPSL-CM5A-LR
	481493.2	416421.3	MIROC5
	481493.2	386826.6	MPI-ESM-LR
	481493.2	448611.6	MRI-CGCM3

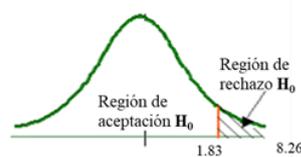


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	481493.187	386147.425
Varianza	0	3570530521
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las me	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	5.04585793	
P(T<=t) una cola	0.000347119	
Valor crítico de t (una cola)	1.833112933	
P(T<=t) dos colas	0.000694239	
Valor crítico de t (dos colas)	2.262157163	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque húmedo - Montano Subtropical (RCP 4.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
	397482.7	237239.9	ACCESS1.0
	338800.2	237239.9	CCSM4
	548001.2	237239.9	GFDL-CM3
Bosque húmedo - Montano Subtropical	422869.7	237239.9	HadGEM2-AO
	409706.1	237239.9	HadGEM2-CC
	416305.3	237239.9	HadGEM2-ES
	483832.4	237239.9	IPSL-CM5A-LR
	384154.1	237239.9	MIROC5
	431638.7	237239.9	MPI-ESM-LR
	308207.5	237239.9	MRI-CGCM3

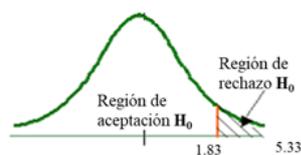


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	414099.7751	237239.854
Varianza	4584110423	9.4115E-22
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las me	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	8.260415456	
P(T<=t) una cola	0.00000856	
Valor crítico de t (una cola)	1.833112933	
P(T<=t) dos colas	0.00001712	
Valor crítico de t (dos colas)	2.262157163	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque muy húmedo - Montano Subtropical (RCP 4.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
	27924.6	7801.9	ACCESS1.0
	27924.6	23812.4	CCSM4
	27924.6	0.0	GFDL-CM3
Bosque muy húmedo - Montano Subtropical	27924.6	8890.7	HadGEM2-AO
	27924.6	5226.1	HadGEM2-CC
	27924.6	11021.9	HadGEM2-ES
	27924.6	0.0	IPSL-CM5A-LR
	27924.6	9959.5	MIROC5
	27924.6	711.0	MPI-ESM-LR
	27924.6	32596.6	MRI-CGCM3

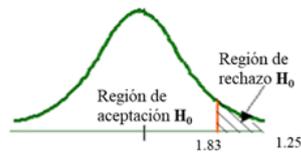


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	27924.64603	10002.0158
Varianza	0	113063744
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las me	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	5.330157782	
P(T<=t) una cola	0.000237293	
Valor crítico de t (una cola)	1.833112933	
P(T<=t) dos colas	0.000474586	
Valor crítico de t (dos colas)	2.262157163	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque húmedo - Montano Bajo Subtropical (RCP 4.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Bosque húmedo - Montano Bajo Subtropical	128845.4	110377.5	ACCESS1.0
	124598.1	110377.5	CCSM4
	69221.3	110377.5	GFDL-CM3
	127662.8	110377.5	HadGEM2-AO
	123012.2	110377.5	HadGEM2-CC
	128205.3	110377.5	HadGEM2-ES
	109682.3	110377.5	IPSL-CM5A-LR
	131599.2	110377.5	MIROC5
	116996.6	110377.5	MPI-ESM-LR
	116337.7	110377.5	MRI-CGCM3

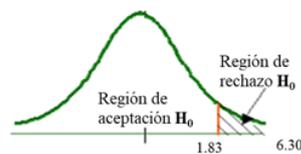


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	117616.101	110377.487
Varianza	335508475.8	9.4115E-22
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las me	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	1.249693948	
P(T<=t) una cola	0.121465486	
Valor crítico de t (una cola)	1.833112933	
P(T<=t) dos colas	0.242930972	
Valor crítico de t (dos colas)	2.262157163	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque muy húmedo - Montano Bajo Subtropical (RCP 4.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Bosque muy húmedo - Montano Bajo Subtropical	15349.0	0.0	ACCESS1.0
	15349.0	7729.9	CCSM4
	15349.0	0.0	GFDL-CM3
	15349.0	0.0	HadGEM2-AO
	15349.0	0.0	HadGEM2-CC
	15349.0	2056.5	HadGEM2-ES
	15349.0	0.0	IPSL-CM5A-LR
	15349.0	0.0	MIROC5
	15349.0	0.0	MPI-ESM-LR
	15349.0	19272.9	MRI-CGCM3

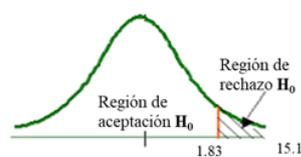


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	15348.95345	2905.92298
Varianza	3.67636E-24	38997727.1
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las me	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	6.300957008	
P(T<=t) una cola	0.000070412	
Valor crítico de t (una cola)	1.833112933	
P(T<=t) dos colas	0.000140824	
Valor crítico de t (dos colas)	2.262157163	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque muy húmedo - Premontano Subtropical (RCP 4.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Bosque muy húmedo - Premontano Subtropical	119587.7	80233.5	ACCESS1.0
	116103.2	80233.5	CCSM4
	108483.3	80233.5	GFDL-CM3
	124375.8	80233.5	HadGEM2-AO
	118081.4	80233.5	HadGEM2-CC
	123837.8	80233.5	HadGEM2-ES
	115395.2	80233.5	IPSL-CM5A-LR
	119944.0	80233.5	MIROC5
	120647.4	80233.5	MPI-ESM-LR
	99345.7	80233.5	MRI-CGCM3

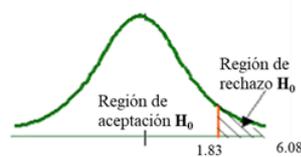


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	116580.1343	80233.4976
Varianza	57424519.2	2.3529E-22
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las me	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	15.16755385	
P(T<=t) una cola	0.000000051	
Valor crítico de t (una cola)	1.833112933	
P(T<=t) dos colas	0.000000102	
Valor crítico de t (dos colas)	2.262157163	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque pluvial - Premontano Subtropical (RCP 4.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Bosque pluvial - Premontano Subtropical	47773.8	19883.2	ACCESS1.0
	53870.5	19883.2	CCSM4
	15304.2	19883.2	GFDL-CM3
	48015.3	19883.2	HadGEM2-AO
	45710.9	19883.2	HadGEM2-CC
	46971.3	19883.2	HadGEM2-ES
	38211.7	19883.2	IPSL-CM5A-LR
	51856.6	19883.2	MIROC5
	38855.0	19883.2	MPI-ESM-LR
66576.7	19883.2	MRI-CGCM3	

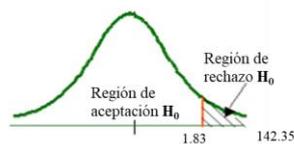


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	45314.61028	19883.2447
Varianza	175235892.9	1.4705E-23
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las me	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	6.075165987	
P(T<=t) una cola	0.000092368	
Valor crítico de t (una cola)	1.833112933	
P(T<=t) dos colas	0.000184735	
Valor crítico de t (dos colas)	2.262157163	

Prueba de t de Student para la zona de vida Nival Subtropical - RCP 4.5 al 2070

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Nival Subtropical	25483.1	731.3	ACCESS1.0
	25483.1	1614.3	CCSM4
	25483.1	189.5	GFDL-CM3
	25483.1	727.7	HadGEM2-AO
	25483.1	732.4	HadGEM2-CC
	25483.1	723.4	HadGEM2-ES
	25483.1	425.8	IPSL-CM5A-LR
	25483.1	1579.1	MIROC5
	25483.1	744.2	MPI-ESM-LR
25483.1	1818.2	MRI-CGCM3	

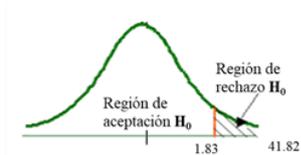


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	25483.0882	928.585237
Varianza	0	297535.731
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	142.351348	
P(T<=t) una cola	0.00000	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.00000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Tundra pluvial - Andino Subtropical (RCP 4.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Tundra pluvial - Andino Subtropical	170008.6	10957.9	ACCESS1.0
	170008.6	31733.7	CCSM4
	170008.6	1398.9	GFDL-CM3
	170008.6	6628.8	HadGEM2-AO
	170008.6	11663.8	HadGEM2-CC
	170008.6	9282.2	HadGEM2-ES
	170008.6	3709.5	IPSL-CM5A-LR
	170008.6	24612.9	MIROC5
	170008.6	11105.9	MPI-ESM-LR
170008.6	35330.1	MRI-CGCM3	

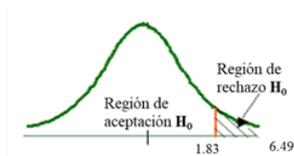


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	170008.58	14642.3728
Varianza	0	138036470
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	41.8176518	
P(T<=t) una cola	0.00000	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.00000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Páramo muy húmedo - Subandino Subtropical (RCP 4.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Páramo muy húmedo - Subandino Subtropical	481493.2	332046.7	ACCESS1.0
	481493.2	408685.9	CCSM4
	481493.2	163225.0	GFDL-CM3
	481493.2	308046.2	HadGEM2-AO
	481493.2	335210.6	HadGEM2-CC
	481493.2	326669.1	HadGEM2-ES
	481493.2	245658.3	IPSL-CM5A-LR
	481493.2	398135.4	MIROC5
	481493.2	329286.8	MPI-ESM-LR
	481493.2	407572.8	MRI-CGCM3

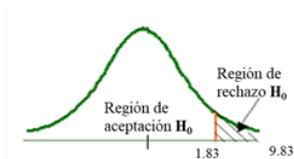


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	481493.187	325453.681
Varianza	0	5788564483
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	6.48558461	
P(T<=t) una cola	0.00005667	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.00011334	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque húmedo - Montano Subtropical (RCP 4.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Bosque húmedo - Montano Subtropical	478858.4	237239.9	ACCESS1.0
	382674.8	237239.9	CCSM4
	611124.7	237239.9	GFDL-CM3
	495413.5	237239.9	HadGEM2-AO
	474975.9	237239.9	HadGEM2-CC
	479925.1	237239.9	HadGEM2-ES
	550349.5	237239.9	IPSL-CM5A-LR
	407562.4	237239.9	MIROC5
	481498.8	237239.9	MPI-ESM-LR
	358260.0	237239.9	MRI-CGCM3

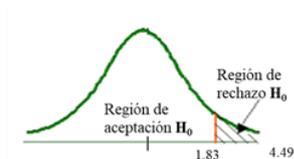


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	472064.313	237239.854
Varianza	5702154968	9.4115E-22
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	9.8338555	
P(T<=t) una cola	0.0000021	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.0000041	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque muy húmedo - Montano Subtropical (RCP 4.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Bosque muy húmedo - Montano Subtropical	27924.6	0.0	ACCESS1.0
	27924.6	15964.4	CCSM4
	27924.6	0.0	GFDL-CM3
	27924.6	6839.1	HadGEM2-AO
	27924.6	0.0	HadGEM2-CC
	27924.6	4309.1	HadGEM2-ES
	27924.6	0.0	IPSL-CM5A-LR
	27924.6	4028.5	MIROC5
	27924.6	0.0	MPI-ESM-LR
	27924.6	45657.5	MRI-CGCM3

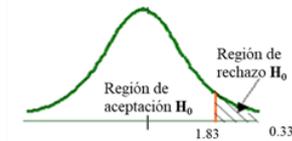


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	27924.646	7679.85434
Varianza	0	203470789
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	4.48809744	
P(T<=t) una cola	0.00075733	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.00151466	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque húmedo - Montano Bajo Subtropical (RCP 4.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Bosque húmedo - Montano Bajo Subtropical	122239.1	110377.5	ACCESS1.0
	129968.7	110377.5	CCSM4
	39533.4	110377.5	GFDL-CM3
	124714.7	110377.5	HadGEM2-AO
	123198.0	110377.5	HadGEM2-CC
	119077.7	110377.5	HadGEM2-ES
	110021.5	110377.5	IPSL-CM5A-LR
	132987.2	110377.5	MIROC5
	117162.1	110377.5	MPI-ESM-LR
	112949.6	110377.5	MRI-CGCM3

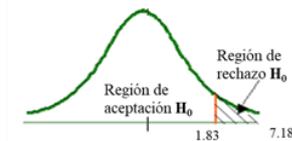


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	113185.211	110377.487
Varianza	719350744	9.4115E-22
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	0.3310427	
P(T<=t) una cola	0.3740948	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.74818961	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque muy húmedo - Montano Bajo Subtropical (RCP 4.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Bosque muy húmedo - Montano Bajo Subtropical	15349.0	0.0	ACCESS1.0
	15349.0	3838.3	CCSM4
	15349.0	0.0	GFDL-CM3
	15349.0	0.0	HadGEM2-AO
	15349.0	0.0	HadGEM2-CC
	15349.0	0.0	HadGEM2-ES
	15349.0	0.0	IPSL-CM5A-LR
	15349.0	0.0	MIROC5
	15349.0	0.0	MPI-ESM-LR
	15349.0	18320.9	MRI-CGCM3

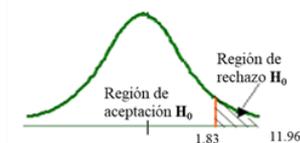


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	15348.9534	2215.9189
Varianza	3.6764E-24	33475970.2
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	7.17791813	
P(T<=t) una cola	0.00002603	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.00005206	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque muy húmedo - Premontano Subtropical (RCP 4.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Bosque muy húmedo - Premontano Subtropical	122089.2	80233.5	ACCESS1.0
	121472.9	80233.5	CCSM4
	94058.3	80233.5	GFDL-CM3
	128160.6	80233.5	HadGEM2-AO
	122301.4	80233.5	HadGEM2-CC
	125710.4	80233.5	HadGEM2-ES
	119810.8	80233.5	IPSL-CM5A-LR
	119762.9	80233.5	MIROC5
	120043.3	80233.5	MPI-ESM-LR
	107561.7	80233.5	MRI-CGCM3

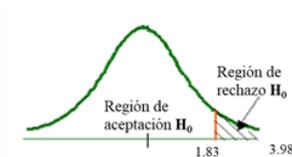


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	118097.158	80233.4976
Varianza	100289059	2.3529E-22
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	11.9562727	
P(T<=t) una cola	0.000000397	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.000000794	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque pluvial - Premontano Subtropical (RCP 4.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Bosque pluvial - Premontano Subtropical	41598.5	19883.2	ACCESS1.0
	49127.4	19883.2	CCSM4
	2153.5	19883.2	GFDL-CM3
	42923.8	19883.2	HadGEM2-AO
	39180.0	19883.2	HadGEM2-CC
	41200.2	19883.2	HadGEM2-ES
	33964.5	19883.2	IPSL-CM5A-LR
	48143.7	19883.2	MIROC5
	37364.6	19883.2	MPI-ESM-LR
66929.2	19883.2	MRI-CGCM3	

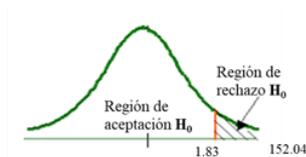


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Medía	40258.5355	19883.2447
Varianza	262565932	1.4705E-23
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	3.97635021	
P(T<=t) una cola	0.00161177	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.00322353	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Nival Subtropical - RCP 8.5 al 2050

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Nival Subtropical	25483.1	731.0	ACCESS1.0
	25483.1	1439.8	CCSM4
	25483.1	182.7	GFDL-CM3
	25483.1	1513.3	HadGEM2-AO
	25483.1	1497.7	HadGEM2-CC
	25483.1	722.6	HadGEM2-ES
	25483.1	410.2	IPSL-CM5A-LR
	25483.1	1191.9	MIROC5
	25483.1	733.1	MPI-ESM-LR
	25483.1	1596.5	MRI-CGCM3

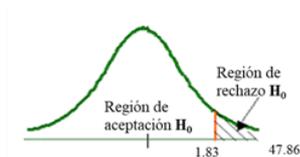


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Medía	25483.0882	1001.88301
Varianza	0	259283.303
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	152.035679	
P(T<=t) una cola	0.0000	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.0000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Tundra pluvial - Andino Subtropical (RCP 8.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Tundra pluvial - Andino Subtropical	170008.6	5640.9	ACCESS1.0
	170008.6	19266.8	CCSM4
	170008.6	1334.5	GFDL-CM3
	170008.6	18987.7	HadGEM2-AO
	170008.6	21130.9	HadGEM2-CC
	170008.6	5759.9	HadGEM2-ES
	170008.6	1297.9	IPSL-CM5A-LR
	170008.6	13595.4	MIROC5
	170008.6	5079.0	MPI-ESM-LR
	170008.6	32839.6	MRI-CGCM3

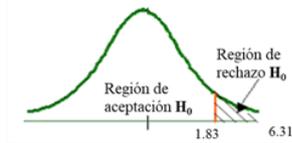


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Medía	170008.58	12493.2468
Varianza	0	108330539
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	47.8572109	
P(T<=t) una cola	0.000	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Páramo muy húmedo - Subandino Subtropical (RCP 8.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Páramo muy húmedo - Subandino Subtropical	481493.2	301009.2	ACCESS1.0
	481493.2	382858.2	CCSM4
	481493.2	163136.2	GFDL-CMB
	481493.2	382837.8	HadGEM2-AO
	481493.2	400383.8	HadGEM2-CC
	481493.2	302848.6	HadGEM2-ES
	481493.2	209137.0	IPSL-CM5A-LR
	481493.2	334518.9	MIROC5
	481493.2	299412.2	MPI-ESM-LR
	481493.2	407704.8	MRI-CGCM3

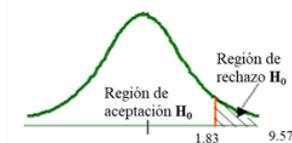


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	481493.187	318384.666
Varianza	0	6690406919
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	6.30594799	
P(T<=t) una cola	0.00007000	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.00013999	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque húmedo - Montano Subtropical (RCP 8.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Bosque húmedo - Montano Subtropical	510059.7	237239.9	ACCESS1.0
	422690.6	237239.9	CCSM4
	611618.8	237239.9	GFDL-CMB
	396871.1	237239.9	HadGEM2-AO
	409816.4	237239.9	HadGEM2-CC
	501540.4	237239.9	HadGEM2-ES
	581599.1	237239.9	IPSL-CM5A-LR
	481562.3	237239.9	MIROC5
	506481.5	237239.9	MPI-ESM-LR
	367587.7	237239.9	MRI-CGCM3

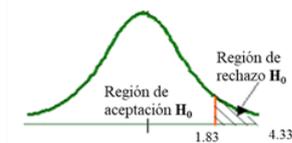


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	478982.751	237239.854
Varianza	6384872974	9.4115E-22
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	9.56704003	
P(T<=t) una cola	0.00000258	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.00000517	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque muy húmedo - Montano Subtropical (RCP 8.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Bosque muy húmedo - Montano Subtropical	27924.6	0.0	ACCESS1.0
	27924.6	9311.4	CCSM4
	27924.6	0.0	GFDL-CMB
	27924.6	35146.8	HadGEM2-AO
	27924.6	5218.8	HadGEM2-CC
	27924.6	6451.2	HadGEM2-ES
	27924.6	0.0	IPSL-CM5A-LR
	27924.6	0.0	MIROC5
	27924.6	0.0	MPI-ESM-LR
	27924.6	33730.2	MRI-CGCM3

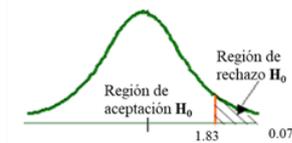


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	27924.646	8985.84565
Varianza	0	191236240
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	4.33079243	
P(T<=t) una cola	0.00095145	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.0019029	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque húmedo - Montano Bajo Subtropical (RCP 8.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Bosque húmedo - Montano Bajo Subtropical	116296.0	110377.5	ACCESS1.0
	127624.7	110377.5	CCSM4
	40470.6	110377.5	GFDL-CMB
	123613.3	110377.5	HadGEM2-AO
	123297.3	110377.5	HadGEM2-CC
	117885.5	110377.5	HadGEM2-ES
	98080.8	110377.5	IPSL-CM5A-LR
	128731.3	110377.5	MIROC5
	107933.2	110377.5	MPI-ESM-LR
	125528.3	110377.5	MRI-CGCM3

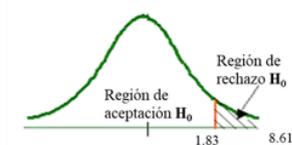


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	110946.092	110377.487
Varianza	704256911	9.4115E-22
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	0.06775559	
P(T<=t) una cola	0.4737308	
Valor crítico de t (una cola)	1.8311293	
P(T<=t) dos colas	0.9474616	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque muy húmedo - Montano Bajo Subtropical (RCP 8.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Bosque muy húmedo - Montano Bajo Subtropical	15349.0	0.0	ACCESS1.0
	15349.0	0.0	CCSM4
	15349.0	0.0	GFDL-CMB
	15349.0	8513.7	HadGEM2-AO
	15349.0	0.0	HadGEM2-CC
	15349.0	0.0	HadGEM2-ES
	15349.0	0.0	IPSL-CM5A-LR
	15349.0	0.0	MIROC5
	15349.0	0.0	MPI-ESM-LR
	15349.0	13643.9	MRI-CGCM3

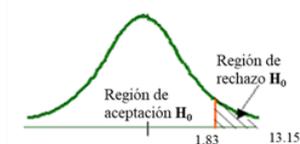


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	15348.9534	2215.75828
Varianza	3.6764E-24	23282542.4
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	8.60706726	
P(T<=t) una cola	0.00000614	
Valor crítico de t (una cola)	1.8311293	
P(T<=t) dos colas	0.00001228	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque muy húmedo - Premontano Subtropical (RCP 8.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Bosque muy húmedo - Premontano Subtropical	121719.4	80233.5	ACCESS1.0
	123340.1	80233.5	CCSM4
	94828.7	80233.5	GFDL-CMB
	118700.6	80233.5	HadGEM2-AO
	118331.3	80233.5	HadGEM2-CC
	126236.2	80233.5	HadGEM2-ES
	115964.1	80233.5	IPSL-CM5A-LR
	120883.4	80233.5	MIROC5
	120473.8	80233.5	MPI-ESM-LR
	110915.0	80233.5	MRI-CGCM3

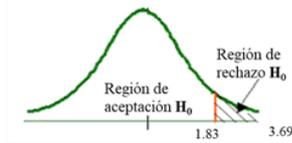


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	117139.251	80233.4976
Varianza	78784716.5	2.3529E-22
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	13.1484054	
P(T<=t) una cola	0.00000018	
Valor crítico de t (una cola)	1.8311293	
P(T<=t) dos colas	0.00000035	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque pluvial - Premontano Subtropical (RCP 8.5 al 2050)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2050 (ha)	Modelo
Bosque pluvial - Premontano Subtropical	41941.0	19883.2	ACCESS1.0
	47778.0	19883.2	CCSM4
	2138.1	19883.2	GFDL-CMB
	60381.6	19883.2	HadGEM2-AO
	45744.7	19883.2	HadGEM2-CC
	41914.2	19883.2	HadGEM2-ES
	27449.7	19883.2	IPSL-CM5A-LR
	45945.9	19883.2	MIROC5
	28971.0	19883.2	MPI-ESM-LR
64283.3	19883.2	MRI-CGCM3	

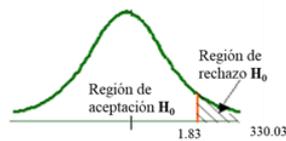


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	40654.7493	19883.2447
Varianza	316639611	1.4705E-23
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	3.69155094	
P(T<=t) una cola	0.00249347	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.00498693	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Nival Subtropical - RCP 8.5 al 2070

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Nival Subtropical	25483.1	188.3	ACCESS1.0
	25483.1	364.3	CCSM4
	25483.1	0.0	GFDL-CMB
	25483.1	361.7	HadGEM2-AO
	25483.1	184.8	HadGEM2-CC
	25483.1	182.8	HadGEM2-ES
	25483.1	0.0	IPSL-CM5A-LR
	25483.1	689.9	MIROC5
	25483.1	210.6	MPI-ESM-LR
	25483.1	673.2	MRI-CGCM3

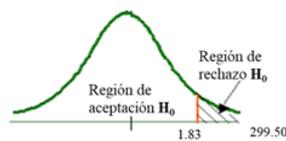


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	25483.0882	285.572898
Varianza	0	58293.1571
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	330.026588	
P(T<=t) una cola	0.0000	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.0000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Tundra pluvial - Andino Subtropical (RCP 8.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Tundra pluvial - Andino Subtropical	170008.6	538.5	ACCESS1.0
	170008.6	4223.5	CCSM4
	170008.6	192.2	GFDL-CMB
	170008.6	1190.0	HadGEM2-AO
	170008.6	554.5	HadGEM2-CC
	170008.6	546.3	HadGEM2-ES
	170008.6	373.0	IPSL-CM5A-LR
	170008.6	3864.5	MIROC5
	170008.6	504.6	MPI-ESM-LR
	170008.6	4474.9	MRI-CGCM3

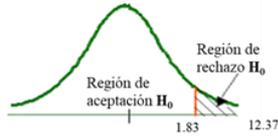


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	170008.58	1646.20608
Varianza	0	3160000.02
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	299.503221	
P(T<=t) una cola	0.0000	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.0000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Páramo muy húmedo - Subandino Subtropical (RCP 8.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Páramo muy húmedo - Subandino Subtropical	481493.2	138773.3	ACCESS 1.0
	481493.2	247563.2	CCSM4
	481493.2	13500.6	GFDL-CM3
	481493.2	163587.1	HadGEM2-AO
	481493.2	87341.7	HadGEM2-CC
	481493.2	87138.0	HadGEM2-ES
	481493.2	36407.7	IPSL-CM5A-LR
	481493.2	247661.9	MIROC5
	481493.2	90443.2	MPI-ESM-LR
481493.2	248641.6	MRI-CGCM3	

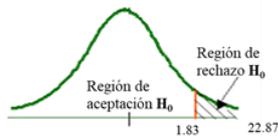


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	481493.187	136105.828
Varianza	0	7791861222
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	12.3733083	
P(T<=t) una cola	0.00000030	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.00000059	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque húmedo - Montano Subtropical (RCP 8.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Bosque húmedo - Montano Subtropical	631091.7	237239.9	ACCESS 1.0
	547629.8	237239.9	CCSM4
	654126.7	237239.9	GFDL-CM3
	601745.6	237239.9	HadGEM2-AO
	663374.4	237239.9	HadGEM2-CC
	658828.2	237239.9	HadGEM2-ES
	678197.8	237239.9	IPSL-CM5A-LR
	548567.0	237239.9	MIROC5
	658644.2	237239.9	MPI-ESM-LR
	550078.6	237239.9	MRI-CGCM3

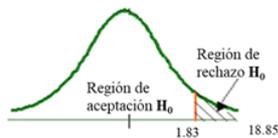


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	619228.389	237239.854
Varianza	2790374131	9.4115E-22
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	22.8675222	
P(T<=t) una cola	0.00000001	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.00000003	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque muy húmedo - Montano Subtropical (RCP 8.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Bosque muy húmedo - Montano Subtropical	27924.6	0.0	ACCESS 1.0
	27924.6	249.7	CCSM4
	27924.6	0.0	GFDL-CM3
	27924.6	13253.2	HadGEM2-AO
	27924.6	0.0	HadGEM2-CC
	27924.6	0.0	HadGEM2-ES
	27924.6	0.0	IPSL-CM5A-LR
	27924.6	0.0	MIROC5
	27924.6	0.0	MPI-ESM-LR
27924.6	5696.6	MRI-CGCM3	

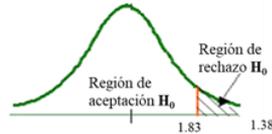


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	27924.646	1919.94824
Varianza	0	19033239.2
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	18.8493101	
P(T<=t) una cola	0.00000001	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.00000002	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque húmedo - Montano Bajo Subtropical (RCP 8.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Bosque húmedo - Montano Bajo Subtropical	110377.5	88387.1	ACCESS 1.0
	110377.5	120980.5	CCSM4
	110377.5	21139.4	GFDL-CM3
	110377.5	140283.8	HadGEM2-AO
	110377.5	79177.2	HadGEM2-CC
	110377.5	90754.5	HadGEM2-ES
	110377.5	62014.5	IPSL-CM5A-LR
	110377.5	122083.8	MIROC5
	110377.5	83210.5	MPI-ESM-LR
	110377.5	135969.6	MRI-CGCM3

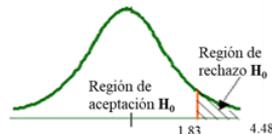


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	110377.487	94400.0854
Varianza	9.4115E-22	1347623097
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	1.37632795	
P(T<=t) una cola	0.10099627	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.20199254	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque muy húmedo - Premontano Subtropical (RCP 8.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Bosque muy húmedo - Premontano Subtropical	116482.9	80233.5	ACCESS 1.0
	124580.3	80233.5	CCSM4
	50895.4	80233.5	GFDL-CM3
	128783.8	80233.5	HadGEM2-AO
	113278.9	80233.5	HadGEM2-CC
	120699.2	80233.5	HadGEM2-ES
	105079.3	80233.5	IPSL-CM5A-LR
	123265.3	80233.5	MIROC5
	115405.1	80233.5	MPI-ESM-LR
	123237.0	80233.5	MRI-CGCM3

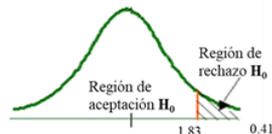


Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	112170.714	80233.4976
Varianza	509279242	2.3529E-22
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	4.47526823	
P(T<=t) una cola	0.00077145	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.0015429	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Prueba de t de Student para la zona de vida Bosque pluvial - Premontano Subtropical (RCP 8.5 al 2070)

Zona de Vida	Área del periodo de referencia (ha)	Áreas al 2070 (ha)	Modelo
Bosque pluvial - Premontano Subtropical	21421.9	19883.2	ACCESS 1.0
	29533.8	19883.2	CCSM4
	0.0	19883.2	GFDL-CM3
	41065.0	19883.2	HadGEM2-AO
	12049.8	19883.2	HadGEM2-CC
	15456.4	19883.2	HadGEM2-ES
	4285.2	19883.2	IPSL-CM5A-LR
	34047.4	19883.2	MIROC5
	12635.4	19883.2	MPI-ESM-LR
	49024.3	19883.2	MRI-CGCM3



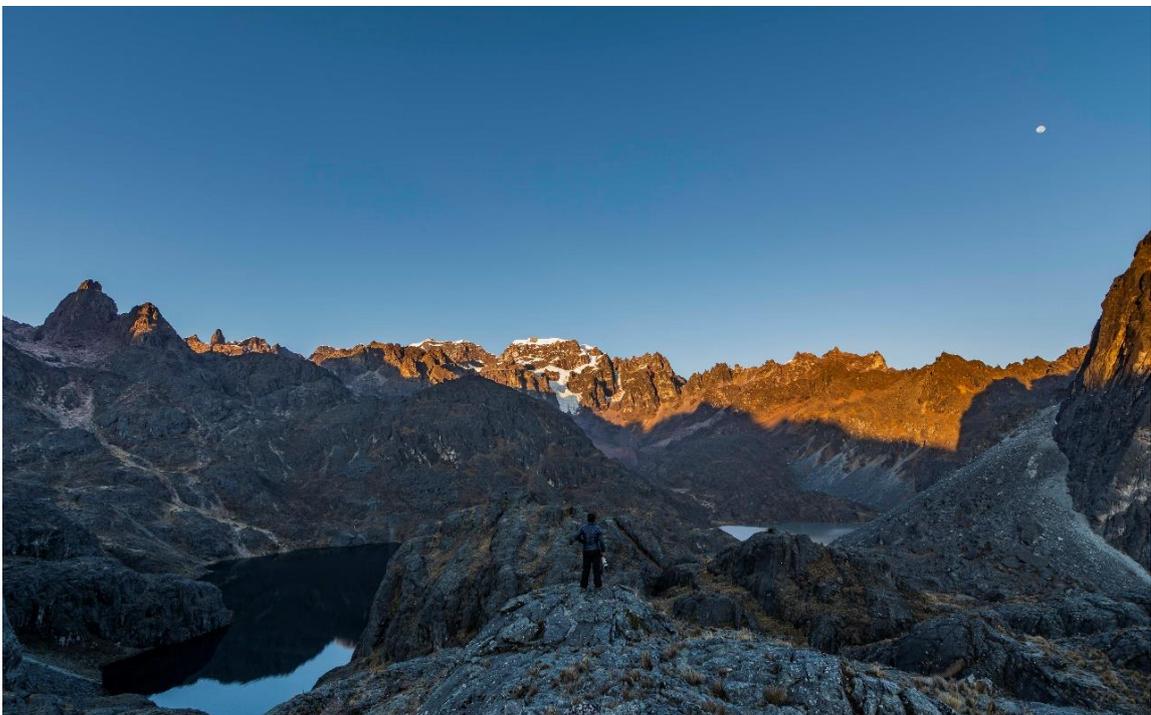
Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	21951.9162	19883.2447
Varianza	258147490	1.4705E-23
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	0.40715294	
P(T<=t) una cola	0.34670453	
Valor crítico de t (una cola)	1.83311293	
P(T<=t) dos colas	0.69340906	
Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716	

Anexo 3: Panel fotográfico



Materiales – ficha de campo



Verificación in situ de puntos de muestreo