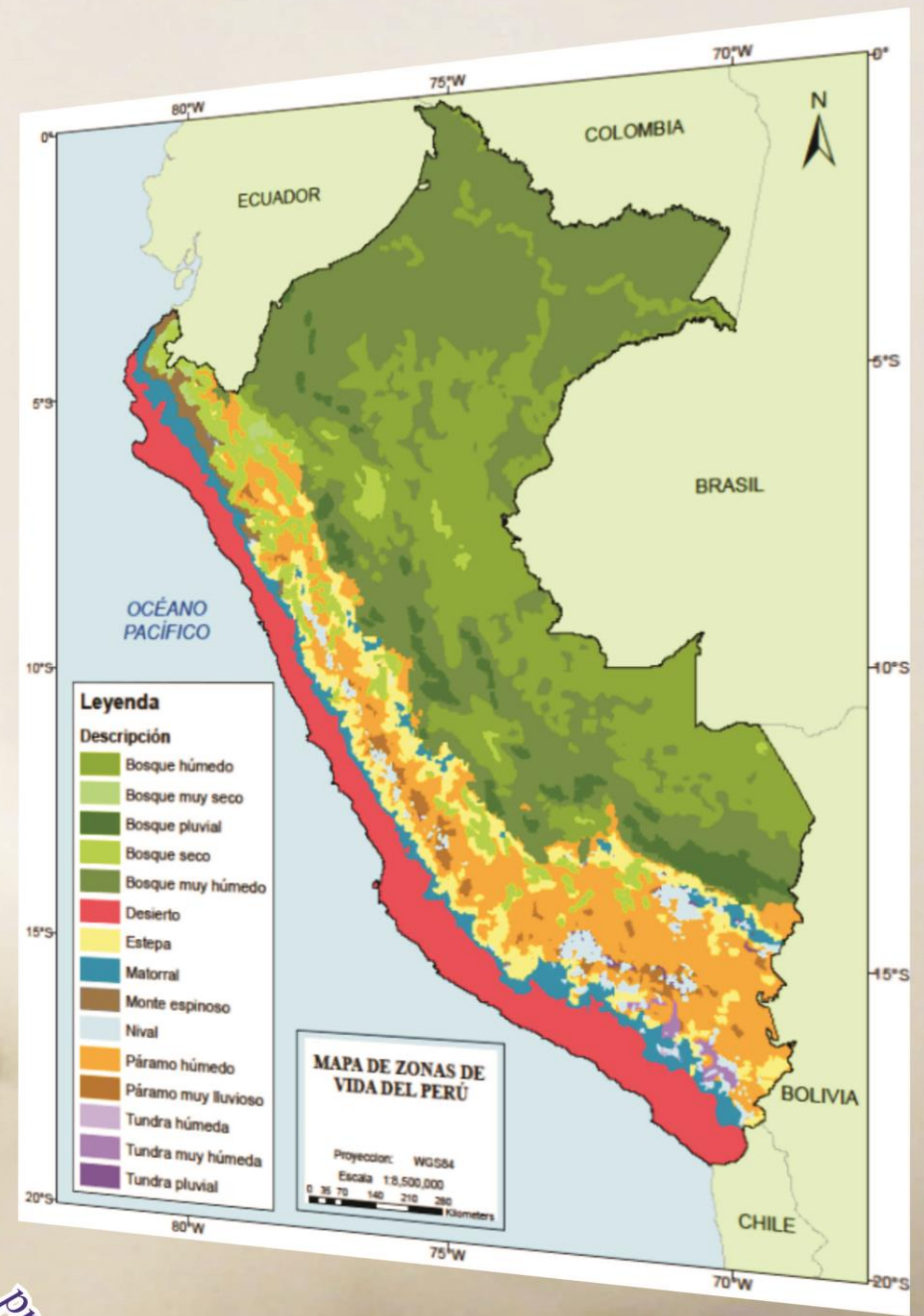


# ATLAS DE ZONAS DE VIDA DEL PERÚ

## Guía Explicativa

Nota Técnica 003  
Dirección de Hidrología





# **ATLAS DE ZONAS DE VIDA DEL PERÚ Guía Explicativa**

**Nota Técnica N° 003  
DIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA  
LIMA-PERÚ  
2017**



## DIRECTORIO

**Ph.D Ken Takahashi Guevara**

*Presidente Ejecutiva del SENAMHI*

**Ing. Oscar Gustavo Felipe Obando**

*Director de Hidrología del SENAMHI*

## AUTORES

**Ing. César Aybar Camacho**

**Ph. D. Waldo Lavado Casimiro**

## COLABORADORES

**Ing. Evelin Sabino Rojas**

**Ing. Sayuri Ramírez Vilca**

**Ing. Adrián Huerta Julca**

**Ing. Oscar Felipe Obando**

**Lima-Perú**

**2017**

---

---

**Citar como:**

Aybar-Camacho, C.; Lavado-Casimiro, W.; Sabino, E.; Ramírez, S.; Huerta, J. & Felipe-Obando, O. (2017). Atlas de zonas de vida del Perú - Guía Explicativa. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Dirección de Hidrología.

## INDICE

|   |    |
|---|----|
| PRÓLOGO .....   | 8  |
| I. INTRODUCCIÓN .....   | 9  |
| II. ÁMBITO DE ESTUDIO.....  | 10 |
| III. BASES DEL SISTEMA DE HOLDRIDGE.....                                      | 10 |
| IV. DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO .....   | 10 |
| 4.1 Biotemperatura.....   | 11 |
| 4.2 Precipitación.....  | 12 |
| 4.3 Humedad Ambiental o “Ratio” de Evapotranspiración.....                    | 12 |
| V. DATOS UTILIZADOS PARA EL ATLAS DE ZONAS DE VIDA DEL PERÚ - AZVP.....       | 12 |
| 5.1 Control de Calidad de Datos.....  | 13 |
| 5.1.1 Temperatura.....  | 13 |
| 5.1.2 Precipitación.....  | 14 |
| 5.2 Estimación de los parámetros para la estimación de las zonas de vida..... | 14 |
| 5.2.1 Biotemperatura.....   | 14 |
| 5.2.2 Precipitación.....  | 15 |
| 5.3 Covariables Utilizadas.....   | 15 |
| 5.4 Predicción Espacial.....  | 17 |
| VI. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE ZONAS DE VIDA SEGÚN HOLDRIDGE.....   | 18 |
| VII. RESULTADOS .....   | 21 |
| VIII. CONCLUSIONES .....  | 26 |
| IX. BIBLIOGRAFÍA.....   | 27 |
| ANEXO MAPAS   |    |

## CONTENIDO

### ANEXO MAPAS

#### Mapas Precipitación promedio (1981-2010)

1. Mapa N° AZVP-01. Precipitación promedio del mes de Enero
2. Mapa N° AZVP -02. Precipitación promedio del mes de Febrero
3. Mapa N° AZVP -03. Precipitación promedio del mes de Marzo
4. Mapa N° AZVP -04. Precipitación promedio del mes de Abril
5. Mapa N° AZVP -05. Precipitación promedio del mes de Mayo
6. Mapa N° AZVP -06. Precipitación promedio del mes de Junio
7. Mapa N° AZVP -07. Precipitación promedio del mes de Julio
8. Mapa N° AZVP -08. Precipitación promedio del mes de Agosto
9. Mapa N° AZVP -09. Precipitación promedio del mes de Setiembre
10. Mapa N° AZVP -10. Precipitación promedio del mes de Octubre
11. Mapa N° AZVP -11. Precipitación promedio del mes de Noviembre
12. Mapa N° AZVP -12. Precipitación promedio del mes de Diciembre
13. Mapa N° AZVP -13. Precipitación promedio del mes de Multianual

#### Mapas de Biotemperatura (1981-2010)

14. Mapa N° AZVP -14. BioTemperatura del mes de Enero
15. Mapa N° AZVP -15. BioTemperatura del mes de Febrero
16. Mapa N° AZVP -16. BioTemperatura del mes de Marzo
17. Mapa N° AZVP -17. BioTemperatura del mes de Abril
18. Mapa N° AZVP -18. BioTemperatura del mes de Mayo
19. Mapa N° AZVP -19. BioTemperatura del mes de Junio
20. Mapa N° AZVP -20. BioTemperatura del mes de Julio
21. Mapa N° AZVP -21. BioTemperatura del mes de Agosto
22. Mapa N° AZVP -22. BioTemperatura del mes de Setiembre
23. Mapa N° AZVP -23. BioTemperatura del mes de Octubre
24. Mapa N° AZVP -24. BioTemperatura del mes de Noviembre
25. Mapa N° AZVP -25. BioTemperatura del mes de Diciembre
26. Mapa N° AZVP -26. BioTemperatura Multianual

#### Mapas de Evapotranspiración Potencial

27. Mapa N° AZVP -27. Evapotranspiración Potencial del mes de Enero
28. Mapa N° AZVP -28. Evapotranspiración Potencial del mes de Febrero
29. Mapa N° AZVP -29. Evapotranspiración Potencial del mes de Marzo
30. Mapa N° AZVP -30. Evapotranspiración Potencial del mes de Abril
31. Mapa N° AZVP -31. Evapotranspiración Potencial del mes de Mayo
32. Mapa N° AZVP -32. Evapotranspiración Potencial del mes de Junio
33. Mapa N° AZVP -33. Evapotranspiración Potencial del mes de Julio
34. Mapa N° AZVP -34. Evapotranspiración Potencial del mes de Agosto
35. Mapa N° AZVP -35. Evapotranspiración Potencial del mes de Setiembre
36. Mapa N° AZVP -36. Evapotranspiración Potencial del mes de Octubre
37. Mapa N° AZVP -37. Evapotranspiración Potencial del mes de Noviembre
38. Mapa N° AZVP -38. Evapotranspiración Potencial del mes de Diciembre
39. Mapa N° AZVP -39. Evapotranspiración Potencial Multianual

#### Mapas de Zonas de Vida

40. Mapa N° AZVP-40. Provincias de Humedad según Holdridge
41. Mapa N° AZVP -41. Regiones Altitudinales
42. Mapa N° AZVP -42. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH)
43. Mapa N° AZVP -43. Zonas de Vida con Provincias de humedad y regiones altitudinales

## Mapas por Regiones

44. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de AMAZONAS
45. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de ANCASH
46. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de APURÍMAC
47. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de AREQUIPA
48. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de AYACUCHO
49. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de CAJAMARCA
50. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de CUSCO
51. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de HUANCANELICA
52. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de HUÁNUCO
53. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de ICA
54. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de JUNÍN
55. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de LA LIBERTAD
56. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de LAMBAYEQUE
57. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de LIMA
58. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de LORETO
59. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de MADRE DE DIOS
60. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de MOQUEGUA
61. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de PASCO
62. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de PIURA
63. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de PUNO
64. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de SAN MARTÍN
65. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de TACNA
66. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de TUMBES
67. Mapa N° AZVP -44. Zonas de Vida de Holdridge (ZVH) Departamento de UCAYALI

## PRÓLOGO

El presente documento es la primera versión del Mapa de zonas de vida de Holdridge del Perú a una escala de 1:100000, el cual es el resultado de un trabajo de investigación realizado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) que consistió en entender la climatología del Perú del período 1981-2010 que fue plasmada en mapas climatológicos de precipitación (PP) y biotemperatura (BT) utilizando para ello datos observados complementado con información satelital de alta resolución como covariables que han permitido obtener cartografía climática robusta para todo el territorio peruano.

El producto final está basado en el sistema de clasificación de zonas de vida propuesto por el Dr. Leslie R. Holdridge, que puede considerarse como el primer modelo para la caracterización de biomas basado en relaciones de variables bioclimáticas. Si bien actualmente existen otros sistemas de clasificación de biomas más robustos, la simplicidad del modelo de Holdridge basado solamente en las climatologías de BT, evapotranspiración y PP, hace que el sistema sea adecuado en regiones con limitada información, como es el caso del Perú.

La presente versión del Atlas de zonas de vida del Perú (AZVP) establece la existencia de 16 zonas de vida principales (biomas) subdividiéndose en 66 sub-biomas considerando la existencia de 7 pisos altitudinales. Al comparar el AZVP con el mapa ecológico generado por la ONERN en los años 70 muestra que las zonas de vida, condicionadas por la Biotemperatura como los glaciares y tundra han disminuido, esto puede estar relacionado con el aumento de la temperatura en los andes y concuerda con lo descrito en Vicente-Serrano et al. (2017). Una mejor comprensión de las zonas de vida de Holdridge debe contribuir a la elaboración de los planes de conservación y uso sostenible de los ecosistemas enmarcados dentro del Programa Presupuestal por Resultados-PPR 144, sobre todo en espacios territoriales más sensibles a la variabilidad del clima y proveedoras de servicios ecosistémicos hídricos.



# ATLAS DE ZONAS DE VIDA DEL PERÚ

## Guía Explicativa

### I. INTRODUCCIÓN

Entender el clima a gran escala y sus características locales es bastante complejo en el Perú, principalmente por la interrupción de los patrones de circulación a gran escala, causados por la cordillera de los Andes, por condiciones oceánicas contrastadas y la distribución de las masas terrestres (Garreaud et al., 2009; Tatli and Dalfes, 2016). La búsqueda de patrones espaciales comunes de las distintas formas de vida existente con sus distintos componentes abióticos del medio es una de las tareas más importantes de la fisiología vegetal. Esto constituye la base de varios esquemas de clasificación empírica que se han utilizado para predecir el grupo más amplio de tipos de ecosistemas conocidos como biomas. Los biomas se definen como las regiones geográficas que comparten clima, flora y fauna. De esta manera, un bioma puede ser definido como el conjunto de ecosistemas característicos de una zona biogeográfica que está definido a partir de su vegetación y de las especies animales que predominan.

Holdridge denominó a sus unidades bioclimáticas “formaciones vegetales” o simplemente “formaciones”. Actualmente, se ha puesto el término de zonas de vida a las “formaciones” (INRENA, 1995). Una zona de vida es un grupo de unidades naturales básicas que tiene regiones con crecimiento similar de plantas dentro de un rango definido de condiciones climáticas.

El modelo de determinación de zonas de vida de Holdridge (ZVH) es una clasificación climática que se basa en el supuesto de que la vegetación natural de un área puede ser determinada objetivamente por el clima local. Las ZVH estima la distribución a gran escala de la vegetación con tres variables clave del clima; (i) Promedio anual de BT en grados centígrados, (ii) media total anual de PP en milímetros, y (iii) relación potencial de evapotranspiración (ETP) (Chakraborty et al., 2013).

En la actualidad existen distintos recursos que permiten la escenificación de biomas como el sistema de clasificación climática de Köppen, los modelos Box, DOLY, MAPPSS, BIOME2, BIOME3, BIOME4 e IBIS. Sin embargo, estos incluyen sofisticados algoritmos de modelamiento que nos permiten escenificar adecuadamente el comportamiento de los biomas pero requieren una mayor cantidad de variables y un mejor control de parámetros, haciendo que su correcta implementación sea mucho más complicada. En contraste el ZVH, se caracteriza por su simplicidad y la fácil adquisición de datos (temperatura y precipitación principalmente). Si bien el modelo toma en cuenta algunas leyes básicas de fisiología vegetal, varios factores importantes son obviados como la estacionalidad de las variables climáticas, las propiedades físicas del suelo, interacción humana, etc. (Szelepcsényi et al., 2016).

El ZVH ha sido aplicado en distintos contextos a nivel mundial, por poner algunos ejemplos: Chakraborty et al. (2013) compara las ZV generadas por el SCZVH en la India con el mapa de cobertura vegetal y bajo distintos escenarios de cambio climático encontrando cambios significativos principalmente del bosque húmedo tropical; Szelepcsényi et al. (2016) analiza los resultados del SCZVH bajo 11 distintas simulaciones de modelos climáticos regionales en la región Carpathian; Sanjerehei (2014) estima la probabilidad de detección de distintas ZV en Irán utilizando regresión logística, además, la PP y BT son espacializadas utilizando kriging ordinario finalmente Yue et al. (2015) analiza el impacto del aumento de temperatura y precipitación en formaciones vegetales por medio del SCZVH para distintos periodos (1951-1980 y 1981-2010).

Como antecedente, es importante recordar que el primer mapa ecológico del Perú fue elaborado por el Dr. Joseph Tossi y publicado el año 1960, año en que se da a conocer el sistema de clasificación de zonas de vida. Muchas zonas de la sierra quedaron sin clasificación debido a la falta de información meteorológica, carencia de material cartográfico y poca accesibilidad. El año 1976 se publicó la segunda versión del Mapa Ecológico a escala 1/1`000,000, contando con la participación del mismo Dr. Tossi del centro científico tropical de Costa Rica. Ante la creciente demanda de este documento técnico se emprime la tercera versión el año 1995, debidamente actualizada a cargo del Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA.

El objetivo del presente reporte técnico es describir a manera de guía explicativa como se ha generado el Atlas de Zonas de Vida del Perú y presentar mapas nacionales y departamentales. Algunas secciones han sido extraídas y adaptadas del trabajo de la ONERN (1976).

## II. ÁMBITO DE ESTUDIO

El Perú (1 285 220 Km<sup>2</sup>) es un país que se caracteriza por sus diversos factores fisiográficos y climatológicos. La cordillera de los Andes divide el Perú en tres vertientes hidrográficas: del Pacífico (VP), del Lago Titicaca (VT) y del Atlántico (Amazonas, VA). Las dos principales variables climáticas que ingresan para la determinación de las zonas de vida en la ZVH son la PP y la BT.

La PP en el Perú está influenciada por la variabilidad de los patrones de circulación a larga escala causada por la cordillera de los Andes, las diferentes condiciones de los océanos que nos rodea y la distribución del relieve terrestre (Garreaud et al., 2009). Las bajas intensidades de las PP al sur de la VP es explicada por la fuerte subsidencia de larga escala sobre el sur este subtropical del Océano Pacífico y las condiciones de extrema aridez se deben a condiciones de factores regionales; las PP anuales sobre el Perú se incrementan hacia el norte en concordancia con el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical.

Por el contrario la VA presenta condiciones bastante húmedas hacia el este de los Andes, debido a la convección de humedad y al aire caliente que se transforma en evapotranspiración de los bosques amazónicos y en advección de aire húmedo del Atlántico Tropical. En esta región coinciden fuertes y bajas intensidades de lluvias (entre 6000 y 250 mm/año) que son observados entre estaciones cercanas debido a la ubicación de sotavento y barlovento de las estaciones meteorológicas. Además, la precipitación anual tiende a disminuir con la altitud siendo menos de 1500.0 mm sobre los 2000.0 m.s.n.m.(Espinoza et al., 2009).

En la VT las lluvias se dan sobre todo en el verano austral y son caracterizados por una intensa actividad convectiva combinada con la advección producida por el transporte de humedad del Amazonas el vapor de agua originado en el Amazonas (Lavado et al., 2012).

Con respecto a las temperatura en Perú, está se encuentra fuertemente relacionada con la elevación, presentando la temperatura mínima los gradientes más pronunciados y fluctuantes sobre todo durante la noche de invierno (con cielo despejado). Recientes investigaciones, indican que dentro del periodo 1964-2014 la temperatura máxima, media y mínima aumentaron considerablemente sus valores promedios a razón de 0.18, 0.17 y 0.16 °C/década, siendo este aumento sistemático proporcional al aumento de la elevación llegando a presentarse valores de hasta 0.27 °C/década cuando las temperatura máxima por encima de los 4500.0 msnm fue analizada (Vicente-Serrano et al., 2017).

## III. BASES DEL SISTEMA DE HOLDRIDGE

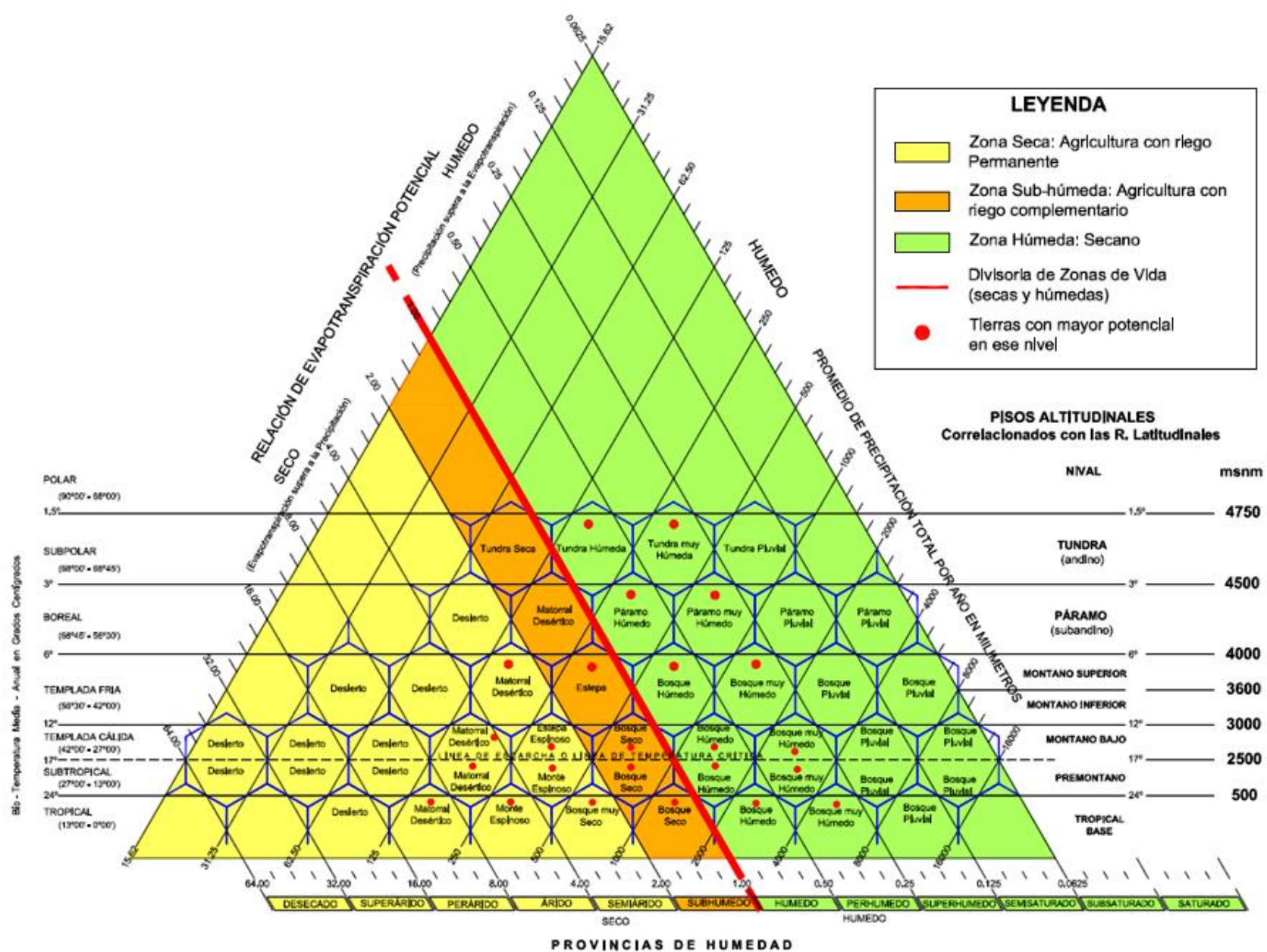
El sistema de Holdridge (Holdridge, 1967) es estrictamente ecológico y de alcance mundial, su clasificación se distingue porque define en forma cuantitativa la relación que existe entre los factores principales del clima y la vegetación. La Biotemperatura, la Precipitación y la humedad ambiental, que conforman los factores climáticos fundamentales son considerados como “independientes”, mientras que los factores bióticos son considerados esencialmente “dependientes”, es decir, subordinados a la acción directa del clima en cualquier parte del mundo.

El sistema se apoya en un modelo matemático que describe en forma resumida las características principales y los valores cuantitativos climáticos de las distintas zonas de vida que comprende esta clasificación. Sus términos cuantitativos fueron determinados mediante estudios e investigaciones científicas de la relación efectiva entre la vegetación natural y el clima, registrado éste por medio de estaciones meteorológicas confiables ubicadas en diversas partes del mundo. Las bases de la clasificación concuerdan con fenómenos claramente visibles en el orden natural; por tanto, no son arbitrarias ni, mucho menos artificiales.

## IV. DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO

El sistema de clasificación de Holdridge se plasma en un modelo matemático y de configuración tridimensional (Figura 1), este demuestra que la interacción de los factores climáticos: temperatura (BT), y humedad ambiental (relación de evapotranspiración potencial) van a definir todas las zonas de vida que pueden ocurrir en el mundo (más de 100). Cada hexágono del diagrama expresa el concepto central de zonas de vida.

El diagrama presenta las posiciones climáticas de las zonas de vida en los pisos basales de seis regiones latitudinales, basados en la BT a nivel del mar, desde el Ecuador cálido (Región Latitudinal Tropical) hasta los polos fríos (Región Latitudinal Polar) de los hemisferios. En el lado izquierdo del diagrama se tiene los límites correspondientes de BT para cada región latitudinal, en el lado derecho se indica los límites correspondientes de BT media anual para cada piso altitudinal. En este sentido, el número de pisos altitudinales que pueden existir arriba del piso basal es mayor en la región tropical y va disminuyendo progresivamente con el aumento latitudinal hacia los polos. Asimismo, sobre la base del diagrama se muestra las provincias de humedad limitadas por las líneas de la relación de la evapotranspiración potencial. Para finalizar, una escala vertical ubicada en el extremo derecho del diagrama sirve para determinar directamente la evapotranspiración potencial total anual en milímetros.



**Figura 1:** Diagrama bioclimático de Holdridge (1967)  
Fuente: Zamora (2009).

#### 4.1 Biotemperatura

El concepto de BT definido por Holdridge detalla lo siguiente: “Es la temperatura del aire, aproximadamente entre 0°C y 30°C, que determina el ritmo e intensidad de los procesos fisiológicos de las plantas (fotosíntesis de las plantas, respiración y transpiración) y la tasa de evaporación directa del agua contenida en el suelo y la vegetación.”

Según ONERN, 1976 existen 3 formas de estimar la BT diaria y/o mensual:

- Contar con datos horarios de temperatura (o en su defecto, las mediciones a las 7:00, 13:00 y 19:00 horas), tomando como 0 °C cualquier valor negativo y como 30 °C cualquier valor superior a este último, finalmente realizar el promedio.
- Contar con datos de temperatura máxima y mínima mensual o diaria. Considerando como 0 °C cualquier valor negativo y como 30 °C cualquier valor superior a este último, sumar ambos valores y dividirlo entre dos.
- Una forma menos exacta es trabajar directamente con los datos mensuales en donde si la temperatura media se encuentra entre 6 °C y 24 °C, la BT es equivalente a la temperatura media. Si la temperatura media es mayor a 24 °C, la BT es calculada de la siguiente forma:

$BT = T_m - \frac{3 \cdot lat}{100} (T_m - 24)^2$ . Donde  $T_m$  son los datos de temperatura media y  $lat$  representa la latitud.

Finalmente si la temperatura es menor a 6 °C, la BT media es calculada de la siguiente forma:  $BT = \frac{T_{mmax}^2}{2 \cdot (T_{mmax} - T_{mmin})}$ . Donde  $BT$  es la temperatura media mensual,  $T_{mmax}$  la temperatura máxima mensual y  $T_{mmin}$  la temperatura mínima mensual.

## 4.2 Precipitación

Se entiende por precipitación “a la humedad condensada que cae de la atmósfera sobre la superficie de la tierra bajo diferentes formas, como llovizna, chubasco, nieve, granizo, niebla, rocío, etc.”. Cabe resaltar que para este trabajo las precipitaciones captadas por las estaciones meteorológicas no incluyen en sus mediciones el agua que se condensa directamente en la vegetación bajo la forma de rocío o que provienen de neblina y luego gotean al suelo, en lugares donde la precipitación era significativa en las formas antes mencionadas, se tendrán en cuenta al momento de determinar el promedio de precipitación total por un año de una estación.

## 4.3 Humedad Ambiental o “Ratio” de Evapotranspiración

La humedad ambiental o ratio de evapotranspiración de cualquier lugar está determinada por la interrelación de dos factores: la BT y la PP, por consiguiente, si la cantidad de agua almacenada en el suelo es lo suficientemente adecuada, la tasa de evapotranspiración será cada vez mayor cuanto más alta sea la BT.

A diferencia de los otras variables (BT y PP), la humedad ambiental es imposible de estimarla directamente. Holdridge ha demostrado que es posible hacerlo para una asociación climática mediante los valores de la relación de evapotranspiración potencial que se obtiene dividiendo la “evapotranspiración potencial promedio anual” entre la “precipitación promedio anual”. Esto es debido a que ambas variables pueden ser estimados con bastante aproximación.

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

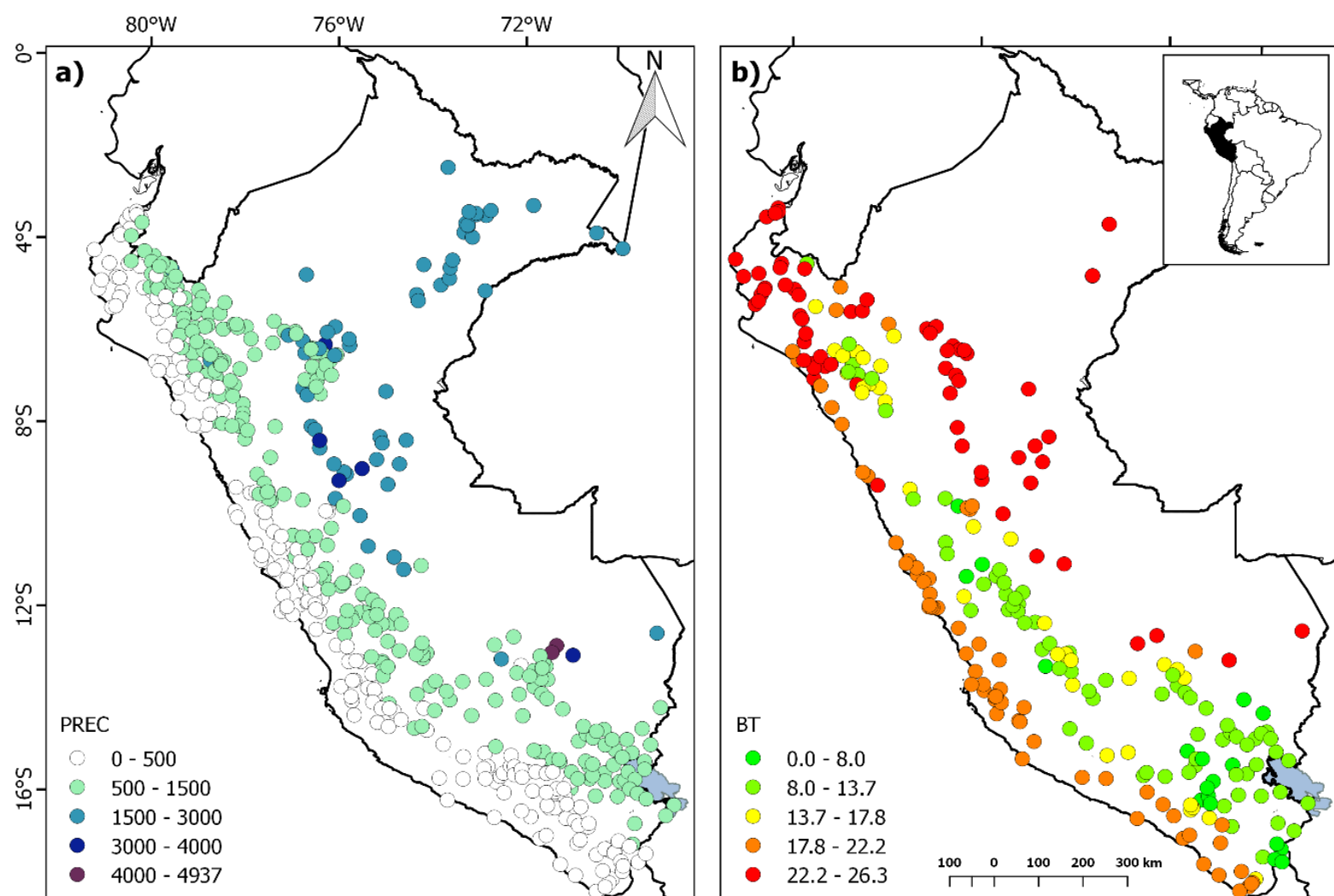
Donde  $R_{ETP}$  representa el “ratio” de evapotranspiración,  $ETP$  es la evapotranspiración potencial y  $PP$  representa la precipitación.

La Evapotranspiración Potencial es la cantidad de agua que se evapora directamente del suelo y otras superficies; además de la transpirada por la vegetación en un estado de contenido óptimo de humedad de las características del suelo.

## V. DATOS UTILIZADOS PARA EL ATLAS DE ZONAS DE VIDA DEL PERÚ - AZVP

La generación de los mapas para el AZVP está en función de las climatologías de PP, BT y ETP; estimándose esta última en función de la BT (Figura 2). La distribución espacial de las estaciones meteorológicas utilizadas para generar el AZVP se muestra en la Figura 2.

En la siguiente sección, se describirá: i) El Control de calidad de datos para las series de precipitación y temperatura; ii) Estimación de la BT, PP y humedad ambiental multianual; iii) Descripción de las covariables utilizadas para generar los mapas a nivel nacional y iv) Explicación de la metodología de interpolación espacial para generar los mapas del AZVP.



**Figura 2:** Estaciones Meteorológicas utilizadas para la predicción espacial de la BT y PP.  
Fuente: Elaboración propia

A la derecha se aprecia las estaciones consideradas para BT (257) y la izquierda las consideradas para PP (527).

## 5.1 Control de Calidad de Datos

### 5.1.1 Temperatura

La información de temperatura máxima (TX) y temperatura mínima (TN) utilizada constó de datos diarios de 681 estaciones meteorológicas del SENAMHI. La longitud de las series de temperatura varía desde 1 a 30 años aproximadamente dentro del periodo de 1981 - 2010.

El proceso de control de calidad se dividió en dos partes: automático y visual. El control automático se basó en los procedimientos de Aguilar et al. (2003) y Vicente-Serranto et al. (2010), y consistió en la evaluación general (fechas duplicadas, comas decimales, valores -999 y/o -888), rangos fijos ( $TX \geq 60$  o  $TX \leq -10$ , y  $TN \geq 40$  o  $TN \leq -30$ ), consistencia entre variables ( $TX \leq TN$ ), coherencia temporal (valores consecutivos repetidos  $> 8$  días y saltos diarios  $> 15$  °C) y coherencia espacial (comparación de valores ordenados de TX y TN con estaciones vecinas). Los valores que superaron los límites establecidos fueron eliminados. Debido a que un solo proceso de control de calidad no es apta para series climáticas en la región de estudio (Hunziker et al., 2017), fue necesario realizar a través de la visualización de datos una inspección de rupturas y/o quiebres evidentes en las series de tiempo y la eliminación de segmentos no homogéneos. Finalizando el control de calidad de datos, solo 271 estaciones meteorológicas fueron seleccionadas (ver Figura 2).

Para asegurar la variabilidad temporal de temperatura, se realizó un proceso de imputación y posteriormente de homogenización de datos. La imputación se realizó a escala diaria, a través del algoritmo planteado por Thevakaran & Sonnadara (2017) el cual se basa en la relación del valor normalizado de las temperatura de estaciones vecinas. Para asegurar la completación de información, el algoritmo fue usado en aquellas estaciones con mayor información observada. Una vez completado este paso, se procedió al llenado de las siguientes series usando las series anteriormente completadas. Este proceso fue realizado de tal manera que solo quedaron aquellas estaciones con 10 años de información. En series menores a 10 años, se sustituyó la información observada por los valores generados del algoritmo.

La homogenización se realizó a escala mensual y diaria, llevando los valores diarios a valores mensuales. El método de homogenización mensual se basó en la comparación emparejada de estaciones vecinas definida por Menne y Williams (2009), quienes usan numerosas comparaciones de series de temperatura para identificar inhomogeneidades en las observaciones de una estación respecto a las estaciones

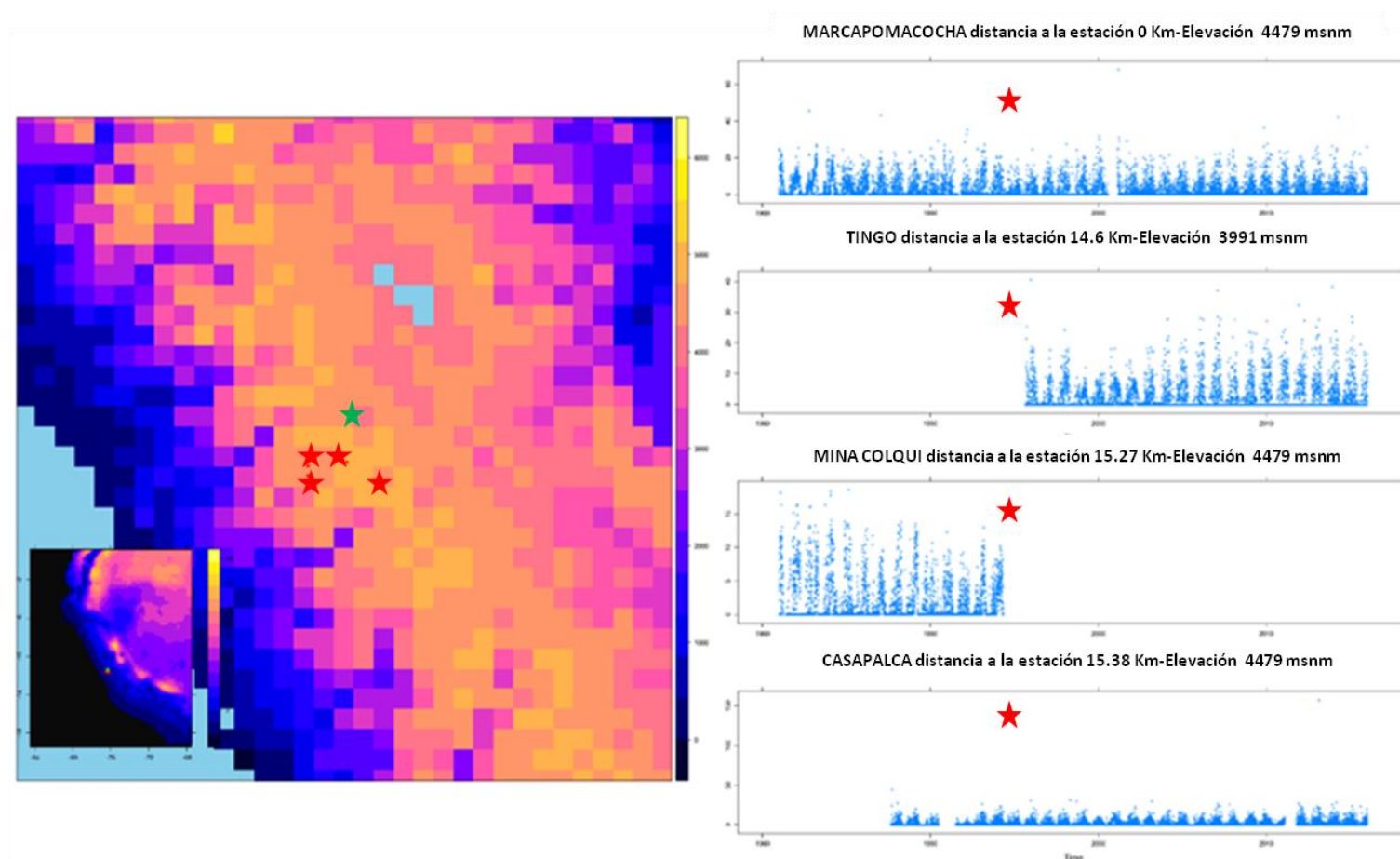
circundantes. Una vez obtenido los factores de corrección mensual, estos fueron llevados a valores diarios a través de una interpolación lineal, similar al estudio de Vincent et al., (2002). Aunque tal corrección solo corrige los valores medios, y no órdenes superiores de distribución (Della-Marta y Wanner, 2006; Kuglitsch et al., 2009; Szentimrey, 2013), este enfoque es sencillo y provee datos diarios que coinciden con las variaciones en los datos mensuales homogenizados sin complejidades e incertidumbres.

De esta manera se obtuvieron 257 estaciones meteorológicas completas y homogéneas (ver Figura 2), las cuales fueron utilizadas para este AZVP.

### 5.1.2 Precipitación

Para el caso de la precipitación, distintos criterios han sido propuestos para la identificación de errores de los datos de pluviómetros. Feng et al. (2004) compara cada estación con las 5 estaciones más cercanas mediante regresiones lineales; Griffiths et al. (2003) identifica el número de valores atípicos en el registro de cada pluviómetro y manualmente evaluó si los valores encontrados tienen relación con eventos meteorológicos reales como por ejemplo inundaciones.

Para el presente estudio para el control de calidad de los datos pluviométricos se realizó una búsqueda de las estaciones más cercanas tomando en cuenta un radio de 20 km, quedándonos con las 3 estaciones más cercanas para realizar en primera instancia un control visual de la información (Figura 3), si no existieran estaciones con las que comparar la estación a analizar se tomará solamente en cuenta la consistencia de su serie, su altitud con respecto al mar y la climatología promedio mensual de precipitación diaria. Una vez que el registro este validado procedemos a analizar los datos atípicos encontrados, para ello comparamos estos valores atípicos con la precipitación de 200 años de período de retorno. Los valores que superen este umbral serán comparados con los valores de las estaciones contiguas (3) que también superen este umbral, descartando los valores que no cumplen con esta condición, este criterio se aplicó a las 527 estaciones utilizadas.



**Figura 3:** Criterio seguido para el control de calidad de la información pluviométrica; el punto verde muestra la ubicación espacial de la estación analizada y los puntos en rojo las estaciones más cercanas.  
Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Estimación de los parámetros para la estimación de las zonas de vida

### 5.2.1 Biotemperatura

Existen diferentes metodologías para estimar la BT, en este AZVP la BT es estimada basado en datos de temperaturas máximas y mínimas diarios. Estos valores son promediados para cada mes y luego convertidos a sus promedios climáticos mensuales mediante la siguiente ecuación:

$$BT_{clim} = \left( \sum_{j=1}^{30} \sum_{i=1}^n BT_{diario} \right) / 30; \quad 0 \leq BT_{diario} \leq 30$$

Donde  $BT_{diario}$  y  $BT_{Normal}$  son la BT diaria y climática respectivamente, los promedios climáticos fueron estimados dentro del período de 1981 hasta el 2010.

### 5.2.2 Precipitación

La estimación de la PP multianual fue obtenida en 2 pasos. Primero al igual que la BT, las precipitaciones diarias para cada estación son acumuladas a paso mensual y posteriormente promedias dentro del período de 1981 hasta el 2010. Finalmente, los promedios climáticos de todos los meses son acumulados a paso anual.

### 5.3 Covariables Utilizadas

La predicción espacial a escalas de promedios multianuales no son tan complicadas como la predicción espacial para resoluciones espacio-temporales más finas y continuas debido a que el comportamiento es predominante aleatorio (Vicente-Serrano et al., 2003). En este contexto, la predicción espacial tanto para la PP como para la BT multianual (1981-2010) son robustos.

Sin embargo, tal como se observa en la Figura 2 la distribución espacial de las estaciones no es la ideal para una predicción espacial a nivel nacional, por lo que se necesita de covariables para apoyar en esta predicción y generar los mapas para el AZVP.

Diversas covariables fueron probadas para generar este AZVP entre ellas: la elevación (ELE); el índice de vegetación de la diferencia normalizado ("Normalized Difference Vegetation Index", NDVI), distancia al mar (DSea), insolación total (Insol), latitud (Lat), longitud (Lon), el producto climatológico de precipitación basado en el radar 2A25 (TRMM2A25) y datos de Temperatura superficial del MODIS TERRA (MOD11A1) (Tabla 1).

Para la predicción espacial de la PP en el Perú, la covariable escogida luego de haber encontrado como aceptables el TRMM2A25, MOD11A1, NDVI y la elevación fue el TRMM2A25 (ver Figura 4a). Las restantes covariables no fueron utilizadas ya que no explican correctamente el patrón espacial de las precipitaciones en todo el Perú debido a una condición de insesgamiento espacial de la distribución espacial de las estaciones concentrada sobretodo en la vertiente del Pacífico (Figura 2) por lo que su fiabilidad como covariable está ligada solo ha esta región y considerando que debemos predecir la precipitación a nivel nacional solo se utilizó el TRMM2A25 como covariable.

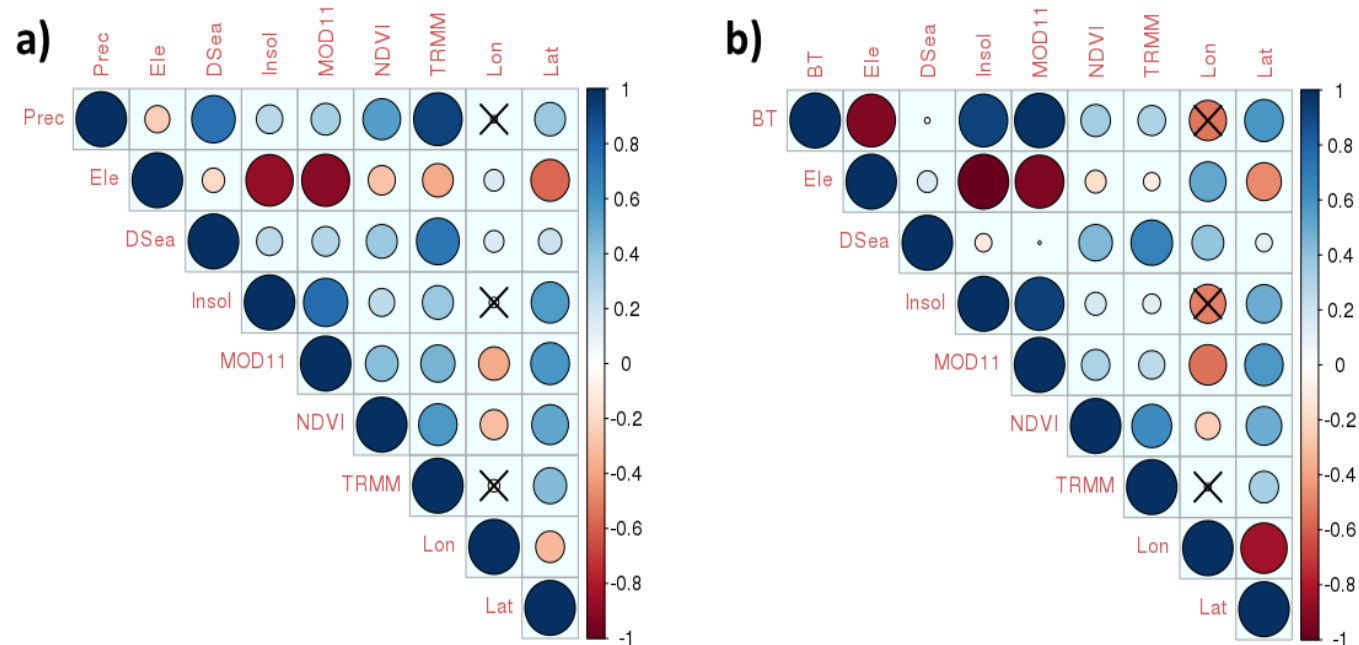
Si bien existen muchas variables que permiten explicar el comportamiento espacial de la BT de forma satisfactoria, mucha de esta información es redundante (Figura 4b), por lo que un análisis de componentes principales (ACP) es planteado para la estimación del mapa de BT mediante la siguiente ecuación:

$$\{PC_1(s), \dots, PC_p(s)\} = \psi\{q_{LAT}(s), q_{LON}(s), q_{ELE}(s), q_{DSEA}(s), q_{TRMM}(s), q_{INSOL}(s), q_{LST}(s), q_{NDVI}(s)\}$$

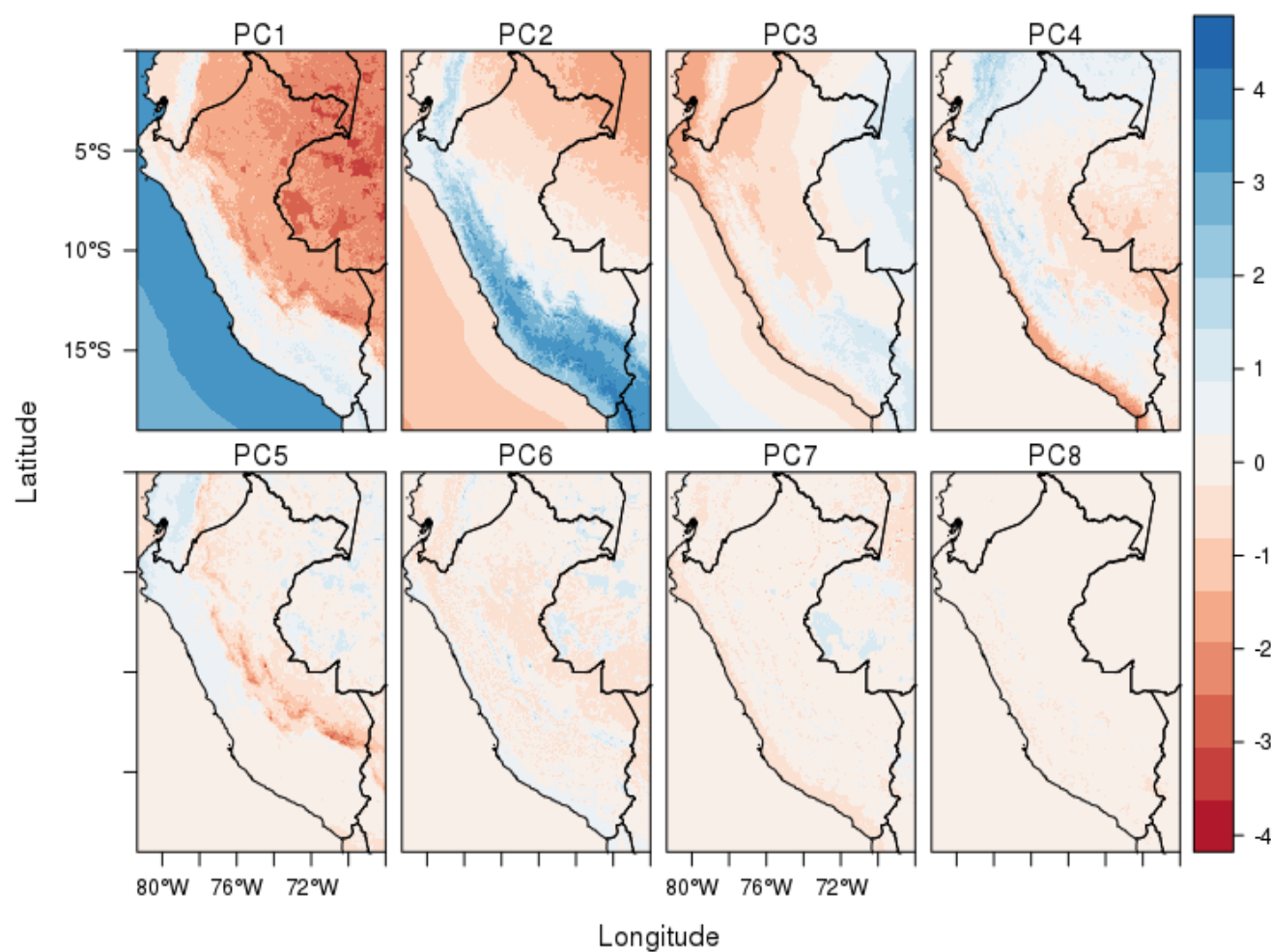
Donde  $\psi\{\}$  es la función de transformación de componentes principales y  $p$  es el número de variables de entrada del análisis de componentes principales. El ACP es utilizado con el fin de reducir el ruido y redundancia debido a que la componente no correlacionada se sitúa típicamente en componentes de orden superior, las distintas componentes generadas pueden apreciarse en la Figura 5. A diferencia de las precipitaciones, la BT presenta un comportamiento más homogéneo en el espacio, esto se refleja en la matriz de correlaciones (Figura 4), en donde sus predictores presentaron valores de correspondencia de hasta 0.97 (MOD11).

**Tabla 1:** Covariables utilizadas para la predicción espacial asociado a su fuente y/o algoritmo para su generación.

| Covariable              | Fuente   |
|-------------------------|--|
| Elevación               | SRTM v4.1 (Reuter et al., 2007)                                  |
| NDVI                    | MOD13A2 (Huete et al., 2002)                                     |
| Distancia al mar        | Mapa político de Suramérica - gdal_proximity.py                  |
| Insolación Total        | SRTM v4.1 - SAGA GIS Modulo "Potential Incoming Solar Radiation" |
| Temperatura superficial | MOD11A1  |
| PP                      | TRMM2A25 - (Manz et al., 2016)                                   |
| Latitud                 | SRTM v4.1  |
| Longitud                | SRTM v4.1  |



**Figura 4:** Matriz de correlaciones para la PP (a) y BT (b) multianual. El símbolo x indica las correlaciones en las que no existe significancia estadística ( $p > 0.05$ ).  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 5:** Componentes Principales utilizadas para la predicción de la BT.  
Fuente: Elaboración propia



## 5.4 Predicción Espacial

La predicción espacial tanto para la PP como para la BT es realizada mediante "*Lineal Regression Ordinary Kriging*" (LROK), este algoritmo asume que la estacionariedad espacial de los datos no es cumplida inicialmente. A fin de revertir esta situación, un modelo regresión lineal es ajustado utilizando mínimos cuadrados, para ambas variables:

$$\begin{aligned} Z^*_{prec} &= aZ_{TRMM} + b \\ r_{prec} &= Z^*_{prec} - Z_{prec} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Z^*_{biotmp} &= cCP_1 + dCP_2 + eCP_3 + \dots + jCP_8 \\ r_{biotmp} &= Z^*_{biotmp} - Z_{biotmp} \end{aligned} \quad (3)$$

Donde  $Z_{prec}$  y  $Z_{biotmp}$  representan los valores obtenidos de PP y BT en todas las estaciones meteorológicas del ámbito de estudio;  $Z^*_{prec}$  y  $Z^*_{biotmp}$  son las predicciones del modelo de regresión lineal;  $Z_{TRMM}, CP_1, CP_2, \dots, CP_8$  son las covariables del ACP;  $a, b, c, \dots, j$  son los coeficientes del modelo de regresión y finalmente  $r_{prec}$  y  $r_{biotmp}$  los residuales que pueden ser entendidos como la parte no explicada por el modelo de orden estacionario. Estos últimos son interpolados mediante "*Ordinary Kriging*" (OK):

$$r^*(u) = \sum_{\alpha=1}^N \lambda_{\alpha}(u) r(u_{\alpha}) \quad (4)$$

$$\sum_{\alpha=1}^N \lambda_{\alpha}(u) = 1 \quad (5)$$

Donde  $r^*(u)$  es el residual de PP y BT en una localización desconocida;  $r(u_{\alpha})$  representa los residuales en las estaciones meteorológicas y  $\lambda_{\alpha}(u)$  son los pesos asociados a cada estación. El método OK resuelve la Eq. (4) sujeto a la Eq. (5), minimizando la varianza del dominio obtenida de la diferencias entre  $r^*(u) - r(u)$ , el resultado de la ecuación del OK se muestra a continuación.

$$\sum_{\alpha=1}^N \lambda_{\alpha} \gamma(u_{\alpha}, u_j) - \mu = \gamma(u_{\alpha}, u_0) \quad (6)$$

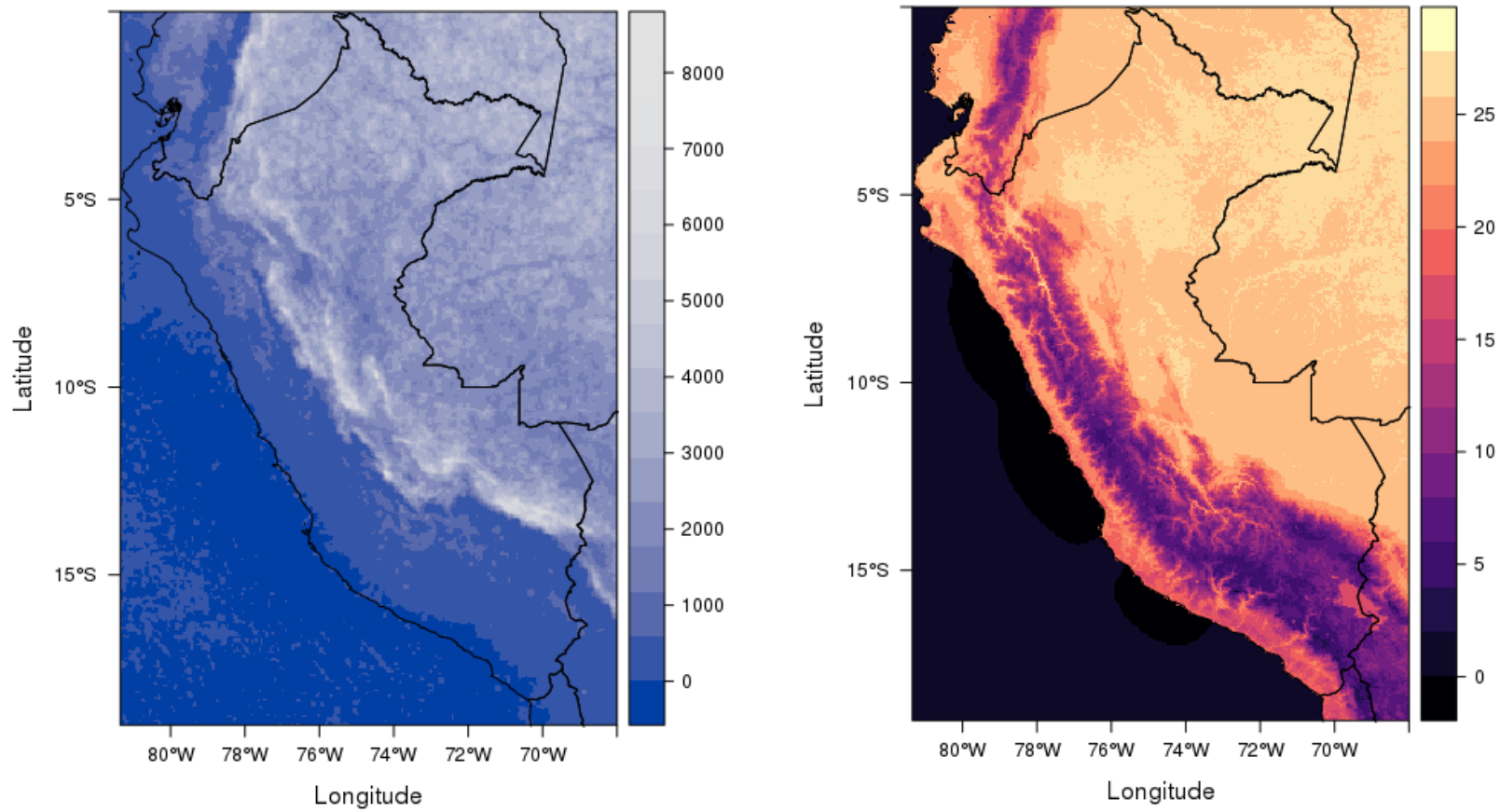
Donde  $\gamma$  representa la función del semivariograma;  $u_{\alpha}, u_j$  las posiciones conocidas;  $u_0$  la posición a predecir y  $\mu$  es el multiplicador de Lagrange. La Eq. (6) puede ser reescrita de forma matricial de la forma  $\mathbf{A} \mathbf{x} \mathbf{W} = \mathbf{C}$ , donde  $\mathbf{W}$  representa los pesos necesarios para la predicción en la Eq. (4),  $\mathbf{A}$  es la matriz de semivariograma entre los residuales de las estaciones y  $\mathbf{C}$  es el vector de semivariograma entre los residuales de todas las estaciones y el punto a predecir  $u_0$ .

$$\begin{bmatrix} 0 & \gamma(u_1 - u_2) & \dots & \gamma(u_1 - u_N) & 1 \\ \gamma(u_2 - u_1) & 0 & \dots & \gamma(u_2 - u_N) & 1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ \gamma(u_N - u_2) & \gamma(u_N - u_2) & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(u - u_1) \\ \gamma(u - u_2) \\ \vdots \\ \gamma(u - u_N) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

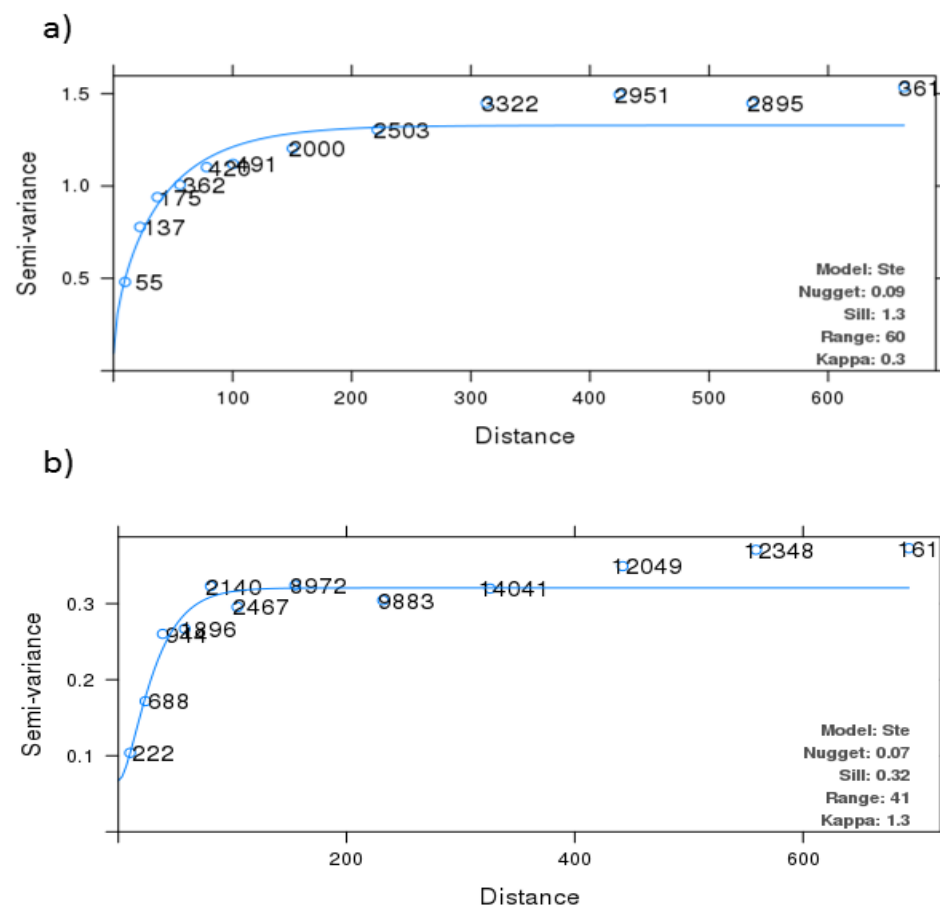
Donde  $\gamma(u_i, u_j)$  es el semivariograma entre los residuales de las estaciones meteorológicas  $i$  y  $j$ .

Uno de los principales problemas del OK es la inclusión de pesos negativos que puede repercutir en la generación de celdas con valores negativos de PP, por lo que para esta variable los pesos son corregidos de acuerdo a lo propuesto por Deutsch (1996).

A fin de obtener los residuos en todo el ámbito de estudio, la matriz propuesta en la Eq. (7) es resuelta para cada celda (2536500 veces para todo el dominio), finalmente estos residuales son añadidos a la estimación del modelo de regresión inicial obteniéndose los mapas finales de PP y BT a 1 km de resolución (Figura 5). Los semivariogramas de los residuales pueden apreciarse en la Figura 6.



**Figura 5.** Mapas finales a 1 km de resolución de PP (izquierda) y BT (derecha) multianual.  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 6.** a) Semivariograma de los residuales de la PP multianual; b) semivariograma de los residuales de la BT multianual.  
Fuente: Elaboración propia

## VI. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE ZONAS DE VIDA SEGÚN HOLDRIDGE

La metodología para la generación de los mapas de zonas de vida considerando los procesos anteriores se puede apreciar en la Figura 7. Si bien la asignación de una zona de vida a una celda  $x_{ij}$  (donde  $x_{ij}$  es definido por el triplete  $x_{ij} = \{BT_{ij}, PP_{ij}, ETP_{ij}\}$ , donde BT es la biotemperatura; PP es la precipitación y ETP es la evapotranspiración) tiene una solución, la gran cantidad de geometrías y nodos (Figura 1) hace que el uso de técnicas de clasificación sea un opción viable, y esto se ve plasmado en numerosas investigaciones previas (Chakraborty et al., 2013; Nasir et al., 2015; Tatli and Dalfes, 2016).

Al igual que Tatli y Dalfe (2016), el algoritmo de clasificación espectral *Ng-Jordan-Weiss* (Ng et al., 2002; Planck et al., 2006) es propuesto para la clasificación de las zonas de vida debido a que este tipo de métodos tienen la característica de tomar en cuenta en mayor grado la conectividad en lugar de la compacidad, hace su uso ideal para la identificación de las formas hexagonales de las zonas de vida.

Primeramente la matriz de similaridad  $D_{p \times p}$  es calculada por la siguiente ecuación:

$$D_{ij} = \exp\left(\frac{-[x_i - x_j]^2}{2\sigma^2}\right) \text{ para } i \neq j, \text{ and } D_{ij} = 0 \quad (8)$$

Donde el parámetro de escala  $\sigma$  controla la interacción entre los puntos, seguidamente, una matriz de grado  $H$  es definida como:

$$H_{ij} = \sum_j D_{ij} \quad (9)$$

Donde  $H$  representa el número de conexiones con otros nodos, ambas matrices son utilizadas para calcular la matriz laplaciana definida de la siguiente forma:

$$L = H^{-1/2} D H^{-1/2} \quad (10)$$

Aplicando "singular value decomposition" (SVD) se encuentran los primeros  $k$  autovectores de  $L$  ( $u_1, u_2, \dots, u_k$ ; donde  $k < p$ ) dando lugar a la matriz  $U_{p \times k} = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_k]$  en donde cada elemento es normalizado formando la matriz  $M$ :

$$M_{ij} = \frac{u_{ij}}{\sqrt{\sum_j u_{ij}^2}} \quad (11)$$

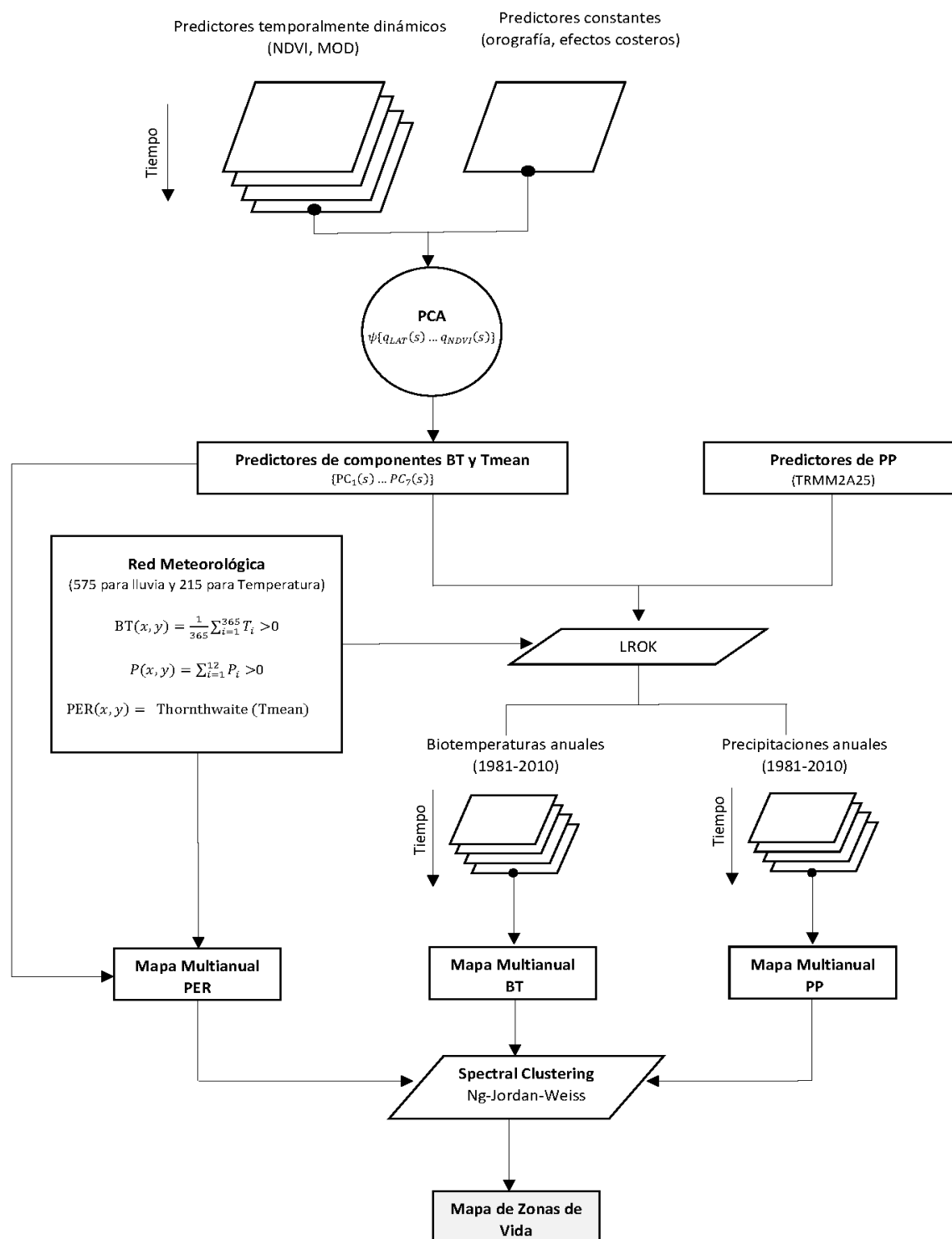


Figura 7: Diagrama para la generación de ZV según el AZVP. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, los "clúster" pueden encontrarse aplicando una técnica básica de agrupamiento, tal como "K-means" (MacQueen, 1967) a la matriz **M**. Debido a que la matriz de **D** no se puede resolver según lo planteado inicialmente en la Eq. (4) por problemas de dimensionalidad, el coeficiente de correlación de Sampson (CS) es aplicado. El CS permite estimar la relación entre dos vectores **X** e **Y** y está definido por:

$$CS = \sqrt{\frac{M(C_{YX}C_{XX}^{-1}C_{XY})}{M(C_{YY})}} \quad (12)$$

Donde **C** representan las covarianzas de las matrices. Finalmente la matriz de similitud puede ser modificada y reescrita de la siguiente forma:

$$D_{ij} = RS_{ij} \text{ para } i \neq j, \text{ and } D_{ij} = 0 \quad (13)$$

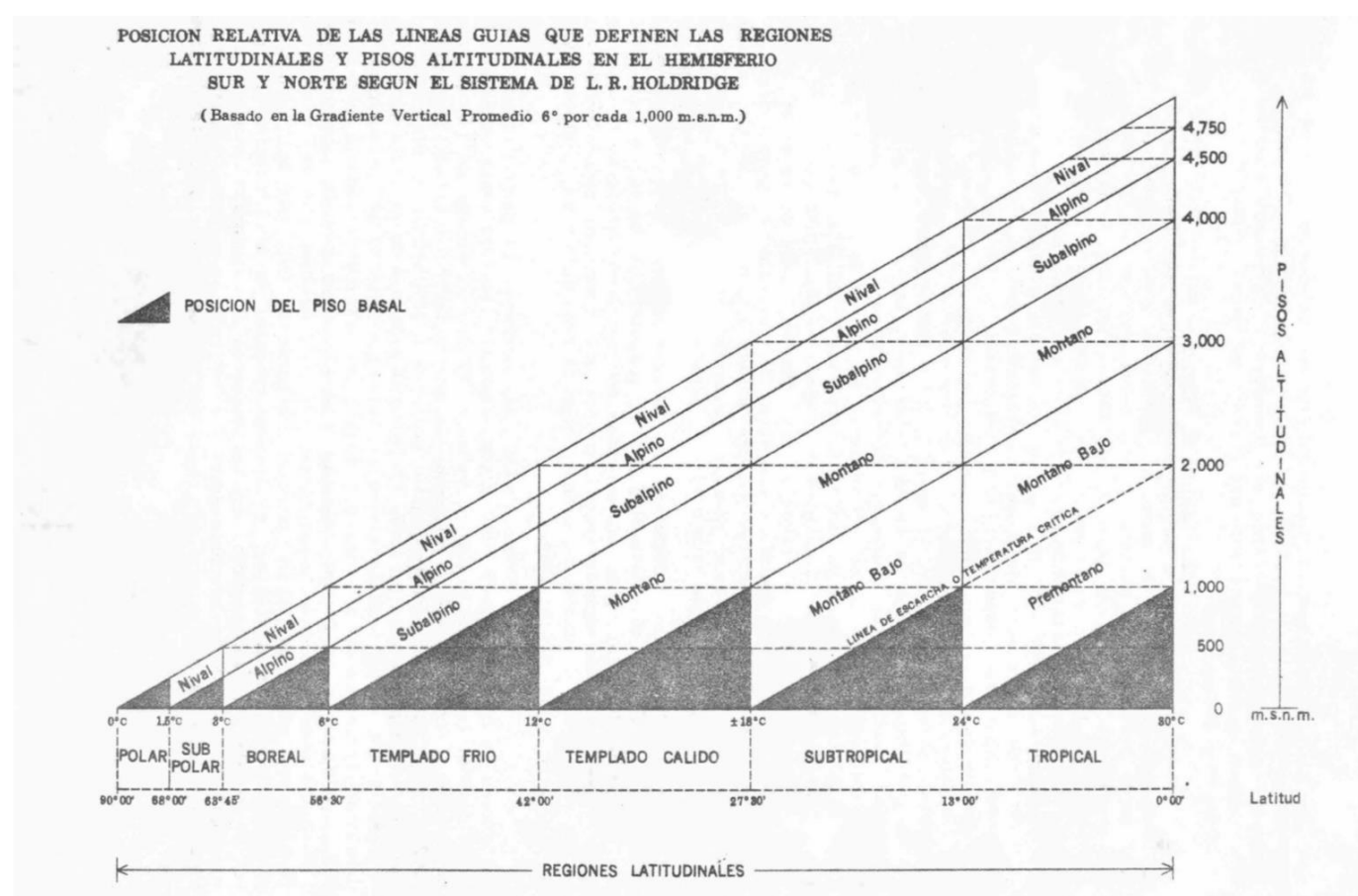
Donde  $RS_{ij}$  es calculado entre  $x_i = \{BT_i, PP_i, ETP_i\}$  y  $x_j = \{BT_j, PP_j, ETP_j\}$ .

La clasificación espectral como puede notarse no es un algoritmo netamente iterativo y el costo computacional es menor con una adecuada librería de algebra lineal. No obstante, el algoritmo descompone la dimensionalidad del sistema inicial para encontrar la solución óptima por lo que los resultados pueden diferir de la solución real si los parámetros no son determinados de forma adecuada.

Las regiones altitudinales propuestas en el AZVP, son calculados a partir de la BT. Para obtener una mayor resolución espacial (90 m), se desarrolló un modelo de regresión con la elevación (Figura 5b), las regiones altitudinales son estimadas según lo planteado en la Tabla 2. Con respecto a las regiones latitudinales se tomó en cuenta lo rangos definidos por Holdridge (Figura 9). Finalmente las provincias de humedad son calculadas a partir de la Tabla 3.

**Tabla 2.** Relación de la BT con los pisos altitudinales y regiones latitudinales.

| Regiones latitudinales | BT             | Pisos altitudinales |
|------------------------|----------------|---------------------|
| Polar                  | 0 a 1.5 °C     | Nival               |
| Subpolar               | 1.5 a 3 °C     | Alpino              |
| Boreal                 | 3 a 6 °C       | Subalpino           |
| Templado frío          | 6 a 12 °C      | Montano             |
| Templado cálido        | 12 a 18 °C     | Montano bajo        |
| Subtropical            | 18 a 24 °C     | Premontano          |
| Tropical               | mayor de 24 °C | Basal               |



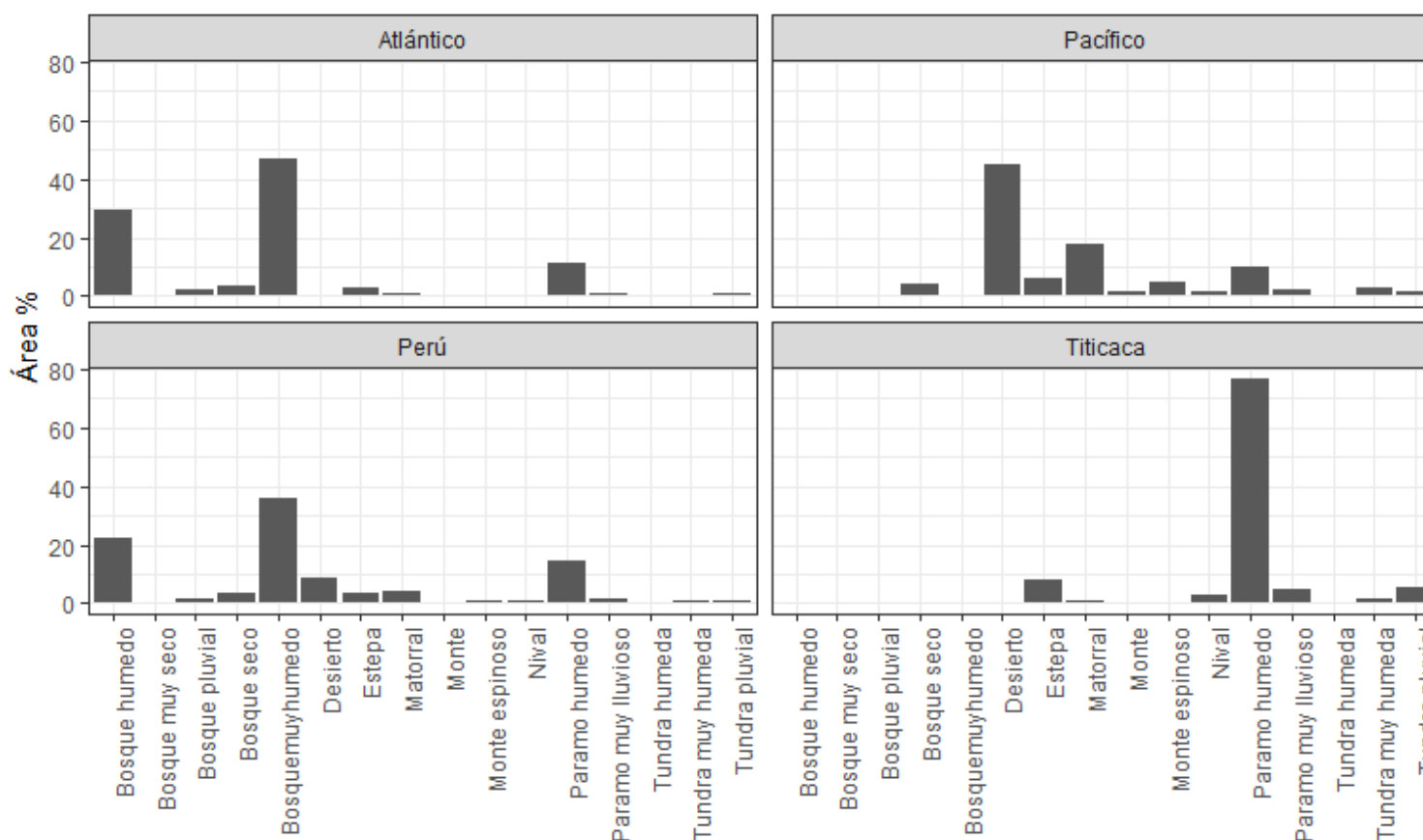
**Figura 8:** Posición relativa de las regiones latitudinales y altitudinales. Fuente: ONERN (1976).

**Tabla 3.** Relación del ratio de evapotranspiración potencial con las provincias de humedad

| Ratio de 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             |

## VII. RESULTADOS

El análisis espacial de nuestro mapa de zonas de vida basado en Holdridge concluye que en el Perú, existen 66 sub-biomas (resultado de la intersección de zonas de vida y regiones altitudinales - Figura 13). Estos sub-biomas pueden ser agrupados en 16 zonas de vida principales (biomas): Bosque húmedo, Bosque muy seco, Bosque pluvial, Bosque seco, Bosque muy húmedo, Desierto, Estepa, Matorral, Monte y estepa espinosa, Monte espinoso, Nival, Paramo húmedo, Paramo muy lluvioso, Tundra húmeda, Tundra muy húmeda y Tundra pluvial (Figura 12). El porcentaje de área de cada zona de vida para todo el Perú por vertientes hidrográficas se muestra en la Figura 9. La zona de vida más representativa en la vertiente del Atlántico es el bosque muy húmedo (40 %), el desierto en la vertiente del Pacífico (48%) y el páramo húmedo en la vertiente del Lago Titicaca (76%). Los sub-biomas con menor presencia en el Perú fueron las Tundras (2.1 %) ubicadas por encima de los 3500 msnm en la sierra sur del país y el Bosque muy seco (0.57%) ubicado en la costa norte.



**Figura 9.** Porcentaje de área de las ZV en el Perú y en sus 3 vertientes hidrográficas. Fuente: Elaboración propia

Los biomas principales (16) son divididos en sub-biomas (66) según la variabilidad espacial de los pisos altitudinales (Figuras 11). El porcentaje de área de los pisos altitudinales y provincias de humedad se aprecia en las Figuras 10 y 11 respectivamente. Observamos que el estado basal es predominante a nivel nacional siendo el área más representativa en las vertientes del Atlántico y del Pacífico. La condición de aridez del territorio nacional, expresada a través de las provincias de humedad muestra condiciones variadas. Con

respecto a la vertiente del Atlántico observamos que la condición de perhumedad (41%) y humedad (37%) son predominantes; es importante mencionar que solo en la vertiente del Atlántico se encontró la formación de provincias dentro de la categoría de superhúmedo, en la región de transición andina amazónica, donde se presentan fuertes focos de precipitaciones extremas ya documentado por Bookhagen & Strecker (2008) y Chavez y Takahashi (2017). En la vertiente del Pacífico, la condición de superaridez (42%) fue la de mayor predominancia, y en la vertiente del Titicaca la condición de subhúmedo (78%).

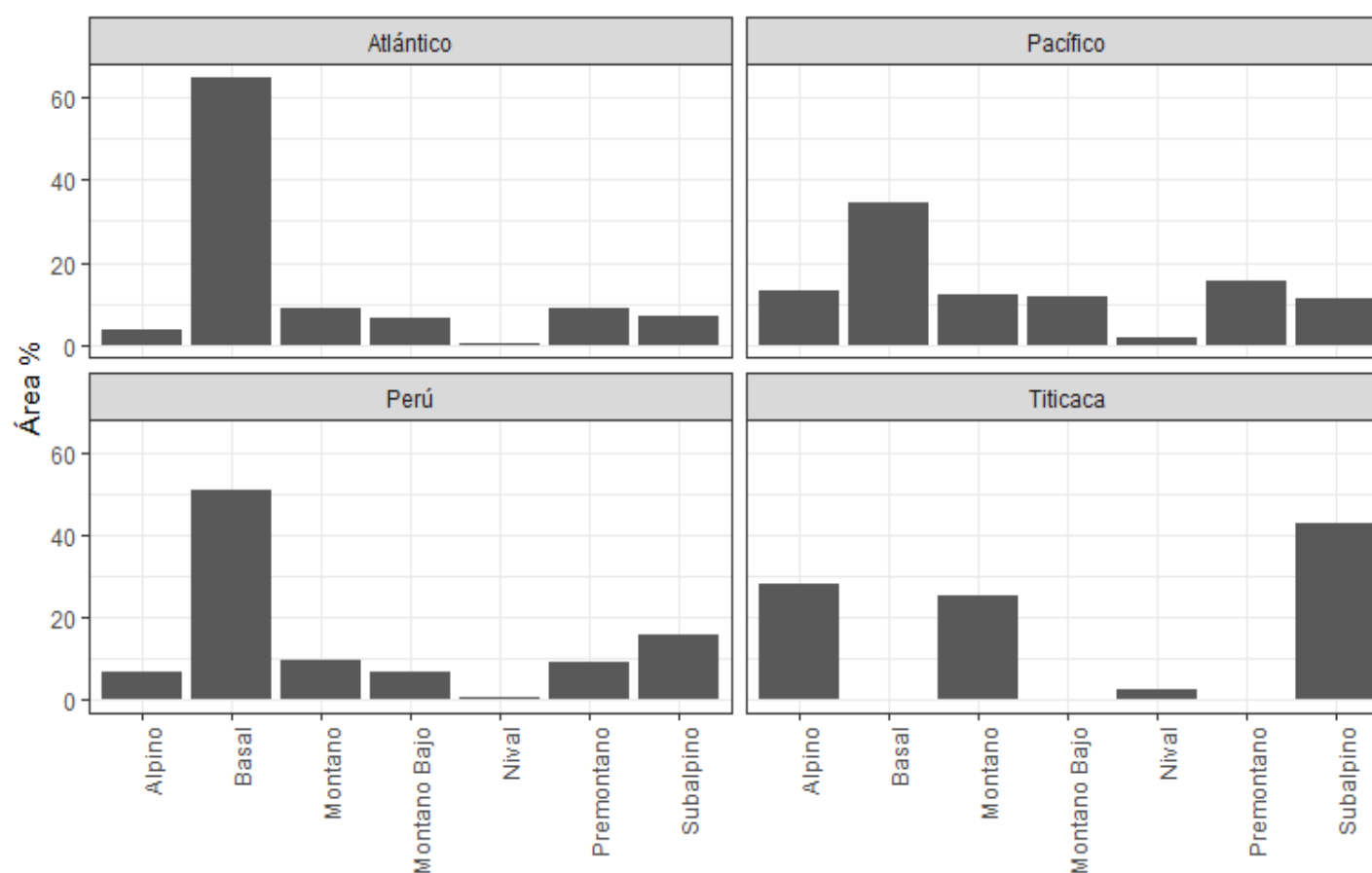


Figura 10. Porcentaje de área de los pisos altitudinales en el Perú y en sus 3 vertientes hidrográficas, según Holdridge.

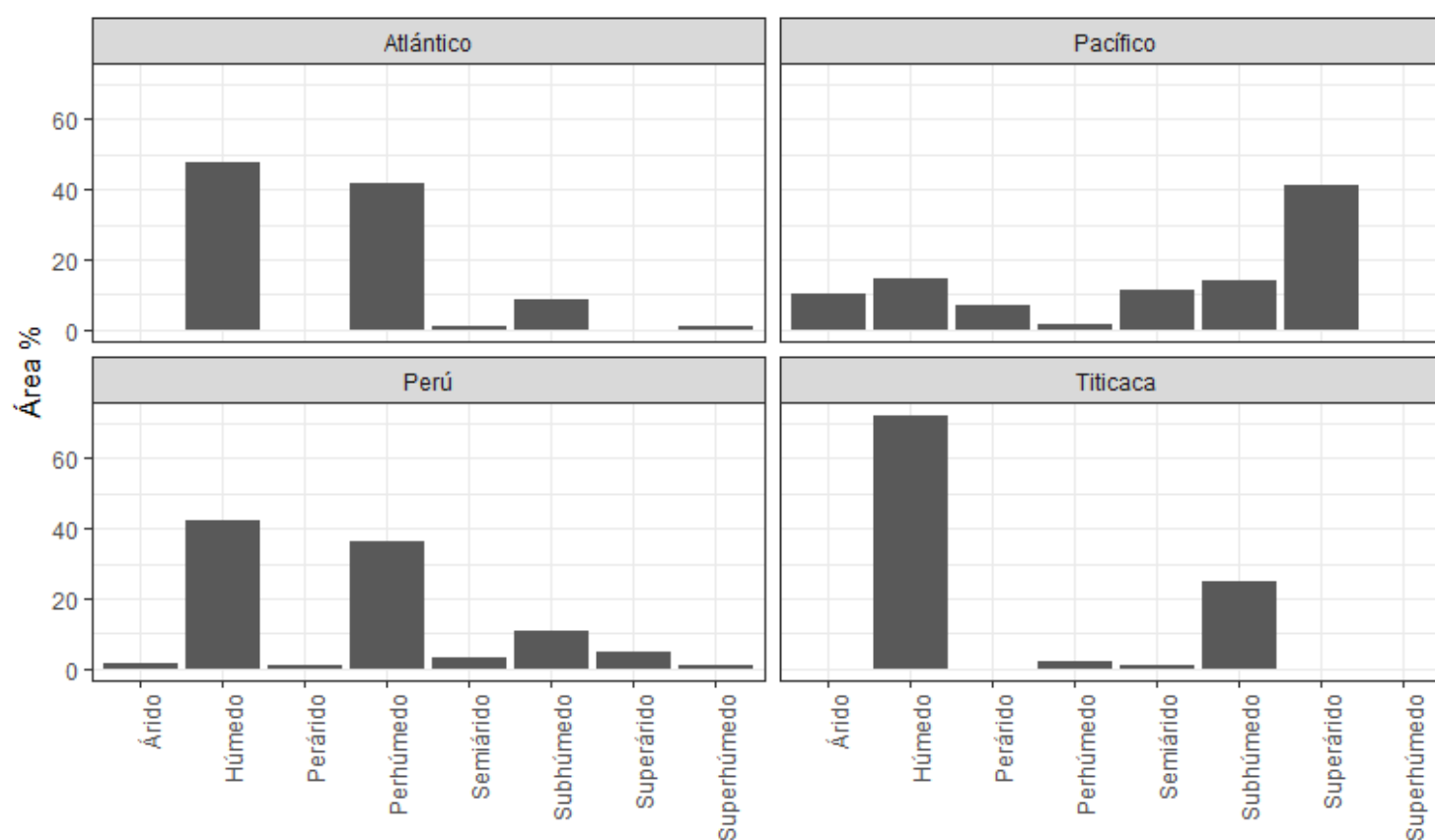
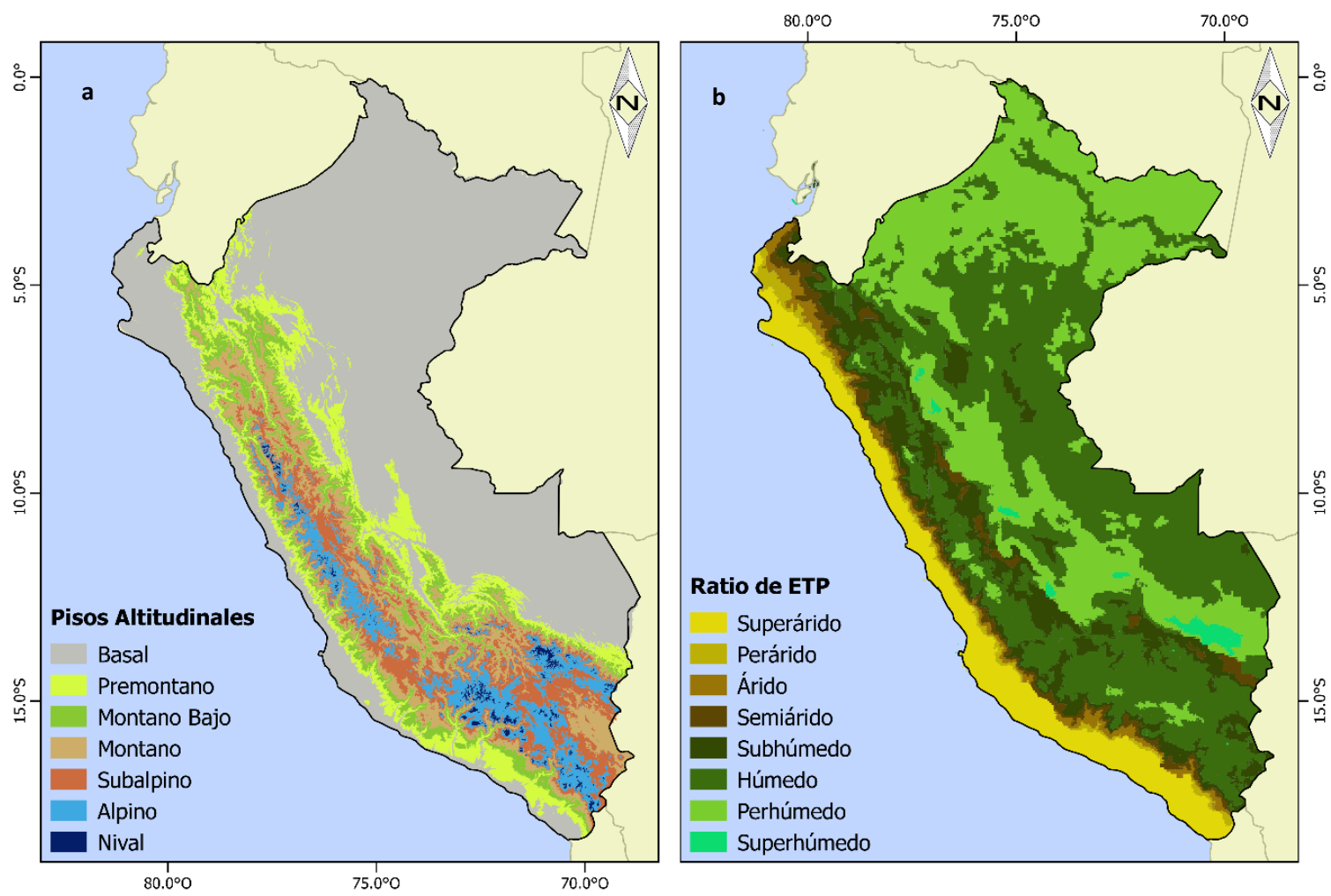


Figura 11. Porcentaje de área de las provincias de humedad según Holdridge en el Perú y en sus 3 vertientes hidrográficas, según Holdridge.



**Figura 12. a) Pisos Altitudinales b) Provincias de humedad del Perú; en ambos casos basados en Holdridge**  
 Fuente: Elaboración propia

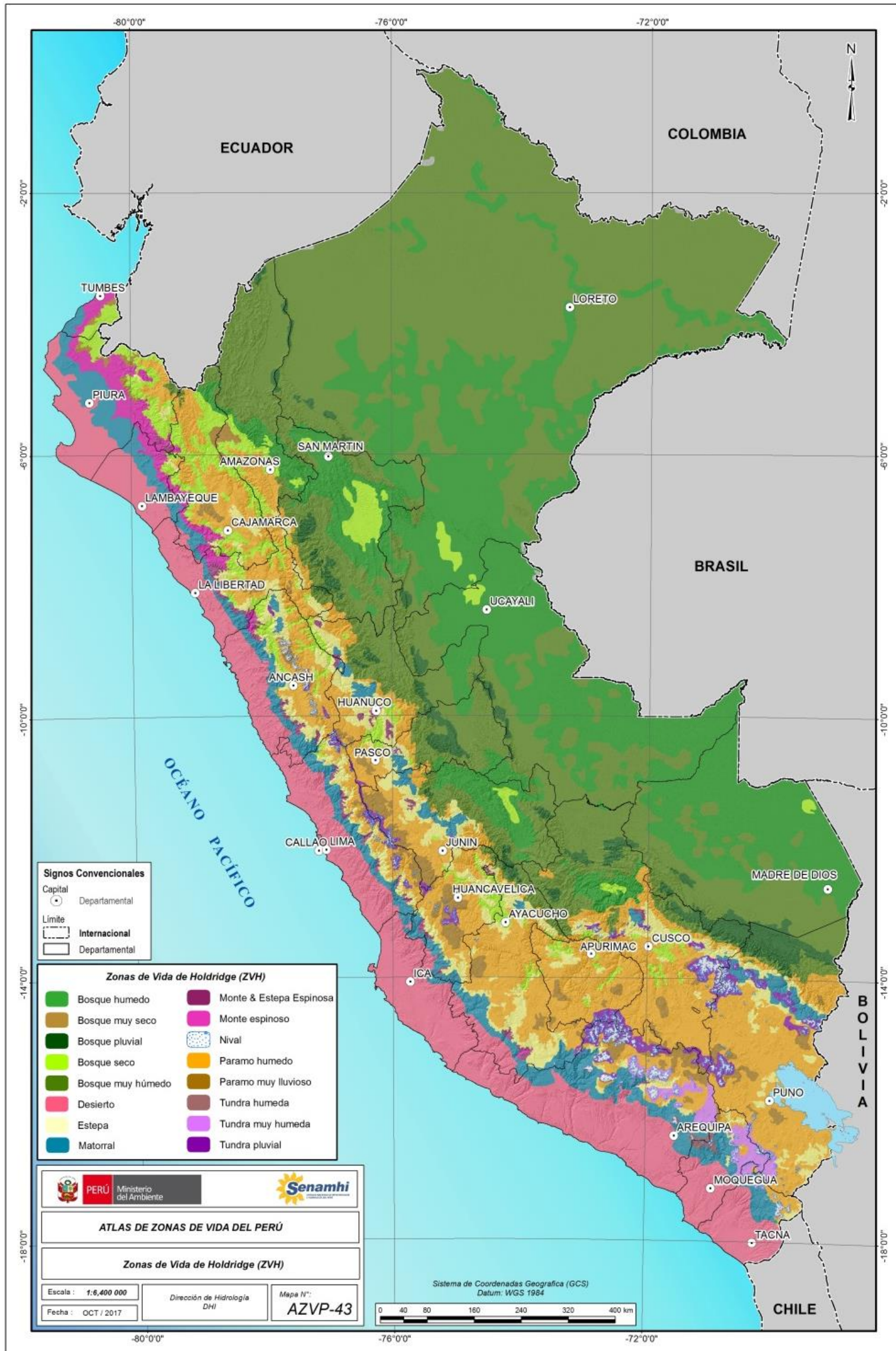


Figura 13. Principales zonas de vida del Perú.



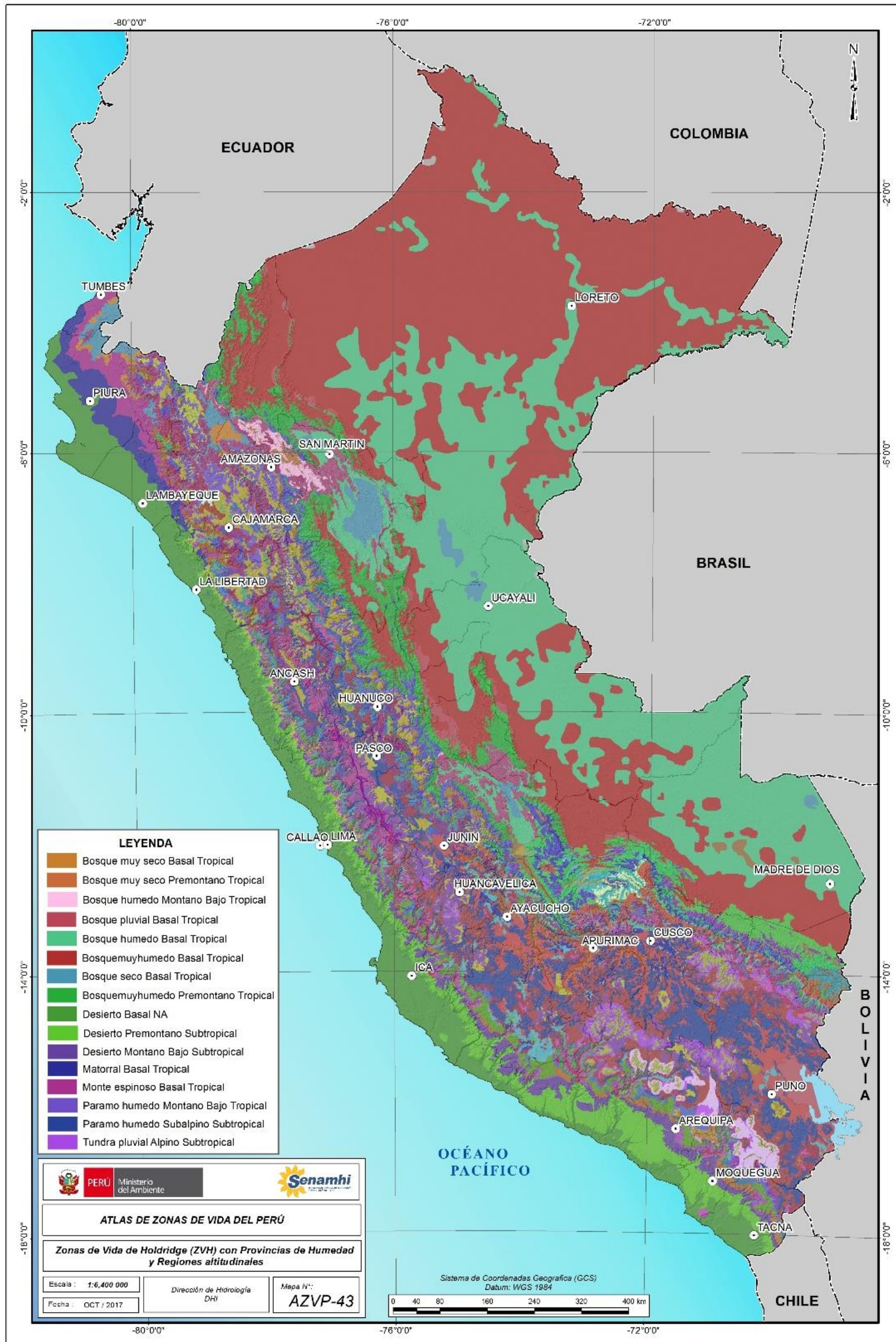


Figura 14. Principales sub-biomas del Perú según Holdridge.

## VIII. CONCLUSIONES

Luego de haber finalizado la generación de los mapas del Atlas de Zonas de Vida del Perú podemos concluir que considerando la climatología de 1980-2010, el Perú presenta una diversidad y riqueza de biomas (16 biomas y 66 sub-biomas) en comparación a otros países, atribuido a su alta diversidad geográfica y climática. Los resultados confirman que el bosque muy húmedo es la Zona de vida con mayor extensión en Perú. Sin embargo, ésta solo es predominante dentro de la vertiente del Atlántico; en la vertiente del Pacífico es predominante el desierto y en la vertiente del Titicaca, el páramo húmedo.

En la vertiente del Pacífico se ha identificado 11 biomas, en la vertiente del Atlántico, 9 y en la vertiente del Titicaca, 7.

A nivel departamental, se ha identificado que las regiones con mayor riqueza de biomas son Ayacucho y Huánuco con 12 en cada caso. En Ayacucho predomina Páramo Húmedo mientras que en Huánuco el Bosque Muy Húmedo.

Es importante mencionar que la definición de pisos altitudinales mediante la Biotemperatura puede verse sesgada debido al aumento de temperatura global, hecho que no fue contemplado por Holdridge en los años 1970. Por lo que recomendamos investigar si los rangos planteados de Biotemperatura en la metodología original de Holdridge (1.5, 3, 6 y 12 °C) pueden considerarse representativos al día de hoy.

Si bien es cierto que nuestra densidad de estaciones meteorológicas no es idealmente densa, los predictores utilizados como covariables presentaron un coeficiente de correlación de Pearson superior a 0.9 por lo que las estimaciones de Biotemperatura y Precipitación pueden ser consideradas aceptables. Debe considerarse que debido al uso de interpoladores geoestadísticos los valores observados en las estaciones meteorológicas pueden verse alterado producto de la maximización de la coherencia espacial.

El método de Holdridge no incluye el tipo de suelo y la condición de humedad del suelo, esto puede ser visto como una deficiencia del método; sin embargo no se descarta en un futuro cercano incluir estas variables en el análisis de las zonas de vida.

Finalmente, los resultados obtenidos en este trabajo discrepan significativamente de los encontrados en ONERN (1976). La presente investigación ha determinado la existencia de 16 biomas y 66 sub-biomas, mientras que el documento de la ONERN (1976) determinó 84 zonas de vida y 17 de carácter transicional. Estas diferencias están sustentadas en que en ONERN (1976) se realizaron salidas al campo a nivel nacional para verificar y corregir sus mapas, y la diferencia más significativa es que sus climatologías estimadas en algunos casos son corto plazo (por ejemplo solo 7 años de la estación Olaechea (1965-1972) en Carabaya-Puno para definir la Zona de Vida de Bosque Húmedo-Montano Bajo Subtropical) lo cual no cumple lo que recomienda la Organización Meteorológica Mundial (OMM) que sugiere utilizar para definir una climatología al menos 30 años; recomendación que si fue abordada en este trabajo. Estos resultados deben ser mejorados por ecólogos y expertos en la relación clima-vegetación mediante un proceso de validación en campo. El aporte del SENAMHI ha sido determinar mapas climáticos con métodos robustos para la aplicación de la metodología de Holdridge, la cual se basa fundamentalmente en la Biotemperatura y Precipitación.

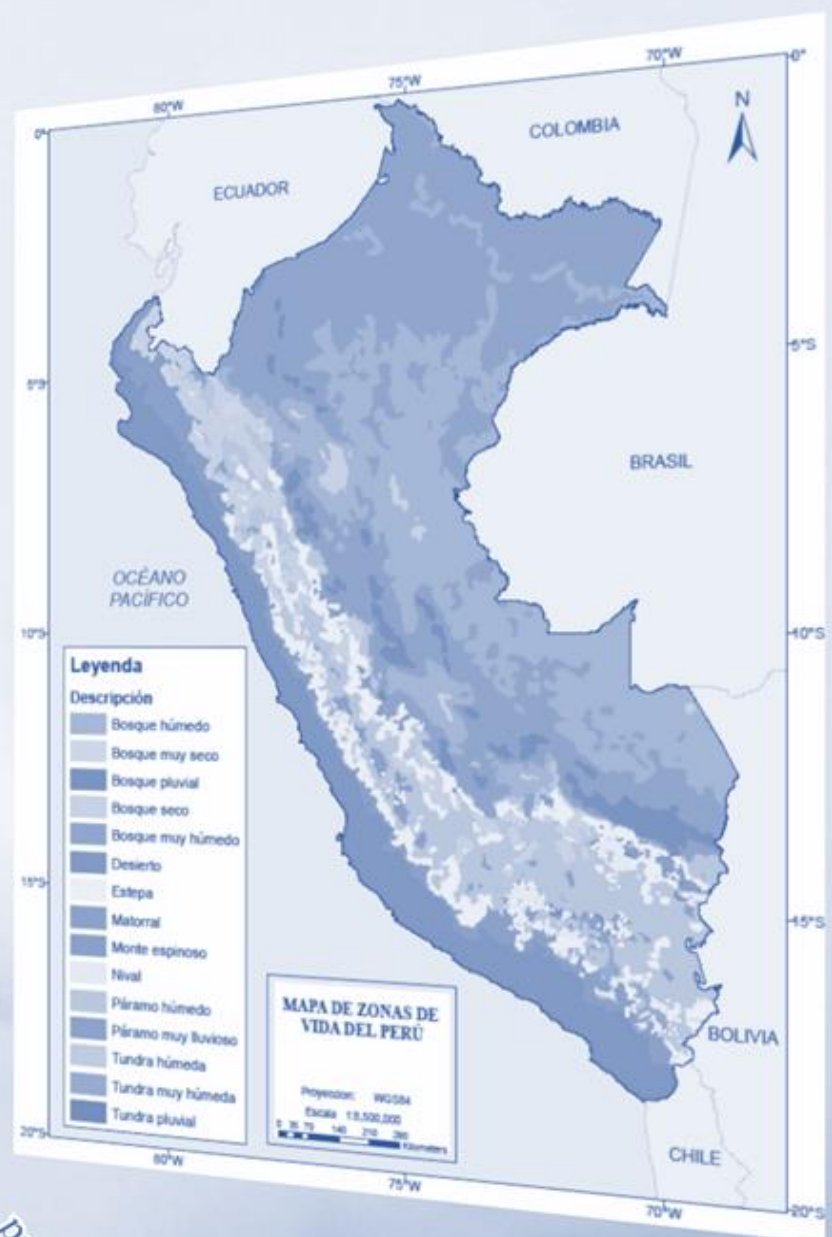
## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Bookhagen, B., Strecker, M.R., 2008. Orographic barriers, high-resolution TRMM rainfall, and relief variations along the eastern Andes. *Geophys. Res. Lett.* 35, 1-6. doi:10.1029/2007GL032011
- Chakraborty, A., Joshi, P.K., Ghosh, A., Areendran, G., 2013. Assessing biome boundary shifts under climate change scenarios in India. *Ecol. Indic.* 34, 536-547. doi:10.1016/j.ecolind.2013.06.013
- Chavez, S.P., Takahashi, K., 2017. Orographic rainfall hot spots in the Andes-Amazon transition according to the TRMM precipitation radar and in situ data. *J. Geophys. Res. Atmos.* doi:10.1002/2016JD026282
- Deutsch, C. V., 1996. Correcting for negative weights in ordinary kriging. *Comput. Geosci.* 22, 765-773. doi:10.1016/0098-3004(96)00005-2
- Espinoza, J.C., Ronchail, J., Guyot, J.L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., De Oliveira, E., Pombosa, R., Vauchel, P., 2009. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *Int. J. Climatol.* 29, 1574-1594. doi:10.1002/joc.1791
- Feng, S., Hu, Q., Qian, W., 2004. Quality control of daily meteorological data in China, 1951-2000: A new dataset. *Int. J. Climatol.* 24, 853-870. doi:10.1002/joc.1047
- Garreaud, R.D., Vuille, M., Compagnucci, R., Marengo, J., 2009. Present-day South American climate. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 281, 180-195. doi:10.1016/j.palaeo.2007.10.032
- Griffiths, G.M., Salinger, M.J., Leleu, I., 2003. Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific convergence zone. *Int. J. Climatol.* 23, 847-869. doi:10.1002/joc.923
- Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*. Life zone ecology., (rev. ed.)
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices 83, 195-213. doi:10.1016/S0034-4257(02)00096-2
- INRENA, 1995. *Mapa Ecológico del Perú*. Lima, Perú.
- Manz, B., Buytaert, W., Zulkafli, Z., Lavado, W., Willems, B., Robles, L.A., 2016. High-resolution satellite-gauge merged precipitation climatologies of the Tropical Andes. doi:10.1002/2015JD023788. Received
- Nasir, S.M., Afrasiyab, M., Athar, M., 2015. APPLICATION OF HOLDRIDGE LIFE ZONES ( HLZ ) IN PAKISTAN 47, 359-366.
- Ng, A.Y., Jordan, M.I., Weiss, Y., 2002. On Spectral Clustering: Analysis and an Algorithm. *Adv. Neural Inf. Process. Syst.* 14 849-856. doi:10.1.1.19.8100
- Planck, M., Luxburg, U. Von, Luxburg, U. Von, 2006. A Tutorial on Spectral Clustering A Tutorial on Spectral Clustering.
- Reuter, H.I., Nelson, A., Jarvis, A., 2007. An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 21, 983-1008. doi:10.1080/13658810601169899
- Sanjerehei, M.M., 2014. Determination of the probability of the occurrence of Iran life zones ( an integration of binary logistic regression and geostatistics ) 4, 408-417.
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Kis, A., Pongrácz, R., Sümegi, P., 2016. Assessment of projected climate change in the Carpathian Region using the Holdridge life zone system. *Theor. Appl. Climatol.* doi:10.1007/s00704-016-1987-3
- Tatli, H., Dalfes, H.N., 2016. Defining Holdridge's life zones over Turkey. *Int. J. Climatol.* 36, 3864-3872. doi:10.1002/joc.4600
- Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J.I., Correa, K., Avalos, G., Bazo, J., Azorin-Molina, C., Domínguez-Castro, F., Kenawy, A. El, Gimeno, L., Nieto, R., 2017. Recent changes in monthly surface air temperature over Peru, 1964-2014. *Int. J. Climatol.* doi:10.1002/joc.5176
- Vicente-Serrano, S.M., Saz-Sánchez, M.A., Cuadrat, J.M., 2003. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): Application to annual precipitation and temperature. *Clim. Res.* 24, 161-180. doi:10.3354/cr024161
- Yue, T.-X., Du, Z.-P., Lu, M., Fan, Z.-M., Wang, C.-L., Tian, Y.-Z., Xu, B., 2015. Surface modeling of ecosystem responses to climatic change in Poyang Lake Basin of China. *Ecol. Modell.* 306, 16-23. doi:10.1016/j.ecolmodel.2014.09.015

# ATLAS DE ZONAS DE VIDA DEL PERÚ

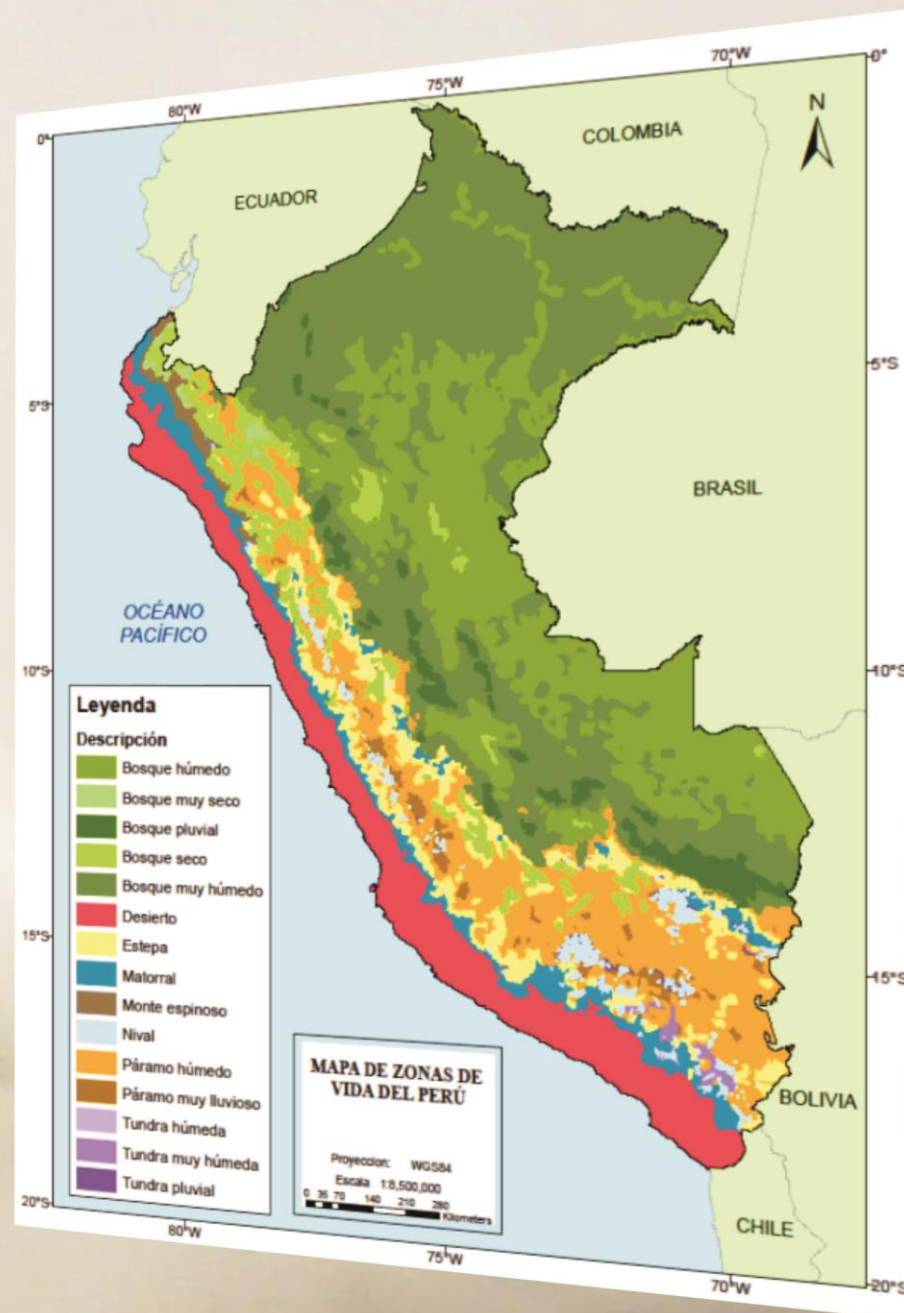
## Anexo Mapas

Nota Técnica 003  
Dirección de Hidrología





Central telefónica: (511) 614-1414  
Atención al usuario: (511) 470-2867  
Dirección de Hidrología: (511) 614-1414 anexo 465



Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI