

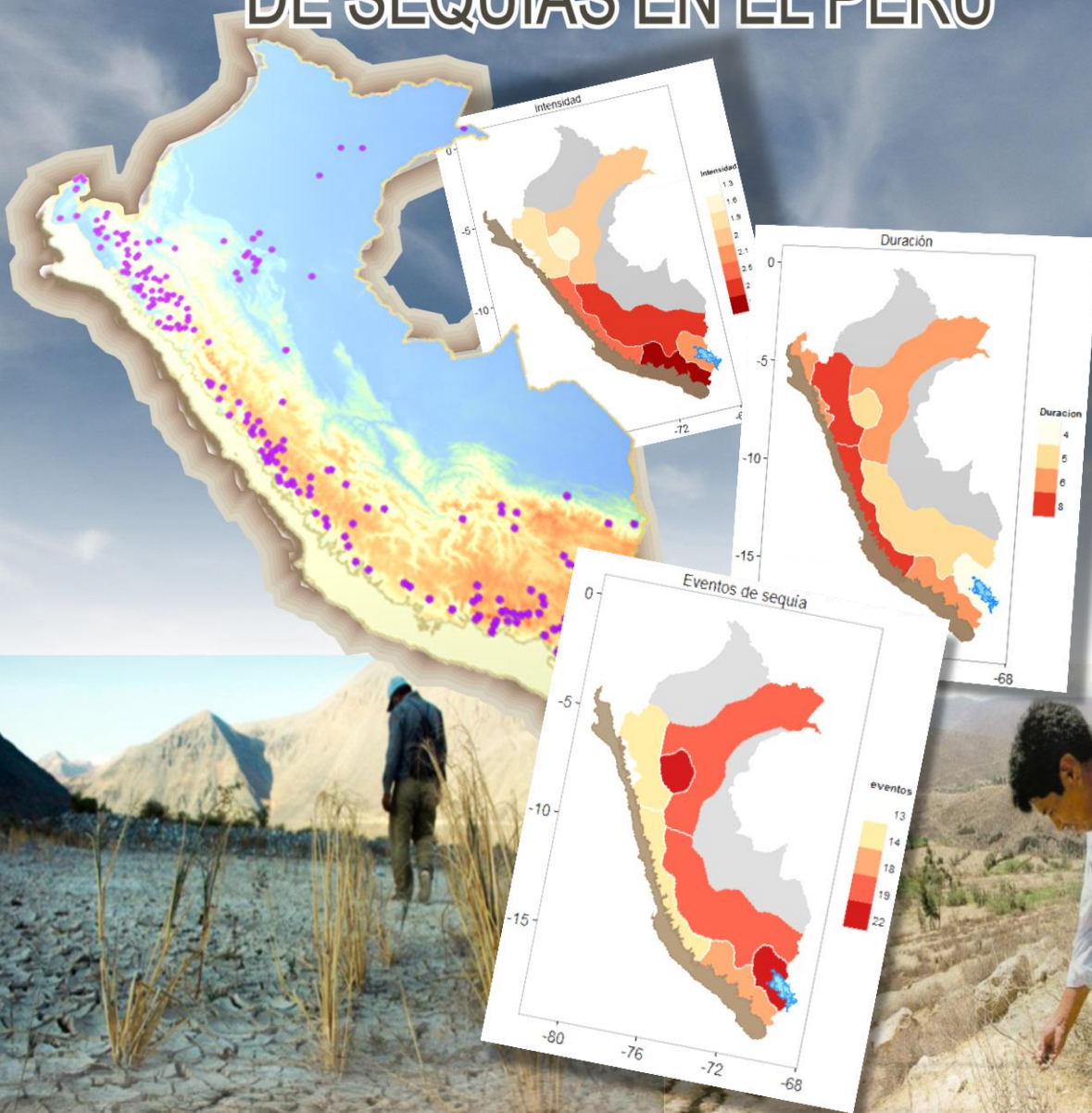


PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

REGIONALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS EN EL PERÚ



2015





PERSONAL DIRECTIVO

Ing. Amelia Díaz Pabló
Presidente Ejecutivo del SENAMHI

Ing. Esequiel Villegas Paredes
Director Científico del SENAMHI

Ing. Oscar G. Felipe Ovando
Director de Hidrología y Recursos Hídricos del SENAMHI

PhD. Waldo Lavado Casimiro
Director de Hidrología Aplicada del SENAMHI

REVISOR DEL ESTUDIO

PhD. Waldo Lavado Casimiro
Director de Hidrología Aplicada del SENAMHI

RESPONSABLE DEL ESTUDIO

Ing. Fiorella Vega Jácome
Especialista en Hidrología del SENAMHI

Lima-Perú
Noviembre 2015

ÍNDICE

I. ASPECTOS GENERALES	4
1.1 INTRODUCCIÓN	4
1.2 ANTECEDENTES	5
1.3 OBJETIVOS	5
II. ZONA DE ESTUDIO	6
2.1 ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS	6
2.1.1 Población	6
2.1.2 Actividades Económicas.....	6
2.2 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES	8
2.2.1 Vertiente del Pacífico	9
2.2.2 La cuenca del Amazonas	9
2.2.3 La hoya del Titicaca	10
2.2.4 Lagos y lagunas.....	10
2.3 BIODIVERSIDAD	10
2.3.1 Fauna.....	10
2.3.2 Flora	11
2.3.3 Áreas Protegidas.....	11
2.4 RELIEVE	13
2.5 CLIMA	13
III. MÉTODOS	16
3.1 INFORMACIÓN CLIMÁTICA	17
3.2 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS Y COMPLETACIÓN DE DATOS.....	18
3.3 REGIONALIZACIÓN DE SEQUÍAS.....	18
3.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS Y COMPLETACIÓN	21
4.2 ESTIMACIÓN DEL SPI.....	22
4.3 REGIONALIZACIÓN	23
4.4. CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS.....	25
4.4.1 CARACTERÍSTICAS POR ESTACIÓN	25
4.4.2 CARACTERÍSTICAS POR REGIONES	29
V. CONCLUSIONES	32
VI. BIBLIOGRAFÍA	33

Lista de Figuras

Figura 2.1: Mapa de las áreas naturales protegidas del Perú	12
Figura 2.2: Mapa climático del Perú.....	14
Figura 2.3: Estacionalidad de la precipitación en la Amazonía.	15
Figura 3.1: Esquema metodológico del estudio.	16
Figura 3.2: distribución espacial de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.....	17
Figura 3.3: características de las sequías basadas en el SPI	21
Figura 4.1: Anomalías de precipitación areal estacional – cuenca río Rímac.....	21
Figura 4.2: SPI estimado para cada estación, para a) 3 meses y b) 12 meses.....	22
Figura 4.3: Regionalización en base al SPI-12	23
Figura 4.4: Regiones Homogéneas de sequías en base al SPI	24
Figura 4.5: SPI-12 de cada región homogénea en relación a las sequías en el Perú. (a) 1-SA, (b) 2-LT, (c) 3- NS, (d) 4-AN, (e) 5-CS,(f) 6-CN, (g) 7-SB, (h) 8 –CC.....	25
Figura 4.6: Número de eventos secos.	26
Figura 4.7: Duración de los eventos secos por estación	27
Figura 4.8: Intensidad máxima de eventos secos.....	28
Figura 4.9: Severidad y duración de eventos secos por estación en el Perú.....	28
Figura 4.10: Tendencias estacionales de las sequías. El color celeste (rosado) significa tendencia positiva (negativa) y el color azul (rojo) significa tendencia positiva (negativa) significativa. DEF (Diciembre Enero Febrero), MAM (Marzo Abril Mayo), JJA (Junio Julio Agosto), SON (Setiembre Octubre Noviembre)	29
Figura 4.11: Características de las sequías por región homogénea.....	30

Lista de Tablas

Tabla 1: Clasificación de las sequías en función del SPI.....	19
--	----

I. ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

La sequía es un fenómeno natural que impacta toda ubicación y régimen climático alrededor del mundo. Las sequías es una amenaza hidroclimática de primer orden, con el potencial para impactos mayores en comunidades indígenas y economías nacionales. Por su naturaleza, la sequía es típicamente por su aparición lenta y de recuperación lenta.

La sequía causa las mayores pérdidas en la agricultura y daños al ecosistema natural y el bosque. Lo cual podría producir desertificación y degradación de suelos. Las sequías son particularmente más importantes en regiones dónde las actividades económicas son altamente dependientes de los recursos hídricos. Afecta a naciones muy dependientes de la agricultura.

Estudios recientes han resaltado los efectos ambientales de las sequías en Sudamérica, dónde aún en regiones muy húmedas como el Amazonas, sequías severas están desencadenando incendios forestales (Brando et al., 2014), reduciendo la producción de biomasa (Brando, 2010) y causando mortalidad extendida de bosques.

Siendo el Perú un país vulnerable al cambio climático, resulta de gran importancia el estudio de la sequía, su variación en espacio y tiempo, la frecuencia, duración, severidad e intensidad y las tendencias de estas características en el tiempo.

Hasta el momento, los índices más usados en el monitoreo global y regional son el índice de severidad de sequía de Palmer (Wells et al., 2004) y el Índice de Precipitación Estandarizado –SPI (McKee et al., 1993); mientras que el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración -SPEI (Vicente-Serrano et al, 2010) se está haciendo cada vez más popular en el análisis de las sequías. Por lo cual se decidió trabajar con el SPI ya que sólo requiere de datos de precipitación mensual para ser estimado. El análisis considera el enfoque desarrollado en el trabajo de Filipe (2011).

Asimismo, la regionalización objetiva de diferentes variables climáticas ha sido llevada a cabo en diversas regiones del mundo. Esto se debe a que para distintos propósitos resulta conveniente dividir espacialmente la climatología de una variable en un número de áreas cuasi-homogéneas respecto a su variabilidad temporal. Por lo que el presente estudio incluye una regionalización de las sequías basado en el SPI a escala temporal de 12 meses.

El reto es tener la mejor disponibilidad de datos posible y herramientas de gestión para la toma de decisiones, especialmente de productores, gestores de recursos hídricos y planificadores; para lograr un adecuado planeamiento y preparación ante eventos de sequía. Por lo que el presente estudio se constituye en una primera iniciativa por desarrollar el conocimiento en relación a las sequías.

1.2 Antecedentes

En el año 2009, con apoyo del PROGRAMA HIDROLÓGICO INTERNACIONAL de la UNESCO para América Latina y el Caribe se desarrolla el Taller denominado Atlas de Sequía, en el cual se contó con la presencia del Dr. James Wallis, de la Universidad de Yale y se inició con la aplicación de del método estadístico L-Moments al estudio de las sequías en el Perú.

El Estudio Nacional de la Sequía en el Perú nace como una iniciativa institucional en el marco de la implementación de la Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación y Sequías y la Política Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres, para brindar soporte y orientación técnico-científica a los tomadores de decisión en relación a la ocurrencia de sequías.

El SENAMHI con el apoyo del MINAM puso a disposición del país el Primer Portal de Monitoreo Nacional de la Sequía basado en Índices operacionales para realizar el monitoreo y evaluación cuantitativa de las condiciones de sequía en el territorio peruano a diferentes escalas temporales y desde una perspectiva espacial mediante la elaboración de mapas consolidados a nivel mensual de los indicadores de sequía para identificar oportunamente las regiones que presentan condiciones de sequía, como estas van evolucionando en el tiempo y el espacio; y los potenciales impactos que puede ocasionar dependiendo de su intensidad y duración.

De acuerdo al Plan de Gestión de Riesgo y adaptación al Cambio Climático en el sector agrario 2012 -2021 PLANGRACC (Apoyo de FAO), se ha identificado las zonas de alto riesgo a las sequias, siendo ellas: Riesgo a Sequías donde se puede mencionar que: 5 regiones tiene un Riesgo Bajo (RB) siendo: Amazonas, Cusco, Huánuco, Lima, Pasco; luego 12 regiones tienen un Riesgo Medio (RM) siendo: Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Huancavelica, Junín, La Libertad, Moquegua, Piura, Puno y Tumbes; por último 3 regiones tienen un Riesgo Alto (RA) siendo las siguientes: Ica, Lambayeque y Tacna

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Regionalizar y caracterizar las sequías en el Perú.

1.3.2 Objetivos específicos

- Regionalizar las sequías en el Perú.
- Caracterizar las sequías en el Perú.
- Análisis de frecuencia de sequías en el Perú.

II. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende el territorio peruano, que cubre una superficie total de 1'285 215 km², que incluyen las islas y la parte peruana del lago Titicaca, está ubicado en la costa central del continente Sudamericano, entre las coordenadas geográficas: 81° 19' 35" W, 68° 30' 11" W y 0° 01' 48' S y 18° 21' 05" S.

El Perú, tiene soberanía y jurisdicción sobre una franja de 200 millas (371 km² del Mar Pacífico Peruano) del océano Pacífico y también tiene derechos territoriales sobre un área de 60 millones de hectáreas en la Antártida

Compuesta por 24 departamentos, con una población según el INEI en su última proyección al año 2015 de 31,151,643 habitantes; concentrada principalmente en la costa peruana, en la ciudad capital, Lima.

2.1 Aspectos socio-económicos

2.1.1 Población

El Perú según el último censo (INEI, 2007), contaba con 28'220,764 millones de habitantes, de los cuales casi 8 millones viven en la capital, Lima. Asimismo, según las proyecciones al año 2015, el Perú cuenta con una población de 31'151,643 habitantes, de los cuales 8'890,792 están asentadas en la provincia de Lima. Con una tasa de crecimiento de 1.10 % anual.

2.1.2 Actividades Económicas

Agricultura

La Agricultura es una actividad económica fundamental para los pueblos, es una fuente de riqueza permanente. A través de ella también se producen materias primas para muchas industrias y además constituye la principal fuente ocupacional de la población.

La agricultura costeña está más desarrollada que en las otras regiones, la agricultura es intensiva en las grandes cooperativas agrarias, cuyas tierras son dedicadas a cultivos industriales como el algodón, arroz, caña de azúcar, vid, maíz, etc.

La agricultura andina es extensiva, de baja productividad, debido a las condiciones en que son trabajadas las tierras.

La agricultura en la selva se diferencia entre la selva alta y la selva baja: la selva alta constituye la región agrícola más importante de la Selva, por su relieve inclinado y el clima cálido, húmedo y lluvioso; la selva baja, conocida como gran llanura amazónica, presenta factores que limitan su desarrollo agrícola, sus suelos inundables, el calor excesivo y las lluvias torrenciales dificultan el trabajo. En la selva se cultiva café, té, cacao, coca, palma aceitera y árboles frutales.

Ganadería

La ganadería es una actividad económica que consiste en la crianza y reproducción de los animales, con la finalidad de aprovechar sus productos en alimentación, artesanía e industria. El Perú posee múltiples condiciones para el fomento y desarrollo de la ganadería por su variedad climática y la abundancia de pastos naturales.

En la costa. La ganadería costeña tiene limitadas posibilidades pues tiene muy pocas áreas destinadas al cultivo de pastos; en la región andina. La ganadería en la región andina es amplia, se practica en zonas donde existen pastos naturales y en los valles interandinos; en la región amazónica, la selva alta es la zona más apropiada para el desarrollo ganadero, en cambio, en la selva baja, la naturaleza de los suelos inundables, y la excesiva humedad, no favorecen el crecimiento de buenos pastos, y por ende de la ganadería.

Minería

La minería es una actividad económica primariamente extractiva, que tiene por finalidad aprovechar los recursos metálicos y no metálicos que existen en la tierra. Sin embargo, esta actividad trae contaminación ambiental y enormes problemas sociales con lagunas y ríos como ocurre en Cajamarca, puno, Arequipa, Junín o Madre de Dios.

El territorio peruano cuenta con gran variedad de metales o minerales metálicos. Entre los que más se explotan en el Perú están el cobre, hierro, plomo, oro, mercurio, zinc, tungsteno, que tienen múltiples aplicaciones en la industria.

La Pesca

La actividad pesquera es importante porque participa en forma activa en el desarrollo nacional, ya sea como generadora de divisas, como importante fuente de trabajo y como valioso aporte en la alimentación humana. (Por su alto valor nutritivo la carne de pescado constituye una fuente importante de proteínas necesarias para el hombre).

En nuestro mar territorial se pesca una gran variedad de peces, tales como la anchoveta, el atún, la cojinova, el bonito, el robalo, el pejerrey, el tollo, el coco, la corvina, la lisa, el lenguado, el mero, la cabrilla, la pintadilla, etc.

Industria

La industria peruana se desarrolla principalmente en las grandes ciudades como Lima, Trujillo, Chiclayo, Piura, Tacna, Arequipa, Cusco e Iquitos. En Lima se concentra la más extensa y variada cantidad de fábricas. Las demás ciudades del Perú tienen una industria ligera, encargada de la fabricación de medios de consumo, es decir alimentos, vestidos y artículos de uso doméstico.

Transporte

Es la actividad básica y tiene importancia decisiva y de carácter estratégico para el desarrollo del país, pues apoya a los sectores productivos. Transporte, medio de traslado de personas o bienes desde un lugar hasta otro. El transporte comercial moderno está al servicio del interés público e incluye todos los medios e infraestructuras implicadas en el movimiento de las personas o bienes, así como los servicios de recepción, entrega y manipulación de tales bienes. El transporte comercial de personas se clasifica como servicio de pasajeros y el de bienes como servicio de mercancías. En general, se utilizan cinco modos de transporte: acuático, por carretera, ferroviario, aéreo y por tubería.

Turismo

El turismo es una actividad dedicada a dar a conocer los lugares atractivos que presenta un determinado país, y a través de la cual las personas ocupan parte de su tiempo libre. Esta actividad presta servicios a través de los hoteles, las casas de huéspedes y los albergues, los campamentos y otros lugares de alojamiento.

Asimismo, también intervienen las agencias de viajes o de turismo, prestando servicios profesionales de guías, así como de orientación e información turística.

2.2 Recursos hídricos superficiales

El Perú cuenta con un territorio que abarca sólo el 0,87% de la superficie continental del planeta pero al que le corresponde casi el 5% de las aguas dulces del planeta. Esto, que sin duda constituye una ventaja en términos de recurso, sin embargo la realidad nos dice que las aguas superficiales se distribuyen en forma desigual en el tiempo y a través del territorio.

El relieve del Perú permite que cualquier gota de agua que drene su territorio lo haga únicamente en tres posibles direcciones: hacia el océano Pacífico, hacia el océano Atlántico o hacia el lago Titicaca.

Es por esta razón que hablamos de tres grandes conjuntos hidrográficos: la vertiente del Pacífico, la cuenca del Amazonas y la hoya del Titicaca. Cada una de ellas con características distintas.

Son las cumbres de la cadena occidental de los Andes las que definen si las aguas de los ríos van a parar ya sea al océano Pacífico o al océano Atlántico por esta razón a esta línea de cumbres se le denomina la divisoria continental. En el Sur del país los Andes se abren a manera de dos grandes brazos que obligan a los cursos a entregar sus aguas en el lago Titicaca, a ello se le llama cuenca cerrada u hoya, de allí el nombre de hoya del Titicaca.

2.2.1 Vertiente del Pacífico

Los cursos de agua que van al Pacífico tienen dos características: nacen a grandes altitudes entre 5 000 y 6 000 metros y cuentan un recorrido extremadamente corto con un promedio de 100 a 200 km. hasta su desembocadura. Ello se traduce en una fuerte inclinación o pendiente del terreno lo que los hace torrentosos y no navegables. Debido a su corto recorrido son también muy irregulares en su caudal con crecidas notorias en los meses de verano cuando las lluvias y deshielos se incrementan. Por otro lado, en los meses de estiaje la mayoría de estos ríos llegan a secarse.

Son 53 los ríos que desembocan al Pacífico a lo largo de la costa peruana siendo los más representativos los ríos Tumbes, Chira, Chancay, Jequetepeque, Santa, Rímac, Cañete, Ica, Majes y Tambo entre otros.

2.2.2 La cuenca del Amazonas

Lo más notorio de los ríos que pertenecen a la cuenca del Amazonas es su enorme longitud si los comparamos con los ríos de la vertiente del Pacífico. Un río como el Ucayali por ejemplo ocupa el primer lugar en longitud en el Perú con un recorrido de 1 771 km. Los 21 ríos de mayor longitud en el Perú pertenecen a la cuenca del Amazonas, mientras que el Colca - Camaná – Majes con sus 388 km ocupa recién el puesto 22. Debemos añadir que el Amazonas en territorio peruano tiene una longitud de 713 km pero su recorrido total desde sus nacientes hasta su desembocadura es de aproximadamente 6 872 km lo que lo convierte en el más largo del mundo.

Debido a la enorme distancia que recorren y a la gran cantidad de afluentes se caracterizan por ser ríos de gran caudal. De hecho el río Amazonas a la altura de la ciudad de Iquitos tiene un caudal de 80 000 m³/s.

Debido a su enorme recorrido estos ríos al atravesar terrenos llanos se tornan navegables. De hecho en nuestro país los puertos de Imaza, Iquitos, Pucallpa, Yurimaguas y Puerto Maldonado son sólo algunos de los puertos donde las personas se pueden embarcar en recorridos por la selva. Con sus 50 000 km de recorrido navegable, la red hídrica del oriente peruano es un eficaz modo de transporte si lo comparamos con los aproximadamente 10 000 km. de carreteras asfaltadas con que nuestro país cuenta.

El río Amazonas se forma en territorio peruano y es el mayor río del mundo. Atraviesa la llanura Amazónica para desaguar en el océano Atlántico con un caudal medio anual de 260 000 m³/s. Este río está llamado a convertirse en el gran eje amazónico, en torno al cual se puede realizar la gran integración de los países sudamericanos que están en su cuenca.

2.2.3 La hoya del Titicaca

Delimitada por las cordilleras occidental y oriental de los Andes del Sur del Perú, en su cuenca cerrada discurren las aguas de muchos ríos siendo los más importantes el Suches, Huancané, Ramis, Coata e llave, todos ellos vierten sus aguas al espejo de agua del lago Titicaca que con sus 8 380 km² de superficie es el mayor de Sudamérica. Al igual que sucede en la costa estos ríos descienden desde grandes altitudes en un corto recorrido lo que los torna no navegables y torrentosos debido a su marcada pendiente. Así mismo ostentan un régimen irregular con crecidas en los meses de lluvias.

Dado que la superficie de las orillas del lago Titicaca es plana, las orillas del mismo son muy sensibles al incremento y disminución del caudal de los ríos, poniendo en peligro a los pueblos cercanos cuando el caudal se incrementa como ocurrió en el verano de 1986 cuando el lago se desbordó.

2.2.4 Lagos y lagunas

El territorio peruano presenta además, escenario promisorio para la formación de lagos y lagunas. Al día de hoy existen en todo el espacio peruano más de 12 201 lagos y lagunas de distinto tamaño las cuales se distribuyen en las tres vertientes (Tabla 3.4). El lago Titicaca, que ocupa una depresión en el extremo Norte de la meseta del Collao, entre Perú y Bolivia; es el mayor de Sudamérica, ocupando una extensión de 8 380 km² de los cuales 4 996 km² corresponden a Perú. Es, además, el lago navegable con mayor altitud: 3 812 metros sobre el nivel del mar; en este lago se producen olas, mareas y vientos debido a su gran extensión.

Las lagunas de la vertiente del Pacífico son dispersas y pequeñas y muchas de ellas se aprovechan como reservorios de almacenamiento de agua en estaciones secas. La más representativa es la laguna Ñapique-Ramón en el departamento de Piura.

La sierra contiene una amplia gama de lagunas, la mayoría de ellas por encima de los 4 000 msnm destacando entre ellas la gran laguna de Junín (también conocida como laguna de los Reyes o Chinchaycocha) emplazada en la pampa de Junín. En Ayacucho destaca la laguna de Parinacochas. En el llano amazónico existe una amplia variedad de lagunas de origen fluvial llamadas cochas y que tienen forma de herradura.

2.3 Biodiversidad

2.3.1 Fauna

Está representada, por animales autóctonos los cuales están a punto de extinguirse, a pesar de las medidas que se vienen implementando. La costa es pobre en especies, destacando el venado, la iguana, el zorrillo y la tortuga gigante. Los ríos registran diversidad de peces, siendo abundantes los

camarones. La sierra se caracteriza por la presencia de alpacas, llamas, guanacos y vicuñas, cuya utilidad económica es la de suministrar lana y carne a la población.

La selva tiene una fauna diversificada, destacando la presencia del jaguar, grandes serpientes, cocodrilos, jabalíes, papagayos, loros, miles de aves y especies aún desconocidas.

2.3.2 Flora

La naturaleza ha dotado al Perú con una enorme variedad de paisajes y ecosistemas; 84 de las 104 zonas ecológicas existentes en el mundo se encuentran en este país, lo que lo sitúa entre los cinco con mayor diversidad biológica del mundo. Aquí se encuentran entre treinta y cuarenta mil especies de flora, de las cuales sólo se han descrito aproximadamente la mitad; cada año se descubren nuevas especies, a la vez que se describen otras ya conocidas.

2.3.3 Áreas Protegidas

En el Perú existen 42 áreas naturales protegidas que cubren un total aproximado de 127 mil k2, que corresponde al 4,3 % de la superficie del país (Figura 2.1).

Dentro de las áreas nacionales protegidas se tienen las siguientes:

- Parque Nacional
- Reserva Nacional
- Santuario Nacional
- Santuario Histórico
- Zona Reservada
- Bosque de Protección
- Reserva Comunal
- Reserva Paisajista
- Coto de Caza



Figura 2.1: Mapa de las áreas naturales protegidas del Perú
Fuente: SERNANP, 2010.

2.4 Relieve

El territorio peruano tiene una topografía sumamente accidentada, exceptuando: la angosta faja costera, las altas mesetas o punas andinas y el llano amazónico.

El territorio peruano es atravesado de noroeste a sudeste por la cordillera de los Andes, que en algunos puntos alcanza cotas superiores a los 6 700 metros y forma varios ramales que dividen al país en tres zonas claramente diferenciadas:

- La costa, que ocupa un 11% de la superficie total;
- La sierra, con valles surcados por grandes ríos y salpicada de lagos;
- La región oriental o también llamada selva, con un 62% de la superficie total, que abarca desde alturas cercanas a los 2.000 metros hasta los inmensos llanos de la cuenca amazónica.

2.5 Clima

Por su ubicación geográfica, al Perú le corresponde un clima eminentemente tropical con precipitaciones abundantes, de temperaturas altas y vegetación exuberante; sin embargo, esta característica se ve afectada por la presencia del sistema montañoso de los Andes que lo atraviesa en sentido longitudinal, a lo cual se suma la Corriente de Humboldt, el Anticiclón del Pacífico Sur, dando lugar a las características climáticas de las distintas regiones geográficas:

- La región Costa es extremadamente seca, con precipitaciones anuales inferiores a 40 mm desde Chimbote hasta Tacna y de 400 mm en el extremo Norte. A pesar de su aridez, algunas partes de la costa reciben suficiente humedad de las nieblas invernales (garúa) para desarrollar vegetación.
- En la Sierra, la latitud, altitud, presencia de vientos locales y el efecto pantalla de la cordillera dan lugar a diferentes condiciones climáticas. En general, las temperaturas decrecen al aumentar la altitud, mientras que la precipitación lo hace de Norte a Sur y de Oeste a Este. Durante la estación húmeda (diciembre-marzo), las precipitaciones más altas se dan en el Norte y en el flanco Este de la cordillera. Las temperaturas varían poco estacionalmente, siendo la oscilación térmica diaria (hasta 22°C en un día) mucho mayor que la estacional.
- La Selva o Montaña presenta un clima tropical cálido y húmedo, con precipitaciones durante todo el año, aunque con mayor intensidad entre diciembre y enero, y con una oscilación térmica estacional muy pequeña.

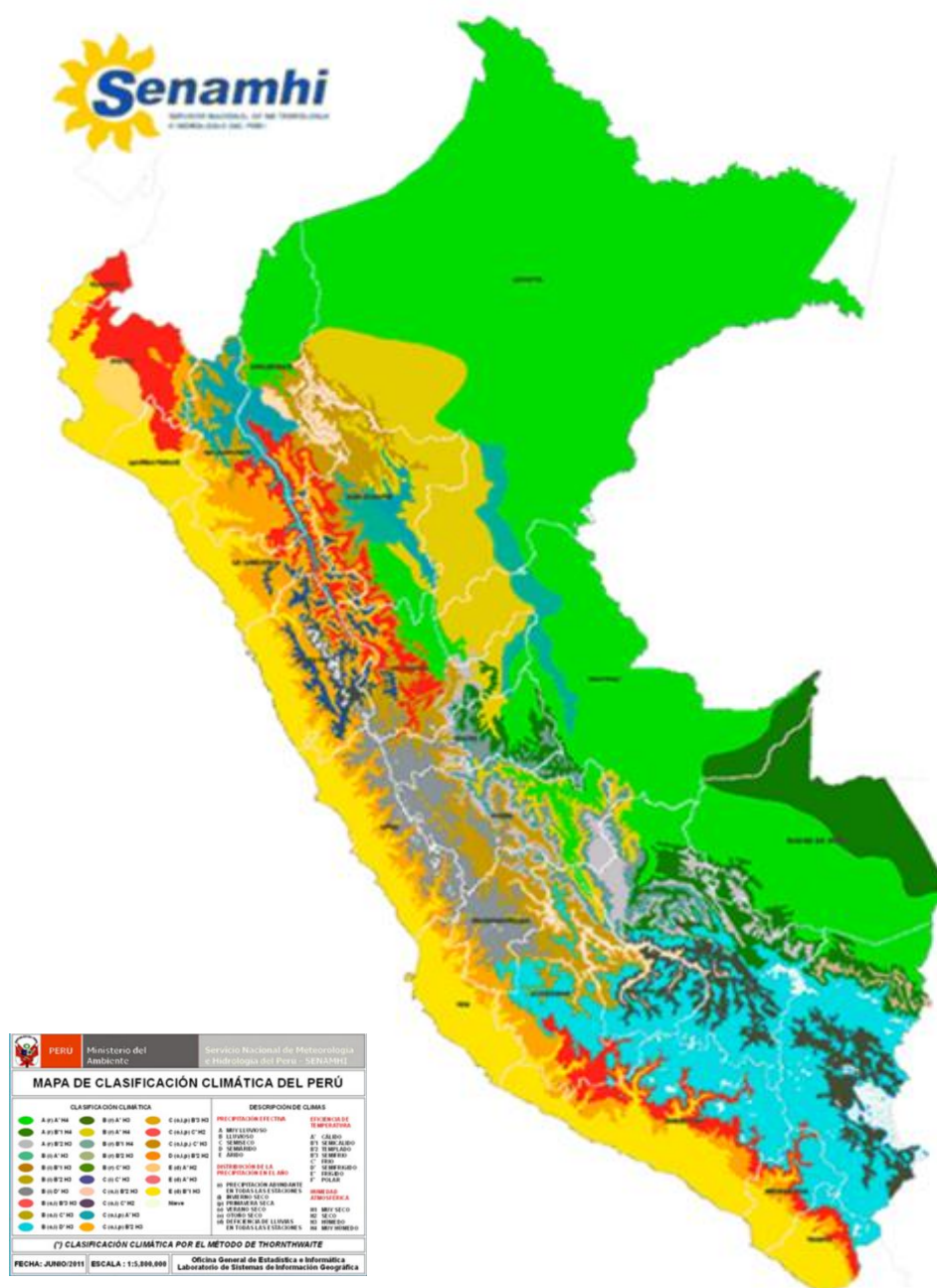
2.5.1 Tipos de Clima

En el Perú destacan principalmente los tipos de climas siguientes:

- Clima Semi-Cálido Muy Seco (Desértico-Árido-Sub Tropical)
- Clima Cálido Muy Seco (Desértico o Árido Tropical)
- Clima Templado Sub-Húmedo (De Estepa y Valles Interandinos Bajos)
- Clima Frío o Boreal (De los Valles Mesoandinos)

- Clima Frígido (De Tundra)
- Clima de Nieve (Gélido)
- Clima Semi-Cálido Muy Húmedo (Sub-Tropical muy Húmedo)
- Clima Cálido Húmedo (Tropical Húmedo)

Las características climáticas del Perú son peculiares por su extensión y relieve topográfico, la descripción climática general se logra con precisión mediante la expresión gráfica. La información climática que se muestra en la Figura 2.2 está sustentada en información meteorológica de aproximadamente veinte años (1965 - 1984), con la cual se procedió a formular los "Índices climáticos" y el trazado de las zonas de acuerdo a la clasificación de climas de Charles Warren Thornthwaite.



Los principales parámetros climáticos que definen o caracterizan el clima del Perú son:

Precipitación

En la costa casi nunca llueve, se caracteriza por las densas neblinas y tenues lloviznas entre mayo y noviembre, que producen sensación de frío aunque la temperatura promedio anual oscila apenas entre 14 °C y 18 °C. En el verano (diciembre-abril), la humedad disminuye y el sol brilla con intensidad.

Tanto en la sierra como en la selva existe una estación seca o de estío (mayo-octubre) en la que abundan los días soleado, y otra lluviosa entre diciembre y marzo ("el invierno"). Mientras que la sierra tiene un clima seco y fresco, con una temperatura promedio anual que oscila entre 9 °C y 18 °C, la selva tiene un clima tropical con temperaturas que oscilan entre 26 °C y 40 °C.

En los valles interandinos es posible encontrar climas secos y templados durante casi todo el año, con algunas lluvias durante el verano.

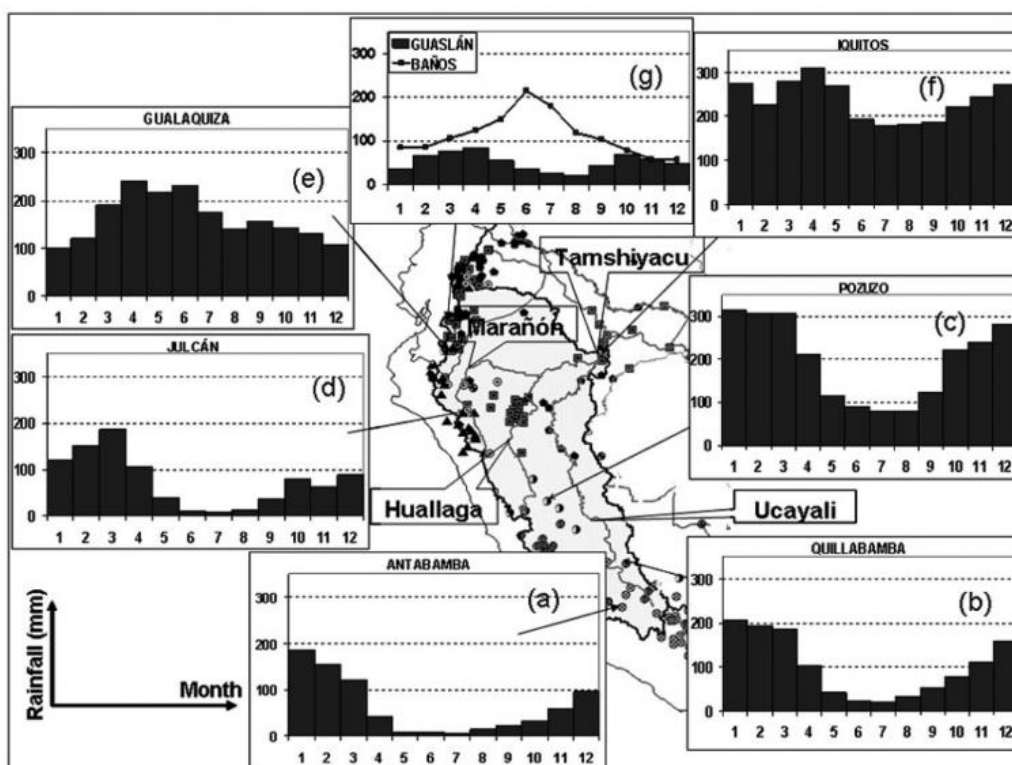


Figura 2.3: Estacionalidad de la precipitación en la Amazonía.
Fuente: Espinoza et. Al (2010).

Temperatura

En relación a las tendencias en la precipitación y temperatura, Lavado et. al. (2012) encontró una clara tendencia positiva en los últimos 40 años en la temperatura de la cuenca andino amazónica, mientras que las precipitaciones no

evidenciaron una clara tendencia. El calentamiento promedio en la cuenca andino amazónica fue de alrededor de 0.09 °C por década.

Sequías en el Perú

Entre 2000 y 2010 se reportaron a nivel nacional 163 eventos de sequías, siendo mayor en la vertiente del Pacífico (con 127 eventos), seguidos por la vertiente del Titicaca (25 eventos) y la vertiente del Atlántico (11 eventos). Dichas sequías han ocurrido con distinta frecuencia, siendo mayor el número las de frecuencia anual y las que ocurren entre 3 y 9 años con 85 eventos y 70 eventos respectivamente. La mayor cantidad de eventos reportados corresponden a los ocurridos entre el año 2000 al 2008 y el año 2010 con 73 y 62, como se muestra en el cuadro anexo

En el 2011, eventos de sequía afectaron a los departamentos de Arequipa, Cajamarca, Lambayeque, Piura, La Libertad, Lima, Moquegua, Tacna, Amazonas, Huánuco, San Martín, Junín y Puno.

En las poblaciones ubicadas en la vertiente del Atlántico, particularmente en las regiones de selva y ceja de selva, la disminución del caudal de los ríos afecta a la pesca, su principal fuente de proteínas de origen animal. Asimismo, ello afecta la navegación, pues los ríos son la principal vía de comunicación en esas regiones.

III. MÉTODOS

La metodología utilizada para el desarrollo del presente estudio se basa en el esquema mostrado en la Figura 3.1, en el que se esquematiza la metodología para la regionalización de sequías, la caracterización y el análisis de frecuencias y vulnerabilidad.

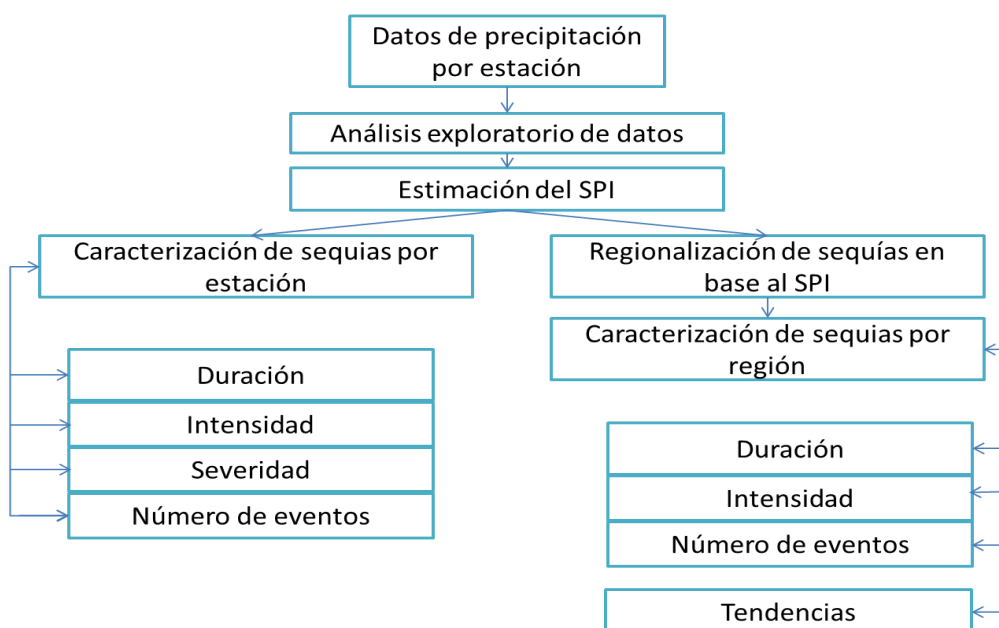


Figura 3.1: Esquema metodológico del estudio.
Fuente: Elaboración propia

3.1 Información climática

La información utilizada en el presente estudio corresponde a los datos de precipitación mensual de 203 estaciones meteorológicas distribuidas a nivel nacional, las cuales fueron elegidas por tener un registro más largo, con un máximo de 15% de data faltante para el periodo de 1970 al 2014.

La distribución espacial de las estaciones meteorológicas se muestra en la Figura 3.2 en la que se puede apreciar que la mayor cantidad de estaciones se encuentran en los andes, con escasas estaciones en la selva. Asimismo, cabe mencionar que se consideró utilizar una máscara para la región árida correspondiente a la zona costera del Perú, puesto que en esta zona las precipitaciones son prácticamente nulas durante todo el año.

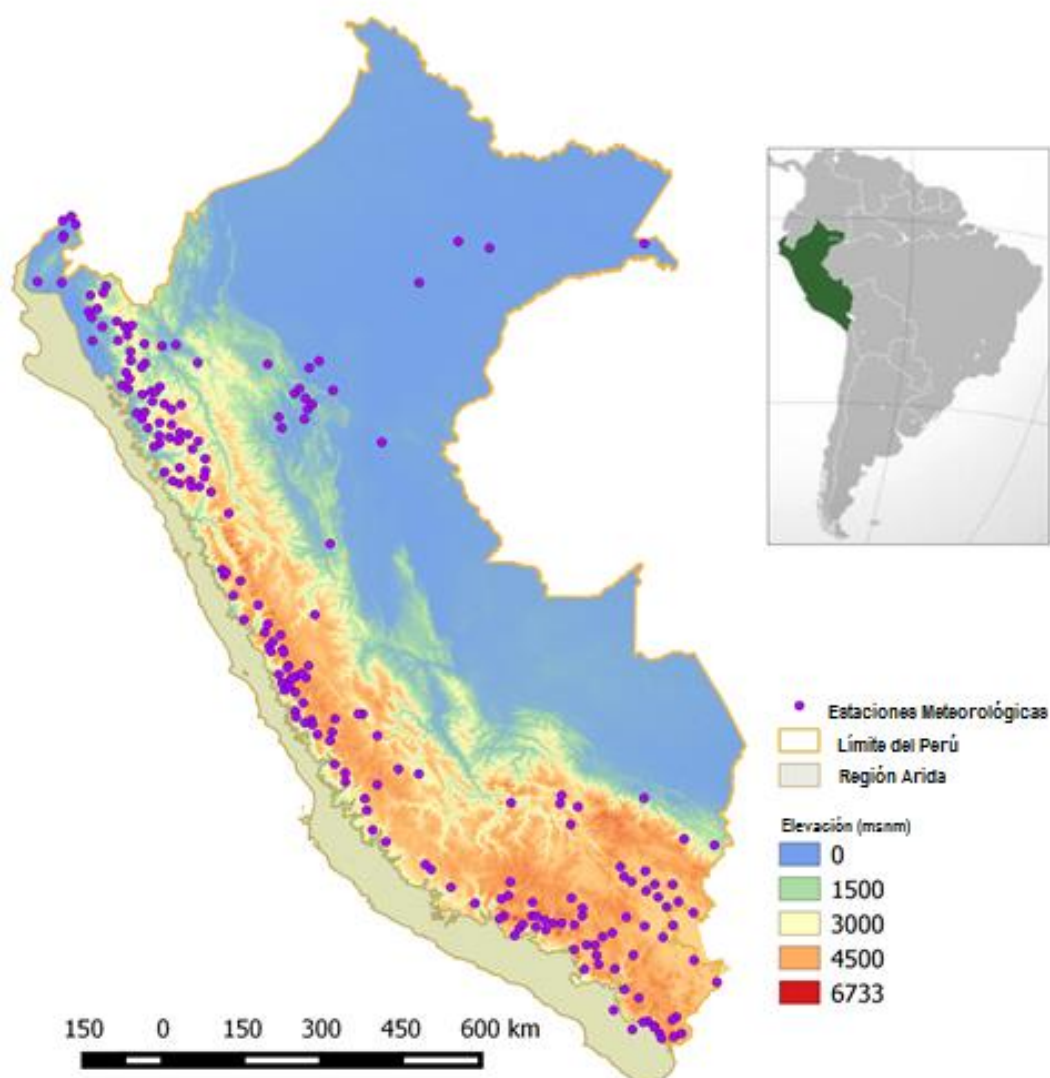


Figura 3.2: distribución espacial de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.
Fuente: Elaboración propia

3.2 Análisis exploratorio de datos y completación de datos

El análisis exploratorio de los datos de precipitación mensual se realizó a las series de datos de cada estación, considerando el análisis de datos atípicos, valores repetidos, homogeneidad de las series y análisis de tendencias.

Para la detección de atípicos se utilizó el gráfico de boxplot y los valores atípicos que se presentaban en una estación y no en las estaciones vecinas fueron eliminados.

Asimismo, se tuvo en cuenta un máximo de 3 valores repetidos consecutivos, de haber más de tres valores consecutivos iguales, estos fueron eliminados de la serie.

Adicionalmente, se verificó visualmente la homogeneidad de las series y se realizó un análisis de tendencias basado en el test de Mann Kendall con pre blanqueo propuesto por Yue & Wang (2004).

Finalmente se hizo la completación de datos para el periodo de 1970 al 2015 mediante la interpolación con el método de distancia inversa ponderada con exponente 2.

3.3 Regionalización de sequías

La regionalización de las sequías en el Perú se realizó mediante una combinación del método de Componentes Principales y el método de Clúster Jerárquico, basado en el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), el cual fue estimado para cada estación meteorológica analizada.

3.3.1 Índice de Precipitación Estandarizado - SPI

El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), por sus siglas en inglés, fue creado por McKee et al. (1993) y es un índice de probabilidad que nos da una representación de los periodos secos y húmedos anormales; cuantificando el déficit de precipitación en distintas escalas de tiempo. Se basa en el uso de series de tiempo de precipitación mensual y su correspondiente ajuste a la función de distribución de probabilidad Gamma, que posteriormente es transformada en la función normal. Producto del ajuste y la transformación, cada dato de SPI calculado representa el número de desviaciones estándar que un dato está alejado de la media muestral.

La Organización Meteorológica Mundial (OMS), recomienda que todos los servicios meteorológicos e hidrológicos deberían utilizar el SPI para el monitoreo de las sequías a nivel nacional.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el SPI está basado solamente en la precipitación y provee una medida de la provisión de agua, el índice es muy útil como una medida de los déficits de precipitación o sequías meteorológicas pero su limitación radica en que no considera la evapotranspiración. (Trenberth et al., 2014).

El SPI se calcula utilizando la ecuación (1) y se clasifica en función a la Tabla1, según lo propuesto por Mckee et al. (1993).

La distribución gamma se define como:

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \cdot \Gamma(\alpha)} \quad \text{for } x > 0 \quad (1)$$

Donde, $\alpha > 0$ es el parámetro de forma, $\beta > 0$ es el parámetro de escala, χ es la cantidad de precipitación y $\Gamma(\alpha)$ es la función gamma.

Tabla 1: Clasificación de las sequías en función del SPI

Valor de SPI	Categoría	Probabilidad (%)
>2.0	Extremadamente húmedo	2.3
1.5–1.99	Muy húmedo	4.4
1.0–1.49	Moderadamente húmedo	9.2
-0.99 to 0.99	Cercano a Normal	68.2
-1.0 to -1.49	Moderadamente seco	9.2
-1.5 to -1.99	Muy seco	4.4
<-2.0	Extremadamente seco	2.3

Fuente: McKee et al., 1993.

La practicidad y escasa demanda de información del SPI hacen de este un índice apropiado para el análisis de sequía en condiciones de información escasa, por lo cual es el utilizado para el presente trabajo.

3.3.2 Análisis de componentes principales-ACP

El análisis de componentes principales es un método útil que ha sido ampliamente aplicado en meteorología y climatología con el propósito de reducir los datos. Este método reduce las variables correlacionadas a algunas variables no correlacionadas linealmente denominadas componentes principales.

Esta metodología fue utilizada en modo S, la cual permite un agrupamiento de estaciones con variaciones temporales similares. Se utilizó la matriz de correlaciones para dar el mismo peso a todas las estaciones.

Se debe tener en cuenta que el ACP no demanda explícitamente que la variable utilizada se encuentre normalmente distribuida para operar correctamente, el ACP funciona robustamente frente a datos de entrada que poseen desviaciones moderadas respecto a la distribución normal.

El criterio de corte se basó en el porcentaje de varianza explicado total, considerando las componentes principales que acumularan un porcentaje de varianza de 75%, puesto que el criterio de Káiser, que considera retener los componentes cuyos eigenvalues sean mayores que 1 implicaba retener demasiados componente.

Las componentes fueron rotadas mediante el método de *varimax* a fin de mejorar la interpretación de los resultados y obtener mayores valores de factores de peso en algunas variables y factores de peso casi nulos en el resto de variables.

3.3.3 Análisis clúster

El análisis de clúster detecta aquellas observaciones u objetos que son más similares y los categoriza dentro de uno o más clústers o grupos. Todos los métodos de agrupamiento clúster están diseñados para maximizar la similaridad dentro de un grupo y minimizar la similaridad entre grupos.

El método de agrupamiento que se utilizó fue el de agrupamiento jerárquico *Ward*, el cual es apropiado para variables cuantitativas.

El algoritmo básico es simple:

- Empezar con cada punto en un clúster por si solo
- Mientras haya un único clúster, encontrar el par de grupo más cercano, unirlos
- Volver al árbol de grupos unidos

Para el presente estudio se utilizó el análisis clúster en base a los loadings, resultado del análisis de componentes principales, unido a los promedios de precipitación interanual de cada estación, a fin de obtener un agrupamiento que tenga en cuenta las cantidades de precipitación anual.

Finalmente, se trazaron polígonos de Thiessen por cada estación a fin de determinar las regiones homogéneas en base al resultado del análisis de clústers. Considerando además una máscara para las regiones de la Amazonía con ausencia de estaciones, puesto que al no haber una buena cobertura de estaciones meteorológicas en esta zona, existe una gran incertidumbre sobre la regionalización en estas áreas.

3.4 Caracterización de las sequías

Una vez definidas las regiones homogéneas, se promediaron los SPI de todas las estaciones pertenecientes a una región homogénea, obteniendo así una serie de SPI característica para cada región homogénea.

Para la caracterización de sequías se tuvo en cuenta el uso de 3 características de la sequía estimadas en base al SPI, como se muestra en la figura...y que se describen a continuación:

- **Duración:** Representado por la duración de cada evento de sequía expresado en meses.
- **Intensidad:** Representa la intensidad máxima de cada evento seco
- **Severidad:** Está representado por el área de cada evento seco o la sumatoria de los SPI de un evento seco en toda su duración.

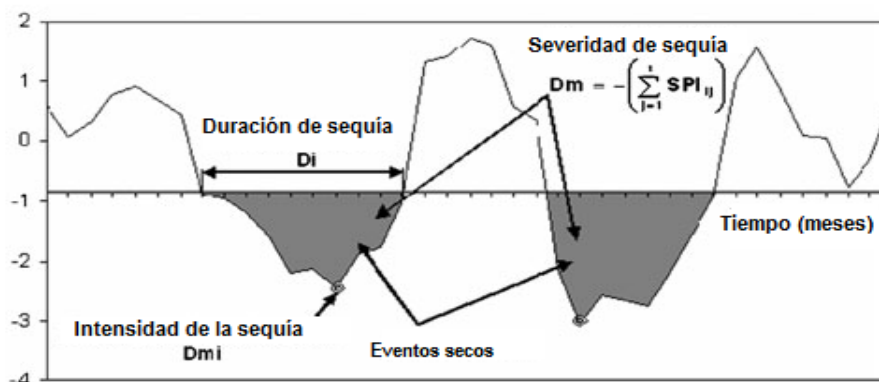


Figura 3.3: características de las sequías basadas en el SPI

Fuente: Filipe et al., 2011.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis exploratorio de datos y completación

En el análisis exploratorio de datos se identificaron estaciones con datos atípicos aislados, los que fueron descartados para el análisis, asimismo, se encontraron algunas estaciones con valores repetidos, los mismo que se eliminaron a partir del cuarto valor repetido.

Finalmente, como resultado del análisis de tendencias, se detectaron tendencias significativas en algunas estaciones distribuidas aleatoriamente en todo el territorio.

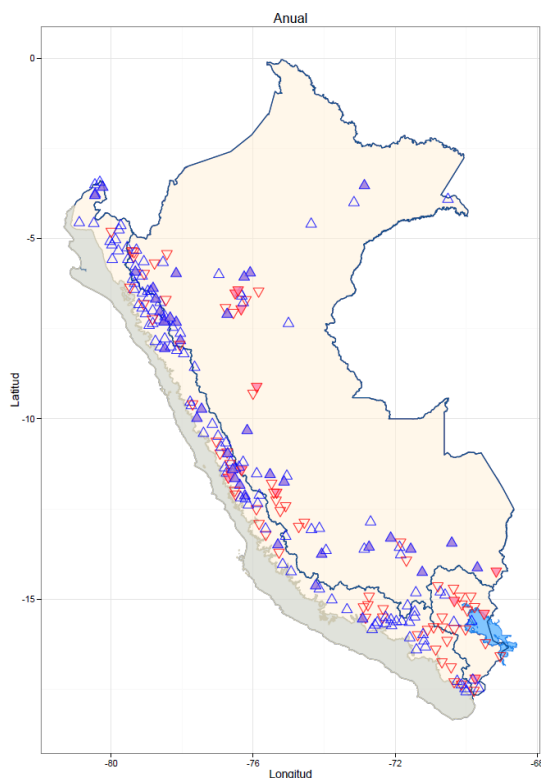


Figura 4.1: Anomalías de precipitación areal estacional – cuenca río Rímac

Asimismo, en base al método de interpolación por distancia inversa ponderada se pudo hacer la completación de los datos de precipitación mensual, obteniendo series completadas para el periodo de 1970 al 2014.

4.2 Estimación del SPI

El Índice de Precipitación Estandarizado se estimó para diferentes periodos (3 y 12 meses), para cada serie de datos de precipitación de cada estación meteorológica, obteniendo resultados como los que se muestran en la Figura 4.2.

La escala de 3 meses se utilizó para el análisis de las sequias a corto plazo, mientras que la de 12 meses para el análisis de las sequias a largo plazo.

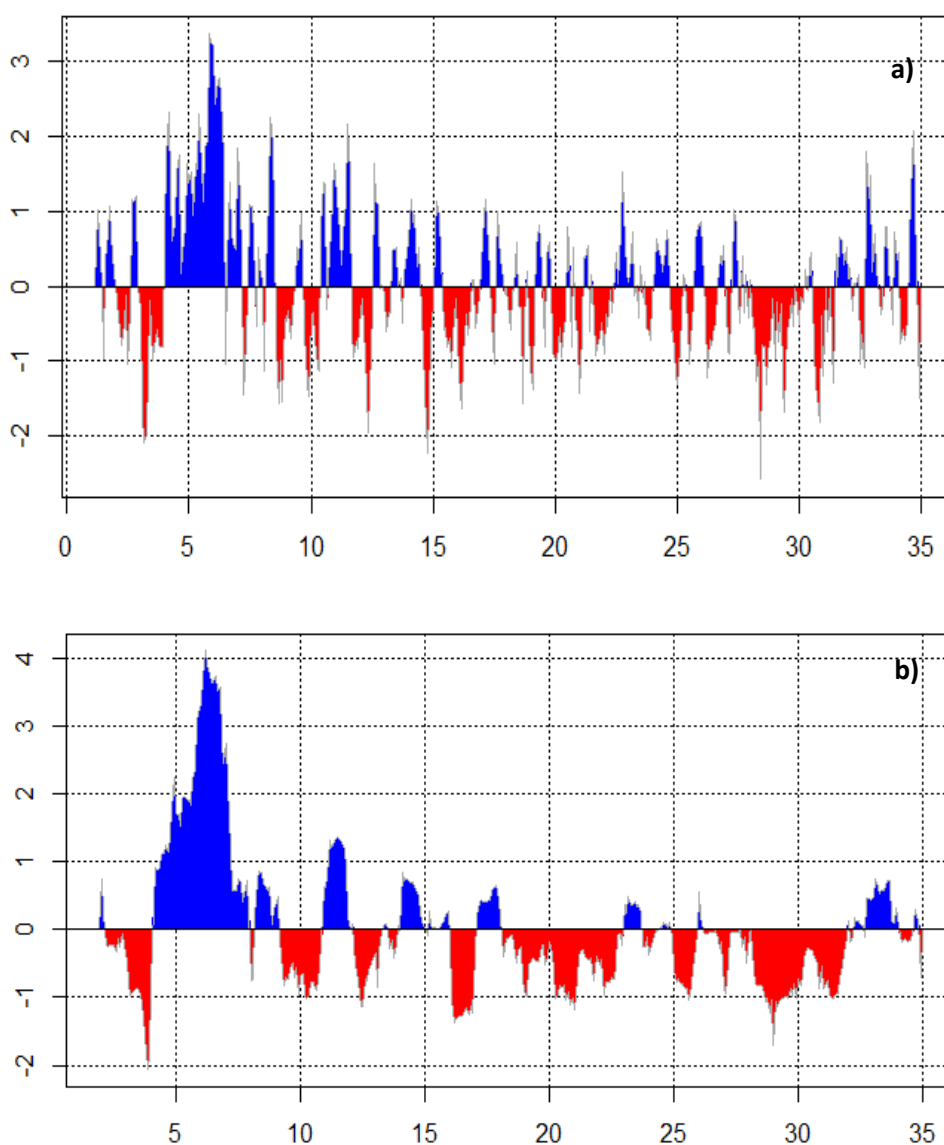


Figura 4.2: SPI estimado para cada estación, para a) 3 meses y b) 12 meses

4.3 Regionalización

La Figura 4.3 muestra el resultado del análisis de clúster en las estaciones de estudio.

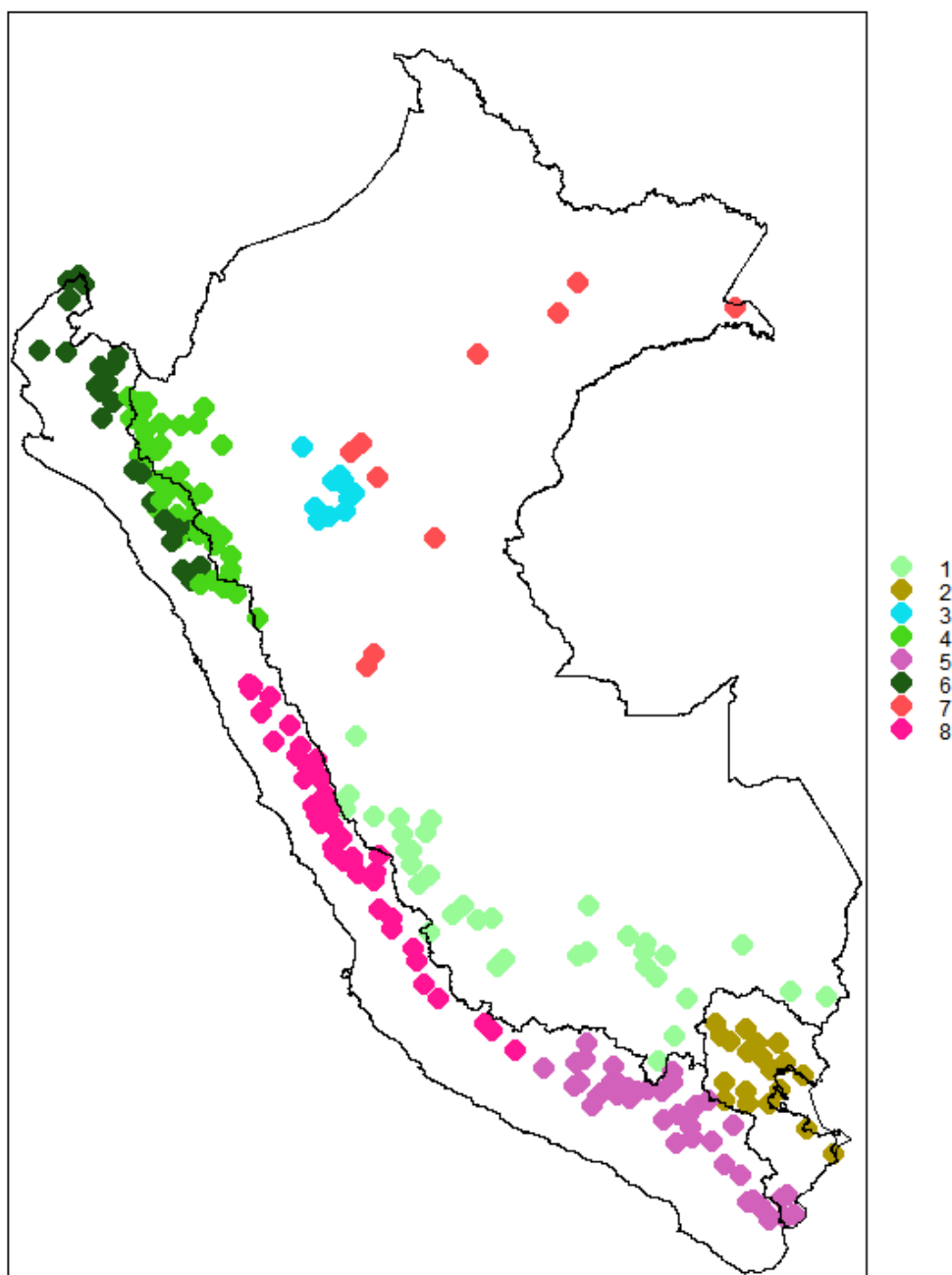


Figura 4.3: Regionalización en base al SPI-12

Asimismo, en la Figura 4.3 se puede apreciar que la regionalización basada en la combinación de las metodologías de clúster y componentes principales da como resultado regiones homogéneas, con una coherente distribución espacial. El resultado de la delimitación de las regiones se muestra en la Figura 4.4, la cual se realizó en base a los polígonos de Thiessen.



Figura 4.4: Regiones Homogéneas de sequías en base al SPI

Cada región delimitada de la Figura 4.4 fue representada con una simbología de dos letras, cuya descripción se detalla a continuación:

- **Región 1-SA:** región que cubre la Selva Alta al sur del Perú
- **Región 2-LT:** región que cubre el Altiplano, en la vertiente del Lago Titicaca
- **Región 3-NS:** región que cubre un núcleo con características diferentes en la selva alta al norte del Perú.
- **Región 4-AN:** región que cubre la divisoria de aguas y la parte alta en el norte de la cuenca amazónica.
- **Región 5-CS:** región que abarca las estaciones de la Costa Sur del país en la vertiente del Pacífico.
- **Región 6-CN:** región que abarca las estaciones de la Costa Norte del país.
- **Región 7-SB:** región que cubre parte de la Selva Baja del país.
- **Región 8-CC:** región que cubre la Costa Central del país.

Cada una de las regiones está caracterizada por un patrón de sequía diferente, como se muestra en la Figura 4.5, en la que resalta la magnitud de los eventos de El Niño con fuerte influencia en la Región 6 y las diferentes configuraciones de los eventos secos entre una región y otra.

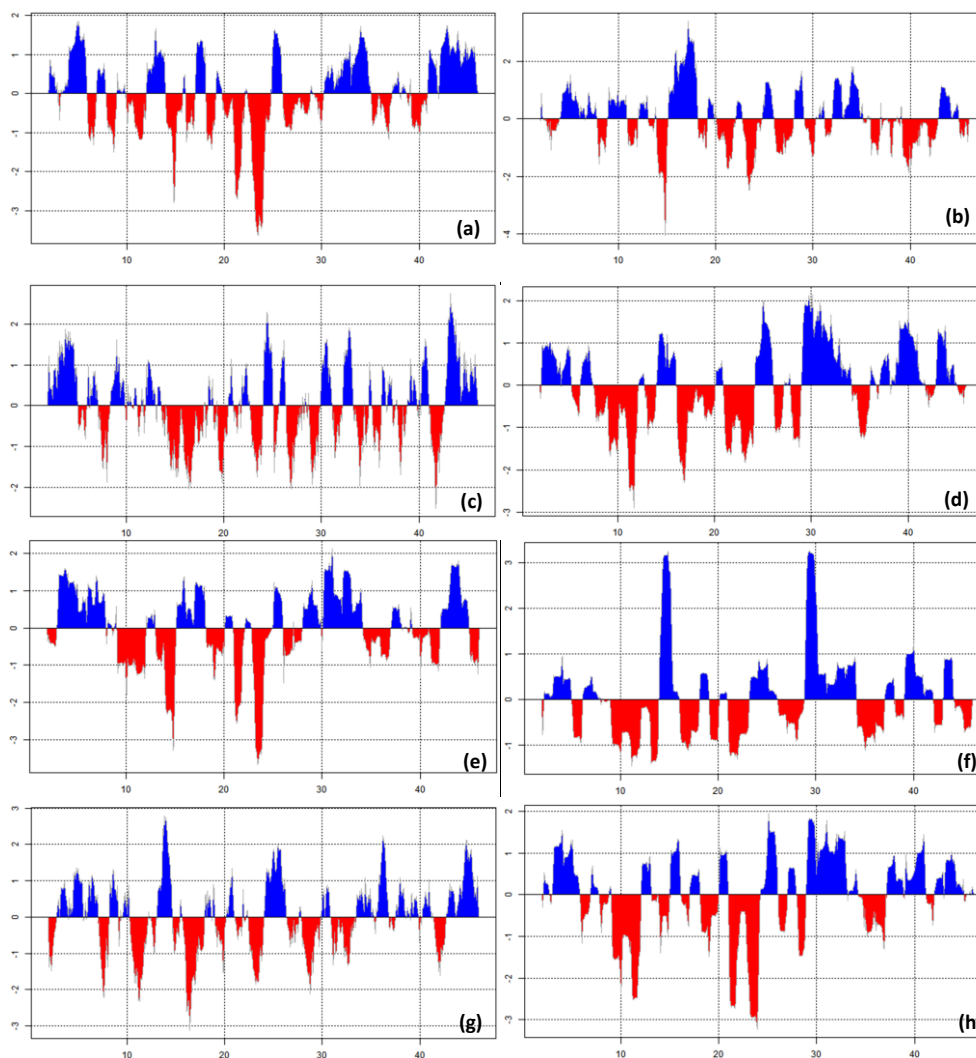


Figura 4.5: SPI-12 de cada región homogénea en relación a las sequías en el Perú. (a) 1-SA, (b) 2-LT, (c) 3- NS, (d) 4-AN, (e) 5-CS, (f) 6-CN, (g) 7-SB, (h) 8 –CC.

4.4. Caracterización de las sequías

4.4.1 Características por estación

Las sequías basadas en el SPI fueron caracterizadas en base a: el número de eventos secos por estación, la duración de los eventos secos, la intensidad y la severidad de los eventos.

En relación al número de eventos secos, en la Figura 4.3 se puede apreciar que las estaciones que presentaron mayor número de eventos secos durante todo el periodo de análisis se encuentran localizadas al sur del país, en la vertiente del Lago Titicaca, algunas al norte del país, en la divisoria de aguas entre la vertiente

del Pacífico y la del atlántico y unas pocas en un núcleo localizado en la selva baja. Asimismo, las estaciones que presentan menor número de eventos secos están en su mayoría localizadas en la vertiente del Pacífico.

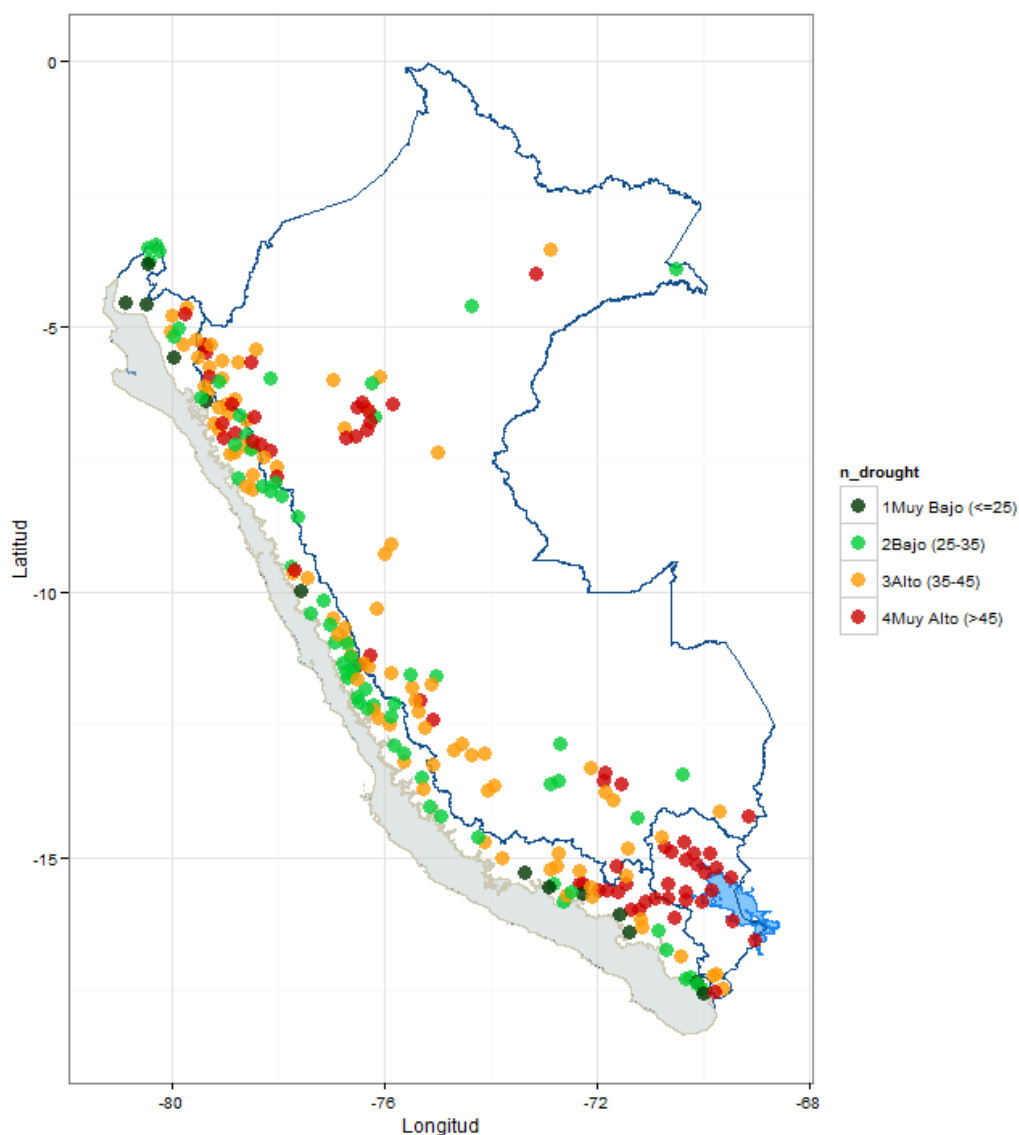


Figura 4.6: Número de eventos secos.

Con respecto a la duración de los eventos secos, la Figura 4.7 muestra una clasificación de las duraciones promedio de los eventos de sequía por estación, en la que se puede apreciar que las duraciones más bajas de los eventos secos están localizadas prioritariamente al sur del país, en la vertiente del Titicaca y algunas al sur de la vertiente del pacífico. Asimismo, se aprecia que en promedio, las mayores duraciones de los eventos secos se dan en las estaciones localizadas en la selva alta y selva baja.

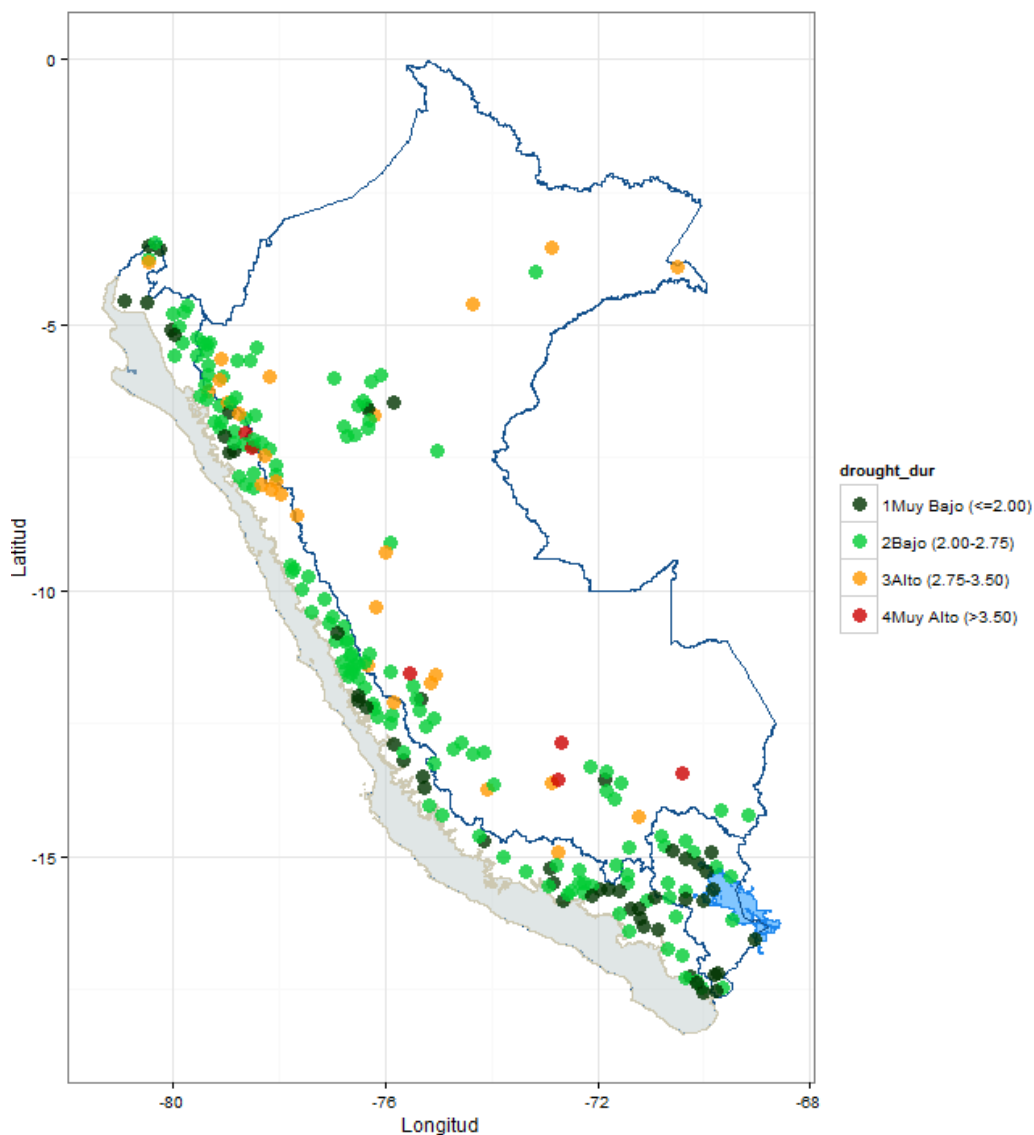


Figura 4.7: Duración de los eventos secos por estación

En relación a la intensidad máxima de eventos secos, en la Figura 4.8, se aprecia que la menor intensidad se da en estaciones localizadas al norte de la vertiente pacífico, en la región influenciada por el fenómeno de El Niño; asimismo, las intensidades de altas a muy altas están prioritariamente localizadas al sur del país en la vertiente del pacífico y en la vertiente del Lago Titicaca.

Finalmente, la Figura 4.9 muestra en conjunto la severidad y duración de los eventos secos, evidenciándose notoriamente la predominancia de menor severidad y duración en el sur del país, tanto en la vertiente del Titicaca como en la del Pacífico; mientras que las mayores severidades y duraciones de los eventos secos se dan en la selva alta al sur del país y cercana a la divisoria de aguas en el noroeste de la vertiente del Amazonas.

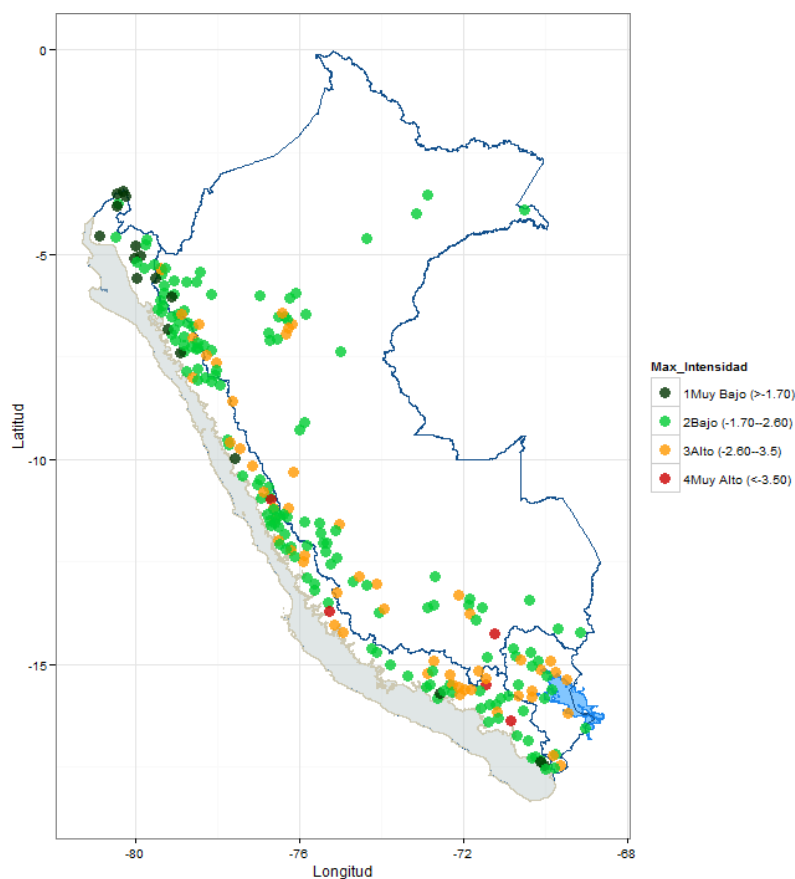


Figura 4.8: Intensidad máxima de eventos secos

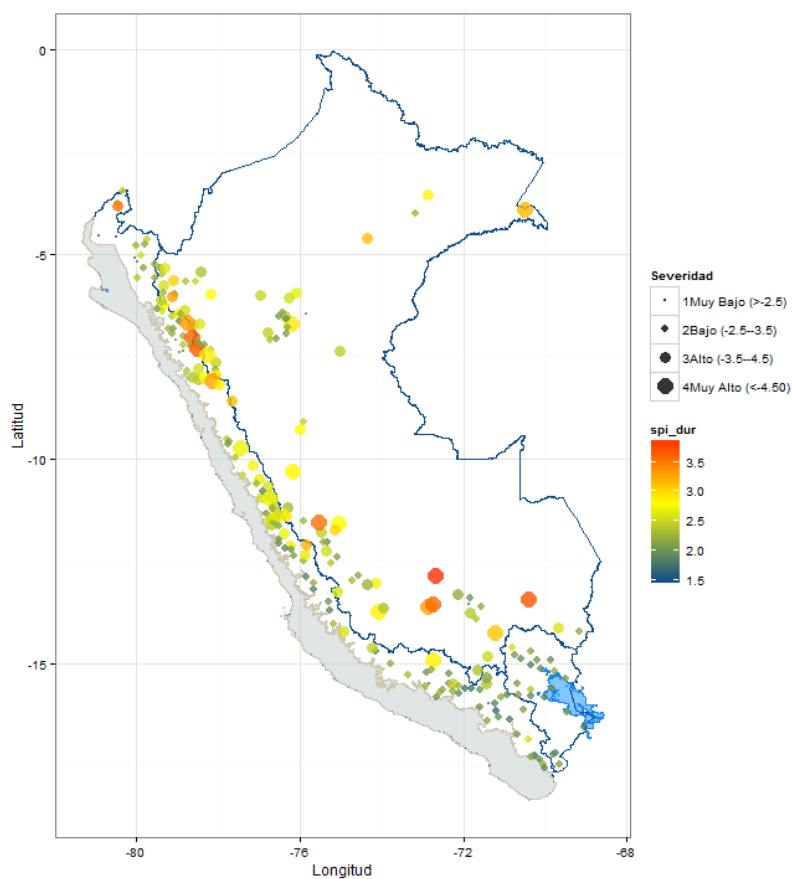


Figura 4.9: Severidad y duración de eventos secos por estación en el Perú

4.4.2 Características por regiones

La Figura 4.10 muestra las tendencias estacionales basadas en el SPI-3 de las series regionales; las regiones en color celeste representan las regiones con tendencias positivas no significativas en relación al SPI, mientras que las áreas en color rosado representan las tendencias negativas no significativas; asimismo, las áreas en color rojo representan tendencias positivas significativas en relación al SPI. En todos los casos basados en los resultados del método de detección de tendencias por Mann-Kendall. Las áreas en color gris corresponden a las zonas con ausencia de una buena densidad de estaciones meteorológicas.

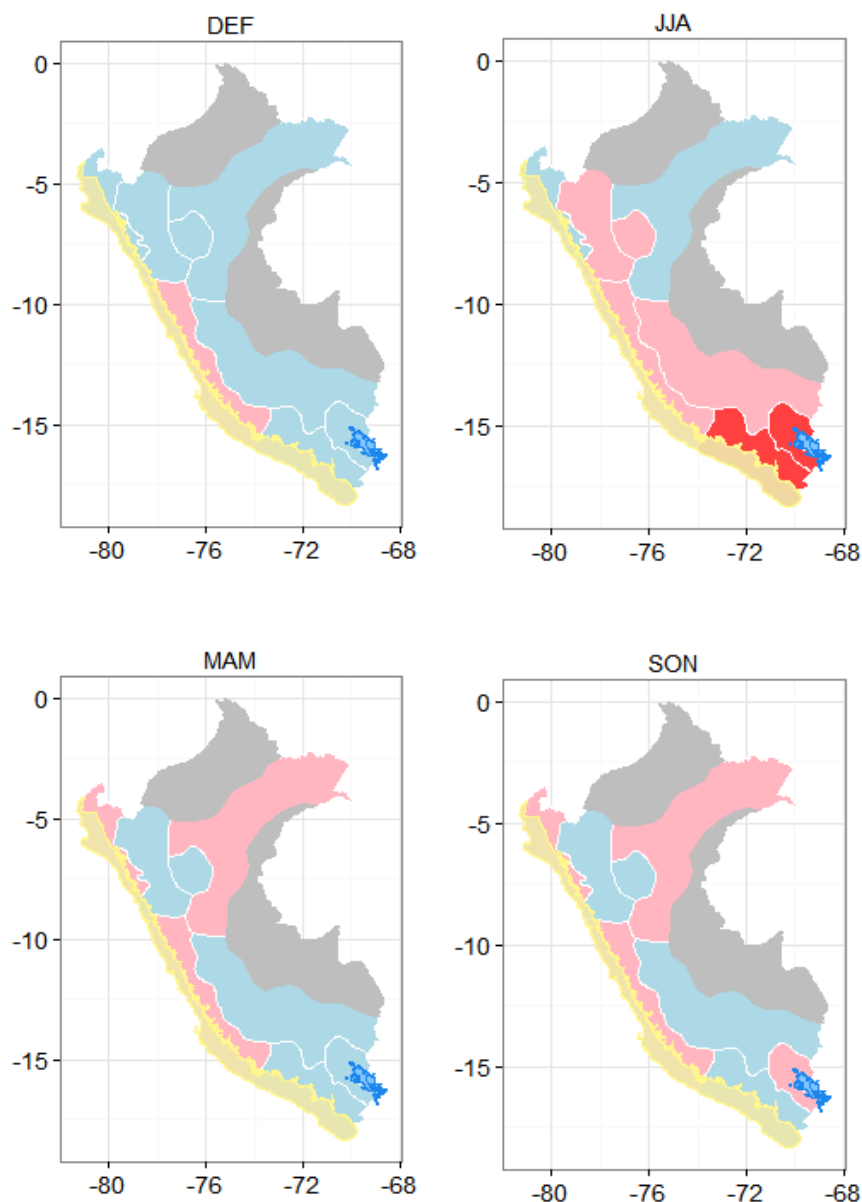


Figura 4.10: Tendencias estacionales de las sequías. El color celeste (rosado) significa tendencia positiva (negativa) y el color azul (rojo) significa tendencia positiva (negativa) significativa. DEF (Diciembre Enero Febrero), MAM (Marzo Abril Mayo), JJA (Junio Julio Agosto), SON (Setiembre Octubre Noviembre)

Los resultados de la figura 4.10 muestran tendencias negativas en el periodo de JJA en la Región 1-SA (Selva Alta) y positivas el resto del año. Tendencias positivas en la Región 6-CN (Costa Norte), en los meses de DEF y JJA, con tendencias negativas el resto del año. La Región 2-LT (Altiplano) muestra tendencias negativas en los periodos de JJA y SON, con énfasis en JJA en el que presenta un fuerte tendencia negativa significativa; el resto del año la tendencia se mantiene positiva. De manera similar, la Región 5-CS (Costa Sur) presenta una fuerte tendencia negativa en el periodo de JJA, a diferencia del resto del año en que la tendencia se mantiene positiva. La Región 7 – SB (Selva Baja) muestra tendencias negativas en el SPI para los periodos de MAM y SON, contrario al resto del año. Finalmente, la Región 8-CC (costa Central) evidencia una tendencia negativa durante todo el año.

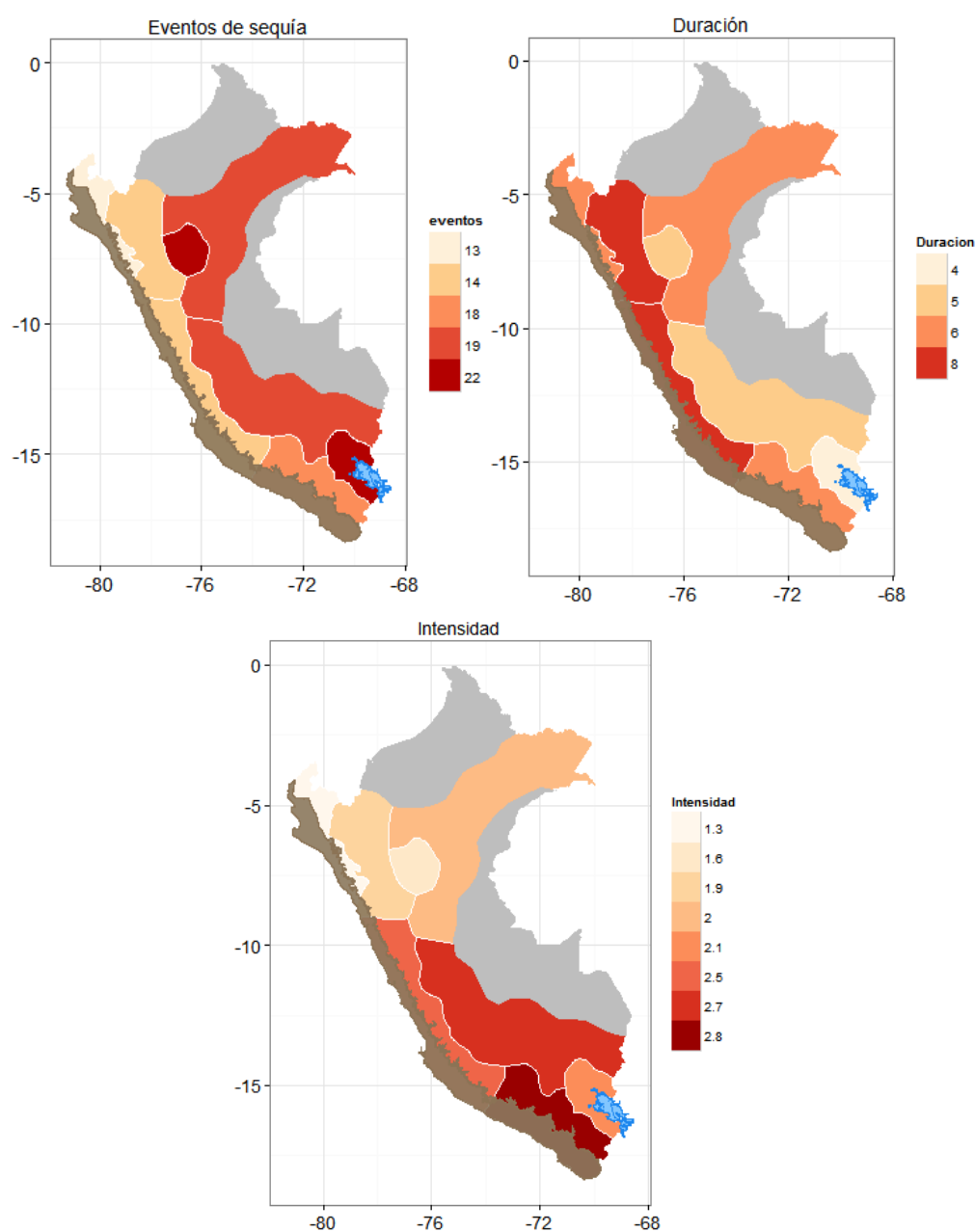


Figura 4.11: Características de las sequías por región homogénea.

En la Figura 4.11 se muestra un análisis de las características de las sequías desde un enfoque regional, teniendo en cuenta en número de eventos secos, la duración y la intensidad máxima. Se puede apreciar que la mayor frecuencia de sequías se da en la región 2-LT, que cubre la zona del Altiplano, seguido de la región 3-NS en la selva alta y las regiones 1-SA y 7-SB; mientras que la región 6 CN es la que menos eventos secos presentó en el periodo de análisis. Asimismo, en relación a la duración de los eventos secos, se aprecia que las mayores duraciones se dan en las regiones 4-AN y 8 – CC, mientras que las menores duraciones se presentan en la región 2-LT (Altiplano). Finalmente, las intensidades máximas de sequías se presentaron en la región 5- CS, seguido de la región 1-SA y la región 8-CC.

V. CONCLUSIONES

En base a los resultados mostrados en el presente estudio, podemos concluir:

- En el Perú existen 8 regiones homogéneas con características particulares en relación a la ocurrencia de sequías, las cuales se encuentran distribuidas espacialmente en las tres vertientes hidrográficas del país.
- Se han caracterizado las sequías en base al SPI-12 (largo plazo), teniendo en cuenta un enfoque por estación y un enfoque regional. Cuyos resultados muestran que en términos de cantidad de eventos, las regiones 2 – LT (Altiplano) y la región NS (Selva alta norte) presentaron el mayor número de eventos secos el país, mientras que la región 6-CN es la que menos eventos secos presentó durante el periodo de análisis. En relación a la duración de las sequías, las regiones que presentaron mayor duración fueron la región 4-AN y 8-CC, pertenecientes a la selva alta norte y la costa central, respectivamente; mientras que las menores duraciones se evidenciaron en la región 2-LT (Altiplano). Finalmente, las mayores intensidades de sequías se han presentado en la costa sur (región 5 –CS) y selva alta norte (región 1-SA).
- A nivel regional se evidenció una tendencia significativa a la intensificación de los eventos de sequía tanto en la costa sur (región 5-CS) como en la región del altiplano (región 2-LT), enfocadas en los periodos de JJA y SON con menor intensidad.
- A nivel nacional, las regiones más susceptibles a incrementar el riesgo de sequías son las regiones de la costa sur (región 5) y el altiplano (región 2), por la mayor frecuencia de eventos secos, con tendencia a una mayor intensidad pero de corta duración; seguido de las regiones correspondientes a la selva alta (región 1-SA) y selva baja (región 7-SB).

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Brando PM, 2010. Seasonal and interannual variability of climate and vegetation indices across the Amazon. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 107:14685-14690
- Brando*, P.M., J.K. Balch*, D.C. Nepstad*, D.C. Morton, F.E. Putz, M.T. Coe, D. Silvério, M.N. Macedo, E.A. Davidson, C. Nóbrega, A. Alencar, B. Soares-Filho. 2014. "Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 6347-6352.
- Espinoza J., Ronchail J., Variabilidad espacio-temporal de las lluvias en la cuenca amazónica y su relación con la variabilidad hidrológica regional. Un enfoque particular sobre la región andina
- Filipe J., Portela M., Pulido-Calvo I., 2011. Regional Frequency Analysis of Droughts in Portugal. *Water Resour Manage* 25: 3537–3558.
- INEI, 2014. Estado de la Población Peruana 2014, Lima, Perú.
- Lavado W., Labat D., Ronchail J., Espinoza J.C., Guyot J.L, 2012. Trends in rainfall and temperatura in the Peruvian Amazon-Andes basin over the last 40 years (1965-2007). *Hydrological Processes*
- Mantua, N.J., Hare, S.R., 2002. The Pacific Decadal Oscillation. *J. Oceanogr.* 58, 35–44. doi:10.1023/A:1015820616384.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Anaheim, CA*, pp 179-184.
- Trenberth et al.,2014. Global warming and changes in drought *Nature Climate Change* 4, 17-22; doi:10.1038/nclimate2067.
- Vicente-Serrano S. M., Beguería S., López-Moreno J.I. A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index *Journal of Climate*, 23 (7) (2010), pp. 1696–1718
- Vicente-Serrano S.M., Chura O., López-Moreno J.I., Azorin-Molina C., Sánchez-Lorenzo A., Aguilar E., Moran-Tejeda E., Trujillo F., Martínez R. & Nieto J.J., 2014. Spatio-temporal variability of droughts in Bolivia: 1955-2012.
- Wells N., Goddard S., Hayes M.J. A self-calibrating Palmer drought severity index. *Journal of Climate*, 17 (12) (2004), pp. 2335–2351 [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<2335:ASPDSI>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<2335:ASPDSI>2.0.CO;2)