

ORIENTACIONES PARA EL ANÁLISIS DEL CLIMA Y DETERMINACIÓN DE LOS PELIGROS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

Nota Técnica N° 001-2019/SENAMHI/DMA

SENAMHI-Perú

Elaborado por:

K. Correa¹, G. Avalos¹, F. Cubas¹
G. De la Cruz², A. Díaz²

Contribuciones:

K. Takahashi³, C. Oria⁴, E. Villegas⁴, A. Llacza², D. Acuña², G. Jácome², W. Flores²

¹ Subdirección de Predicción Climática del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

² Subdirección de Modelamiento Numérico del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

³ Presidencia Ejecutiva del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

⁴ Subdirección de Gestión de Datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Contribución y revisión de la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación del Ministerio del Ambiente
MINAM

Marzo 2020

Recomendación: Los links citados en esta Nota Técnica deben ser visualizados a través del navegador Google Chrome.

Contenido

I.	CONTEXTO	2
II.	OBJETIVOS	3
III.	DEFINICIONES BÁSICAS.....	4
	3.1 CLIMA, VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO	4
	3.1.1 CLIMA	4
	3.1.2 VARIABILIDAD CLIMÁTICA	8
	3.1.3 CAMBIO CLIMÁTICO	8
	3.1.4 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	8
	3.1.5 SISTEMA CLIMÁTICO	9
IV.	PELIGROS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	10
V.	PROCEDIMIENTOS PARA LA EVALUACION DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	14
	5.1 ANÁLISIS DEL CLIMA ACTUAL	15
	5.1.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	15
	5.2 ANÁLISIS DEL CLIMA FUTURO	18
	5.2.1 ESCENARIOS REGIONALIZADOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	20
	5.2.2 ÍNDICES DE EXTREMOS EN EL CLIMA FUTURO.....	21
VI.	PRODUCTOS Y/O SERVICIOS DE INFORMACIÓN PARA ANALISIS DEL CLIMA ACTUAL y EL CAMBIO CLIMATICO	22
VII.	REFERENCIAS	27

PELIGROS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

I. CONTEXTO

El desarrollo sostenible de un país principalmente entre aquellos denominados “en desarrollo” puede verse limitado debido a cambios graduales del clima y eventos hidrometeorológicos extremos, que afectan de manera recurrente la infraestructura y medios de vida así como las inversiones.

El Perú, a nivel mundial es uno de los países más afectados por la variabilidad y cambio climático, por tanto la incorporación de acciones o estrategias relacionadas a la gestión del riesgo climático y la implementación de medidas de adaptación por los tres niveles del Estado, sector privado, sociedad civil organizada, pueblos indígenas, academia, entre otros actores estatales y no estatales en cumplimiento con la Ley Marco Sobre Cambio Climático (Ley N° 30754), contribuyen sustancialmente a la creación y/o fortalecimiento de capacidades nacionales para la gestión del clima, así como, para reducir los impactos socio-económicos y ambientales del clima extremo en las inversiones público-privadas del estado.

Por otro lado, el acceso y uso de la información para dichos fines pueden verse limitado debido al poco conocimiento del usuario sobre el alcance y disponibilidad de los productos y servicios de información climática; la documentación disponible es extremadamente técnica y poco comprensible, los limitados espacios de interacción entre los generadores de la información técnica-científica y los usuarios, o que la información disponible no se adecua a las necesidades reales de información del usuario, entre otros; por tanto, el presente documento técnico brinda información sobre las definiciones básicas relacionadas al clima, la variabilidad climática y cambio climático, descripción de los productos y servicios que genera el SENAMHI y su potencial aplicación, así como los links de acceso a información generada en diferentes escalas territoriales. Se ha organizado el documento en tres ítems generales: 1) *Características del clima actual en el área de estudio*, 2) *Señales o evidencias de la incidencia de los peligros asociados al cambio climático (frecuencia, intensidad y duración)*, 3) *Potenciales características del clima futuro con cierto grado de incertidumbre a efectos de realizar el análisis de riesgos climáticos*.

Lo ideal es que los usuarios de esta información puedan acceder a bases de datos e información existentes ya generada por el SENAMHI, y/o reciba orientaciones para complementar dicha información con percepciones de los actores locales, incluyendo, por ejemplo, indicadores biológicos del clima. Al respecto, el SENAMHI ha implementado un piloto denominado “prototipo de pronóstico meteorológico

conjunto” con comunidades altoandinas de Cusco y Puno con el propósito de interaccionar los conocimientos científicos y empíricos para gestionar mejor los riesgos ante eventos extremos del tiempo y el clima en los territorios de las comunidades vulnerables; esto incluye la observación conjunta de las características físicas de la atmósfera a través de instrumentos meteorológicos y observaciones e indicadores biológicos¹, alineando el accionar del Servicio a políticas públicas con enfoque intercultural como estrategia de adaptación frente al cambio climático².

Por otro lado, otras herramientas participativas como las descritas en la octava publicación de la Serie Sistema Nacional de Inversión Pública y la Gestión del Riesgo de Desastres³, las mismas que podrían ser replicadas con usuarios de diferentes sectores, se trabajan directamente con la población involucrada mediante talleres, los cuales son útiles para recoger de manera sistemática la percepción y los conocimientos locales, permitiendo comprender mejor el comportamiento de los peligros, el clima y los riesgos a nivel local, y así reducir la incertidumbre respecto al impacto del cambio climático sobre el bienestar de la población.

II. OBJETIVOS

- ✓ Brindar un marco conceptual que oriente el análisis del clima y la determinación de los peligros hidrometeorológicos y ambientales asociados al cambio climático.
- ✓ Determinar los peligros hidrometeorológicos asociados a los cambios en el promedio del clima y de la variabilidad climática como parte del clima actual y futuro.
- ✓ Describir las herramientas y/o los procedimientos para la caracterización del clima actual y futuro a nivel local, regional y nacional en el marco de la implementación de medidas de adaptación al cambio climático, proyectos de intervención, programas presupuestales u otros.

¹ Willay: Midiendo el tiempo sin instrumentos. Disponible en:

<https://www.senamhi.gob.pe/climandes/index.php/home/publicaciones>

² Premio Nacional “Buenas Prácticas Interculturales en Gestión Pública: la diversidad es lo nuestro” – categoría Servicios Públicos. Video disponible en: <http://www.cultura.gob.pe/concursosbpi/node/19>

³ https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD006_2015/Orientaciones-para-aplicar-Herramientas-Participativas-en-PIP.pdf

III. DEFINICIONES BÁSICAS

3.1 CLIMA, VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO

3.1.1 CLIMA

Síntesis de las condiciones meteorológicas en un lugar determinado, caracterizada por estadísticas⁴ a largo plazo⁵ de los elementos meteorológicos⁶ en dicho lugar (WMO-N°385)⁷.

3.1.1.1 CLIMA ACTUAL

Esta definición es empleada dentro del concepto de vigilancia y monitoreo operativo del clima, para lo cual se estiman las “normales climatológicas reglamentarias”⁸ las cuales se definen como los valores medios de los datos climatológicos calculados para periodos consecutivos de 30 años actualizables cada 10 años⁹. Según el Reglamento Técnico de la OMM (OMM-N° 49) el periodo 1981-2010 es el periodo oficial para la estimación de las normales climatológicas reglamentarias actuales.

También en virtud del mismo Reglamento Técnico de la OMM, en reconocimiento de la necesidad de establecer una línea de base estable para la evaluación a largo plazo del cambio climático y de la variabilidad del clima, se define **un período de referencia fijo** como el período de 30 años que abarca del 1 de enero de 1961 al 31 de diciembre 1990. Este **período de referencia reglamentario** (1961-1990) debe utilizarse para comparar el cambio climático y la variabilidad del clima en todos los países. Permanecerá fijo para siempre o hasta que exista un motivo científico convincente para cambiarlo. Sin embargo, dado que varios países no cuentan con observaciones meteorológicas completas e

⁴ media o promedio y su variabilidad de 30 años.

⁵ varía de meses a miles de millones de años.

⁶ temperatura, precipitación, vientos, entre otras.

⁷ Glosario Hidrológico Internacional WMO-N°385. Disponible en:

http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf

⁸ Reglamento Técnico Documentos fundamentales N°2, Vol. I – Normas meteorológicas de carácter general y prácticas recomendadas. Edición 2019. OMM-N°49. Disponible en:

https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10115

⁹ El siguiente periodo de referencia de las normales climatológicas reglamentarias será 1991-2020, y así sucesivamente.

ininterrumpidas durante dicho periodo (Perú entre ellos)¹⁰ y por ser el periodo más próximo al periodo de referencia reglamentario (1961-1990), se considera el periodo 1971-2000 como el periodo base para comparar cambios de largo plazo del clima.

Cabe resaltar que las normales climáticas cumplen dos funciones principales: por un lado, permiten predecir de forma implícita las condiciones que es más probable que se produzcan en un futuro próximo en cualquier ubicación dada y, por otro, constituyen una referencia estable con la que comparar cambios a largo plazo en las observaciones climáticas.

Observación:

Un término asociado al clima, es la **“Normal Climatológica Reglamentaria”**, que consiste en el promedio de los datos climatológicos (Ej. lluvias y temperaturas) calculado para un periodo consecutivo de 30 años y cuya actualización es cada 10 años. El periodo vigente para estimar estas **“normales” con fines de Vigilancia y Monitoreo operativo del clima¹¹ es 1981-2010** (OMM-N° 1203, 2017; OMM-N°49, 2017)¹². Por otro lado, para el propósito específico de la **Vigilancia del Cambio Climático y Variabilidad Climática el período de referencia fijo es 1961-1990** (OMM-N° 1137, 2014; OMM – N° 49, 2019)¹³; sin embargo, debido al limitado registro de datos en las estaciones meteorológicas del Perú durante la década de los años sesenta, los estudios sobre cambios de largo plazo del clima desarrollados por el SENAMHI consideran como periodo de referencia fijo a **1971-2000**. Ver Tabla1.

¹⁰ El mayor número de estaciones meteorológicas que administra el SENAMHI a nivel nacional fueron instaladas en el año 1964, en el marco de un programa de asistencia técnica con la Cooperación Alemana.

¹¹ Por ejemplo, para la elaboración de mapas climáticos mensuales y estacionales, así como la predicción climática estacional.

¹² Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4167

¹³ Comisión de Climatología: Decimosexta reunión. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5563
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10115

Tabla 1. Periodos de referencia reglamentarios para la “vigilancia y monitoreo operativo del clima” y para la “vigilancia del cambio climático”.

Periodo		Fuente
Periodo de referencia para la vigilancia y monitoreo operativo del clima (clima actual)	1981-2010	<ul style="list-style-type: none"> - Nuevo enfoque de dos niveles para las “normales climatológicas” Disponible en: https://public.wmo.int/es/media/news/nuevo-enfoque-de-dos-niveles-para-las-%E2%80%9Cnormales-climatol%C3%B3gicas%E2%80%9D
Periodo de referencia o línea base para la vigilancia del cambio climático	1961-1990 (Recomendación según la OMM y el IPCC); sin embargo, para el Perú se utiliza el periodo 1971-2000 por lo explicado en el recuadro de la “observación” del ítem 3.1.1.1 clima actual.	<ul style="list-style-type: none"> - Normales Climatológicas OMM Disponible en: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_1.php - Reglamento Técnico Documentos fundamentales N°2, Vol. I – Normas meteorológicas de carácter general y prácticas recomendadas. Edición 2019. OMM-N°49. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10115 - Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. WCDMP-Nº. 61 OMM-TD Nº. 1377 Ginebra, 2007 Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4549 - Comisión de Climatología- Decimosexta reunión Heidelberg, 2014. OMM-N°1137 Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5563 - Glosario IPCC, 2013 Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf

NOTA: Abrir todos los links en el navegador de Google Chrome.

El SENAMHI, de acuerdo a estos lineamientos, ha realizado varios estudios sobre la evolución de largo plazo del clima en el Perú, generando el diagnóstico de la base climática para el periodo de referencia 1971-2000 con la finalidad de caracterizar el clima actual y estimar la tasa de cambio de las lluvias y temperaturas del aire en los próximos 30 o 50 años, estudios que han sido referenciados por el Ministerio del Ambiente y otros sectores, tales como la Segunda y Tercera Comunicación Nacional, Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire (PROCLIM), Proyecto Regional Andino de Adaptación al Cambio Climático/ Adaptación al impacto del retroceso acelerado de glaciares en los Andes tropicales (PRAA), Programa de Adaptación al Cambio Climático (PACC) y Evaluación de los impactos del cambio climático y mapeo de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria bajo el cambio climático para reforzar la seguridad alimentaria con enfoques de adaptación de los medios de subsistencia (AMICAF).

Nota: El periodo de referencia para los estudios de cambio climático en el Perú es de 1971-2000, el cual está más próximo al periodo de referencia reglamentario (1961-1990) y además por contar con el mayor número de estaciones meteorológicas que administra el SENAMHI a nivel nacional las cuales fueron instaladas, en su mayoría, a partir del año 1964, en el marco de un programa de asistencia técnica con la Cooperación Alemana.

3.1.1.2 CLIMA FUTURO

En este documento de orientación, el término clima futuro se acota al concepto de cambio climático, el mismo que hace referencia a las condiciones del clima en los próximos años (30, 50, etc) considerando diferentes escenarios de concentraciones atmosféricas de los Gases de Efecto Invernadero (Ej. Escenarios de Cambio Climático al 2050).

Por otro lado, utilizando la metodología de Warren Thornthwaite el SENAMHI (1988)¹⁴ ha estimado que el Perú tiene **27 tipos de climas**¹⁵, habiéndose calculado índices de temperaturas del aire y precipitación, incluyéndose además, la humedad del aire. De acuerdo a esta clasificación el Perú posee climas que van desde el desierto árido en la costa,

¹⁴ El SENAMHI viene realizando la actualización del Mapa de Clasificación Climática considerando el periodo 1981-2010, es decir, 30 años de información climática.

¹⁵ Mapa de clasificación climática del Perú. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>

pasando por climas templados, fríos en la Puna andina y cálidos en los valles interandinos, hasta los tipos cálidos y lluviosos en la selva.

3.1.2 VARIABILIDAD CLIMÁTICA

De acuerdo al IPCC, 2007 y 2013, el concepto de variabilidad climática hace referencia a las variaciones del estado medio y a otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc) del clima en todas las escalas temporales y espaciales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa).

3.1.3 CAMBIO CLIMÁTICO

Un cambio en el estado del clima es identificado por cambios en el valor medio de sus propiedades y/o por la variabilidad de las mismas, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra (IPCC, 2012).

3.1.4 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Representación plausible y en ocasiones simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherente definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico, y que puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto. Las proyecciones climáticas suelen utilizarse como punto de partida para definir escenarios climáticos, aunque éstos requieren habitualmente información adicional, por ejemplo sobre el clima actual observado. Un escenario de cambio climático es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual (IPCC, 2013).

Nota: El SENAMHI es la institución técnica encargada de brindar información climática y lineamientos sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales (Reglamento de Ley Marco 30754 sobre Cambio climático), los que constituyen información base para la generación de estudios sobre cambio climático a nivel regional y/o local.

3.1.5 SISTEMA CLIMÁTICO

De acuerdo a la OMM, 2011¹⁶, El Sistema climático es un conjunto interactivo y complejo constituido por: **la atmósfera** que es la capa gaseosa que envuelve a la tierra; **la hidrósfera** que comprende el agua líquida distribuida sobre y bajo la superficie de la tierra (océanos, mares, ríos lagos de agua dulce, embalses subterráneos y otras masas de agua); **la criósfera** comprende los elementos que contienen agua en estado de congelación e incluye toda la nieve y el hielo (hielo marino, hielos de lagos y ríos, cubierta de nieve, precipitación sólida, glaciares, casquetes de hielo, capas de hielo, permafrost y suelo congelado estacionalmente); **la litósfera**, capa superiores de la parte sólida de la tierra que comprende tanto la corteza continental como los fondos marinos; y **la biósfera** que engloba todos los ecosistemas y organismos vivos presentes en la atmósfera, en tierra firme (biósfera terrestre) y en los océanos (biósfera marina), incluida la materia orgánica muerta resultante de ellos, como restos, materia orgánica del suelo o desechos oceánicos.

Bajo los efectos de la radiación solar y las propiedades radiativas de la superficie, el clima de la Tierra está determinado por las interacciones que se producen entre los componentes del sistema climático. La interacción de la atmósfera con los demás componentes desempeña un papel importante en la conformación del clima.

¹⁶ Guía de Prácticas Climatológicas OMM-N° 100. Disponible en:
http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf

IV. PELIGROS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

Se entiende como peligro a la ocurrencia potencial de un evento o tendencia física de origen natural o humano, o un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales. En este contexto, el peligro se refiere generalmente a sucesos o tendencias relacionados con el clima o los impactos físicos de este (IPCC, 2014).

Los peligros de origen hidrometeorológico relacionados al cambio climático están asociados a los cambios en los promedios del clima y alteración de la variabilidad climática los cuales requieren ser medidos a través de índices de eventos extremos y sus tendencias, validados y usados en la comunidad científica (entre los cuales destacan los que fueron establecidos por el Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI)¹⁷); pero también estos pueden ser complementados con el apoyo del conocimiento local y empírico del clima en una zona determinada.

Un clima cambiante produce cambios en la frecuencia, la intensidad, la extensión espacial y la duración de los fenómenos meteorológicos¹⁸ y climáticos¹⁹ extremos, y puede dar lugar a eventos extremos sin precedentes. Algunos fenómenos climáticos extremos (por ejemplo, las sequías) pueden ser el resultado de una acumulación de fenómenos meteorológicos o climáticos que no son extremos, si se consideran por separado. Muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos son el resultado de la variabilidad natural del clima. La variabilidad natural seguirá siendo un factor determinante de los fenómenos climáticos extremos en el futuro, además de los efectos de los cambios antropogénicos del clima. Así mismo, los cambios en los fenómenos climáticos extremos pueden ser asociados a cambios en la media (o promedio que es una medida de tendencia central), varianza (medida de dispersión) o forma (relacionada a la simetría de la curva) de las distribuciones de probabilidad o todas ellas a la vez (IPCC, 2012). En ese sentido, como un primer nivel de aproximación a la clasificación de los peligros asociados al cambio climático, se tiene la siguiente clasificación:

¹⁷ http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml

¹⁸ Tiempo: Condiciones meteorológicas instantáneas del estado de la atmósfera durante horas o días como: Heladas, friajes, lluvias intensas, etc.

¹⁹ Clima: Condiciones climáticas promedio durante meses o años como: El Niño/La Niña, sequías, etc.

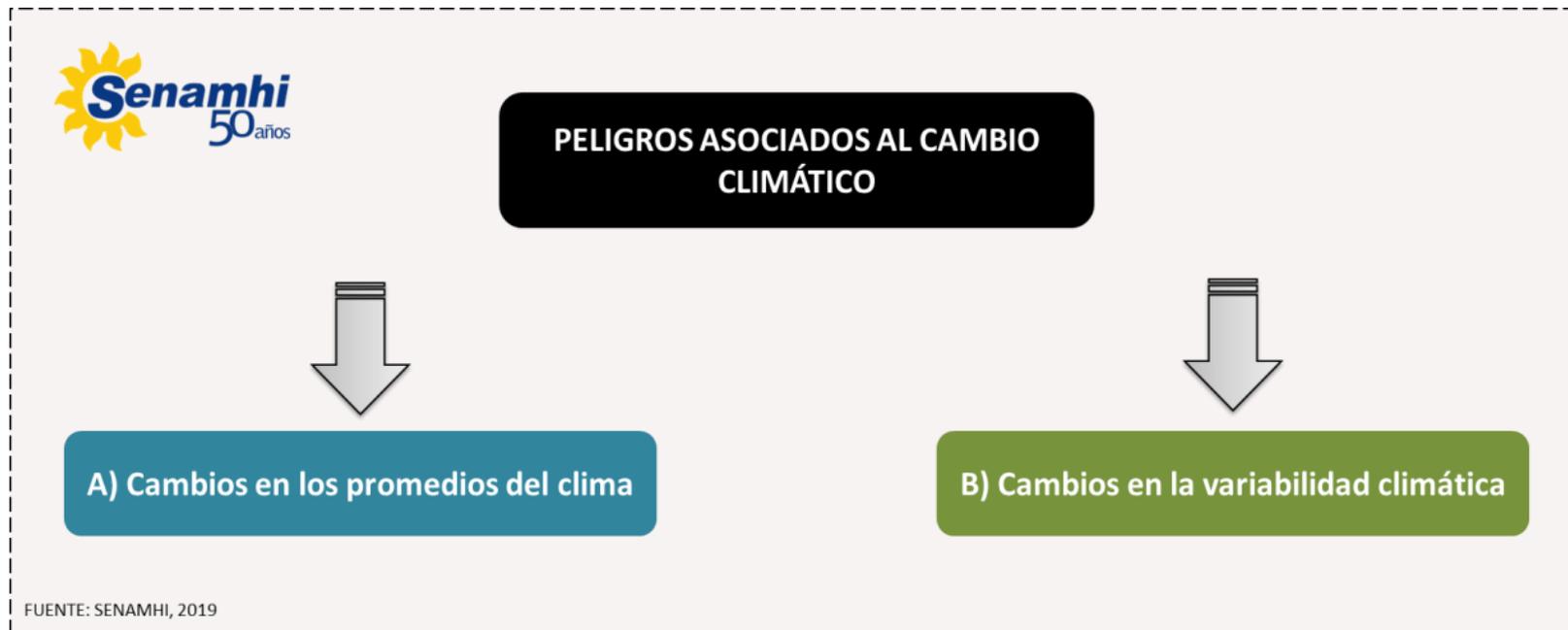


Figura 01. Peligros asociados al cambio climático

Nota: El Cambio Climático condicionará una variabilidad climática exacerbada (“variabilidad climática aumentada”) con una mayor frecuencia, intensidad y/o duración en el tiempo de los eventos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos.

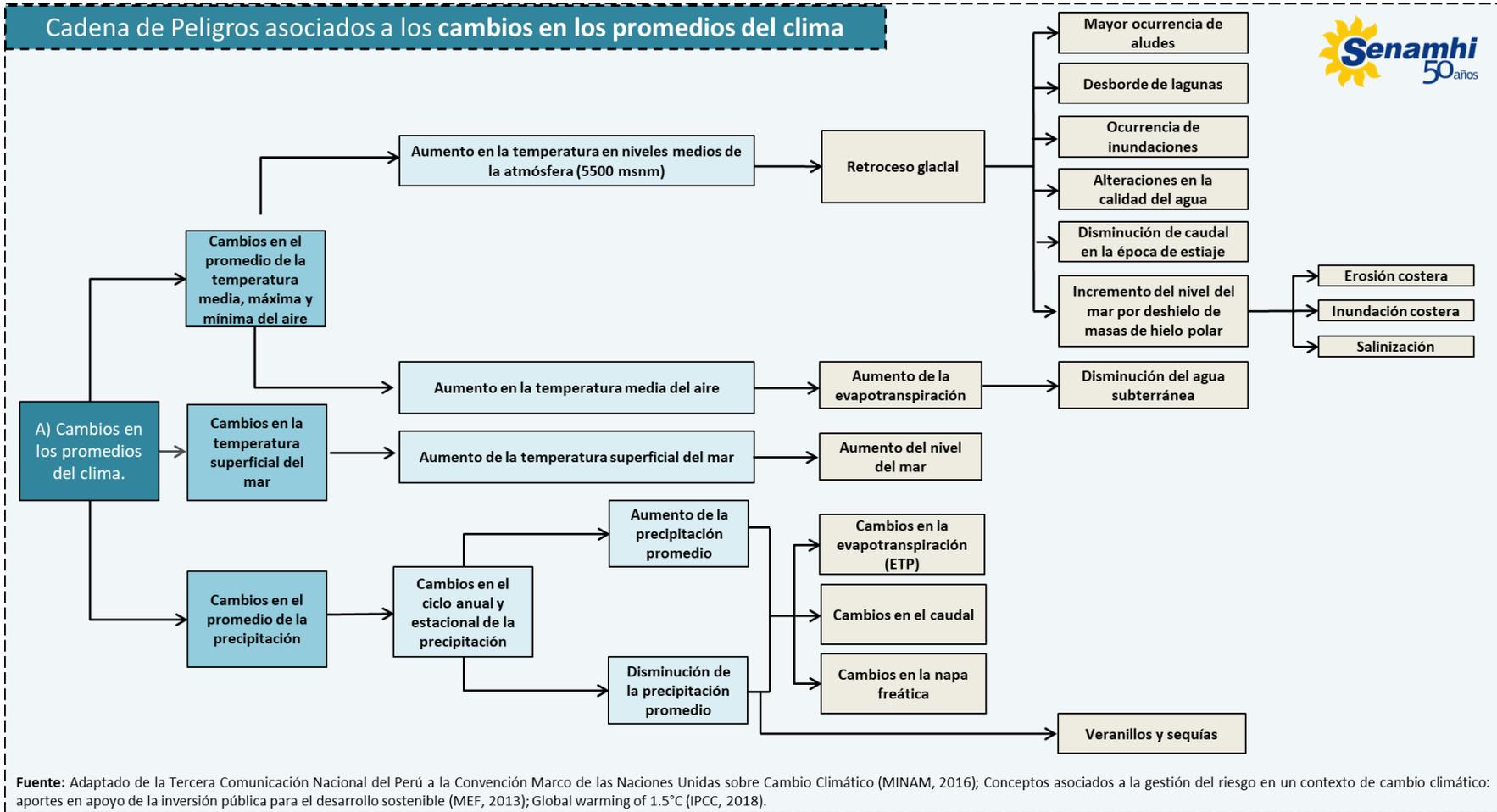


Figura 02. Cadena de peligros asociados a los cambios en los promedios del clima.

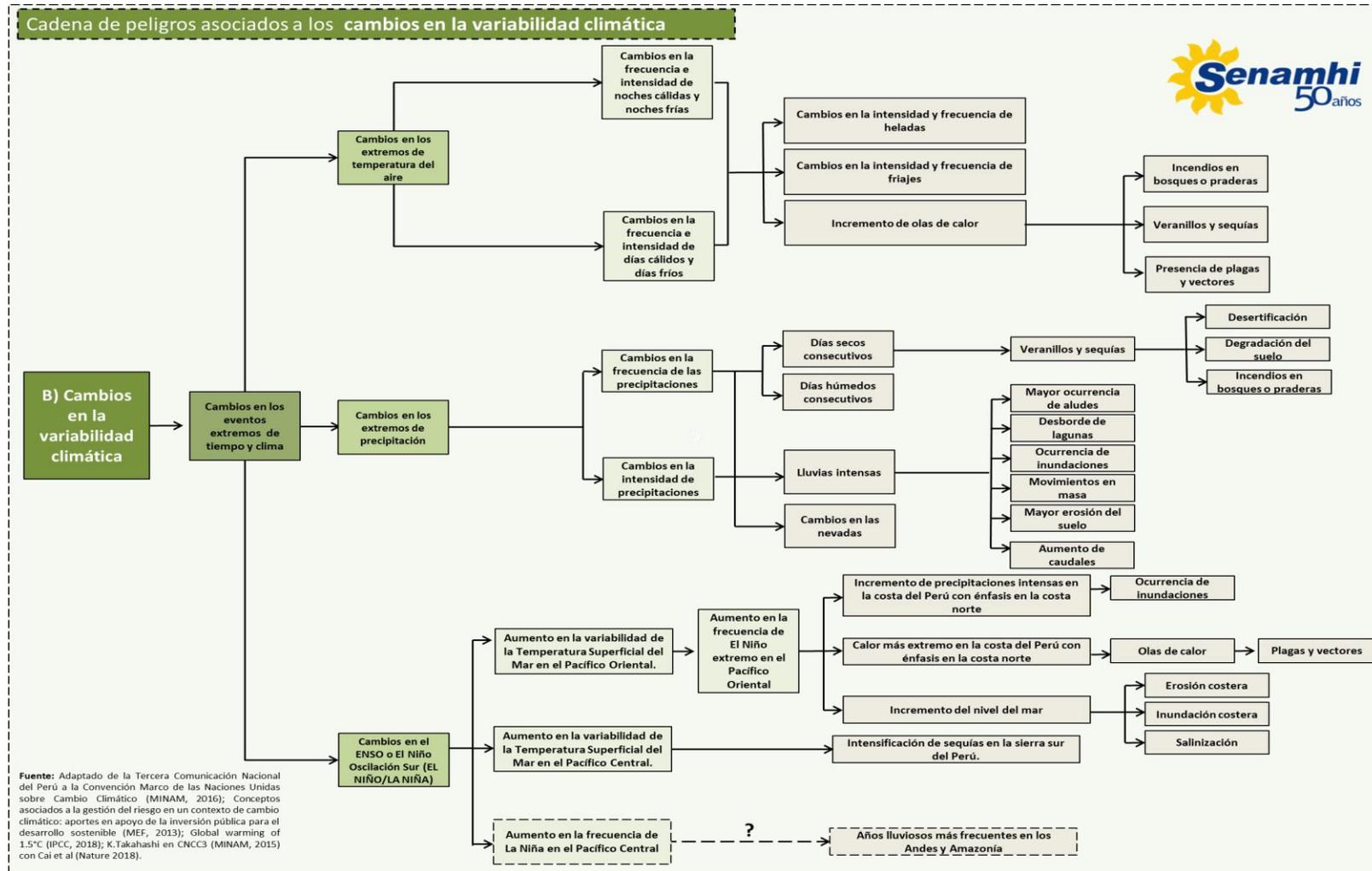


Figura 03. Cadena de peligros asociados a los cambios en la variabilidad climática.

Nota:

El Friaie es un evento extremo asociado a la disminución brusca de la temperatura del aire en la Amazonía, asociado al ingreso de una masa de aire frío procedente del sur del continente. Una vez que el aire frío ingresa a la selva sur (Madre de Dios), se desplaza progresivamente hacia la selva central y selva norte generando a su paso incrementos de la velocidad del viento y lluvias, pero sobre todo descensos repentinos y significativos de la temperatura del aire. Por otro lado, los friajes suelen presentarse con mayor frecuencia entre los meses de mayo a octubre; sin embargo, se han registrado casos aislados durante el verano.

Las heladas meteorológicas son aquellas temperaturas del aire con valores iguales o menores a los 0°C. Son frecuentes sobre 3000 msnm principalmente entre los meses de mayo a octubre. Adaptado del glosario de términos meteorológicos (SENAMHI, 2018).

V. PROCEDIMIENTOS PARA LA EVALUACION DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Para el análisis de clima actual y futuro se debe tener en consideración las siguientes herramientas e información:

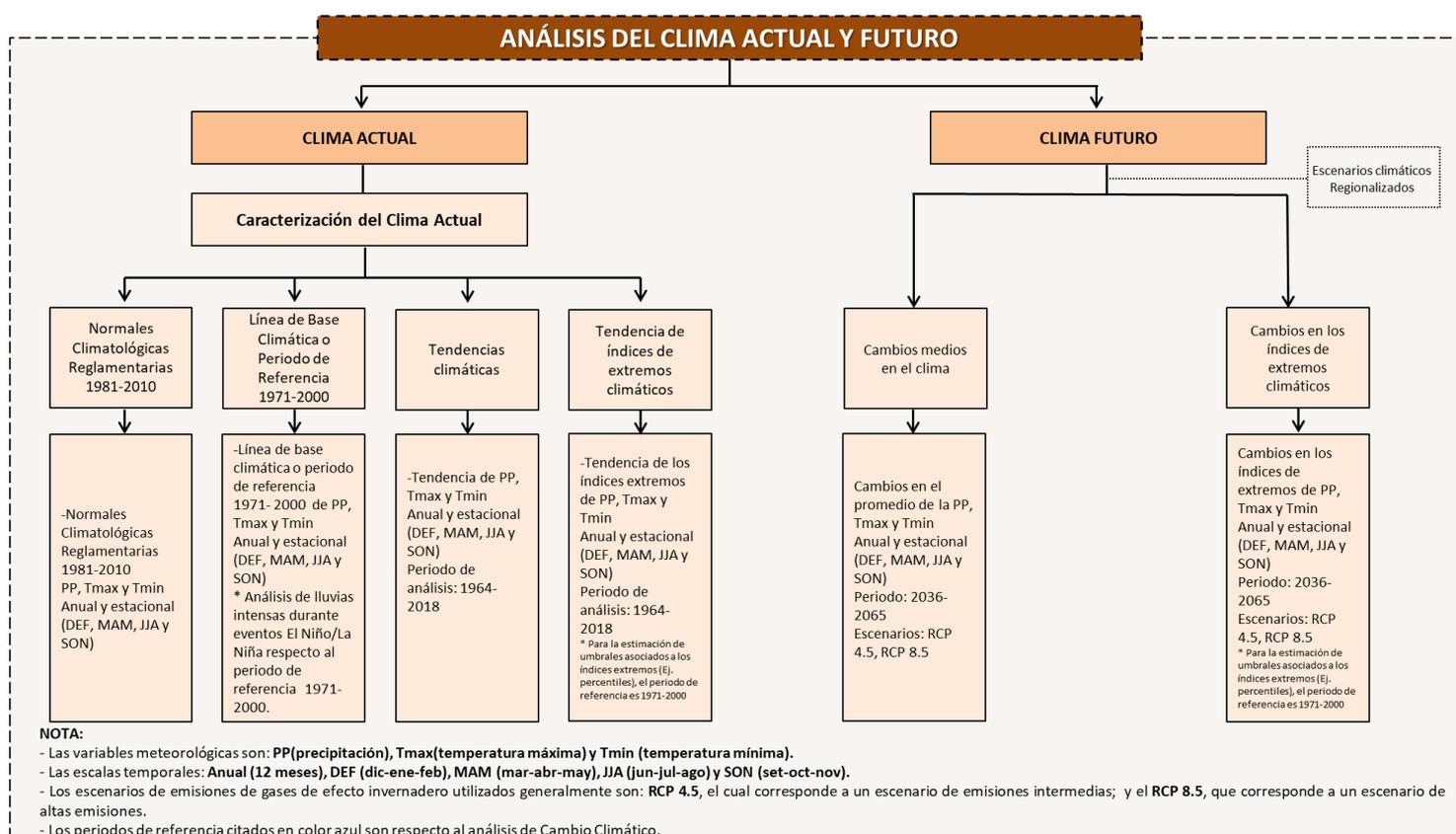


Figura 04. Análisis del Clima actual y futuro.

Nota: la determinación de los trimestres DEF, MAM, JJA y SON permiten tener comparabilidad con otros estudios o publicaciones que se elaboran en otros países principalmente del hemisferio norte; sin embargo, es factible incluir otros trimestres (Ej. EFM, FMA, MAM, etc.) y/o periodos complementarios a escala mensual y semestral), acorde al régimen climático del país, incluyendo las características climáticas propias de cada región.

A continuación, se describe de manera general cuáles son los procedimientos para obtener las herramientas en el análisis del clima actual y futuro. Así mismo, cabe resaltar que mayores detalles y descripción de los procedimientos estarán disponibles en el “Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climático” que actualmente está en edición por el SENAMHI (2019)), así como también en las referencias citadas al final de este documento.

Nota: Para los estudios en zonas que no cuentan con datos meteorológicos observados podría emplearse la información estimada y grillada de **PISCO**²⁰ y del **REANALISIS**²¹ con una adecuada validación de dicha información y la opinión experta de la institución responsable para la generación de escenarios nacionales de cambio climático (Reglamento de Ley Marco de Cambio Climático²², actualmente en consulta previa).

5.1 ANÁLISIS DEL CLIMA ACTUAL

5.1.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Para caracterizar el clima de una región, zona o localidad se realiza un análisis exploratorio de las características más importantes del comportamiento climático sobre una escala espacial y temporal. Generalmente se hace uso de datos observados en superficie (datos de estaciones meteorológicas), información de comunidades de plantas, indicadores geomorfológicos (asociados a la forma de la superficie terrestre) y otras fuentes de información (modelos climáticos globales y regionales, satélites ambientales y meteorológicos, etc.) para posteriormente generar la información climática.

²⁰ Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626667.2019.1649411>

²¹ Son datos de las variables atmosféricas en superficie y altura en forma de grilla a diferentes resoluciones espaciales y rangos temporales, obtenidos desde la modelización atmosférica utilizando la técnica de asimilación de datos. De acuerdo a una última publicación (Imfeld, 2019) el reanalysis con mayor performance para la lluvia en el Perú es ERA-Interim y JRA-55.

²² <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/ley-marco-cambio-climatico>

Para el caso de la caracterización del clima actual se ha considerado cuatro puntos principales: Normales climatológicas reglamentarias 1981-2010, línea de base climática o periodo de referencia 1971-2000, tendencias climáticas y tendencias de índices de extremos climáticos. Cabe mencionar que los dos primeros puntos ya fueron descritos en el ítem 3.1 de este documento.

5.1.1.1 TENDENCIAS CLIMÁTICAS

La tendencia describe el cambio en el valor de una variable a lo largo del tiempo (IPCC, 2013), por este motivo su cálculo en estudios de cambio climático es fundamental ya que a través de ellas podemos detectar tanto la señal, así como la magnitud de dicho cambio.

Previo al cálculo de las tendencias climáticas es necesario tener en cuenta los siguientes criterios:

- Se debe utilizar toda la información continua registrada en las estaciones meteorológicas con al menos 30 años.
- La información de estaciones a utilizar debe haber pasado por un proceso de control de calidad (Brunet, 2010, SENAMHI, 2003) y homogeneización²³ (Venema, V. 2018), con el fin de evitar errores en el signo y magnitud de las tendencias.

Nota: Los procedimientos de control de calidad se aplican para detectar e identificar los errores cometidos en el proceso de toma de datos, transmisión, digitación y almacenamiento. La OMM recomienda que para la vigilancia del clima es preciso evaluar regularmente la calidad de los datos como parte de las operaciones de rutina de los Servicios Meteorológicos referente a las operaciones de control de calidad y homogeneidad (OMM, 2002). Cabe precisar que los procedimientos deben ser llevados a cabo por especialistas en micrometeorología, climatología y validados por el SENAMHI.

²³ Considerando que existen diferentes metodologías de homogeneización y que es un procedimiento complejo, por lo cual es necesario realizar una evaluación exhaustiva empleando los metadatos (se refieren a la historia de la estación y de los datos cuando se aplican a mediciones y observaciones-OMM N° 488) y con conocimiento de la climatología local. En ese sentido SENAMHI ha venido trabajando en los últimos años en la homogeneización de series de temperaturas extremas del aire, empleando diferentes métodos, contando con una base de datos estaciones homogeneizadas.

SENAMHI pone a disposición del público las series históricas de temperaturas extremas del aire y precipitación con control de calidad a través de su portal web:

<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

La metodología usada (hasta el presente) para el cálculo de las tendencias se basa en la estimación de la pendiente de Sen (Sen, 1968) el cual es un método no paramétrico robusto que permite cuantificar la tendencia para variables que inclusive no tengan distribución normal. Por lo tanto la estimación de la pendiente de Sen se puede realizar tanto para la serie de datos de temperaturas máximas y mínimas promedio, así como para las series de precipitaciones acumuladas.

Adicionalmente, se debe aplicar un test estadístico para determinar la significancia estadística de la tendencia. Para ese propósito el test no paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) puede ser usado en series climáticas sin asumir ninguna distribución estadística en particular. La hipótesis nula para dicho test es que los datos son independientes y aleatoriamente ordenados y no presentan tendencia (Heidinger *et al.*, 2018). El rechazo de la hipótesis nula de no tendencia va a depender del nivel de significancia que escojamos; siendo mayormente usado el valor de $\alpha=0.05$.

5.1.1.2 TENDENCIA DE ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

Además de las tendencias de temperaturas promedios y precipitación acumulada, es importante la detección de cambios en los eventos extremos durante las últimas décadas. Para ello, se utiliza los índices de extremos establecidos por El Grupo de Expertos en Detención e Índices de Cambio Climático (ETCCDI), el cual ha venido impulsando a escala global el cálculo de 27 índices de extremos climáticos²⁴, mediante los cuales se puede analizar los cambios en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos. De esta manera, cada región o país del mundo

²⁴ Mayor información de los índices: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml. Estudios en el Perú que han usado estos índices son SENAMHI (2009), Heidenget et al. (2018), Andrade (2018).

puede calcular dichos índices siguiendo la misma metodología y análisis para que sean fácilmente comparables (Karl et al. 1999, Peterson et al. 2001).

El cálculo de estos índices requiere información diaria homogéneas y con control de calidad. La estimación de los índices se puede realizar a escala anual o en un distinto periodo (por ejemplo trimestral). Cabe destacar, que algunos de estos índices requieren el cálculo de umbrales basados en percentiles, para lo cual se debe emplear el periodo 1971-2000 como referencia en dicho cálculo.

De manera similar al cálculo de las tendencias de series de temperatura y precipitación, se puede estimar también la tendencia de los índices. Para dicho propósito se debe emplear la pendiente de Sen para medir la señal y grado de la tendencia, así como el test de Mann-Kendall para determinar las significancia estadística asociada a las tendencias.

5.2 ANÁLISIS DEL CLIMA FUTURO

El análisis del clima futuro se basa principalmente en el uso de los escenarios climáticos los cuales son representaciones plausibles del clima futuro. La generación de los escenarios climáticos se realiza a través de los modelos de circulación general océanos-atmosféricos (AOGCMs de aquí en adelante) los cuales tienen como objetivo representar los componentes del sistema climático e interacciones físicas que ocurren entre ellos.

Los AOGCMs se basan en leyes físicas que permiten aproximar procesos físicos del sistema climático a larga escala, obteniendo de esta manera, patrones de temperatura y precipitación (entre otras variables océano- atmosféricas) con los cuales podemos estimar el cambio futuro.

El Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP), actualmente dispone de más de 30 modelos con diferentes tipos de escenarios de emisión y número de ensambles, que constituye información base de estudios para el análisis del clima futuro.

Toda esta información debe ser evaluada antes de su uso. Siendo recomendado el análisis de variables atmosféricas en superficie, principalmente temperatura y precipitación. Y de variables en niveles de presión para el análisis de los patrones de

circulación atmosféricas los cuales influyen en el clima de Perú, evaluando como mínimo los niveles de 850, 500 y 200 hPa²⁵, así como la variable Temperatura superficial del mar. Esta evaluación puede ser realizada mediante su comparación con las bases de datos de PISCO y REANALISIS.

Una segunda parte consiste en la selección del escenario de emisión a utilizar, para lo cual mayormente se utiliza el Escenario de emisión más extremo y el escenario intermedio. Posteriormente, se hace uso de algunos criterios para la selección del grupo de modelos, los cuales son:

- Mejor representación de los patrones de circulación.
- Adecuada representación de las métricas estadísticas con errores cercanos a cero RMSE (Error cuadrático medio) y BIAS (sesgo) y alto coeficiente de correlación.
- Selección de modelos mediante la máxima dispersión de cambios en la temperatura y precipitación en el futuro (Ruane 2017).

Cabe indicar que también es recomendable utilizar no solo el primer miembro del ensamble de cada modelo global, sino todos los miembros del conjunto de ensambles disponibles para cada modelo en el análisis de incertidumbre.

Durante las últimas décadas ha habido considerables avances en cuanto a la mejora de la física y resolución de los modelos; sin embargo, para estudios de impacto a nivel regional y/o local, la resolución horizontal de estos modelos globales no es suficiente ya que estos se encuentran en el rango de 50 a 300 Km y a una resolución vertical de cientos de metros en la tropósfera (USGCRP, 2017). Por lo tanto, es necesario realizar un proceso de regionalización (downscaling) para incrementar la resolución de los modelos y de esta manera contar con información más precisa y oportuna.

En un país de montaña y tropical como es el Perú es necesario seguir mejorando la red de estaciones meteorológicas, más puntos de radiosondeo²⁶ y más estaciones meteorológicas en las áreas más sensibles al cambio climático como es la región puna, pues con una mayor densidad de estaciones se podría validar la información de los modelos climáticos.

²⁵ Ejemplo de validación de AOGCMs se puede revisar en Barreto & LLacza (2014) http://www.cima.fcen.uba.ar/cordex2/final/Poster_Barreto.pdf

²⁶ Este sistema mide diferentes parámetros desde la superficie del suelo hasta la alta tropósfera, para lo cual se lanza cada cierto tiempo un globosonda meteorológico que porta diferentes sensores que van realizando un perfil vertical de la atmósfera registrando datos como humedad relativa, temperatura, presión y vientos en diferentes alturas.

Nota: Debe recordarse que la Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático señala la necesidad de densificar el número de estaciones en localidades donde el entorno no sea perturbado (Ej. Áreas protegidas y/o conservación) y en la región Puna por ser una de las más sensibles a los efectos del cambio climático por albergar a los glaciares del país para fortalecer la observación del cambio climático, mediante el fortalecimiento en automatizar la red observacional convencional, también recomienda contar con nuevos puntos de medición y reactivar las estaciones que cuentan con datos mayores a 30 años. De esta manera podría incrementarse la densidad de la red, contando para ello con series de datos existentes para estudios, investigación y evaluación del cambio climático²⁷.

Los métodos de regionalización pueden ser dividido en dos grupos: **regionalización dinámica**, el cual consiste en emplear un modelo regional forzado con datos de un modelo global; y la **regionalización estadística**, que consiste en generar modelos estadísticos basados en la relación de predictores (información de modelo global) y predictandos (información histórica observada). Mayor información acerca de los procesos de regionalización, así como la ventaja y desventajas que implican estos métodos, se puede revisar en SENAMHI (2016).

Finalmente, se tiene información proveniente de distintos modelos, miembros de un ensamble, metodologías de regionalización y diferentes escenarios de emisión, por lo cual se hace necesario consolidar toda esta información a través del cálculo de la media o media ponderada del conjunto de multimodelos. Además, se recomienda obtener la dispersión de estos valores provenientes de los modelos la cual es medida de la desviación estándar o el rango de valores máximos y mínimos del conjunto de multimodelos.

5.2.1 ESCENARIOS REGIONALIZADOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Una vez realizado los procesos de validación y regionalización de los AOGCMs, el siguiente paso es estimar los cambios del clima futuro. Para ello, se debe tener en cuenta que existe una incertidumbre asociada a la concentración futura de gases de efecto invernadero y a la física del modelo, por lo cual es recomendable utilizar más de un escenario de emisión, diferentes modelos y diferentes metodologías de regionalización; por ejemplo, un escenario intermedio (RCP4.5) y otro de altas emisiones (RCP 8.5).

²⁷ <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/segunda-comunicacion-nacional-peru-convencion-marco-las-naciones>
(El Perú y el Cambio Climático)

El cambio futuro del clima medio consiste en realizar la diferencia de la media del clima futuro (climatología o normal futura) menos la línea de base climática o periodo de referencia 1971-2000. Así por ejemplo, si deseamos estimar los cambios para un clima centrado en el año 2050, se debe estimar la diferencia entre la climatología o normal futura, el cual correspondería a un periodo 2036-2065, y el periodo de referencia, que abarcaría el periodo 1971-2000. De esta manera, valores positivos de cambios indicarían incrementos en el futuro; mientras que negativos estarían relacionados a disminuciones.

La estimación de cambios debe realizarse a escala anual, así como en otros periodos (por ejemplo: verano, otoño, invierno y primavera). En el caso de las unidades, los cambios de temperatura deben expresarse en °C, mientras que los de precipitación deberían expresarse en porcentaje.

Dichos cambios, deben estimarse para cada una de las variables, cada modelo empleado y también para cada escenario de emisiones; de esta forma se puede obtener un rango de incertidumbre asociado. Se recomienda presentar los resultados a través de los valores medios y/o de los valores máximos y mínimos del conjunto de modelos.

5.2.2 ÍNDICES DE EXTREMOS EN EL CLIMA FUTURO

De manera similar a los cambios de precipitación y temperaturas, se pueden estimar también los cambios de los eventos de extremos climáticos basados en el cálculo de los índices del ETCCDI (revisar sección 5.1.1- Tendencia de índices de extremos climáticos). De esta manera, se obtendría conocimiento de la señal de cambio en intensidad y frecuencia de estos eventos.

Para ello, la información diaria escenario climático es necesaria y además, para el cálculo de índices basado en umbrales, el error sistemático de los modelos debe ser corregido, mediante técnicas estadísticas (ejemplo quantile mapping). Adicionalmente se debe tener en cuenta que con respecto a los índices que requieren umbrales de percentiles, se debe tomar el periodo de 1971-2000

como referencia para su cálculo.

Nota: Se requiere de capacidades computacionales de alto rendimiento y recursos humanos altamente capacitados para la modelización numérica de los escenarios de Cambio Climático.

VI. PRODUCTOS Y/O SERVICIOS DE INFORMACIÓN PARA ANALISIS DEL CLIMA ACTUAL y EL CAMBIO CLIMATICO

A continuación, se presentan los productos y/o servicios climáticos asociados al clima actual y el cambio climático, elaborados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú:

Tabla 2. Productos y/o servicios climáticos

CLIMA	PRODUCTO Y/O SERVICIO CLIMÁTICO	OBSERVACIÓN	ESCALA ESPACIAL
CLIMA ACTUAL	<ul style="list-style-type: none"> Datos históricos de precipitación, temperatura máxima y mínima de la red de estaciones meteorológicas convencionales del SENAMHI. Datos grillados espacio-temporales de precipitación, temperaturas máximas y mínimas del aire y evapotranspiración (1981-2016). 	Los datos históricos de cada estación meteorológica convencional del SENAMHI se encuentran disponibles, así como los datos grillados. Respecto a los datos grillados de la base de datos PISCO, es necesario evaluar cuidadosamente su representación espacio – temporal en zonas donde no existen estaciones meteorológicas.	Nacional, regional y local
	Datos históricos: https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos		
	Datos grillados: http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/index.html?Set-Language=es		



	Normales climatológicas referenciales 1981-2010 de la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima del aire.	Los valores se encuentran disponibles para cada estación meteorológica convencional del SENAMHI.	Nacional, regional y local
	Normales climatológicas: https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-77.pdf		
	Umbrales y precipitaciones absolutas	Los valores se encuentran disponibles para cada estación meteorológica convencional del SENAMHI.	Nacional, regional y local
	Umbrales y precipitaciones absolutas: https://www.senamhi.gob.pe/pdf/clim/umbrales-precipitaciones-absol.pdf		
	Características climáticas del Perú (Mapa de clasificación climática con el método de Thornthwaite)	Los tipos de clima en el Perú están definidos a nivel espacial (mapa).	Nacional, regional y local
	Mapa de clasificación climática: https://www.senamhi.gob.pe/?&p=mapa-climatico-del-peru http://idesep.senamhi.gob.pe/geovisoridesep/go?accion=05.01.001.03.001.512.0000.00.00		
	Climatología espacial de temperatura máxima y temperatura mínima 1971-2000	Mapas trimestral	Nacional, regional y local
	Mapas de climatología de temperaturas extremas del aire: http://idesep.senamhi.gob.pe/geovisoridesep/go?accion=05.04.001.03.001.512.0000.00.00		
	Heladas 1970-2010	Mapas mensuales y mapa anual	Nacional, regional y local
	Mapas de frecuencia de heladas: http://idesep.senamhi.gob.pe/geovisoridesep/go?accion=08.01.001.03.001.532.0000.00.00		
	Mapas de percentil 10 de temperatura mínima: http://idesep.senamhi.gob.pe/geovisoridesep/go?accion=01.01.005.03.001.512.0000.00.00		
	Precipitación durante eventos El Niño 1982- 1983, 1997-1998 y 2017	Mapas trimestrales	Nacional, regional y local



	Mapas de precipitación durante eventos El Niño: http://idesep.senamhi.gob.pe/geovisoridesep/go?accion=02.01.001.03.001.512.1983.00.00		
	Tendencias de la temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura media del aire en el Perú 1964-2014.	Estudio “Recent changes in monthly surface air temperatura over Peru 1964- 2014” (Serrano, et al., 2017).	Nacional
	Estudio disponible en: https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-49.pdf		
	Tendencia de precipitación y temperaturas extremas del aire	Estudio realizado en el marco del Convenio de Cooperación Técnica Interinstitucional celebrado entre SENAMHI y SEDAPAL. Fecha de publicación: 2016	Cuencas de los ríos Lurín, Chillón, Rímac y Alto Mantaro.
	Estudio de tendencias de precipitación y temperaturas extremas del aire: https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-38.pdf		
	Tendencia de precipitación y temperaturas extremas del aire	En el marco del Proyecto Regional Andino de Adaptación al Cambio Climático/ Adaptación al impacto del retroceso acelerado de glaciares en los Andes tropicales (PRAA). Año de publicación: 2012	Cuencas Mantaro y Urubamba.
	Más información : https://www.senamhi.gob.pe/?p=cambio-climatico		
	Indicadores de Cambio Climático Nota: Se actualizará cada 5 años.	En el marco del proyecto CLIMANDES (Servicios climáticos con énfasis en los Andes en apoyo a las decisiones).	Nacional, regional y local
Indicadores de Cambio Climático: http://idesep.senamhi.gob.pe/indicadores/			
CAMBIO CLIMÁTICO	Cambios hacia el 2050 de precipitación y temperaturas extremas	Escenarios generados en el marco del proyecto AMICAF y la Tercera Comunicación Nacional. Año de publicación: 2014	Nacional, regional y local
	Web de SENAMHI: http://idesep.senamhi.gob.pe/portalidesep/files/tematica/cambio_climatico/Regionalizacion Estadistica Escenarios Climaticos en Peru.pdf		



	Cambios hacia el 2030 de precipitación y temperaturas extremas del aire	Escenarios generados en el marco de la Segunda Comunicación Nacional.	Nacional, regional y local
	Proyección 2030: http://idesep.senamhi.gob.pe/portalidesep/idesep_tema_cambio_climatico_proyeccion_2030_anual_estudios_investigaciones.jsp		
	-Índices de eventos extremos -Escenarios de cambio climático hacia el 2050	Estudio realizado en el marco del Convenio de Cooperación Técnica Interinstitucional celebrado entre SENAMHI y SEDAPAL. Fecha de publicación: 2016	Cuencas de los ríos Lurín, Chillón, Rímac y Alto Mantaro.
	Estudio disponible en: https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-38.pdf		
	Cambio Climático en las cuencas de los ríos Ica y Pisco.	Delineando estrategias de adaptación al cambio climático a nivel local con los aportes del Proyecto adaptación al Cambio Climático y reducción del riesgo de desastres en las cuencas priorizadas de Ica y Huancavelica (ACCIH). Fecha de publicación: Abril, 2016	Cuenca de los ríos Ica y Pisco
	Disponible en: Archivos de la Subdirección de Modelamiento Numérico del SENAMHI		
	- Índices de eventos extremos -Escenarios de cambio climático al 2030 y 2050	Elaborado en el marco del Programa de Adaptación al Cambio Climático (PACC). Año de publicación: 2012	En las Regiones Cusco y Apurímac.
	Disponible en: Archivos de la Subdirección de Modelamiento Numérico del SENAMHI		
	-Índices de eventos extremos -Escenarios de cambio climático al 2100	En el marco del Proyecto Regional Andino de Adaptación al Cambio Climático/ Adaptación al impacto del retroceso acelerado de glaciares en los Andes tropicales (PRAA). Año de publicación: 2012	Cuencas de los ríos Mantaro y Urubamba.
Web de SENAMHI: https://www.senamhi.gob.pe/?p=cambio-climatico			

	<p>-Tendencia de precipitación y temperaturas extremas del aire -Índices de eventos extremos -Escenarios de cambio climático al 2030</p>	<p>Estudio realizado en el marco de la Segunda Comunicación Nacional. Año de publicación: 2009</p>	<p>Nacional, Cuenca de los ríos Mayo y Santa.</p>
	<p>Web de SENAMHI:</p> <p>https://www.senamhi.gob.pe/?p=cambio-climatico</p> <p>http://idesep.senamhi.gob.pe/portalidesep/idesep_tema_cambio_climatico_proyeccion_2030_anual_estudios_investigaciones.jsp</p>		
	<p>-Tendencia de Precipitación y temperaturas extremas del aire -Índices de eventos extremos -Escenarios de cambio climático al 2030.</p>	<p>En el marco del PROCLIM (Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire). Año de publicación: 2001</p>	<p>Cuenca del río Piura</p>
	<p>Web de SENAMHI:</p> <p>https://www.senamhi.gob.pe/?p=cambio-climatico</p>		
<p>Evaluación de los Modelos CMIP5 del IPCC en el Perú: Proyecciones al año 2030 en la Región de Ancash, Tacna, Ica, Ucayali, Huancavelica, San Martín, Puno, Moquegua y Huánuco.</p>	<p>En el marco del Proyecto “Proyecto PET 1194: Fortalecimiento de Capacidades Regionales en la Gestión del cambio climático”, implementado por el Ministerio del Ambiente – MINAM, con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo - BID.</p>	<p>Ancash, Tacna, Ica, Ucayali, Huancavelica, San Martín, Puno, Moquegua y Huánuco</p>	
<p>Disponibles en: Archivos de la Subdirección de Modelamiento Numérico del SENAMHI</p>			

NOTA: Abrir todos los links en el navegador de Google Chrome. Así mismo, indicar que en el transcurso del tiempo los links pueden ser actualizados, por lo que, se recomienda ponerse en contacto con las instituciones a su cargo y/o autores de la presente Nota Técnica N°001-2019/SENAMHI/DMA.

VII. REFERENCIAS

- ACCIH, 2016. Delineando estrategias de adaptación al cambio climático a nivel local con los aportes del Proyecto adaptación al Cambio Climático y reducción del riesgo de desastres en las cuencas prioritizadas de Ica y Huancavelica
- Andrade, M. F. (Ed.) 2018. Atlas - Clima y eventos extremos del Altiplano Central Perú-boliviano / Climate and extreme events from the Central Altiplano of Peru and Bolivia 1981-2010. Geographica Bernensia, 188 pp., DOI: 10.4480/GB2018.N01.
- Barreto C., Llacza A. 2014. Validation of CMIP5 models by means of representing patterns of mesoscale systems on South America for the summer and winter. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
- Brunet M. 2010. Datos e indicadores para detectar y atribuir eventos al cambio climático: los registros históricos del clima y su problemática. Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía.
- Glosario de términos meteorológicos: El buen clima. SENAMHI, 2018
- Glosario Hidrológico Internacional WMO-N°385.
http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf
- Gutiérrez, J. M., San-Martín, S., Brands, Manzanar, R. y Herrera, S. 2013. Reassessing Statistical Downscaling Techniques for Their Robust Application under Climate Change Conditions. J. Climate, 26, 171–188.
- Heidinger, H., Carvalho, L., Jones, C., Posadas, A. and Quiroz, R. 2018. A new assessment in total and extreme rainfall trends over central and southern Peruvian Andes during 1965–2010. Int. J. Climatol, 38: e998-e1015. doi:10.1002/joc.5427
- Noemi Imfeld, Christian Barreto Schuler, Kris Milagros Correa Marrou, Martín, Jacques-Coper, Katrin Sedlmeier, Stefanie Gubler, Adrian Huerta, Stefan Brönnimann. 2019. Summertime precipitation deficits in the southern Peruvian highlands since 1964. Journal: International Journal of Climatology
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of IPCC, Cambridge University Press, 1535 pp.
 - IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- IPCC. (2007). "Cambio climático 2007: Impacto, adaptación y

vulnerabilidad” en la contribución del grupo de trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación, primera publicación.

- IPCC (2012a). “Resumen para responsables de políticas” en el Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático [edición a cargo de C. B. Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G. -K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, y P. M. Midgley]. Informe especial de los Grupos de trabajo I y II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Nueva York, Estados Unidos de América, págs 1-19.
- IPCC (2012b). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- IPCC 2012. *Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas.* Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin. Publicado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
- Karl, T.R., N. Nicholls, and A. Ghazi. 1999. CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change*, **42**, 3-7.
- Kendall M. 1975. *Rank Correlation Methods*. London: Griffin & Co.
- Mann, H. 1945. Non-parametric test against trend. *Econometrica* **13**, 245-59.
- Nature, 2018. Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming. Wenju Cai, Guojian Wang, Boris Dewitte, Lixin Wu, Agus Santoso, Ken Takahashi, Yun Yang, Aude Carréric & Michael J. McPhaden
- Peterson, T.C., and Coauthors. 2001. Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143pp.
- SENAMHI. 2003. *Criterios establecidos para el Sistema de Control de Calidad del SENAMHI*.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall’s tau. *Journal of the American Statistical Association*, **63**, 1379-1389.
- SENAMHI. 2009. *Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
- SENAMHI (2013a) *Cambio climático en la cuenca del río Mantaro*.



Proyecciones para el año 2030. Proyecto PRAA.

- SENAMHI (2013b) Cambio climático en la cuenca del río Urubamba. Proyecciones para el año 2030. Proyecto PRAA.
- SENAMHI. 2014. Regionalización Estadística de Escenarios Climáticos en el Perú. Lima: SENAMHI-AMICAF.
- SENAMHI. 2015 "Control de calidad Básico de temperaturas extremas del aire y precipitación a nivel nacional"
- SENAMHI. 2015 "Control de calidad y homogenización de datos climáticos para la implementación de Servicios Climáticos en la región costera del Perú"
- SENAMHI. 2016, Vulnerabilidad Climática De Los Recursos Hídricos En Las Cuencas De Los Ríos Chillón, Rímac, Lurín Y Parte Alta Del Mantaro / Resumen Ejecutivo, Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 250 pp.
- SENAMHI. 2016 "Control de calidad realizado el 2015-2016 datos de temperaturas extremas y precipitación a nivel nacional"
- SENAMHI. 2016 "Control de calidad de las series de temperaturas extremas y precipitación en la región de Puno"
- Serrano, et a., 2017. "Recent changes in monthly surface air temperatura over Peru 1964- 2014"
- OMM. 2011. Guía de prácticas climatológicas OMM-N°100 Tiempo-clima-Agua Disponible en:
https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_100_es.pdf
- OMM-N° 488 Guía del Sistema Mundial de Observación APÉNDICE III.3. METADATOS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS. Ed. 2010, Act. 2017
- Ruane et al. 2017. Selection of a representative subset of global climate models that captures the profile of regional changes for integrated climate impacts assessment
<https://link.springer.com/article/10.1186/s40322-017-0036-4>
- USGCRP. 2017. Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 470 pp, doi: 10.7930/J0J964J6.
 - USGC Venema, V., Trewin, B., Wang, X., Szentimrey, T., Lakatos, M., Aguilar, E, Rasul, G. (2018, November 6). Guidance on the homogenization of climate station data.
<https://doi.org/10.31223/osf.io/8qzrf>