



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



Tendhis

***Tendencias históricas de
precipitación y temperatura***

Guía Técnica

Guía Técnica del aplicativo Tendhis

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Presidente Ejecutivo del Senamhi

Ken Takahashi Guevara

Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica

Gabriela Teófila Rosas Benancio

Subdirección de Modelamiento Numérico de la Atmósfera

Delia Acuña Azarte

Elaborado por:

Paredes J. & Acuña D.

Contribuciones:

Acuña D., Paredes J., Flores W., Vásquez G., De La Cruz G., More I., Rodríguez J., Chacón, J.

Primera Edición

Noviembre 2020

Copyright ©Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI.
Jr. Cahuide 785, Jesús María - Lima.

Con el valioso apoyo de:

Financiado por:



Liderado por:



En alianza con:



CONDESAN
Consortio para el Desarrollo Sostenible
de la Ecorregión Andina

Citar como:

SENAMHI (2020). Guía Técnica para Aplicativo Web Tendencias Históricas - TENDHIS.

Contenido

PRESENTACIÓN.....	1
CAPÍTULO I. GLOSARIO	2
CAPÍTULO II. SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	3
CAPÍTULO III. PROCEDIMIENTOS DE USO DEL APLICATIVO WEB	4
3.1 NAVEGACIÓN EN EL TENDHIS	4
3.1.1 Selección de tipo de dato.....	4
3.1.2 Mapa de Ubicación.....	6
3.1.3 Cuadro de Tendencias	6
3.1.4 Nota.....	7
3.1.5 Ficha técnica de TENDHIS	8
3.1.6 Series de tiempo	8
3.2 DEMO DE INTERPRETACIÓN DE TENDENCIAS HISTÓRICAS CLIMÁTICAS DEL TENDHIS	10
CAPÍTULO IV. ORIENTACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE TENDENCIAS HISTÓRICAS DEL CLIMA.....	12
4.1 DESCRIPCIÓN DE DATOS PARA LA ESTIMACIÓN DE TENDENCIAS HISTÓRICAS	12
4.2 INTERPRETACIÓN DE LAS TENDENCIAS HISTÓRICAS	12
4.3 APLICACIONES	15
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17

Lista de figuras

FIGURA 1. ESTRUCTURA DEL APLICATIVO WEB.	4
FIGURA 2. CUADRO DE FILTROS Y SELECCIÓN DE DATOS. OPCIÓN DATOS OBSERVADOS	4
FIGURA 3. CUADRO DE FILTROS Y SELECCIÓN DE DATOS. OPCIÓN DATOS GRILLADOS	5
FIGURA 4. MAPA DE UBICACIÓN DEL PUNTO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA.	6
FIGURA 5. TABLA DE TENDENCIAS, SIGNIFICANCIA E INTERVALO DE CONFIANZA.	7
FIGURA 6. VENTANA <i>NOTA NOS</i> PROPORCIONA INFORMACIÓN LAS TENDENCIAS.	8
FIGURA 7. FICHA TÉCNICA DESCARGABLE GENERADAS CON DATOS OBSERVADOS.	8
FIGURA 8. PRIMER GRUPO DE PERIODOS, VARIABLE: TEMPERATURA MÍNIMA.	9
FIGURA 9. SEGUNDO GRUPO DE PERIODOS (TRIMESTRES), VARIABLE: TEMPERATURA MÍNIMA.	10
FIGURA 10. SERIE DE TIEMPO, TENDENCIA E INTERVALO DE CONFIANZA.	10
FIGURA 11. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL. TENDENCIA -22.68 MM/DEC. IC: [-41.119,0.723] MM /DEC. ...	11
FIGURA 12. TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL. TENDENCIA +0.12°C/DEC. IC: [0.011,0.221] °C /DEC.	11
FIGURA 13. SERIE DE PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL Y TENDENCIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	13
FIGURA 14. SERIE DE TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL Y TENDENCIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. .	13
FIGURA 15 . SERIE DE TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL Y TENDENCIAS PARA DOS PERIODOS DISTINTOS (1965-2018 Y 1989-2018) PARA LA ESTACIÓN ARAPA (PUNO), SE OBSERVA TASAS CON INCREMENTOS DE TEMPERATURA DISTINTOS.	14

Presentación

El SENAMHI, entidad rectora, encargado de generar y proveer información y conocimiento meteorológico, hidrológico, agrometeorológico y ambiental atmosférico para la sociedad peruana de manera oportuna y confiable, consolida información de mucha importancia para el país, es así que a través de la Subdirección de Modelamiento Numérico (SMN) en colaboración con la Oficina de Tecnología e Información (OTI) ha elaborado la presente Guía metodológica del aplicativo web sobre tendencias históricas de temperatura y precipitación (TENDHIS) en el marco del “Proyecto Adaptación a los impactos del cambio climático en recursos hídricos en los Andes (AICCA)”, el mismo que es financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM/GEF) e implementado por el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) y ejecutado por el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN). El proyecto es liderado por la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación (DGCCD) del Ministerio del Ambiente, con apoyo técnico de la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios del Ministerio de Agricultura y Riego.

El TENDHIS ha sido diseñado en coordinación con la DGCCD del MINAM y el Proyecto AICCA, el cual está dirigido a gestores de proyectos de inversión a nivel nacional y subnacional con la finalidad de brindar información amigable, flexible y de fácil acceso.

La guía técnica **TENDHIS** presenta cuatro Capítulos I) Glosario con definiciones técnicas sobre tendencias II) Siglas y Acrónimos, III) Procedimientos de uso del aplicativo web y IV) Orientación para el análisis de tendencias históricas del clima, que son necesarias para su aplicación funcional.

Capítulo I. Glosario

Términos	Definiciones
Cambio climático	Cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que produce una variación en la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempos comparables (definición establecida en la Ley Marco sobre Cambio Climático).
Clima	Síntesis de las condiciones meteorológicas en un lugar determinado, caracterizada por estadística (media o promedio y su variabilidad de 30 años) a largo plazo (varía de meses a miles de millones de años) de los elementos meteorológicos (temperatura, precipitación, vientos, entre otras) en dicho lugar (OMM & UNESCO, 2012)
Datos climáticos	Son las observaciones climáticas históricas y actuales, así como las salidas de los modelos que cubren la información pasada y futura junto con los metadatos. (OMM, 2011)
Información climática	Comprende a los datos climáticos, productos climáticos y/o al conocimiento del clima (OMM, 2011).
Pruebas no paramétricas	Son pruebas estadísticas que se realizan sin asumir que los datos presenten una distribución paramétrica particular (Wilks, 2006).
Pruebas paramétricas	Son aquellas pruebas estadísticas que son empleadas en situaciones en las que sabemos o asumimos que una distribución teórica particular es una apropiada representación para los datos y/o del estadístico de prueba (Wilks, 2006).
Tendencia climática	Cambio en el valor de una variable, generalmente uniforme a lo largo del tiempo (IPCC, 2013).
Intervalo de confianza	Rango de valores admisibles para el parámetro* que se ha estimado, sus valores admisibles incluyen como su mediana el valor de la tendencia Cumming (2012). * En esta guía el parámetro sería el valor de tendencia.
Variabilidad climática	Variaciones del estado medio y a otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. (IPCC, 2013). Por lo tanto, la variabilidad climática se refiere a todas las variaciones del clima que estén por encima o debajo de sus valores promedios.

Capítulo II. Siglas y Acrónimos

Siglas y Acrónimos	Denominaciones
AICCA	Proyecto Adaptación a los impactos del cambio climático en recursos hídricos en los Andes.
CAF	Cooperación Andina de Fomento.
CONDESAN	Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change.
IC	Intervalo de Confianza
DEF	Diciembre, Enero, Febrero (verano austral).
MAM	Marzo, Abril, Mayo (otoño austral).
JJA	Junio, Julio, Agosto (invierno austral).
SON	Septiembre, Octubre, Noviembre (primavera austral).
OMM	Organización Meteorológica Mundial.
PISCO	Datos Interpolados Peruanos de las Observaciones Climatológicas e Hidrológicas del SENAMHI (Peruvian Interpolate data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations).
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
SMN	Subdirección de Modelamiento Numérico de la Atmosfera.

Capítulo III. Procedimientos de uso del aplicativo web

El SENAMHI ha colocado el TENDHIS en <https://www.senamhi.gob.pe/tendenciashistoricas/>, el cual es de acceso libre.

La estructura funcional del aplicativo web se esquematiza en la Figura 1.



Figura 1. Estructura del aplicativo web.
Fuente: elaboración propia.

3.1 Navegación en el TENDHIS

Para el uso del aplicativo TENDHIS se ha elaborado un esquema numerado y así facilitar la navegación para todos los usuarios. Se ha añadido un mensaje de entrada donde se explica de forma sencilla el propósito del aplicativo y detalles generales de los datos usados para la elaboración de las gráficas.

3.1.1 Selección de tipo de dato

En la parte superior izquierda de TENDHIS se dispone el cuadro que permite filtrar la información que el usuario desea visualizar/analizar. En esta sección se presentan dos opciones de datos, como se muestra en la Figuras 2 y 3.

Seleccione el tipo de dato

Datos Observados Datos Grillados

Variable meteorológica

:: SELECCIONE ::

Figura 2. Cuadro de filtros y selección de datos. Opción **Datos Observados**.
Fuente: Aplicativo web TENDHIS



Figura 3. Cuadro de filtros y selección de datos. Opción **Datos Grillados**.
Fuente: Aplicativo web **TENDHIS**.

La primera opción es **Datos Observados**, se refiere a los datos provenientes de las estaciones meteorológicas convencionales distribuidas a nivel nacional.

La segunda opción es **Datos Grillados**, se refiere a los datos de PISCO a nivel nacional, los cuales son el resultado de la combinación de datos proveniente de estaciones meteorológicas, y productos satelitales, dando lugar a valores de precipitación y temperatura espacializada en mallas o grillas con alta resolución espacial (~10km).

Cada opción de datos dispone la selección de la **variable meteorológica** y contiene temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C) y precipitación (mm).

Al seleccionar la opción de datos observados y escoger la variable meteorológica, se habilitará la opción desplegable de manera secuencial, los departamentos, provincias, distritos y estaciones meteorológicas. Solo se habilitan los departamentos/provincias/distritos donde se cuenta con datos de la variable meteorológica en la **estación meteorológica convencional** seleccionada.

Cabe resaltar que en esta primera versión de TENDHIS, la variable meteorológica de precipitación se puede encontrar en 60 estaciones, la temperatura mínima en 37 estaciones y la temperatura máxima en 47 estaciones, constituyéndose en el primer grupo de estaciones que pasaron todos los controles de calidad y homogenización¹ necesarios para la estimación de las tendencias a nivel nacional.

La opción **Datos grillados** tienen otro método para la selección del lugar a consultar, se habilita la búsqueda por coordenada geográfica de interés y se necesita que se ingrese manualmente la latitud (formato: -90°, 90°) y la longitud (formato: -180°, 180°). Para el caso del hemisferio sur las coordenadas de latitud y longitud deben ser ingresadas con signo negativo.

¹ Principalmente aplicada a las temperaturas.

3.1.2 Mapa de Ubicación

Se muestra el mapa de ubicación de la estación meteorológica convencional o de las coordenadas geográficas (latitud, longitud) previamente seleccionada en la sección de selección de datos y/o filtros. Esta opción de mapa de ubicación se encuentra en el lado izquierdo inferior del entorno. El mapa es dinámico y facilita el uso del zoom a fin de poder identificar con mayores detalles las zonas, ciudades o referencias aledañas a la estación meteorológica (o coordenada geográfica de grilla seleccionada). En la Figura 4 se muestra el ejemplo de la estación Augusto Weberbauer.

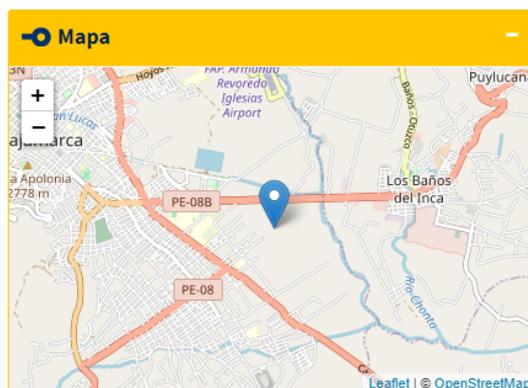


Figura 4. Mapa de ubicación del punto de estación meteorológica.

Fuente: Aplicativo web **TENDHIS**.

3.1.3 Cuadro de Tendencias

En este punto se genera el **Cuadro de tendencias**, después de realizar los *filtros* y se ubica visualmente en el lado izquierdo del TENDHIS.

En la Figura 5 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos luego de haber filtrado:

- ❖ Datos Observados
- ❖ Variable meteorológica: Temperatura Máxima
- ❖ Departamento: Cajamarca
- ❖ Provincia: Cajamarca
- ❖ Distrito: Cajamarca
- ❖ Estación Meteorológica Convencional: Augusto Weberbauer

Tendencia anual	Tendencia de periodo hidrológico
0.27 °C/dec Significativo Intervalo de confianza: [0.178,0.357] °C/dec	0.27 °C/dec Significativo Intervalo de confianza: [0.184,0.353] °C/dec
Tendencia de avenida	Tendencia de estiaje
0.25 °C/dec Significativo Intervalo de confianza: [0.145,0.305] °C/dec	0.29 °C/dec Significativo Intervalo de confianza: [0.180,0.392] °C/dec

Dic - Ene - Feb	Mar - Abr - May
0.23 °C/dec Significativo Intervalo de confianza: [0.085,0.355] °C/dec	0.21 °C/dec Significativo Intervalo de confianza: [0.110,0.313] °C/dec
Jun - Jul - Ago	Set - Oct - Nov
0.27 °C/dec Significativo Intervalo de confianza: [0.026,0.453] °C/dec	0.33 °C/dec Significativo Intervalo de confianza: [0.047,0.623]°C/dec

Figura 5. Tablas de tendencias, significancia e intervalo de confianza.

Fuente: Aplicativo web **TENDHIS**.

Como se observa en la Figura 5, se presentan en total ocho valores de tendencias expresados en °C/década. La información de significancia e intervalo de confianza se visualiza de manera dinámica como texto emergente al momento de pasar el mouse sobre los valores de tendencia.

Los periodos se han ordenado en dos grupos, el primero (fondo azul) consiste en cuatro periodos conocidos o de uso común, y son:

- ❖ Anual: de enero a diciembre.
- ❖ Periodo Hidrológico: de setiembre a agosto.
- ❖ Avenida: comprende de diciembre a abril y son los meses de mayores acumulados de precipitación.
- ❖ Estiaje: comprende de mayo a noviembre y son los meses de escasos/menores acumulados de precipitación.

El segundo grupo (fondo gris) son los periodos trimestrales:

- ❖ Diciembre-Enero-Febrero (DEF)
- ❖ Marzo-Abril-Mayo (MAM)
- ❖ Junio-Julio-Agosto (JJA)
- ❖ Setiembre-October-Noviembre (SON)

Los valores de tendencia se expresan en unidades grado centígrado por década (°C/dec) o milímetros por década (mm/dec) ya sea temperatura o precipitación, respectivamente.

Durante el proceso de construcción del aplicativo web, se vio conveniente utilizar el tipo de letra “**negrita**” para identificar las tendencias significativas, y “sin negrita” las no significativas.

3.1.4 Nota

Se muestra una ventana **Nota** en la parte izquierda central (figura 6), que es un resumen de la explicación de las tendencias, sobre su aplicación² y los signos de las tendencias, entre otros detalles generales que variarán según las opciones de filtro que se escojan.

En esta ventana se ha habilitado la opción de **DESCARGAR FICHA** ubicada en la parte izquierda inferior, al darle clic se descargará la ficha técnica en un formato PDF.

² Mayor información puede obtenerse en el ítem 3.1.5

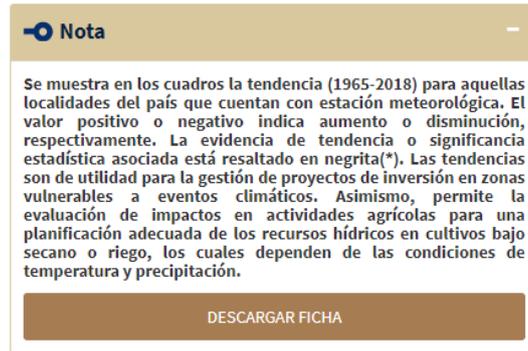


Figura 6. Ventana *Nota* nos proporciona información las tendencias.
Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

3.1.5 Ficha técnica de TENDHIS

La Ficha técnica es el resumen de lo mostrado en el TENDHIS, está disponible en la ventana de **Nota** y se habilita para descargarlo 13 segundos después de seleccionar la estación meteorológica o punto de PISCO. En la figura 7 se muestra un ejemplo de la **Ficha Técnica** para la variable de temperatura mínima de la estación Augusto Weberbauer.

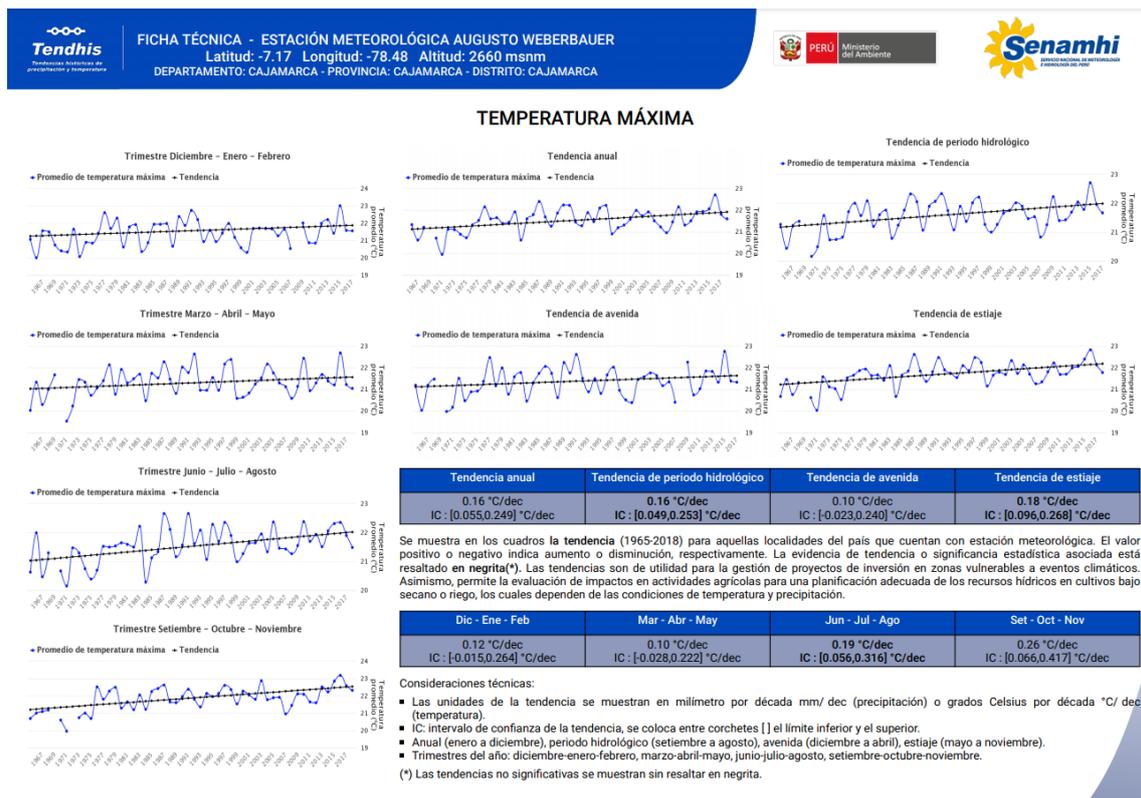


Figura 7. Ficha técnica descargable generadas con datos observados.
Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

3.1.6 Series de tiempo

En coherencia con lo detallado en los cuadros de tendencias, las series de tiempo también se han ordenado en dos grupos. El primero en la parte superior (figura 9) está definido por los

trimestres del año. El segundo grupo se ubica en la parte inferior (figura 8) está dispuesto en función a la precipitación, a continuación, se detalla el primer grupo.

El **periodo anual** considera los doce meses del año desde enero a diciembre. El **periodo hidrológico** considera también doce meses de setiembre a agosto, obteniéndose así la distribución normal para los datos mensuales de precipitación. El **periodo de avenida** está asociado a los meses con mayores acumulados de precipitación y considera los meses de diciembre a abril. El **periodo de estiaje** considera los meses de mayo a noviembre y está asociado a los meses con menores acumulados de precipitación.

Para cada serie de tiempo se ha considerado el eje de tiempo en años (los datos de estaciones convencionales el periodo de 1965-2018 y lo datos de PISCO el periodo de 1981-2016); el eje vertical coloca los valores en los que oscila la variable seleccionada, considerando las unidades de grados Celsius (°C) para temperatura, y milímetros (mm) para precipitación.

Las series de tiempo se presentan en líneas y puntos para las variables de temperatura; mientras que, para precipitación se ha colocado en barras.

La tendencia se ha colocado en líneas negras y los detalles numéricos de la tendencia y del intervalo de confianza, se visualizan cuando se ingresa a cada periodo y donde también se habilita la opción de descarga. (figura 10)

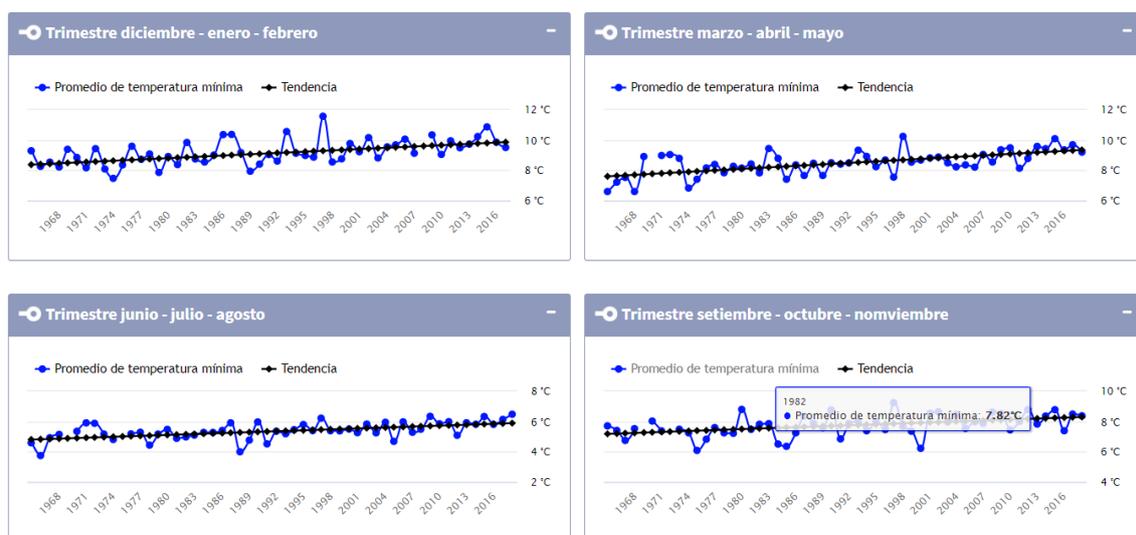


Figura 8. Primer grupo de periodos, variable: temperatura mínima.
Fuente: Aplicativo web TENDHIS

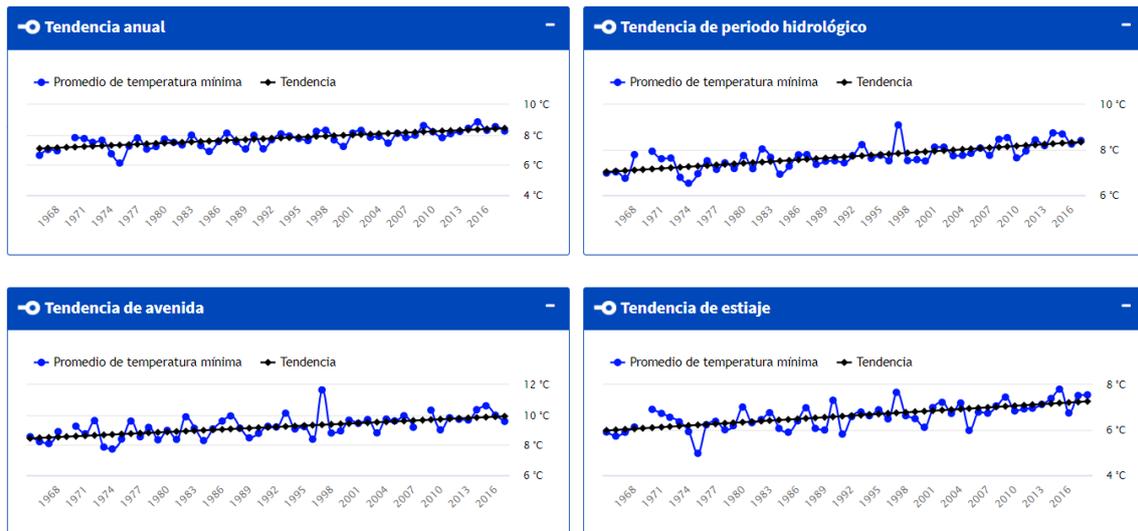


Figura 9. Segundo grupo de periodos (trimestres), variable: temperatura mínima.
Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

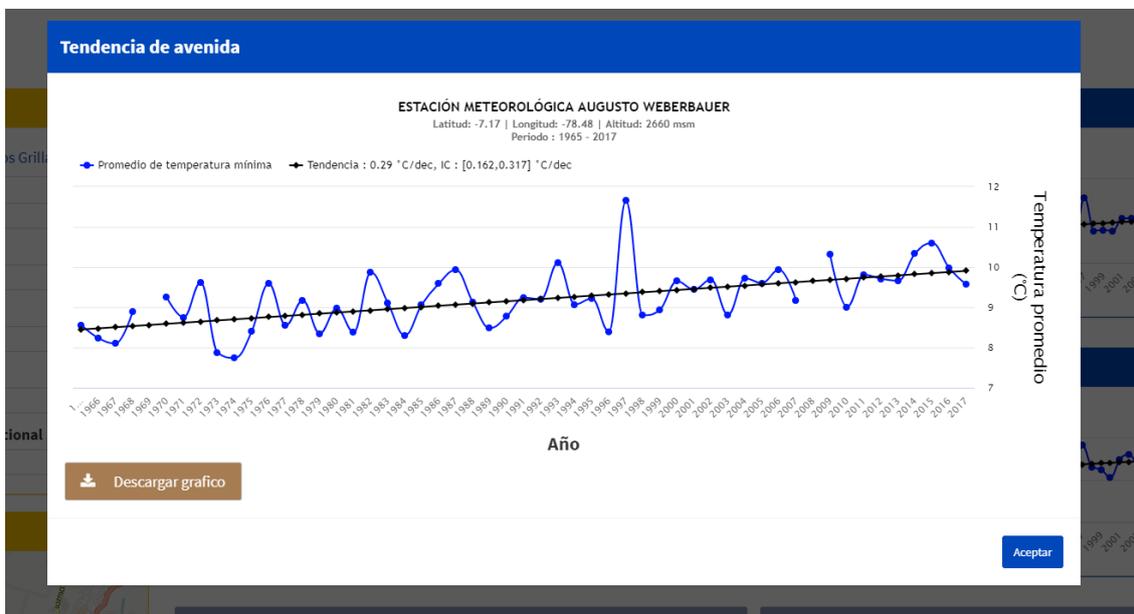


Figura 10. Serie de tiempo, tendencia e Intervalo de Confianza.
Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

3.2 Demo de Interpretación de tendencias históricas climáticas del TENDHIS

En la interpretación de las tendencias climáticas se deben considerar tanto el resultado de la prueba de significancia estadística, así como el signo y magnitud de la tendencia.

Para afirmar que una tendencia es estadísticamente significativa el p-valor que resulta de la prueba de significancia de Mann-Kendall debe ser menor al nivel de significancia establecido. Se recomienda un p-valor menor a $\alpha = 0.05$ (95% de confianza estadística) para afirmar que la tendencia es estadísticamente significativa. Esto puede visualizarse en el Cuadro de tendencias o en la ficha técnica, donde **la tendencia significativa se denota en negrita**, caso contrario no es significativo. Se interpreta el término “no significativa” que la relación (tendencia) observada en la muestra de datos probablemente no se observe en la población de datos.

Si la tendencia es estadísticamente significativa, se debe analizar el signo y valor de esta, que ha sido estimado a través del método de la pendiente de Sen. **Si el signo es positivo, la tendencia de la variable analizada es de incremento; mientras que si es negativo indicaría reducción.**

En la precipitación, las tendencias expresadas en mm/década pueden indicar incremento o reducción. Por ejemplo, la Figura 11 muestra la serie de precipitación total anual para la estación de Acomayo (Cusco).

El valor de la tendencia es de **-22.68 mm/década** nos indica que existe evidencia del decrecimiento de los acumulados de precipitación total anual a lo largo del periodo comprendido entre 1965 al 2018. El **Intervalo de Confianza (IC)**, que se calcula con un coeficiente de confianza al 0.95 (95%), es de **-41.119 a 0.723 mm/década**, y se interpreta que estamos a un 95 % seguros que el intervalo de -41.119 a 0.723 mm/dec captura el valor estimado de la tendencia.

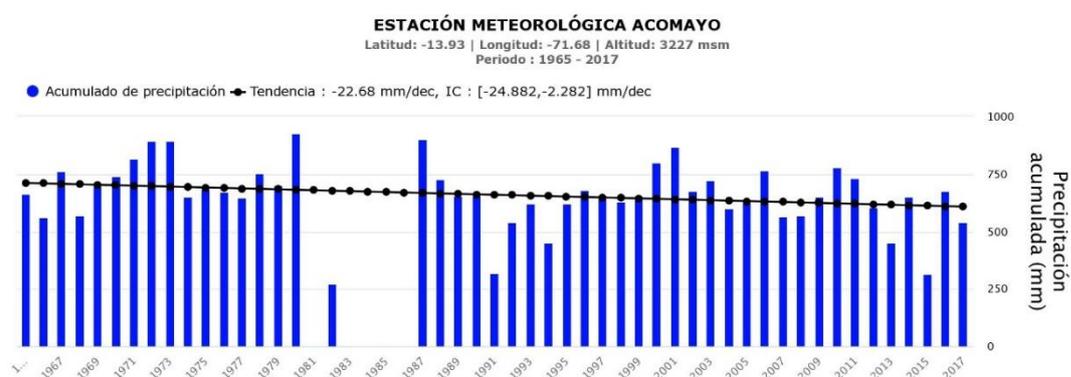


Figura 11. Precipitación total anual. Tendencia -22.68 mm/dec. IC: [-41.119,0.723] mm /dec.
Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

En lo que respecta a temperatura máxima y mínima, las tendencias expresadas en °C/década indican la razón de cambio por década. A manera de ejemplo, la figura 12 muestra la serie de temperatura mínima media anual de la estación Pampa Blanca (Arequipa).

La tendencia es de **+0.12°C/década** indica que existe evidencia de un aumento progresivo de la temperatura mínima media anual a lo largo del periodo comprendido entre 1966 al 2018. Los intervalos de confianza para la estación Pampa Blanca (figura 12) calculado con coeficiente de confianza al 0.95 (95%), es de 0.011 a 0.221 °C/década, entonces quiere decir que estamos a un 95 % seguros que el intervalo de 0.011 a 0.221 °C/año captura el valor estimado de la tendencia.

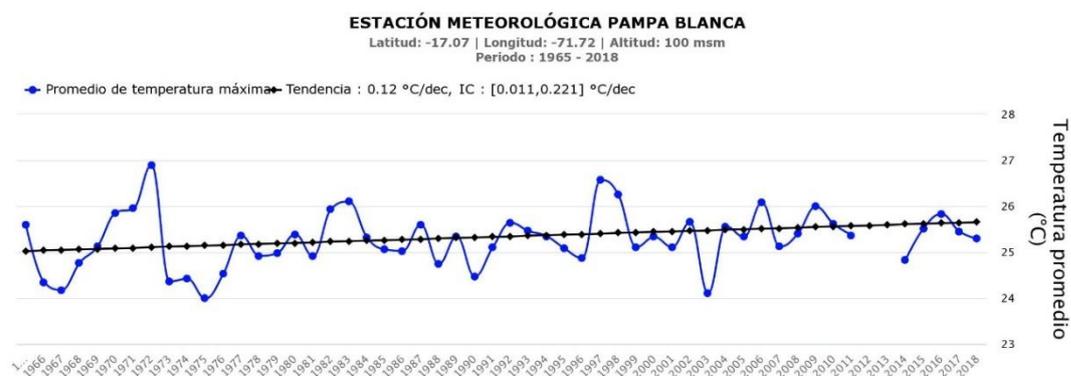


Figura 12. Temperatura mínima anual. Tendencia +0.12°C/dec. IC: [0.011,0.221] °C /dec
Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

Capítulo IV. Orientación para el análisis de tendencias históricas del clima

Las tendencias históricas son descritas ampliamente en los “Lineamientos generales que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales” publicado recientemente en julio 2020³ por SENAMHI. Este documento es un instrumento técnico orientador, con base científica y técnica, para la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos como base para la realización de estudios integrados sobre el impacto, vulnerabilidad, riesgos y adaptación ante los efectos del cambio climático; así como su aplicación en el desarrollo de herramientas técnicas y de acompañamiento a los instrumentos de gestión integral del cambio climático en el país. De este instrumento orientador se extrae los párrafos correspondientes relacionados a las tendencias históricas del clima.

4.1 Descripción de datos para la estimación de tendencias históricas

Para la estimación se utiliza información diaria de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima los cuales deben pasar el control de calidad y contar con al menos 30 años de información continua, y en la medida de lo posible correspondientes a las décadas más recientes. En ese sentido, el SENAMHI cuenta con una base de datos diarios de temperaturas y precipitaciones tomados en estaciones y que han pasado por un proceso de control de calidad. Dicha base está disponible para su exploración y descarga mediante el siguiente enlace: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.

4.2 Interpretación de las tendencias históricas

En la interpretación de las tendencias climáticas se debe considerar tanto el resultado de la prueba de significancia estadística, así como el signo y magnitud de la tendencia.

Para afirmar que una tendencia es estadísticamente significativa el p-valor que resulta de la prueba de significancia de Mann-Kendall debe ser menor al nivel de significancia establecido. Se recomienda un p-valor menor a $\alpha = 0.05$ (95% de confianza estadística) para afirmar que la tendencia es estadísticamente significativa.

Si la tendencia es estadísticamente significativa, se debe analizar el signo y el valor de esta, estimados a través del método de pendiente de Sen. Si el signo es positivo, la tendencia de la variable analizada es de incremento; mientras que si es negativo indicaría disminución.

En relación a la precipitación, las tendencias expresadas en porcentaje pueden indicar incremento o disminución (con respecto del promedio total) durante el periodo analizado. Por ejemplo, la figura 14 muestra la serie de precipitación total anual para la estación de Augusto Weberbauer (Cajamarca). El p-valor asociado a la tendencia para dicha serie es de 0.02, el cual indica que sí es estadísticamente significativa ya que es menor a 0.05. El valor de la tendencia

³ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00701SENA-1278.pdf>

es de +24.7% evidenciando incremento de la precipitación total anual a lo largo del periodo comprendido entre 1965 al 2018.

En lo que respecta a temperatura máxima y mínima, las tendencias expresadas en °C/década indican la razón de cambio en una década. A manera de ejemplo la figura 15 muestra la serie de temperatura máxima media anual de la estación La Esperanza (Piura). El p-valor asociado a la tendencia es de 0.03 por lo que se puede afirmar que su tendencia es estadísticamente significativa. Además, el valor de +0.15°C/década indica aumento progresivo de la temperatura máxima.

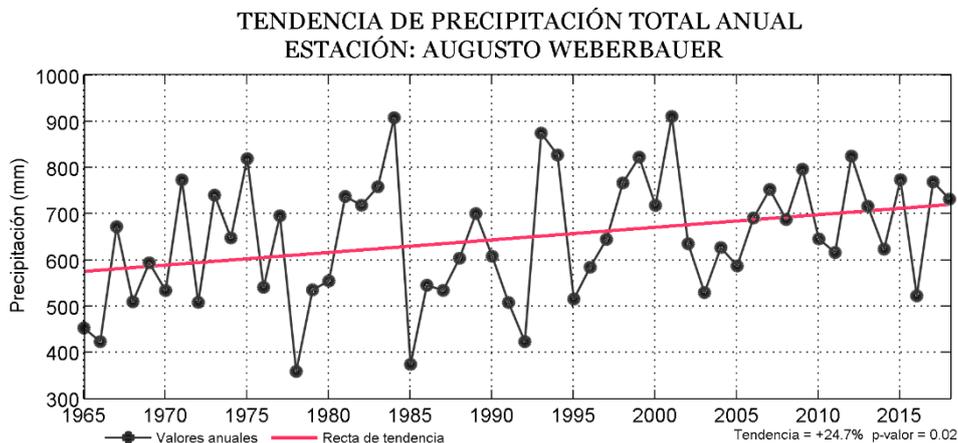


Figura 133. Serie de precipitación total anual y tendencia. Fuente: elaboración propia.

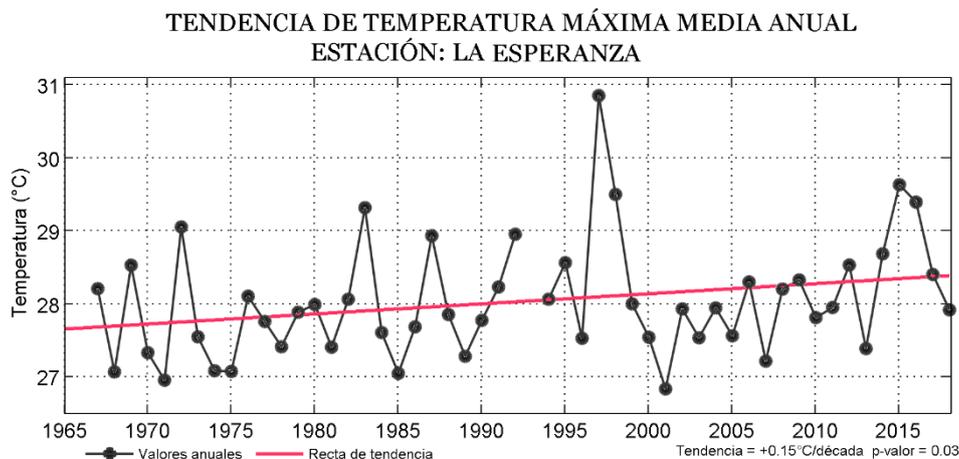


Figura 144. Serie de temperatura máxima media anual y tendencia. Fuente: elaboración propia.

NOTA: Es importante resaltar que a través de las tendencias podemos tener una señal general del cambio y que puede estar asociado a distintos tipos de variabilidad natural del clima y no necesariamente al cambio climático. En tal sentido, el periodo para la estimación tiene una gran importancia en los resultados e interpretación. En estudios de cambio climático es recomendable para detectar tendencias climáticas usar series largas, continuas y de buena calidad.

Si trabajamos con un periodo corto (30 años o menos) entonces el valor de la tendencia puede estar influenciado principalmente por otros tipos de variabilidad tales como la variabilidad interanual y/o la decadal⁴ y no directamente por el cambio climático. Un ejemplo de esto, podemos observarlo en la figura 16, la cual muestra tendencias de temperatura máxima para la estación de Arapa (Puno) en dos periodos distintos: 1965-2018 y 1989-2018. En ambos casos, el p-valor es aproximadamente cero, lo cual indica que ambas tendencias son estadísticamente significativas; sin embargo, los valores de tendencia se diferencian considerablemente. El periodo 1989-2018 se caracteriza por ser más cálido en comparación con el resto del periodo y además cuenta con la mayor cantidad de valores máximos (años 1998, 2010 y 2016) del periodo total. La tendencia en dicho periodo es de $+0.5^{\circ}\text{C}/\text{década}$; sin embargo, no es posible afirmar con seguridad que dicho calentamiento esté atribuido directamente al cambio climático, dado que en este periodo se cuentan con valores más altos de temperaturas asociadas principalmente a la variabilidad interanual; y además, después del año 2002 se observa una década más cálida, posiblemente asociada a la variabilidad decadal la cual influye en el valor de la tendencia. Por otro lado, si consideramos todo el periodo (1965-2018) y su tendencia de $+0.27^{\circ}\text{C}/\text{década}$, notamos con mayor claridad que la serie presenta periodos cálidos y fríos producto de la variabilidad natural; y además un calentamiento progresivo a lo largo de todo el tiempo y que podría estar asociado al cambio climático. Por consiguiente, mientras más largo sea el periodo de análisis, hay mayores probabilidades de que la tendencia sea representativa del cambio climático, por lo cual es importante considerar la mayor cantidad de información que se tenga disponible.

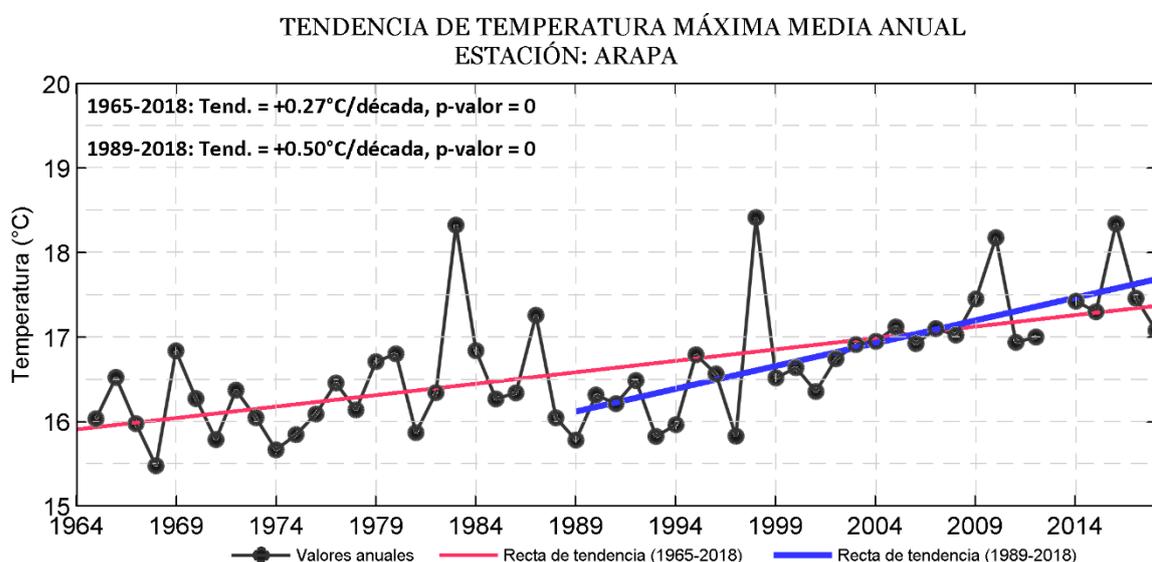


Figura 155 . Serie de temperatura máxima media anual y tendencias para dos periodos distintos (1965-2018 y 1989-2018) para la estación Arapa (Puno), se observa tasas con incrementos de temperatura distintos.

Fuente: elaboración propia.

⁴ Este tipo de oscilación natural ocasiona que haya décadas más cálidas/frías o húmedas/secas y pueden estar asociados a forzantes oceánicas como la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) o la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO).

4.3 Aplicaciones

A continuación, se indican algunos ejemplos de aplicación de la información de tendencias en sectores o áreas temáticas⁵ :

- **Agricultura:** El análisis de las tendencias climáticas puede ser importante para zonas en donde la agricultura es una de las principales actividades económicas. Teniendo evidencias de cambios históricos en los patrones de temperaturas y precipitación se puede identificar las regiones donde las producciones de cultivos están siendo afectados debido a variaciones en la disponibilidad del recurso hídrico o también por el incremento de temperaturas. Dichas variaciones pueden propiciar cambios en la aptitud agroclimática del cultivo, desplazamiento de cultivo, cambios en la frontera agrícola y aparición de plagas o enfermedades.
- **Agua:** Un buen conocimiento de las tendencias históricas en temperatura del aire y precipitación ayudaría en estudios para la identificación de cuencas hidrográficas vulnerables al cambio climático y manejo adecuado de recursos hídricos en una cuenca⁶. De esta forma, dicha información puede ser parte del análisis de las componentes de agua para uso agrario, poblacional y energético.
- **Bosque:** Las tendencias climáticas puede brindar información de los cambios históricos en los patrones de precipitación y temperaturas sobre los ecosistemas. De este modo contribuiría al análisis de vulnerabilidad y riesgos en la biodiversidad de los bosques, de las comunidades nativas y campesinas a factores climáticos.
- **Pesca y acuicultura:** Dentro de la componente de pesca artesanal, el conocimiento de las tendencias históricas aportaría en estudios sobre análisis de posibles riesgos climáticos para la infraestructura y los procesos de los Desembarcaderos de la Pesca Artesanal. Por otro lado, las tendencias climáticas históricas pueden ser consideradas en estudios que contribuyan a la gestión del riesgo asociado al cambio climático en la evaluación de áreas para acuicultura.
- **Salud:** Puede ser considerado como parte de estudios o análisis de riesgos ante temperaturas extremas (temperaturas máximas y mínimas diarias) en la salud pública, (la relación de tendencias del clima y enfermedades). Estos estudios permitirían fortalecer la capacidad y adaptación de las poblaciones vulnerables.

Un ejemplo de análisis de tendencias climáticas orientados a la evaluación de impactos en los diferentes sectores socioeconómicos sobre regiones como Cusco y Apurímac se puede encontrar en SENAMHI (2012a)⁷, en el cual se han identificado tendencias en el comportamiento climático de dichas regiones.

⁵ Estas áreas temáticas son consideradas en la implementación de las NDC. Dentro de cada una de estas áreas temáticas existen diferentes medidas de adaptación las cuales están divididas en componentes. Mayor información puede revisarse en MINAM (2018).

⁶ Ejemplo de aplicación de tendencias para el análisis de cambios hidrológicos se puede encontrar en: Vega-Jácome *et al.* (2018).

⁷ <http://apusiar.regionapurimac.gob.pe/admDocumento.php?accion=bajar&docadjunto=703>

De manera similar, en SENAMHI (2010a)⁸ se muestra el análisis de tendencias de precipitaciones y temperaturas en la Cuenca del Mantaro y en SENAMHI (2015d)⁹ en el estudio de Vulnerabilidad Climática de los Recursos Hídricos de las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y parte Alta del Mantaro. Acuña (2015) y Vicente-Serrano et al. (2017)¹⁰ estimaron tendencias de temperaturas máximas y mínimas del aire para los periodos 1971-2010 y 1964-2014, respectivamente; identificándose señales de calentamiento generalizado en el país (SENAMHI, 2020)¹¹.

- **Gestión de Proyectos de Inversión en zonas vulnerables a eventos climáticos:** entre otras aplicaciones de tendencias climáticas, se ha diseñado e implementado el aplicativo TENDHIS V1.0 de tendencias históricas del clima para evaluar los impactos del clima en las actividades agrícolas para una planificación adecuada de los recursos hídricos en cultivos bajo secano y riego, los cuales dependen de las condiciones de temperatura y precipitación.
- Otras aplicaciones de las tendencias históricas pueden ser orientadas para otras actividades como minería, turismo, energía, entre otros.

⁸ <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/268>

⁹ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-38.pdf>

¹⁰ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-49.pdf>

¹¹ “Lineamientos generales que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales”

Referencias Bibliográficas

SENAMHI, 2020. Lineamientos generales que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales". 43p. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00701SENA-1278.pdf>

Cumming, G. (2012). Understanding The New Statistics: Effect Sizes, Confidence Intervals, and Meta-Analysis (L. Harlow (ed.)). Routledge.
https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2012.00187_26.x

Mendenhall, W., Beaver, R., & Beaver, B. (2010). Introducción a la probabilidad y estadística. In Cengage Learning (13th Edition).

Wilks, S. D. (2019). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences (4th Edition). Elsevier Inc.



Tendhis

*Tendencias históricas de
precipitación y temperatura*

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - Senamhi
Subdirección de Modelamiento Numérico de la Atmósfera – SMN
Jr. Cahuide 785, Jesús María - Lima - Perú
atencionalciudadano@senamhi.gob.pe
Central telefónica: 614-1414

www.gob.pe/senamhi