

PE2020-01

Guía Metodológica para **Aplicativo web de tendencias históricas del clima - TENDHIS**

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL
PERÚ

SUBDIRECCIÓN DE MODELAMIENTO NUMÉRICO DE LA ATMÓSFERA
SMN





PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET



BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA

Editores

Paredes J. & Acuña D.

Contribuciones

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

Revisor

Acuña D.

Editorial

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

Primera Edición
Setiembre 2020

Citar como:

SENAMHI (2020). Guía Metodológica para Aplicativo web Tendencias históricas TENDHIS. PE2020-01.

Contenido

PRESENTACIÓN	1
CAPÍTULO I. GLOSARIO	2
CAPÍTULO II. SIGLAS Y ACRÓNIMOS	3
CAPÍTULO III. PROCEDIMIENTOS DE USO DEL APLICATIVO WEB	4
3.1 PASOS	4
3.1.1 Paso 0 Mensajería de entrada	4
3.1.2 Paso 1 Filtros.....	4
3.1.3 Paso 2 Cuadro de tendencias.....	6
3.1.4 Paso 3 Nota.....	8
3.1.5 Paso 4 Mapa de ubicación	8
3.1.6 Paso 5 Ficha técnica.....	9
3.1.7 Paso 6 Visualización de las series de tiempo de temperatura y precipitación.....	10
3.2 DEMO DE LA INTERPRETACIÓN DE LAS TENDENCIAS HISTÓRICAS CLIMÁTICAS DEL APLICATIVO TENDHIS	12
CAPÍTULO IV ORIENTACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE TENDENCIAS HISTÓRICAS DEL CLIMA	14
4.1 DESCRIPCIÓN DE DATOS PARA LA ESTIMACIÓN DE TENDENCIAS HISTÓRICAS	14
4.2 INTERPRETACIÓN DE LAS TENDENCIAS HISTÓRICAS.....	14
4.3 APLICACIONES	17
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

Lista de figuras

Figura 1. Estructura del aplicativo web.....	4
Figura 2 Mensaje de entrada de Aplicativo web TENDHIS	5
Figura 3. Sección de filtros del aplicativo web. Opción Datos Observados.	5
Figura 4. Sección de filtros del aplicativo web. Opción Datos Grillados.....	6
Figura 5. Tabla de tendencias y significancia.	7
Figura 6. Ventana <i>Nota</i> nos proporciona información las tendencias.	8
Figura 7. Mapa de ubicación del punto de estación meteorológica.....	9
Figura 8. Ficha técnica (1) y cuadro de tendencias (2).....	9
Figura 9. Ficha técnica descargable generadas con datos observados.....	10
Figura 10. Primer grupo por periodos (Periodo hidrológico), variable: temperatura mínima. ...	11
Figura 11. Segundo grupo de periodos (trimestres), variable: temperatura mínima.	11
Figura 12. Serie de tiempo y tendencia temperatura mínima, cuadro maximizado.	12
Figura 13. Serie de precipitación total anual para la estación Augusto Weberbauer (Cajamarca), tendencia +27.10 mm/década.	13
Figura 14. Serie de temperatura máxima media anual para la estación La Esperanza (Piura). Tendencia +0.16°C/década.	13
Figura 15. Serie de precipitación total anual y tendencia para la estación Augusto Weberbauer (Cajamarca). Fuente: elaboración propia.....	15
Figura 16. Serie de temperatura máxima media anual y tendencia para la estación La Esperanza (Piura). Fuente: elaboración propia.....	15
Figura 17 . 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.	16

Presentación

El SENAMHI encargado de generar y proveer información y conocimiento meteorológico, hidrológico, agrometeorológico, y ambiental atmosférico para la sociedad peruana de manera oportuna y confiable, es así que a través de su Subdirección de Modelamiento Numérico en colaboración con la Oficina de Tecnología e Información 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)”, proyecto financiado por GEF e implementado por el Banco de Desarrollo de América Latina – CAF y el Punto Focal Nacional del proyecto la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación del Ministerio del Ambiente, y la Contraparte Técnica es la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios del Ministerio de Agricultura y Riego.

El diseño del TENDHIS se ha realizado en coordinación con la DGCC del MINAM y AICCA, el cual está dirigido a gestores de fichas de proyectos de inversión a nivel de los gobiernos locales y regionales con la finalidad de brindar información amigable, flexible y de fácil acceso.

TENDHIS presenta tres 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).
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.
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 en colaboración con AICCA ponen a disposición el aplicativo web de tendencias históricas de precipitación y temperaturas en:

<http://sisper.senamhi.gob.pe:9091/sis-fichas-climaticas/>.

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

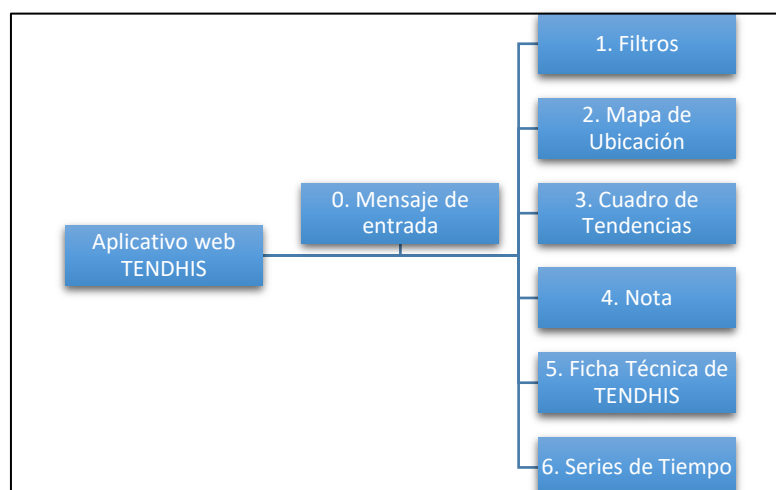


Figura 1. Estructura del aplicativo web.
Fuente: elaboración propia.

3.1 Pasos

Para navegar en el aplicativo TENDHIS se pueden visualizar mediante la secuencia de Pasos que se describen a continuación:

3.1.1 Paso 0 Mensajería de entrada

Este paso 0, lleva al “**Mensaje de entrada**”. <http://sisper.senamhi.gob.pe:9091/sis-fichas-climaticas/>

En este paso aparece una ventana con una breve descripción de la información contenida en el aplicativo web, y un enlace (color rojo) para llegar a la guía de usuario ubicado líneas debajo de la ventana (Figura 2).

3.1.2 Paso 1 Filtros

En este paso se dispone la sección **filtros** y se ubica en la parte superior izquierda del entorno. En esta sección se presentan dos opciones de datos, como se muestra en la Figura 3 y 4.

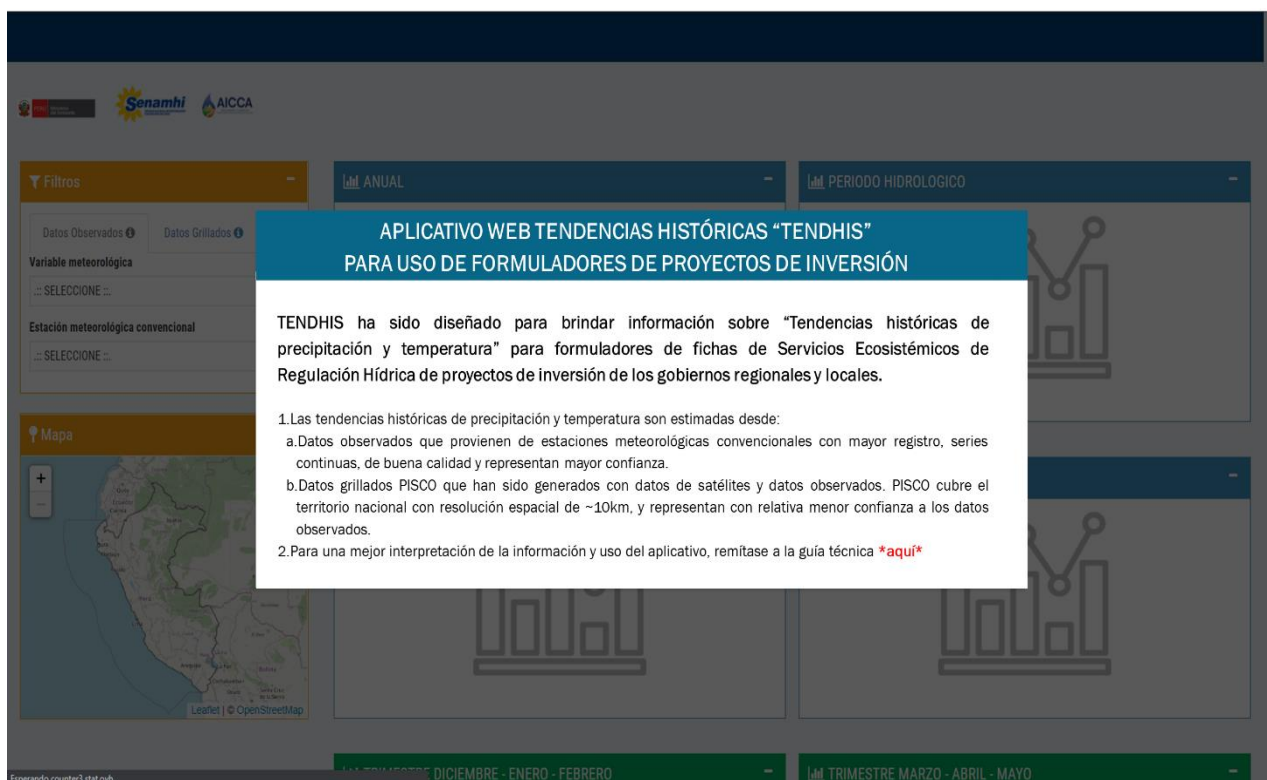


Figura 2 Mensaje de entrada de Aplicativo web TENDHIS

Figura 3. Sección de filtros del aplicativo web. Opción Datos Observados.
Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

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

La segunda opción es **“Datos Grillados”** y se refiere a los datos de PISCO a nivel nacional. Estos datos son el resultado de la combinación de datos de estaciones meteorológicas, y productos satelitales y dan lugar a datos de precipitación y temperatura espacializada en mallas o grillas, y se encuentran a una 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).

En la opción de datos observados y “**estación meteorológica convencional**” debe ser seleccionada del lugar de interés para visualizar la tendencia y descargar la ficha técnica correspondiente.

Cabe resaltar que en esta primera versión de TENDHIS, la variable meteorológica de precipitación cuenta con 60 estaciones, la temperatura mínima con 37 estaciones, y la temperatura máxima con 47 estaciones; y constituyen el primer grupo de estaciones que pasaron todos los controles de calidad y homogenización¹ necesarios para la estimación de las tendencias a nivel país.

La opción “**Datos grillados**” tienen otro método para la selección del lugar a consultar, en esta opción 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 debe ser ingresada con signo negativo.

La imagen muestra una interfaz de usuario con un encabezado naranja que dice 'Filtros'. Hay dos pestañas: 'Datos Observados' (seleccionada) y 'Datos Grillados'. Debajo, hay un menú desplegable para 'Variable meteorológica' con el texto '... SELECCIONE ...'. A continuación, hay dos campos de entrada: 'Coordenada Latitud' con el placeholder 'Agregar latitud' y 'Coordenada Longitud' con el placeholder 'Agregar longitud'. Al final, hay un botón azul que dice 'BUSCAR'.

Figura 4. Sección de filtros del aplicativo web. Opción Datos Grillados.
Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

3.1.3 Paso 2 Cuadro de tendencias

En este paso se genera el **Cuadro de tendencias**, después de realizar los *filtros*. Se ubica en el lado izquierdo del entorno.

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

- *Datos Observados*
- *Variable meteorológica:* temperatura mínima

¹ Principalmente aplicada a las temperaturas.

- Estación meteorológica convencional: Augusto Weberbauer.

ANUAL	AVENIDA
0.26 °C/dec	0.29 °C/dec
ESTIAJE	PERIODO HIDROLOGICO
0.25 °C/dec	0.26 °C/dec
Dic - Ene - Febr	Marzo - Abril - Mayo
0.29 °C/dec	0.33 °C/dec
Junio - Julio - Agosto	Set - Oct - Nov
0.21 °C/dec	0.21 °C/dec

Figura 5. Tabla de tendencias y significancia.

Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

Como se observa en la Figura 6, se presentan en total ocho valores de tendencias expresados en °C/década.

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.
- Estiaje: comprende de mayo a noviembre y son los meses de escasos/menores acumulados de precipitación.
- Avenida: comprende de diciembre a abril y son los meses de mayores acumulados de precipitación.

El segundo grupo (fondo verde) 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 °C/dec o 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.

Adicionalmente, se agregó la opción dinámica de texto emergente para cuando se pase el mouse sobre los valores de tendencia, con el cual podrán visualizarse automáticamente los valores.

3.1.4 Paso 3 Nota

En este paso, se muestra una ventana **“Nota”** en la parte izquierda central (figura 5), 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.

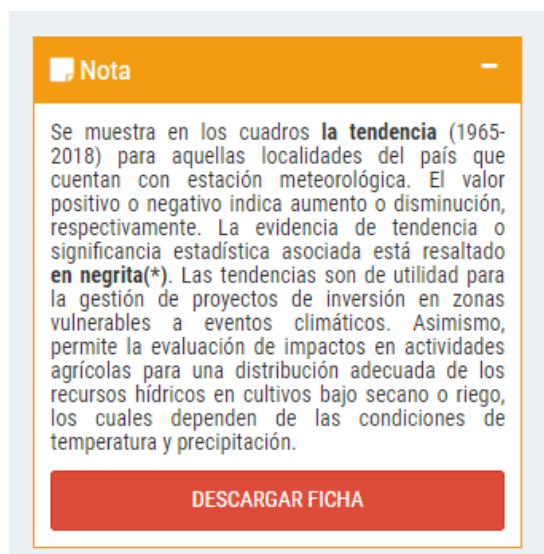


Figura 6. Ventana *Nota* nos proporciona información las tendencias.

Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

3.1.5 Paso 4 Mapa de ubicación

Se muestra el mapa de ubicación de la **estación meteorológica convencional** o de las **coordenada geográfica (latitud, longitud)** previamente seleccionada en la sección de 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 las zonas, ciudades o referencias aledañas a la estación meteorológica (o coordenada geográfica de grilla seleccionada). En la Figura 7 se muestra el ejemplo de la estación Augusto Weberbauer.

² Mayor información puede obtenerse en el ítem 3.5

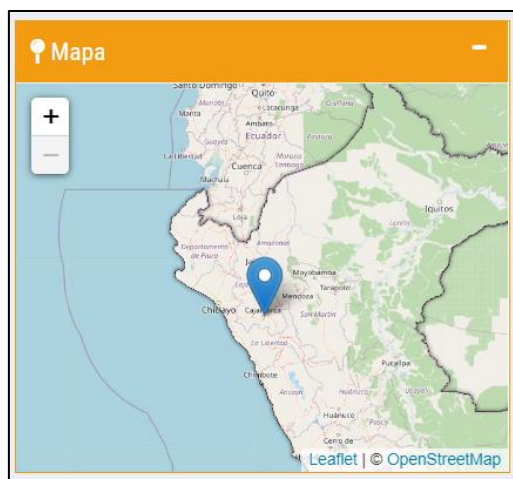


Figura 7. Mapa de ubicación del punto de estación meteorológica.
Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

3.1.6 Paso 5 Ficha técnica

La Ficha técnica se muestra en la parte derecha del entorno (figura 7). Donde la línea negra es la tendencia de la variable seleccionada (los valores correspondientes se ubican en el lado izquierdo) y la línea azul muestra de forma dinámica la variación de la variable por año.

En la Figura 8, la línea azul muestra la variación de la temperatura mínima desde 1965 a 2018 para los diferentes periodos del año (anual, hidrológico, estiaje, avenida, entre otros) y los valores asociados se encuentran en el lado izquierdo.

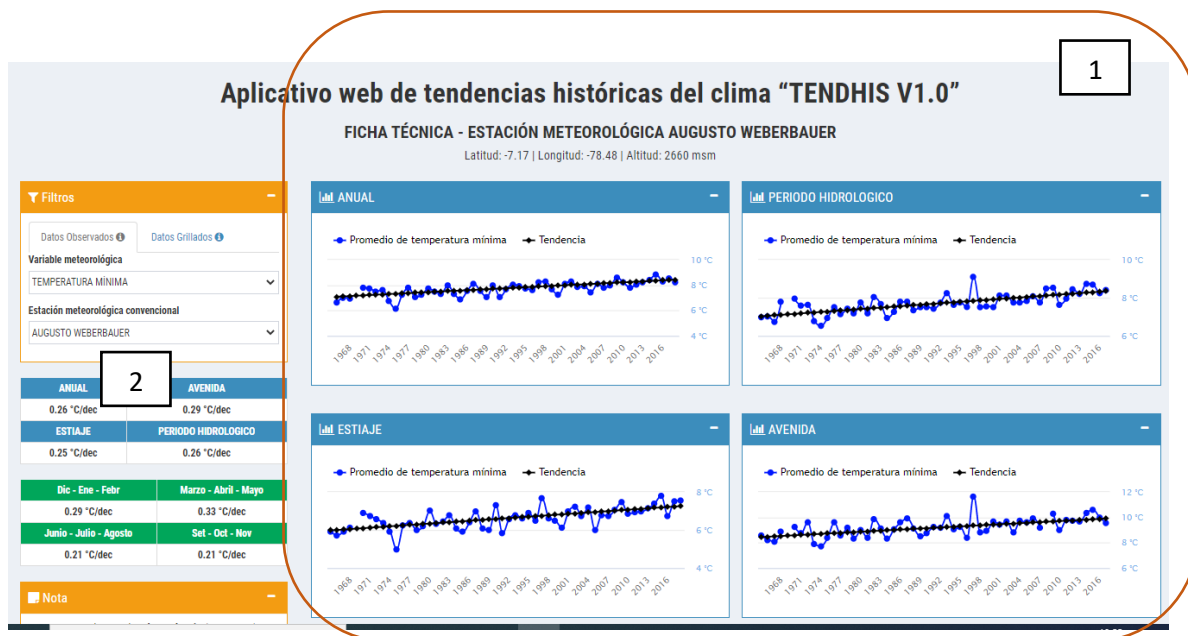


Figura 8. Ficha técnica (1) y cuadro de tendencias (2).
Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

Un ejemplo de la descarga de una ficha técnica para la variable de temperatura mínima de la estación Augusto Weberbauer se muestra en la Figura 9.

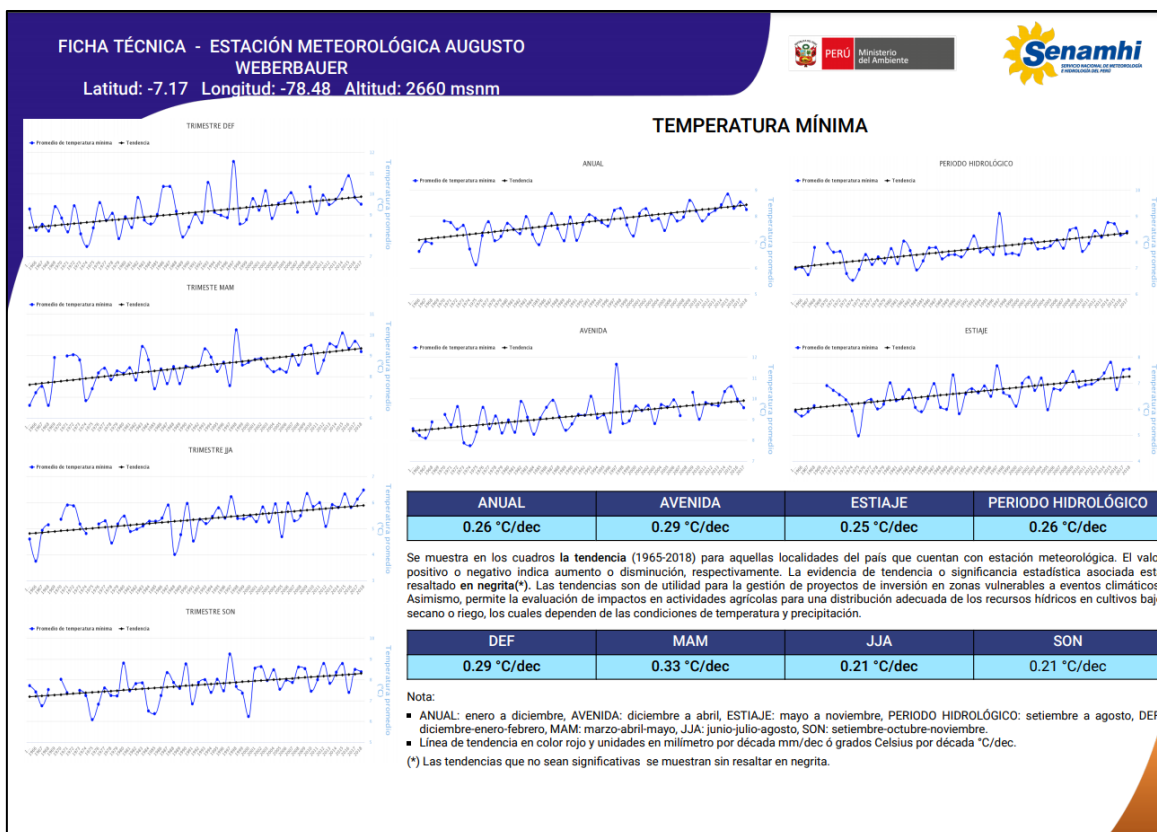


Figura 9. Ficha técnica descargable generadas con datos observados.
 Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

3.1.7 Paso 6 Visualización de las series de tiempo de temperatura y precipitación

Las series de tiempo para temperatura mínima se presentan en líneas (Figura 10 y 11). En el caso de la precipitación son presentadas en barras en el aplicativo

Las agregaciones temporales se han agrupado en dos periodo hidrológico (fondo azul) y trimestral (fondo verde) que al presentarse en gráfico no presentan diferencias en su estructura gráfica. Cada uno las de series de tiempo son graficadas con un eje horizontal donde se ha colocado el tiempo en años y un eje vertical donde se coloca los valores entre los que oscila la variable seleccionada, considerando las unidades de grados Celsius (°C) para temperatura, y milímetros (mm) para precipitación.

Cada uno de los periodos tiene la opción de descarga por separado dando un clic al nombre del periodo (ejemplo: ANUAL o ESTIAJE) y la ventana se maximizará habilitando la opción de descarga como se muestra en la Figura 12.

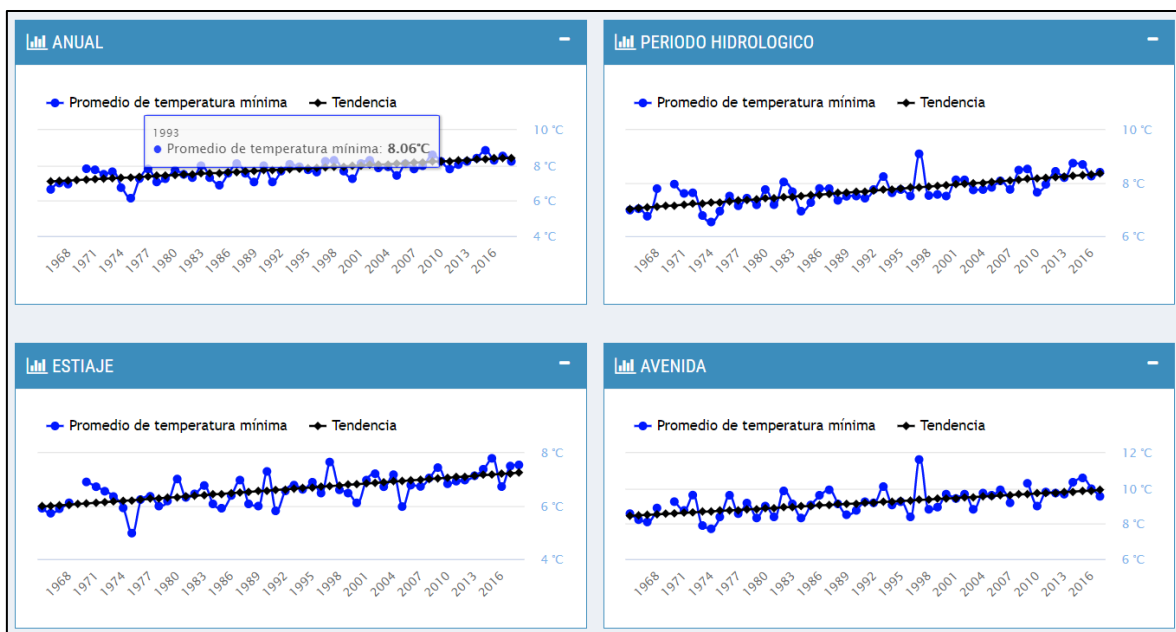


Figura 10. Primer grupo por periodos (Periodo hidrológico), variable: temperatura mínima.
Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

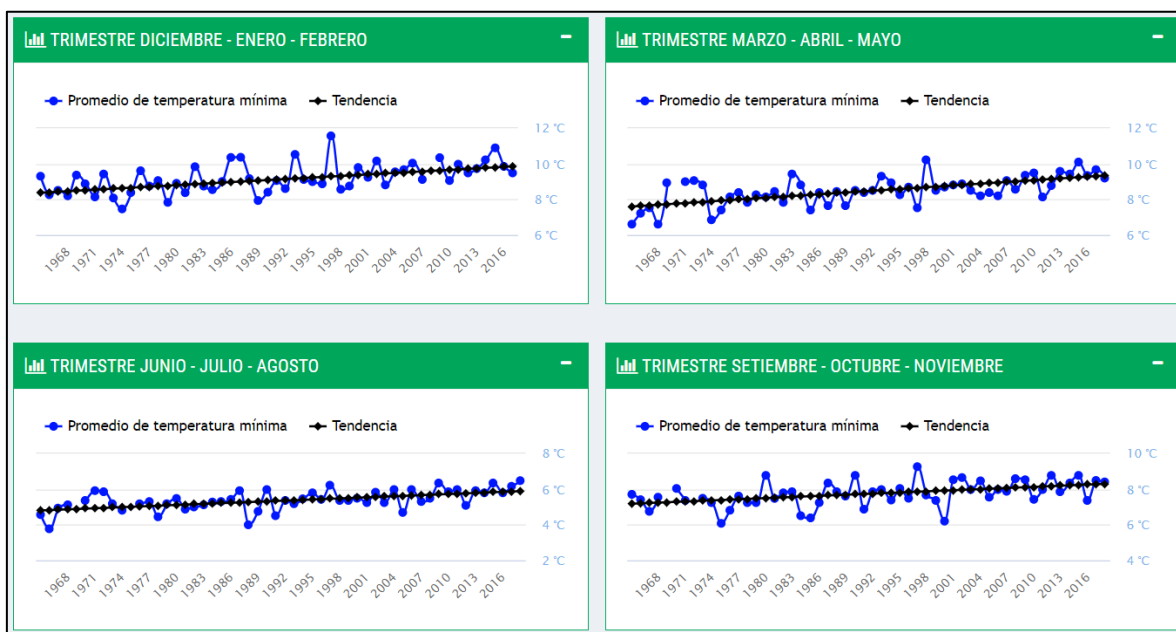


Figura 11. Segundo grupo de periodos (trimestres), variable: temperatura mínima.
Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

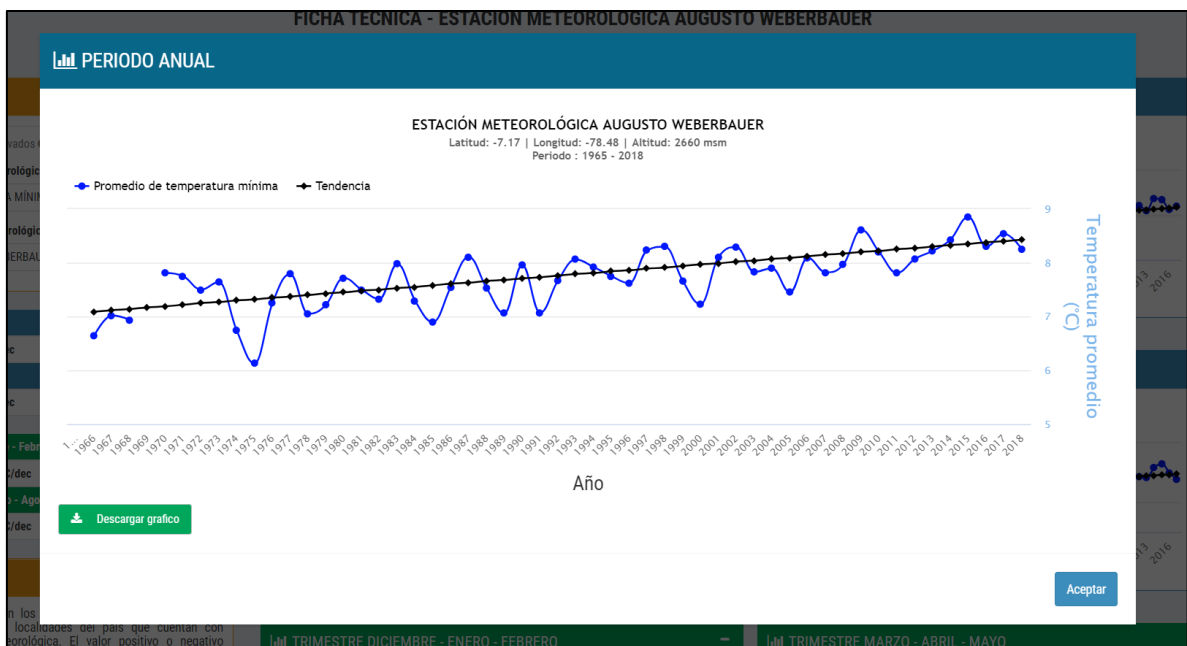


Figura 12. Serie de tiempo y tendencia temperatura mínima, cuadro maximizado.

Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

3.2 Demo de la Interpretación de las tendencias históricas climáticas del aplicativo 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 de descarga, donde **la tendencia significativa se denota en negrita, caso contrario no es significativo**.

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 13 muestra la serie de precipitación total anual para la estación de Augusto Weberbauer (Cajamarca). El valor de la tendencia es de **+27.10 mm/década** nos indica que existe evidencia del incremento de la precipitación total anual a lo largo del periodo comprendido entre 1966 al 2018.

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 14 muestra la serie de temperatura máxima media anual de la estación La Esperanza (Piura). La tendencia es de **+0.16°C/década** indica que existe evidencia de un aumento progresivo de la temperatura máxima media anual a lo largo del periodo comprendido entre 1966 al 2018.

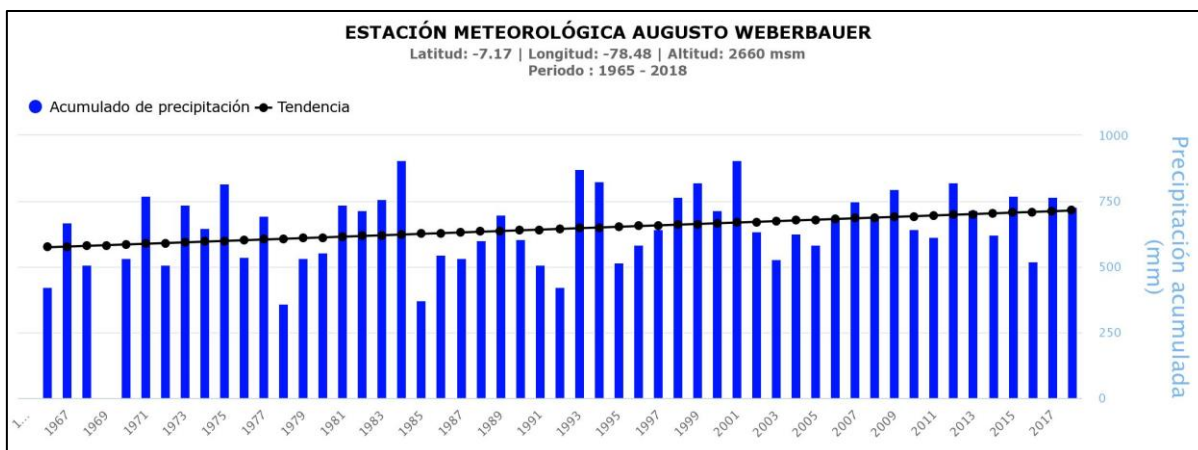


Figura 13. Serie de precipitación total anual para la estación Augusto Weberbauer (Cajamarca), tendencia +27.10 mm/década.
 Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

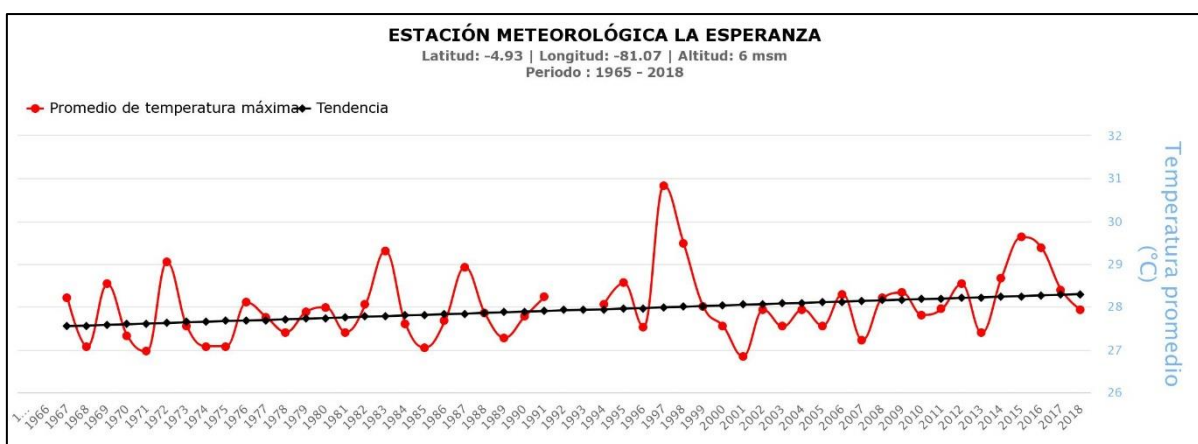


Figura 14. Serie de temperatura máxima media anual para la estación La Esperanza (Piura). Tendencia +0.16°C/década.
 Fuente: Aplicativo web TENDHIS.

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

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

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.

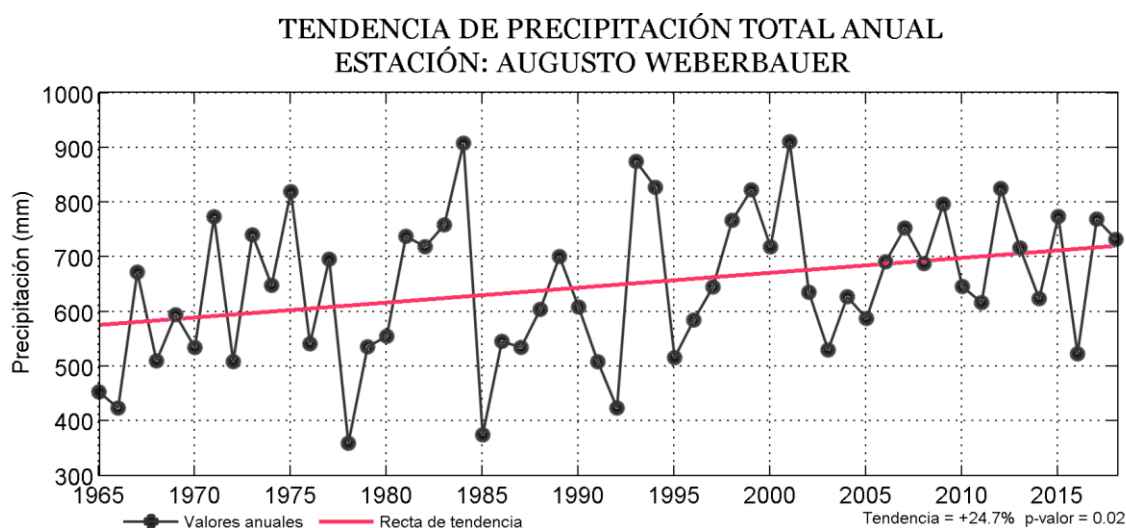


Figura 15. Serie de precipitación total anual y tendencia para la estación Augusto Weberbauer (Cajamarca). Fuente: elaboración propia.

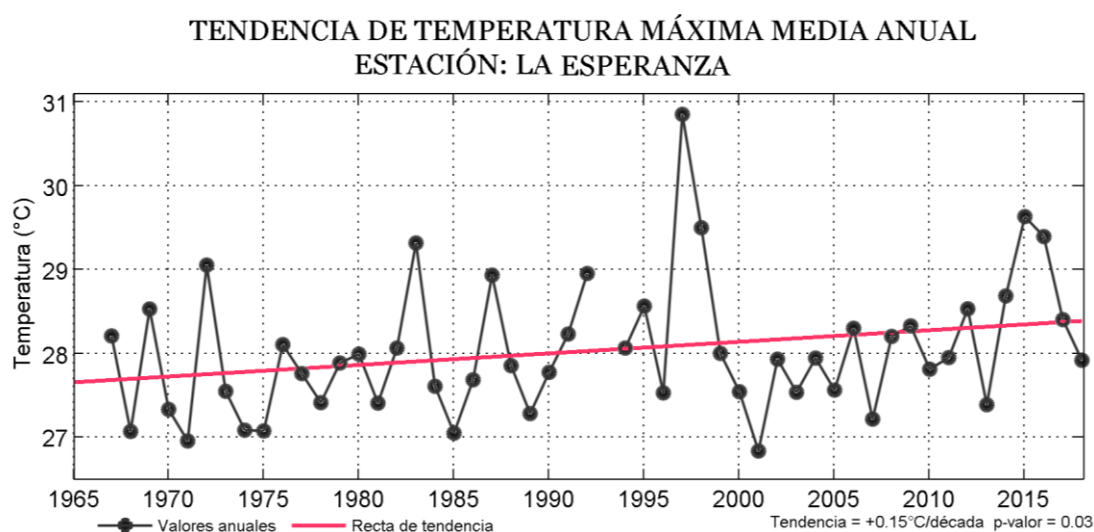


Figura 16. Serie de temperatura máxima media anual y tendencia para la estación La Esperanza (Piura). Fuente: elaboración propia.

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.

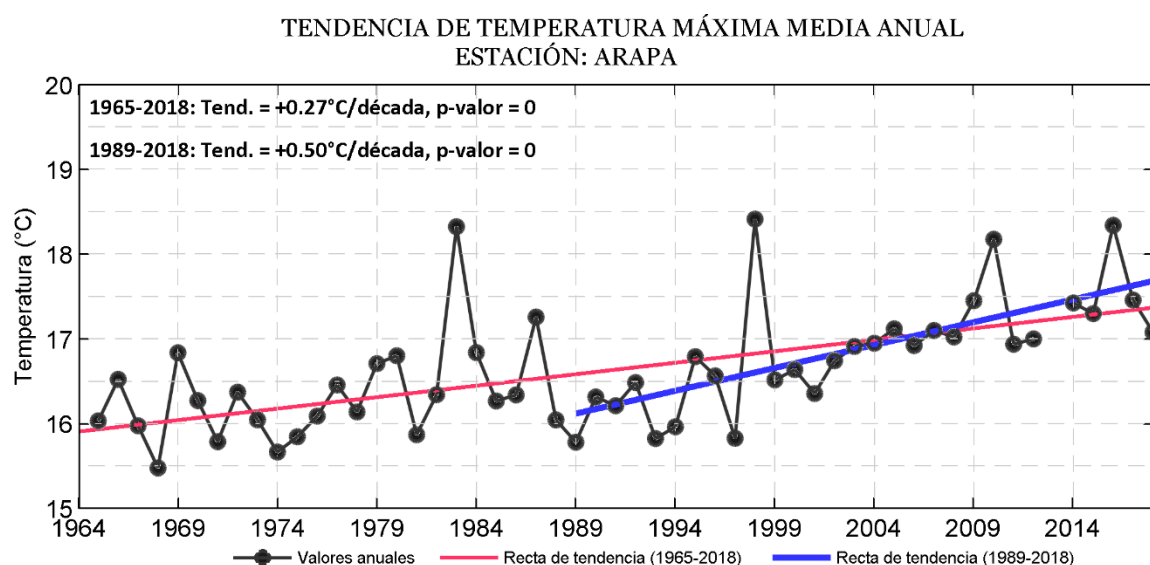


Figura 17 . Serie de temperatura máxima media anual y tendencias para dos periodos distintos (1965-2018 y 1989-2018) para la estación Arapa (Puno), se observa tasas con incrementos de temperatura distintos.

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 la producción 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

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?action=bajar&docadjunto=703>

comportamiento climático de dichas regiones. De igual manera, 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; identificando una señal 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, 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>