

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental



TESIS

**Evaluación de la influencia del cambio climático en la cantidad y
calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma,
Arequipa**

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Elaborado por

Ericka Catherin Lavado Quispe

 [0009-0001-7139-9640](https://orcid.org/0009-0001-7139-9640)

Asesor

MSc. Lidio Matos Caldas

 [0000-0003-0799-6640](https://orcid.org/0000-0003-0799-6640)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Lavado Quispe [1]
Referencia/Reference	[1] E. Lavado Quispe, " <i>Evaluación de la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Lavado, 2025)
Referencia/Reference	Lavado, E. (2025). <i>Evaluación de la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A Dios, por renovar mi ánimo para poder culminar mi tesis y quien es mi soporte y guía en cada actividad que realizo ya sea como persona o profesional.

A mis padres Alejandro y Simona, por el amor y el gran apoyo incondicional que me han brindado en todos mis años de existencia para que todos mis objetivos se materializaran, siendo la culminación de la tesis, uno de ellos.

A mis amigos confidentes Carolina y Fernando, quienes han sido un ejemplo de perseverancia y superación de retos y me inspiraron a no rendirme.

Agradecimientos

A mi asesor Lidio Matos Caldas, por su disposición y apoyo en el desarrollo de la presente tesis.

A mis padres, por el apoyo incondicional que me han brindado en toda mi etapa personal y universitaria.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), por brindarme información gratuita de los datos meteorológicos.

A mi querida Universidad Nacional de ingeniería, específicamente a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por brindarme una educación de calidad y los valores que contribuyeron a mi desarrollo como profesional.

Resumen

En la presente investigación se evalúa la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca. Se evaluó las tendencias de la temperatura del aire y precipitación de 1981 a 2020, mediante las pruebas de Mann-Kendall y Sen, a un nivel de confianza (NC) por encima del 95%, considerando dos estaciones climatológicas referenciales (A-1 y A-2); asimismo, se estimó el balance hídrico superficial para escenarios de cambio climático según la IPCC (1.5°C y 2°C), y se evaluó para 2015 al 2019, correlaciones entre temperatura (aire y agua) con parámetros de campo y caudal con $p < 0.05$. Como resultado, las temperaturas máxima, mínima y media mostraron tendencias significativas crecientes a escala anual, con NC del 99%, siendo las magnitudes de cambio en A-1 de 0.028°C/año, 0.018°C/año, y 0.023°C/año, respectivamente; y en A-2, de 0.032°C/año, 0.017°C/año, y 0.026 °C/año, respectivamente; sin embargo, la precipitación mostró mayoritariamente tendencias insignificantes en las tres escalas. Bajo escenarios de cambio climático, el balance hídrico mostró pérdidas de agua (32.44mm a 37.70mm), evidenciando su influencia en la cantidad y calidad del agua; asimismo, de 76 correlaciones analizadas, 36 (47.4%) resultaron ser correlaciones significativas que oscilaron entre 0.256 a 0.818 con magnitud promedio de 0.43, lo que evidencia una relación moderada y consistente que requiere validación con series temporales más extensas, para evaluar los efectos del cambio climático sobre la cantidad y calidad (parámetros de campo) del agua.

Palabras clave — cambio climático, cantidad y calidad del agua, tendencia climática, balance hídrico.

Abstract

This research evaluates the influence of climate change on the quantity and quality of water in the Santiago River in its micro-basin. The trends in air temperature and precipitation from 1981 to 2020 were evaluated using the Mann-Kendall and Sen tests, at a confidence level (NC) above 95%, considering two reference climatological stations (A-1 and A-2); likewise, the surface water balance was estimated for climate change scenarios according to the IPCC (1.5°C and 2°C), and correlations between temperature (air and water) with field and flow parameters with $p < 0.05$ were evaluated for 2015 to 2019. As a result, the maximum, minimum and average temperatures showed significant increasing trends on an annual scale, with NC of 99%, with the magnitudes of change in A-1 being 0.028°C/year, 0.018°C/year, and 0.023°C/year, respectively; and in A-2, 0.032°C/year, 0.017°C/year, and 0.026°C/year, respectively; however, precipitation showed mostly negligible trends on all three scales. Under climate change scenarios, the water balance showed water losses (32.44mm to 37.70mm), evidencing its influence on water quantity and quality; Likewise, of 76 correlations analyzed, 36 (47.4%) turned out to be significant correlations that ranged from 0.256 to 0.818 with an average magnitude of 0.43, which shows a moderate and consistent relationship that requires validation with more extensive time series, to evaluate the effects of climate change on the quantity and quality (field parameters) of water.

Keywords — climate change, water quantity and quality, climate trend, water balance.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xvi
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Descripción del problema de investigación.....	1
1.2 Justificación e importancia	2
1.3 Objetivos del estudio	6
1.3.1 Objetivo general	6
1.3.2 Objetivos específicos	7
1.4 Antecedentes investigativos	7
1.4.1 Antecedentes Internacionales	9
1.4.2 Antecedentes Nacionales.....	13
1.5 Hipótesis	16
1.5.1 Hipótesis general	16
1.5.2 Hipótesis específicas	16
1.6 Variables e indicadores	17
1.6.1 Variable independiente.....	17
1.6.2 Variable dependiente	17
1.6.3 Operacionalización de variables.....	20
Capítulo II. Marco teórico	21
2.1 Bases teóricas	21
2.1.1 Cambio Climático	21
2.1.2 Escenarios de cambio climático según la IPCC.....	21
2.1.3 Clima.....	22
2.1.4 Producto PISCO.....	24

2.1.5 Tendencia climática	25
2.1.6 Análisis de tendencia	26
2.1.7 Cuenca hidrográfica	28
2.1.8 Ciclo hidrológico.....	46
2.1.9 Balance hidrológico.....	49
2.1.10 Agua	51
2.1.11 Cantidad y calidad del agua frente al cambio climático	54
2.1.12 Relación entre indicadores climáticos y calidad/cantidad del agua.....	55
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	60
3.1 Enfoque de investigación	60
3.2 Tipo de investigación	60
3.3 Alcance de investigación.....	60
3.4 Diseño de la investigación.....	61
3.5 Población y muestra de la investigación.....	61
3.5.1 Población	61
3.5.2 Muestra.....	61
3.5.3 Técnicas de selección de muestra	62
3.6 Área de estudio.....	63
3.6.1 Ubicación	63
3.6.2 Delimitación del área de estudio	65
3.6.3 Descripción del área de estudio	67
3.7 Materiales, programas y equipos	88
3.7.1 Materiales	88
3.7.2 Programas	88
3.7.3 Equipos.....	88
3.8 Metodología	88
3.8.1 Recolección de datos.....	89
3.8.2 Evaluación de datos.....	99

3.8.3 Contrastación de hipótesis	103
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	104
4.1 Evaluación de tendencias de la temperatura del aire y precipitación.....	104
4.1.1 Análisis de la precipitación	104
4.1.2 Análisis de la temperatura máxima.....	111
4.1.3 Análisis de la temperatura mínima	117
4.1.4 Análisis de la temperatura media	122
4.2 Evaluación del comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago	127
4.2.1 Estimación del balance hídrico superficial (1981-2020).....	127
4.2.2 Comportamiento del caudal (periodo 2015-2019).....	129
4.3 Evaluación del cumplimiento de los parámetros de campo del río Santiago respecto a los ECAs-agua	132
4.3.1 Evaluación del cumplimiento de la temperatura del agua respecto al ECA-agua	133
4.3.2 Evaluación del cumplimiento del oxígeno disuelto respecto al ECA-agua	136
4.3.3 Evaluación del cumplimiento del pH respecto al ECA-agua	137
4.3.4 Evaluación del cumplimiento de la conductividad respecto al ECA-agua	138
4.4 Evaluación de la relación entre el cambio climático, y la cantidad y calidad del agua del río Santiago.....	140
4.4.1 Estimación del balance hídrico superficial bajo escenarios de cambio climático según la IPCC (1.5°C y 2°C).....	140
4.4.2 Relación entre la temperatura del aire y los parámetros de campo-caudal.....	144
4.5 Contrastación de resultados con las hipótesis planteadas	158
Conclusiones	160
Recomendaciones	163
Referencias bibliográficas	165
Anexos	183

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Descriptiva del test Mann - Kendall	27
Tabla 2: Procedimiento para delimitar una cuenca con ArcGIS	32
Tabla 3: Procedimiento para generar la red de drenaje	33
Tabla 4: Factor forma de Horton	37
Tabla 5: Tiempo de concentración	45
Tabla 6: Factor de corrección f, por duración media de las horas de sol expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una	48
Tabla 7: Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson	58
Tabla 8: Interpretación del coeficiente de correlación de Spearman	58
Tabla 9: Periodo de estudio	63
Tabla 10: Parámetros generales de la microcuenca del río Santiago.....	68
Tabla 11: Parámetros de forma de la microcuenca del río Santiago	69
Tabla 12: Cálculos para la obtención de la curva hipsométrica	72
Tabla 13: Cálculos de la altura media de la microcuenca del río Santiago.....	74
Tabla 14: Parámetros de la red de drenaje de la microcuenca del río Santiago.....	76
Tabla 15: Unidades litoestratigráficas en el área de estudio	79
Tabla 16: Cuerpos de agua en el área de estudio.....	81
Tabla 17: Resoluciones que otorgan autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas.....	83
Tabla 18: Centros poblados en el área de estudio	87
Tabla 19: Tendencias de la temperatura máxima en el área de estudio entre los años 1981-2016 usando base de datos PISCO.....	91

Tabla 20: Tendencias de la temperatura mínima en el área de estudio entre los años 1981-2016 usando base de datos PISCO	92
Tabla 21: Tendencias de la precipitación en el área de estudio entre los años 1981-2016 usando base de datos PISCO	92
Tabla 22: Coordenadas de las estaciones meteorológicas, producto PISCO	94
Tabla 23: Métodos de referencia realizados por laboratorios acreditados	97
Tabla 24: Coordenadas de las estaciones de agua superficial	98
Tabla 25: Clasificación del río Apurímac	102
Tabla 26: Precipitación media mensual y anual (mm), periodo 1981-2020	105
Tabla 27: Cálculo de la evapotranspiración potencial mensual y anual en estaciones A-1 y A-2, periodo 1981-2020	105
Tabla 28: Resultados de las pruebas de Mann-Kendall (MK) y Sen (Q) para precipitación anual, mensual y estacional	107
Tabla 29: Temperatura máxima media mensual y anual (°C), periodo 1981-2020	112
Tabla 30: Resultados de las pruebas de Mann-Kendall (MK) y Sen (Q) para temperatura máxima media anual, mensual y estacional	113
Tabla 31: Temperatura mínima media mensual y anual (°C), periodo 1981-2020	117
Tabla 32: Resultados de las pruebas de Mann-Kendall (MK) y Sen (Q) para temperatura mínima media anual, mensual y estacional	118
Tabla 33: Temperatura media mensual y media anual (°C), periodo 1981-2020	122
Tabla 34: Resultados de las pruebas de Mann-Kendall (MK) y Sen (Q) para temperatura media anual, mensual y estacional	123
Tabla 35: Balance hídrico superficial (1981-2020) en la estación A-1	128
Tabla 36: Balance hídrico superficial (1981-2020) en la estación A-2	128

Tabla 37: Comparativa de los valores de temperatura del agua (°C) y el ECA-agua en las 4 estaciones de agua superficial	134
Tabla 38: Temperatura media mensual y precipitación mensual (1981-2020).....	140
Tabla 39: Estimación del balance hídrico superficial en la estación A-1 cuando el calentamiento global sea $\Delta 1.5^{\circ}\text{C}$ y $\Delta 2^{\circ}\text{C}$ y su comparativa con el periodo 1981-2020	141
Tabla 40: Estimación del balance hídrico superficial en la estación A-2 cuando el calentamiento global sea $\Delta 1.5^{\circ}\text{C}$ y $\Delta 2^{\circ}\text{C}$ y su comparativa con el periodo 1981-2020	142
Tabla 41: Correlación entre temperaturas y parámetros de campo y caudal.....	144
Tabla 42: Correlación entre pares de indicadores (temperatura y parámetros de campo-caudal).....	146

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Cambio de la temperatura global en superficie desde 1850.....	8
Figura 2: Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río	41
Figura 3: Histograma de frecuencias altimétricas.....	42
Figura 4: Orden de cauces.....	44
Figura 5: Ubicación de la microcuenca del río Santiago (área de estudio).....	64
Figura 6: Área de estudio y su red de drenaje.....	66
Figura 7: Cálculo de parámetros generales	68
Figura 8: Mapa de pendientes de la microcuenca Santiago	70
Figura 9: Valores de áreas entre dos curvas de nivel de la microcuenca de río Santiago	71
Figura 10: Curva hipsométrica de la microcuenca del río Santiago.....	73
Figura 11: Histograma de frecuencias altimétricas la microcuenca del río Santiago	74
Figura 12: Perfil longitudinal del cauce principal	76
Figura 13: Tipos de clima en el área de estudio.....	78
Figura 14: Unidades Litoestratigráficas en el área de estudio	80
Figura 15: Fuentes de agua superficial en el área de estudio.	81
Figura 16: Resultado de consulta de vertimientos autorizados – Visor por cuencas (ANA).....	82
Figura 17: Zonas de vida del área de estudio y de las estaciones climáticas	84
Figura 18: Bofedales en el área de estudio	85
Figura 19: Centros poblados en el área de estudio.....	86
Figura 20: Diagrama de la metodología empleada.....	89

Figura 21: Ubicación de estaciones meteorológicas (A-1 y A-2)	95
Figura 22: Ubicación de estaciones de monitoreo de agua superficial	98
Figura 23: Comportamiento de la precipitación y evapotranspiración potencial mensual (mm) en las estaciones A-1 y A-2.....	106
Figura 24: Tendencia estadísticamente significativa de la precipitación en las estaciones A-1 y A-2 (1981-2020).....	108
Figura 25: Comportamiento de la temperatura máxima media mensual (°C) en las dos estaciones	112
Figura 26: Tendencia creciente estadísticamente significativa de la temperatura máxima media anual, mensual y estacional en la estación A-1 (1981-2020)	113
Figura 27: Tendencia creciente estadísticamente significativa de la temperatura máxima media anual, mensual y estacional en la estación A-2 (1981-2020)	114
Figura 28: Comportamiento de la temperatura mínima media mensual (°C) en las dos estaciones	118
Figura 29: Tendencia creciente estadísticamente significativa de la temperatura mínima media anual, mensual y estacional en la estación A-1 (1981-2020)	119
Figura 30: Tendencia creciente estadísticamente significativa de la temperatura mínima media anual, mensual y estacional en la estación A-2 (1981-2020)	120
Figura 31: Comportamiento de la temperatura media mensual (°C) en las dos estaciones	123
Figura 32: Tendencia creciente estadísticamente significativa de la temperatura media anual, mensual y estacional en la estación A-1 (1981-2020).....	124
Figura 33: Tendencia creciente estadísticamente significativa de la temperatura media anual, mensual y estacional en la estación A-2 (1981-2020).....	125

Figura 34: Serie de tiempo del caudal ($\text{m}^3/\text{día}$) mensual en las 4 estaciones de agua superficial	130
Figura 35: Serie de tiempo de la temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$) en las 4 estaciones de agua superficial.....	131
Figura 36: Serie de tiempo de la temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$) en las 4 estaciones de agua superficial.....	136
Figura 37: Serie de tiempo del oxígeno disuelto (mg/L) en las 4 estaciones de agua superficial	137
Figura 38: Serie de tiempo del potencial de hidrógeno (Unidad de pH) en las 4 estaciones de agua superficial	138
Figura 39: Serie de tiempo de la conductividad ($\mu\text{S/cm}$) en las 4 estaciones de agua superficial	139
Figura 40: Regresión lineal de la temperatura media mensual y precipitación mensual (1981-2020).....	141
Figura 41: Diagrama de dispersión entre pares de indicadores en punto de correlación E-1	147
Figura 42: Diagrama de dispersión entre pares de indicadores en punto de correlación E-9.....	148
Figura 43: Diagrama de dispersión entre pares de indicadores en punto de correlación E-11	150
Figura 44: Diagrama de dispersión entre pares de indicadores en punto de correlación E-16	151

Introducción

Los impactos del cambio climático mundial en el medio ambiente, que solamente eran previsiones futuras hace décadas, actualmente constituyen una realidad (Hansen & Cramer, 2015, como se citó en Moraes et al., 2023), los cuales pretenden alterar la calidad y cantidad del agua de los ríos y arroyos (Rehana et al., 2019).

La microcuenca del río Santiago, localizada en el distrito y provincia de Caylloma y departamento de Arequipa, es una zona geográfica perteneciente a la ecorregión Puna, que posee fuentes de agua como el río Santiago, quebradas y lagunas, e incluye importantes recursos biológicos, entre ellos, pastos naturales y humedales altoandinos (bofedales), de los cuales, el primero forma parte del forraje para el ganado de la población (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2021), mientras que el segundo, es de vital importancia debido a los servicios ecosistémicos que esta brinda, como la gran capacidad para almacenar carbono (Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña [INAIGEM], 2023).

Sin embargo, a través del aplicativo web “Tendencias Históricas de precipitación y temperatura – TENDHIS” del SENAMHI, se ha observado en un punto ubicado dentro de la microcuenca del río Santiago, tendencias significativas crecientes de la temperatura máxima y mínima a lo largo del periodo 1981-2016, los cuales evidencian la existencia de cambio climático (Lamprea-Quiroga & Sanabria-Marin, 2024) en el área de estudio. Este escenario genera gran preocupación en el área de estudio, ya que la manifestación del cambio climático, puede alterar la cantidad y calidad del agua, el cual puede repercutir en los bofedales ante cambios en la cantidad y calidad del agua (INAIGEM, 2023). Además, es preciso indicar que el área de estudio, incorpora actividades mineras (Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles [SENACE], s.f.), y sustenta a cinco centros poblados (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2018), que realizan actividades de ganadería extensiva, crianza de animales y pastoreo (MINEM,

2021). De forma conjunta, estas dos actividades pueden alterar la cantidad del agua, provocando una competencia considerable debido al escaso abastecimiento de agua en las montañas andinas (Moraes et al., 2023).

En este marco, la presente investigación tiene como objetivo determinar la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua de la microcuenca del río Santiago – Caylloma, Caylloma, Arequipa.

La presente investigación pretende generar conocimiento y evidencia científica para que gestores encargados de la gestión y manejo de los recursos hídricos, así como responsables de formulación de políticas, puedan tener en cuenta las consecuencias que puede conllevar la alteración de la cantidad y calidad del agua por los efectos del cambio climático, e incorporarlos dentro de planes de mitigación y adaptación del cambio climático, así como en las políticas sectoriales correspondientes.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Descripción del problema de investigación

La microcuenca del río Santiago, localizada en el distrito y provincia de Caylloma y departamento de Arequipa, es una zona geográfica provista de importantes recursos naturales, entre ellos los pastos naturales que forman parte del forraje para el ganado, siendo este último el sustento de la población; asimismo, tenemos la presencia de bofedales, los cuales son humedales altoandinos que tienen varios beneficios ambientales para la población local, ya que este recurso tiene una gran capacidad de almacenar carbono y agua (Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña [INAIGEM], 2023). Los bofedales podrían verse amenazados ante la ocurrencia de una alteración hidrológica, como la reducción en la cantidad del agua al bofedal, y cambios en la calidad del agua (INAIGEM, 2023) del río Santiago, pudiendo esta variación ser ocasionada por el cambio climático (Rehana et al., 2019) identificado en el área de estudio para el periodo 1981 al 2016 mediante el TENDHIS del SENAMHI.

En tal sentido, a raíz de esta problemática, resulta necesario el desarrollo de la presente investigación, el cual permitirá determinar la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago, que ayudará a generar conocimiento para los gestores encargados de la gestión y manejo de los recursos hídricos, así como de otras especialidades, y de esta manera puedan prever las consecuencias que conllevar la alteración de la cantidad y calidad del agua por efectos del cambio climático, sobre los humedales altoandinos y la población.

Es preciso indicar que con fines de analizar el cambio climático para un mayor periodo de evaluación (1981-2020), la presente investigación incluye el análisis de tendencias de la temperatura del aire y precipitación, a partir de datos climatológicos del producto PISCO, considerando para la temperatura del aire su versión más actualizada

(PISCOt v1.2), el cual cuenta con una mejor resolución espacial (0.05°) a diferencia del TENDHIS; asimismo, para la precipitación se consideró el PISCOp v2.1., el cual cuenta con mayor data disponible, a diferencia del TENDHIS.

Por otro lado, otro problema investigativo que se pudo observar es que, a nivel nacional, la data de concentración de parámetros de calidad del agua (principalmente los parámetros de campo, tales como temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad), solo han sido utilizados para ser comparados con los valores establecidos en los ECA agua señalándose su cumplimiento o incumplimiento, mas no han sido utilizados como parte del seguimiento de los efectos del cambio climático en la calidad del agua. En tal sentido, se realiza la presente investigación, con el fin de aportar un nuevo enfoque en cuanto al manejo de datos de los parámetros de campo, es decir, usarlo para un fin adicional, el cual sería el seguimiento de los efectos del cambio climático sobre la cantidad (caudal) y calidad (parámetros de campo) del agua.

De acuerdo a lo mencionado en los párrafos precedentes, en la presente tesis se pretende determinar la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, realizando previamente una evaluación de las tendencias de la temperatura del aire y precipitación, del comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago, y del cumplimiento de los parámetros de campo del río Santiago respecto a los ECAs-agua.

1.2 Justificación e importancia

Desde el punto de vista teórico, se realiza la presente tesis, porque el tema de la influencia del cambio climático en la calidad y cantidad del agua, es abordado por pocos estudios a nivel nacional, la mayor parte de la literatura se enfoca en estudiar los efectos del cambio climático en relación a la cantidad (disponibilidad) del agua; sin embargo, en lo que se refiere a la calidad del agua es muy escasa. Uno de los pocos estudios que engloba

tanto calidad como cantidad es la investigación realizada por Cruz (2022), el cual forma parte de los antecedentes de la presente tesis, en donde si bien de evalúa los efectos del cambio climático en el recurso hídrico, este estudio se sitúa en Chincheros-Cusco, no se han encontrado investigaciones que desarrollen esta temática en el área de estudio seleccionado (microcuenca del río Santiago), que involucren precisamente las variables a considerar en la presente tesis (cambio climático, cantidad y calidad del agua). La presente tesis busca cubrir esta brecha en el conocimiento teórico en dicho lugar.

Desde el punto de vista práctico, si bien, actualmente a nivel nacional se cuenta con disponibilidad de información de registros de parámetros de calidad y cantidad del agua monitoreados con una frecuencia mensual y generados por laboratorios acreditados a solicitud de empresas que cuentan con un programa de monitoreo ambiental aprobado, se hace hincapié que estos solo fueron generados con el fin de verificar el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECAs-agua), sin considerar a dichos datos como una información valiosa de campo para explorar su relación con los indicadores climáticos. En ese contexto, la presente tesis se realiza con el fin práctico de generar un enfoque innovador en cuanto al uso de estos datos, en el cual se busca que los investigadores y/o gestores institucionales vinculados al cambio climático y al agua, puedan explorar la relación de los parámetros de calidad y cantidad del agua con los indicadores climáticos y de esta manera aportar en el seguimiento de los efectos del cambio climático sobre la calidad y cantidad del agua superficial, y una de las formas más eficaces para comenzar abordar esta necesidad es mediante la utilización de indicadores que puedan ser fácilmente medidos en campo, el cual para la presente investigación se está considerando a cuatro (4) parámetros de campo (temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica) y al caudal, debido a que su medición se realizaría solo mediante el uso de un equipo multiparámetro portátil y un correntómetro, lo que reduce significativamente los costos, ya que, a diferencia de otros parámetros (orgánicos,

inorgánicos, plaguicidas, microbiológicos, etc.), no es necesario prescindir de un análisis en laboratorio. Esto facilitaría la medición por parte de los investigadores.

En resumen, en la presente tesis se busca destacar el potencial de los parámetros de campo y el caudal para contribuir al seguimiento de los posibles efectos del cambio climático sobre la calidad y cantidad del agua superficial. Asimismo, se busca optar por considerar el monitoreo de estos parámetros con la menor frecuencia de monitoreo posible, en lugares en donde se pueda reflejar un potencial impacto climático, de ser posible horarios, diarios y/o incluso semanales. Esta propuesta en la reducción de la frecuencia del monitoreo, haría posible que futuras investigaciones puedan efectuar un análisis de correlación más robusta con los parámetros climáticos.

Desde el punto de vista ambiental, esta tesis es importante debido a que facilita la comprensión de los efectos del cambio climático en los cuerpos de agua de regiones altoandinas, lugares donde especialmente son susceptibles a las variaciones de la precipitación y temperatura del aire. La microcuenca del río Santiago, localizada por encima de los 4 000 m.s.n.m., alberga fuentes de agua elementales para la biodiversidad de la zona y brinda provisión de agua para el desarrollo de actividades de ganadería extensiva y pastoreo de los centros poblados identificados, y para los ecosistemas frágiles como los bofedales. La variación de la cantidad (caudal) y calidad del agua (principalmente los parámetros de campo) pueden generar repercusiones severas sobre los servicios ecosistémicos, ecosistemas acuáticos y en la disponibilidad de agua en la microcuenca. Analizar estos cambios contribuye a la generación de información esencial para la gestión ambiental sostenible, la adaptación al cambio climático en contextos andinos y la conservación de fuentes de agua, contribuyendo así al cumplimiento de los objetivos de la gestión ambiental nacional y de los objetivos del desarrollo sostenible.

Desde el punto de vista legal, a pesar de que existen normativas nacionales relacionadas al cambio climático y a los recursos hídricos, no se han encontrado normativas que aborden la relación del cambio climático con la calidad y cantidad del agua. En tal sentido, la presente tesis busca cubrir esta brecha en el aspecto legal, de tal manera que se podría incorporar a la Ley N.º 29338 (2009) y a su reglamento (Decreto Supremo N.º 001-2010-AG, 2010), el referente del cambio climático y su influencia en la calidad y cantidad del agua.

Desde el punto de vista institucional, la información generada producto de la metodología a utilizar en la presente tesis (método correlacional), servirá como insumo para el desarrollo de nuevas investigaciones, que ayude a instituciones públicas y privadas en la toma de decisiones. Se propone que, entre los objetivos de monitoreo de los recursos hídricos, no solo se enfoque en identificar los valores de concentración de los parámetros de calidad de agua comparándolo con el ECA – Agua y así determinar los parámetros críticos, sino también, en priorizar el seguimiento de los parámetros de campo para explorar los efectos que tiene el cambio climático en la calidad y cantidad del agua. Asimismo, se propone que la frecuencia de monitoreo sea la menor posible (diario u horario) para un seguimiento estadístico más robusto de los efectos del cambio climático sobre la calidad y cantidad de agua.

Desde el punto de vista científico, con el desarrollo de la presente tesis, se busca conocer la tendencia de la variación climática que pueda reflejar una manifestación del cambio climático en la microcuenca del río Santiago mediante el uso del test de Mann-Kendall, y de esta forma cubrir la brecha existente en el conocimiento científico, ya que se desconoce estudios de investigación que evidencien la existencia del cambio climático en el área de estudio. Además, la presente tesis busca contribuir a cerrar vacíos en el conocimiento científico en la medida que se observa una escasez de estudios científicos que analicen detalladamente cómo las variaciones en la temperatura del aire y precipitación

puedan estar influyendo en la calidad (temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad) y cantidad (caudal) del agua en la zona seleccionada, aportando evidencia empírica y actualizada.

Desde el punto de vista social, con el desarrollo de la presente tesis, se busca evidenciar la importancia social de conocer cómo el cambio climático puede influir en la variación de la cantidad del agua (caudal) en el área de estudio puesto que, conociendo esta relación se genera conocimiento de cómo el cambio climático podría ocasionar posibles competencias futuras por el agua entre la actividad minera y las actividades de ganadería extensiva, crianza de animales y pastoreo que realizan los centros poblados identificados en el área de estudio, ya que de forma conjunta, ambas al demandar agua como insumo, pueden provocar una escasez en el abastecimiento de agua en el área de estudio, generándose posibles conflictos sociales. Además, la importancia de conocer cómo el cambio climático puede influir en la calidad y cantidad del agua, contribuye a generar conocimiento sobre una posible afectación indirecta a la población en el área de estudio, ya que, ante una variación en la calidad y cantidad del agua, se podría afectar a los bofedales existentes en la microcuenca del río Santiago, conllevando que esto a su vez, pueda afectar a la población, debido a que se podría reducir los beneficios ambientales que brindan estos humedales andinos de forma natural para la población local.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 *Objetivo general*

Determinar la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa.

1.3.2 Objetivos específicos

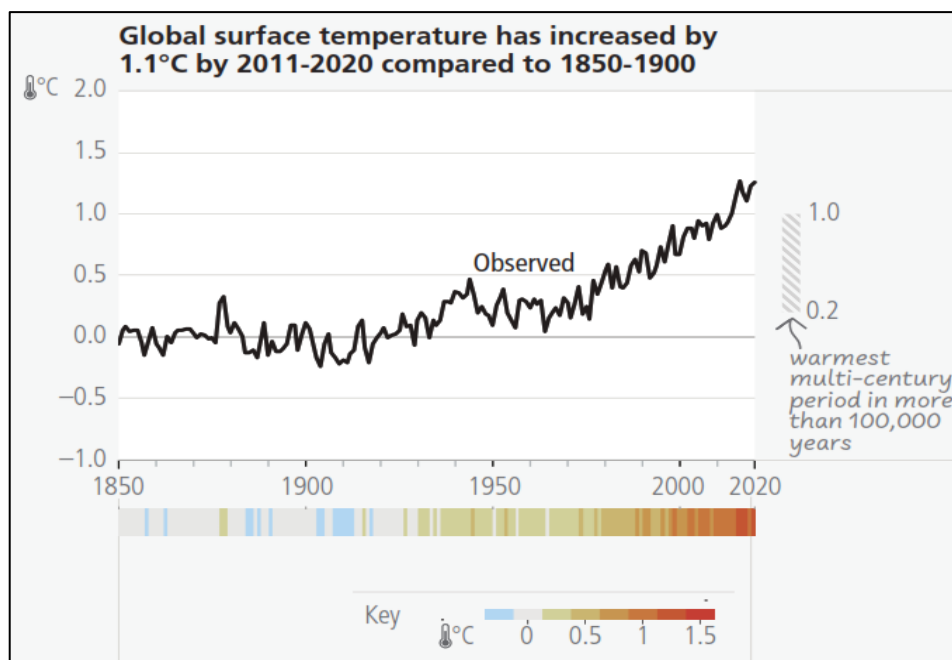
- Evaluar la tendencia de la temperatura máxima, mínima, media y precipitación en la microcuenca del río Santiago.
- Evaluar el comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago.
- Evaluar el cumplimiento de los parámetros de campo del río Santiago respecto a los ECAs-agua.
- Evaluar la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago y la correlación entre temperatura (aire y agua) con parámetros de campo y caudal.

1.4 Antecedentes investigativos

El cambio climático es uno de los aspectos más relevantes y que mayor preocupación ha generado a nivel mundial. De acuerdo al Informe de Síntesis del Sexto Informe de Evaluación (AR6) del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2023c), las actividades humanas, principalmente los que se relacionan a emisiones de gases de efecto invernadero, han causado inequívocamente el calentamiento global, la temperatura de la superficie global ha aumentado 1,1°C entre 2011 y 2020 en comparación con el período 1850-1900; además, la temperatura de la superficie global ha aumentado más rápidamente desde 1970 que en cualquier otro periodo de 50 años durante al menos los últimos 2000 años (nivel de confianza alto), tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 1

Cambio de la temperatura global en superficie desde 1850.



Nota. Reimpreso de IPCC (2023c). El gráfico representa el cambio observado de la temperatura global. La temperatura de la superficie global ha aumentado 1,1°C entre 2011 y 2020 en comparación con el período 1850-1900.

El calentamiento global de nuestro planeta ha dado comienzo a un desequilibrio denominado Cambio Climático, el cual este último es una situación crítica ocasionado por el hombre debido al uso intensivo de combustibles y la tala y quema de bosques (Ministerio de Ambiente [MINAM], 2019).

A nivel nacional, es inminente que el Perú se verá afectada por el cambio climático, ya que la temperatura promedio se ha elevado en todo el territorio nacional en 0,2°C durante el periodo 1965-2006 (Ponce et al., 2015, como se citó en MINAM, 2021), en los Andes peruanos se han detectado una tendencia positiva significativa en la temperatura media de 0,09 °C por década durante el período 1965-2007 (Lavado et al., 2012, como se citó en IPCC, 2014); asimismo, en los Andes del sur del Perú, las temperaturas del aire aumentaron entre 1964 y 2006, pero no se han recibido señales claras sobre los cambios en las precipitaciones (Marengo et al., 2009a, como se citó en IPCC, 2014).

A nivel departamental, la región sureña de Arequipa no es ajeno a esta problemática, ya que, de acuerdo a Libélula, Comunicación Ambiente y Desarrollo S.A.C. (2018), en esta ciudad se muestra claramente los impactos de la variabilidad climática y del cambio climático, por una parte, a través del retroceso glaciar y, por otra parte, a través de variaciones en el patrón de precipitaciones y temperaturas, los cuales constituyen una gran preocupación por la probable aminoración de disponibilidad de agua y por el aumento de peligros climáticos extremos relacionados a lluvias intensas que ya han afectado a la ciudad al causar huaycos o avenidas.

De acuerdo a lo señalado por Rehana et al. (2019), el cambio climático constituye una de las fuerzas externas que pretende alterar la calidad y cantidad del agua de los ríos y arroyos. En tal sentido, la presente investigación relacionada a la calidad y cantidad de agua y la influencia que sobre estos puede generar el Cambio Climático, implica la realización de una exhaustiva búsqueda de información a nivel internacional y nacional, los cuales se presentan en los siguientes apartados:

1.4.1 Antecedentes Internacionales

Lamprea-Quiroga y Sanabria-Marin (2024), en su investigación “Diálogos entre perspectivas campesinas y científicas como estrategia para aumentar la resiliencia al cambio climático en un altiplano andino colombiano”, tuvo como objetivo comprender la relación de los conocimientos campesinos y científicos sobre la variabilidad y cambio climático en un altiplano colombiano, ubicado en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Para ello, como parte del enfoque científico, usando hojas de cálculo en Excel, se realizó el análisis de tendencias de las series de las precipitaciones diarias acumulada anual, así como de las temperaturas (máximas y mínimas) diarias anuales para el periodo 1980 a 2014, mediante la prueba de Mann Kendall y Sen, con el motivo de determinar la existencia del cambio climático. Posteriormente, estos resultados fueron contrastados con el conocimiento campesino sobre el clima y el cambio climático. Como parte de los

resultados, mediante las pruebas de Mann-Kendall y Sen, se evidenciaron cambios climáticos entre 1980 y 2014 a un nivel de confianza por encima del 90%, de los cuales, en lo que se refiere a precipitaciones, de las 26 estaciones pluviales analizadas, cuatro mostraron una tendencia creciente (28.8mm/año, 8.5mm/año, 6.91mm/año y 6.39mm/año) y uno de disminución; asimismo, en lo que respecta a la temperatura máxima y mínima, de las 7 estaciones analizadas, 4 incrementaron los valores anuales de la temperaturas máxima diaria (0.217°C/10años, 0.523°C/10años, 0.213°C/10años y 0.321°C/10años), y una disminuyó; mientras, que en las temperaturas mínimas diarias, 2 estaciones tuvieron una tendencia de aumento (1.45°C/10años, 0.481°C/10años) y 2 de disminución (-0.346°C/10años, -0.025°C/10años). En lo que respecta a la percepción de los campesinos, estas concuerdan con los resultados estadísticos obtenidos en las 7 estaciones analizadas en relación a la temperatura máxima diaria, en donde se detectaron que, en 6 de ellas, se presentaron tendencias de incremento.

Toma et al. (2022), en su investigación “Tendencias de los parámetros climáticos e hidrológicos en la cuenca hidrográfica de Ajora-Woybo, cuenca del río Omo-Gibe, Etiopía”, con el fin de analizar el cambio climático y el caudal a nivel cuenca, tuvo como objetivo determinar las tendencias y los cambios en la temperatura y precipitación para el periodo 1990 a 2020, así como del caudal para el periodo 1990 a 2015, en la cuenca hidrográfica de Ajora-Woybo, para las escalas de tiempo anual, mensual y estacional. Como parte de la metodología, se emplearon para el análisis de tendencia las pruebas de Mann-Kendall y Sen; asimismo, se evaluó el grado de relación entre los parámetros climáticos y el caudal fluvial mediante los coeficientes de correlación de Pearson. Como resultado, se observaron que las temperaturas máximas, mínimas y medias a escala anual mostraron tendencias significativas, con incrementos en la magnitud de cambio de 0,04 °C/año, 0,01 °C/año, y 0,025 °C/año, respectivamente; por otro lado, en la mayoría de estaciones, la precipitación y el caudal disminuyen anualmente con tendencia insignificante; en cuanto a la escala mensual, se observó en la mayoría de los casos, una tendencia no significativa decreciente

de la precipitación y caudal, siendo solo en los meses de febrero y marzo en los cuales se presentó una tendencia decreciente significativa de la precipitación; en referencia a la escala estacional, solo durante la temporada de Kiremt, la precipitación y el caudal se incrementaron de forma insignificante. Por último, se obtuvo una buena relación entre la precipitación y el caudal ($R^2=0.68$) sin embargo, se obtuvo una correlación negativa y débil entre la temperatura y caudal ($R^2=-0.04$).

Bahamóndez (2021), en su investigación “Cambio climático y su efecto sobre los cuerpos de agua de Chile Central: variación interanual superficial de los lagos andinos (32°S – 36°S) entre 1984 y 2020”, evalúa el efecto del clima en la variabilidad de la lámina de agua de catorce lagos altoandinos de Chile Central ubicados a una altitud entre 1607.36 a 3043.29 m.s.n.m. durante el periodo 1984 hasta 2020. Como parte de su metodología, se estimó la significancia de las tendencias de la temperatura, precipitación, evaporación y del cambio de la lámina de agua de los lagos mediante las pruebas Man-Kendall y Sen considerando un nivel de confianza de 95%; asimismo, se realizó la correlación entre las áreas de los lagos y los datos climáticos mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Como parte de los resultados, se observa una tendencia significativa creciente en la temperatura media anual en todos los lagos, con incrementos que oscilan entre $0,018^{\circ}\text{C/año}$ a $0,026^{\circ}\text{C/año}$, registrándose en el periodo 2010-2020 las temperaturas más altas; sin embargo, en lo que respecta a la evapotranspiración y precipitación, si bien hubo tendencias no significativas, se aprecia que la tendencia es de incremento y disminución respectivamente, los cuales se acentúan en el segundo periodo. Asimismo, en la mayoría de la superficie de los lagos se presentó una tendencia significativa decreciente con reducciones del área a partir del 2010 entre 6.9% a 28.1%. Finalmente, en cuanto a los resultados de las correlaciones, la mayoría de los lagos presentaron un coeficiente de correlación significativa negativa con las temperaturas medias anuales en el periodo 1984-2020, por otro lado, 7 de los 14 lagos presentaron una relación significativa con la precipitación y en la mayoría de lagos no hubo una relación significativa con la evaporación;

evidenciándose de esta manera que, aparentemente, la pérdida del área en los lagos va en función a las tendencias climáticas del periodo 1984-2020. Estos resultados fueron esenciales para comprender la disponibilidad de agua en la región.

Suárez-Almiñana et al. (2021), en su investigación “Efecto del cambio climático en la calidad del agua de la Cuenca del Júcar”, tuvo como objetivo, evaluar el efecto del cambio climático sobre la calidad del agua en la cuenca del Júcar (este de España), a partir de la influencia de las aportaciones hidrológicas (caudales) y la temperatura del agua sobre las concentraciones de los contaminantes (DBO_5 , P, NH_4^+ y NO_3^-) para los horizontes futuros 2020, 2050 y 2080. Como metodología, se utilizó un modelo de calidad de aguas (RREA) incluyendo como parte de los datos de entrada, datos históricos y futuros de la temperatura del agua y de las aportaciones hidrológicas, obteniéndose como salida del modelo, el estado ecológico de las masas de agua para cada uno de los horizontes, donde las afectaciones se estimaron a través del nivel de los contaminantes y sus porcentajes de incumplimientos. Como resultado, se observó una relación directa entre la disminución futura de las aportaciones hidrológicas y mayores afectaciones de las masas de agua en la cuenca, registrándose un aumento en la cantidad de masas de agua con elevados grados de contaminación (80-100% incumplimientos) para los horizontes 2050 y 2080, ubicados principalmente en la zona media y baja de la cuenca, el cual se debe primordialmente, por la disminución de la capacidad de dilución al reducirse el caudal, lo que afecta negativamente a la calidad del agua en el futuro. Asimismo, se evidenció que la degradación de la DBO_5 y el NH_4^+ tiene mucha dependencia con la temperatura del agua, evidenciándose menores incumplimientos con el incremento de la temperatura del agua.

Koue (2024), en su trabajo “Evaluación del impacto del cambio climático en el oxígeno disuelto utilizando un modelo de ecosistema de campo de flujo que tiene en cuenta el entorno anaeróbico y aeróbico de los sedimentos del fondo” evalúa los efectos de los cambios de la temperatura y precipitación sobre las concentraciones de oxígeno disuelto

en el lago Biwa (lago de agua dulce más grande de Japón), utilizando un modelo unidimensional que incorpora reacciones redox de sedimentos. Como conclusión se revela que un incremento de la temperatura del aire conlleva a una disminución de concentraciones de oxígeno disuelto y viceversa; y en cuanto a la precipitación, se observó un impacto limitado de esta en los niveles de oxígeno, lo que sugiere que su influencia es menor.

1.4.2 Antecedentes Nacionales

Tapia (2022), en su estudio “Tendencia de la precipitación y temperatura debido al cambio climático observados en dos estaciones meteorológicas de la región de Arequipa 1965-2020”, tuvo como objetivo determinar la tendencia de la temperatura media mensual y precipitación acumulada mensual bajo el contexto del cambio climático durante el periodo 1965-2021, en dos estaciones meteorológicas de la región Arequipa: La Pampilla, ubicada a 2,324.2 m.s.n.m., y Pampa Blanca, ubicada a 108 m.s.n.m. Para ello, se empleó la metodología de series de tiempo, tomando en cuenta datos diarios de ambas estaciones. Se obtuvo como resultado, una tendencia lineal ascendente de la temperatura media mensual para las dos estaciones. De igual manera, en cuanto a la precipitación mensual acumulada, se obtuvo una tendencia creciente para la estación La Pampilla; sin embargo, sucede lo contrario con la estación Pampa Blanca, ya que la tendencia fue decreciente.

Quirita (2021), en su estudio “Efectos de la temperatura en la precipitación como consecuencia del cambio climático en la región Cusco 1965 – 2021”, buscó determinar los efectos de la temperatura media mensual en la precipitación mensual acumulada, considerando los datos de dos estaciones meteorológicas del SENAMHI: Acomayo, ubicada a 3212 m.s.n.m., y Granja Kayra, ubicada a 3214 m.s.n.m. La metodología consistió en realizar el análisis descriptivo de ambas variables, además, determinar las tendencias a través del uso de la prueba de Mann-Kendall y el efecto de la temperatura en la precipitación mediante el empleo del análisis de regresión. Como parte de los resultados,

se evidenció tendencia positiva de la temperatura media mensual para las dos estaciones y en cuanto a la precipitación mensual acumulada, se evidenció tendencia negativa para Acomayo, mientras que en la estación Granja Kayra no se mostró tendencia aparente; asimismo, el análisis de regresión determinó el efecto de la temperatura media sobre la precipitación en ambas estaciones, indicando que ante el incremento de un grado de la temperatura media mensual, la precipitación en Acomayo disminuye en 13.95mm, mientras que en Granja Kayra, aumenta en un 5.17851mm.

Moreno (2024), en su tesis “Variabilidad climática en Tingo María, distrito Rupa Rupa - Leoncio Prado, periodo 1992-2022” buscó evaluar la variabilidad climática en el periodo 1992-2022, siendo una de las formas mediante la determinación de las tendencias de las variables meteorológicas. Para estimar las tendencias, se usó el análisis de regresión lineal y el test de Mann Kendall, considerando los datos diarios de temperatura (máxima, media y mínima), precipitación y humedad recopilados de la estación meteorológica José Abelardo Quiñonez para el periodo 1992-2022. Como parte de sus conclusiones, se indica que las temperaturas máxima, media y mínima presentaron tendencias significativamente crecientes, con un incremento de 1,398°C, 1,443°C y 1,449°C respectivamente; la precipitación presentó tendencia significativamente decreciente con un descenso de 120,375 mm; mientras que la tendencia de la humedad fue no significativamente creciente con un incremento de 2.445%, evidenciándose en todos los casos, una variabilidad climática significativa.

Cruz (2022), cuyo trabajo de postgrado “Evaluación del efecto del cambio climático en el recurso hídrico de la laguna de Piuray en la microcuenca de Piuray (Chincheros, Cusco)”, se desarrolló en la microcuenca de Piuray entre julio de 2014 y junio 2015 con el objetivo de evaluar los efectos del cambio climático en la calidad de agua de la laguna Piuray y sus afluentes. Como parte de la metodología, para evaluar los efectos de la temperatura y precipitación sobre la calidad del agua, se determinó la evapotranspiración

real, empleando la fórmula de Turc y los datos climáticos de la estación meteorológica de la laguna de Piuray ubicada a 3750 m.s.n.m., correspondiente a SEDA Cusco, considerando el periodo julio 2014 a junio 2015; posteriormente, se estimó el balance hídrico para dicho periodo, considerando el ingreso (precipitación) menos la salida (evapotranspiración); en cuanto a la estimación y predicción de los efectos del escenario de cambio climático, se consideró los escenarios de incremento de temperatura según la IPCC (1.5°C y 2°C), empleándose la prueba de regresión y correlación lineal simple entre las variables de temperatura y precipitación (2014-2015). Como parte de los resultados, se obtuvo para el periodo 2014-2015, una evapotranspiración real anual de 816.5 mm y un balance hídrico negativo con una pérdida de 20.44mm durante el año; asimismo, se determinó la ecuación de regresión de la temperatura y precipitación para los escenarios del cambio climático del IPCC de 1.5°C y 2°C ($Y = -185.35 + 29.95X$) y un $r = 0.66$, el cual indica que la precipitación aumentaría en 29.95 mm por cada grado centígrado de incremento de temperatura con un error de 49.01 mm de precipitación; además, se obtuvo un coeficiente de determinación ($r^2 = 44.00\%$), el cual indica que el 44% de las variaciones de la precipitación son atribuidas al calentamiento producto de las actividades antropogénicas, mientras que el 56% estaría influenciado por la actividad natural como los forzantes externos y forzantes internos; asimismo, se estimó que, ante un escenario de un incremento de 1.5 °C y 2 °C de la temperatura, la precipitación anual se incrementaría en 569.14 mm y 718.94 mm respectivamente y la evapotranspiración real anual aumentaría en 588.52 mm y 739.7 mm respectivamente, los cuales generarían un balance hídrico negativo de 19.84 mm y 20.76 mm, respectivamente, lo que influye en la cantidad del agua, ya que hay una pérdida del agua; asimismo, influye en la calidad del agua, ya que dicha pérdida conduce a la precipitación de sales, el cual incide en el aumento de los sólidos disueltos.

Rojas (2024), en su investigación “Efecto del cambio climático en la disponibilidad del recurso hídrico en la Cuenca del río Chotano”, tuvo como uno de sus objetivos

determinar la incidencia de las variables climáticas en la disponibilidad del recurso hídrico, para los periodos 1981-2011 y 2030-2050. Para el periodo 1981-2011 se descargó los datos de precipitación, temperatura mínima y máxima del producto PISCO del SENAMHI, de los cuales mediante el método de Thornthwaite se obtuvo la evapotranspiración potencial (ETP), mientras que para el periodo 2030-2050, se emplearon modelos climáticos globales (GCMs) tales como el CNRM-CM5 y CanESM2. Como parte de sus conclusiones, se indica que para el periodo 2030-2050, considerando el uso de los modelos mencionados, para los escenarios RCPs 4.5 y 8.5, se prevé un incremento de la precipitación multianual de hasta 7.49% y un aumento de la temperatura de 1.5°C en promedio, en relación a los datos de temperatura provenientes del producto PISCO, lo cual significa una alteración en el balance hídrico y por consiguiente en la disponibilidad hídrica.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

El cambio climático influye en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa.

1.5.2 Hipótesis específicas

- La temperatura máxima, mínima, media en la microcuenca del río Santiago evidencian tendencias significativas crecientes a escala anual, estacional y en la mayoría de meses, a excepción en la precipitación.
- El comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago evidencia una disminución del agua.
- Los parámetros de campo del río Santiago cumplen con los ECAs-agua.

- El cambio climático influye en la cantidad y calidad del agua del río Santiago, y existen correlaciones significativas entre temperatura (aire y agua) con parámetros de campo y caudal.

En el **Anexo 1**, se adjunta la “Matriz de consistencia” de la investigación, el cual, de forma resumida, muestra los principales puntos mencionados en el presente capítulo.

1.6 Variables e indicadores

1.6.1 *Variable independiente*

La variable independiente es el “cambio climático”, el cual se estudiará a partir de los siguientes indicadores: temperatura del aire (máxima, mínima y media) y precipitación. Se ha elegido estudiar el cambio climático a partir de la temperatura del aire debido a que, según Shen y Leptoukh (2011), la temperatura del aire es una variable clave para los estudios sobre cambio climático; además, según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2011) indica que el incremento de esta es consecuencia del calentamiento global y son los que hacen variar la calidad y cantidad del agua. Asimismo, se ha elegido estudiar el cambio climático a partir de la precipitación, ya que, según la United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO, 2020), una de las formas de manifestación del cambio climático, es a través del aumento de las precipitaciones sin precedentes. Es preciso señalar que, Santa Cruz (2023), de igual modo, considera como indicadores de la variable cambio climático a la temperatura y a la precipitación.

1.6.2 *Variable dependiente*

La variable dependiente es la “cantidad y calidad del agua”, cuyos indicadores son el balance hídrico y caudal, y los parámetros de campo (temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica) respectivamente.

Se ha considerado incluir el balance hídrico y el caudal como indicadores de la cantidad de agua debido a que, a través de ellos, se puede conocer la alteración en la cantidad del agua (Cruz, 2022; Milla, 2018).

En lo que respecta a la calidad del agua, si bien esta engloba otros parámetros fisicoquímicos, orgánicos, inorgánicos, plaguicidas, microbiológicos, etc; sin embargo, para la presente investigación se seleccionó a los parámetros denominados “parámetros de campo”, denominación dada por la ANA (2016), debido a que en la presente tesis se busca que los investigadores y/o gestores institucionales vinculados al cambio climático y al agua, puedan monitorear estos parámetros no solo para verificar el cumplimiento de los ECAs-agua) como usualmente se hace a nivel nacional, sino también explorar su relación con los indicadores climáticos y de esta manera aportar en el seguimiento de los efectos del cambio climático sobre la calidad del agua superficial, y una de las formas más eficaces para comenzar abordar esta necesidad es mediante la utilización de indicadores que puedan ser fácilmente medidos en campo, el cual para el caso de los cuatro (4) parámetros en mención, su medición se realizaría mediante un equipo multiparámetro portátil, lo que reduce significativamente los costos, ya que no es necesario prescindir de un análisis en laboratorio. Cabe indicar que el empleo de estos datos para el seguimiento de los efectos del cambio climático, sería un enfoque innovador a nivel nacional, ya que a la actualidad, los registros de calidad del agua generados por laboratorio acreditado a solicitud de empresas que cuentan con un Programa de monitoreo ambiental aprobado, solo se emplean únicamente para verificar el cumplimiento de los ECA-agua, y no se considera a dichos datos como una fuente valiosa de información observacional en campo para analizar su relación con los indicadores climáticos. En ese contexto, en la presente tesis se busca destacar el potencial de estos indicadores para contribuir al seguimiento de los posibles efectos del cambio climático sobre la calidad del agua superficial. Asimismo, la selección de los cuatro (4) indicadores se debe a su sensibilidad frente a cambios ambientales tal como se describe a continuación:

- Temperatura del agua: Se ha considerado incluir como parte de los parámetros de calidad de agua, ya que según van Vliet et al. (2011), este presenta un efecto directo en la calidad del agua, la cual aumenta progresivamente en relación con un incremento de la temperatura del aire. Asimismo, se seleccionó la temperatura del agua por los relevantes impactos que puede causar al ecosistema acuático, ya que, de acuerdo a Suárez-Almiñana et al. (2021), indica que la temperatura del agua es un factor limitante para la diversidad biológica, ya que tiene influencia en la solubilidad de sales y gases, lo que hace que, por ejemplo, el oxígeno disuelto disminuya ante un incremento de la temperatura del agua, ocasionando afectación en el ecosistema acuático.
- Oxígeno disuelto: Se ha considerado incluir este indicador como parte de los parámetros de calidad de agua debido a que, según Montes et al. (2011), el oxígeno disuelto es un parámetro que se debe considerar para estudios de efectos de cambio climático. Además, porque es un indicador vital, el cual a través de su evaluación se puede conocer la capacidad recuperadora de un curso de agua y la subsistencia de la vida acuática. (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018).
- pH: Se ha considerado incluir este indicador como parte de los parámetros de calidad de agua ya que, según IMTA (2011), la alteración de esta puede influir en una amplia gama de parámetros químicos, físicos y biológicos en fuentes de agua, lo cual, un pequeño cambio puede significar que varias especies frágiles a los cambios de pH, se extingan.
- Conductividad eléctrica: Se ha considerado incluir este indicador como parte de los parámetros de calidad de agua debido a que la conductividad se encuentra influenciada por el incremento de la solubilidad de sales, el cual esta elevación puede deberse al incremento en la temperatura del aire (IMTA, 2011). Asimismo, se ha tomado en cuenta a la conductividad debido a que cualquier desviación de los rangos habituales puede ser empleada como señal de contaminación, como las

contribuciones de aguas residuales a la masa de agua (ONU Medio Ambiente, 2018).

1.6.3 Operacionalización de variables

En el **Anexo 2**, se adjunta la “Matriz de operacionalización de variables”. Asimismo, en el **Anexo 3**, se adjunta la “Ficha de validación por juicio de expertos”, los cuales validan la matriz de consistencia y la matriz de operacionalización de variables.

Capítulo II. Marco teórico

2.1 Bases teóricas

2.1.1 *Cambio Climático*

De acuerdo al IPCC (2023c), el cambio climático es una variación en el estado del clima que se puede observar (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) por cambios en la media y/o la variabilidad de sus características y que persiste durante un largo periodo de tiempo, generalmente décadas o más.

De acuerdo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992) y la normativa peruana Ley Marco sobre Cambio Climático (Ley N.º 30754, 2018), conceptualizan al cambio climático como el cambio del clima producto del desarrollo de las actividades humanas, el cual genera una variación en la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante lapsos de tiempos comparables.

Según MINAM (2019), el cambio Climático es el desequilibrio originado por el calentamiento global en el planeta, el cual este último es producto de los altos niveles de concentración de los gases de efecto invernadero que retienen el calor y elevan de forma paulatina la temperatura de la Tierra.

2.1.2 *Escenarios de cambio climático según la IPCC*

El IPCC (2023a), indica que el calentamiento global de 1,5 °C y 2 °C se superará durante el siglo XXI si en las próximas décadas no se realiza disminuciones profundas de las emisiones de CO₂ y demás gases de efecto invernadero en el aire. En este contexto, Cruz (2022), en su investigación consideró dos escenarios de cambio climático según la IPCC: Escenario 1 (1.5°C) y Escenario 2 (2°C), a fin de evaluar el efecto del cambio

climático en el recurso hídrico de la laguna de Piuray en su microcuenca (Chincheros, Cusco).

2.1.3 Clima

De acuerdo al IPCC (2023c), el clima suele concebirse como el tiempo promedio o, más rigurosamente, como la descripción estadística en términos de la media y la variabilidad de las magnitudes pertinentes, durante un periodo que puede abarcar desde meses hasta miles o millones de años. Asimismo, el IPCC (2023c) indica que de acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el período común para promediar estas variables es de 30 años y, que las magnitudes pertinentes son por lo general, variables superficiales como la temperatura, las precipitaciones y el viento.

Según Haldar et al. (2023), la temperatura y la precipitación constituyen las variables físicas más significativas del clima. Considerando que la temperatura del aire es una variable clave para los estudios sobre cambio climático (Shen & Leptoukh, 2011), y que el aumento de las precipitaciones sin precedentes es una de las formas de manifestación del cambio climático (UNESCO, 2020), se ha considerado para la presente investigación, la evaluación de ambos indicadores climáticos.

2.1.3.1 Temperatura del aire.

Adnan et al. (2021), indica que la temperatura del aire es una variable meteorológica o componente climático fundamental que afecta a diversos procesos hidrológicos y meteorológicos a diferentes escalas temporales y espaciales.

Asimismo, otros autores como Shen et al. (2020), mencionan que la temperatura del aire es considerada como uno de los parámetros meteorológicos sustanciales ya que ha sido relacionado con una gran variedad de estudios, entre ellos, temas relacionados a

hidrología terrestre, cambio climático y ambiental, etc. Shen y Leptoukh (2011), señalan que la temperatura del aire es una variable clave para los estudios sobre cambio climático, ya que la temperatura del aire se aplica para monitorear la evapotranspiración regional en los procesos biofísicos, el clima local, el cambio climático, etc. Por su parte, Adnan et al. (2021), señala que la temperatura del aire es primordial particularmente en la gestión de los recursos hídricos, ya que es usual que la temperatura del aire se aplique como variable de entrada para obtener otros parámetros como la evapotranspiración, el cual es necesario conocer para una gestión eficaz de los recursos hídricos.

Los datos de temperatura que usualmente utiliza el SENAMHI para sus diversos estudios, pueden expresarse de la siguiente manera:

2.1.3.1.1 *Temperatura máxima.*

Es la temperatura más alta obtenida durante el día, que por lo general sucede después de mediodía (máxima diaria), en un mes (máxima mensual) o en un año (máxima anual) en un lugar en específico (SENAMHI, 2024).

2.1.3.1.2 *Temperatura mínima.*

Es la temperatura más baja obtenida durante el día, que puede suceder durante la madrugada (mínima diaria), en un mes (mínima mensual) o en un año (mínima anual) en un lugar en específico (SENAMHI, 2024).

2.1.3.1.3 *Temperatura media.*

Es la media aritmética de la temperatura máxima y mínima (SENAMHI, 2009b, como se citó en Aucahuasi, 2019).

2.1.3.2 Precipitación.

La precipitación es toda forma de humedad que se origina en las nubes que llega a la superficie terrestre; manifestándose como lluvias, nevadas, garúas, y granizadas. Su medición y análisis forma el punto de partida de los estudios relacionados al uso y control del agua (Villón, 2002).

2.1.4 Producto PISCO

Son datos interpolados peruanos de las observaciones climatológicas e hidrológicas del SENAMHI, cuyas siglas significan Peruvian Interpolate data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations (SENAMHI, 2020). Las versiones PISCO utilizadas en la presente investigación son las siguientes: i) PISCOt v1.2 (para obtener datos diarios de la temperatura máxima y mínima) y ii) PISCOp v2.1 (para obtener datos diarios de la precipitación), cuyo detalle se muestra a continuación.

2.1.4.1 PISCOt v1.2.

Es un conjunto de datos diarios de la temperatura máxima y mínima del aire en cuadrículas con resoluciones espaciales de 0.01°, 0.05° y 0.10° desarrollado para toda la región peruana continental correspondiente al período 1981-2020. Se brinda varias resoluciones con la finalidad de proporcionar acceso rápido a los datos de temperatura (máxima y mínima), ya que la versión 0.01° incluye archivos de gran tamaño. Toda la data producida se guarda en archivos NetCDF. El esquema de trabajo de PISCOt incluye cuatro actividades claves: i) control de calidad, ii) relleno de brechas, iii) homogeneización de estaciones meteorológicas, iv) interpolación espacial empleando información adicional, una secuencia de procesamiento refinada y una gestión más optimizada de las versiones. Este enfoque metodológico optimizado facilita la captura a una escala más exacta de la variabilidad espacial compleja de la temperatura máxima y mínima en comparación con

otros grupos de datos ya existentes, tales como PISCOt v1.1, CHIRTS, TerraClimate, ERA5-Land (Huerta et al., 2023).

Para la presente investigación, se ha utilizado las cuadrículas con resolución espacial de 0.05° porque ofrece un buen balance entre detalle espacial y facilidad de manejo. Si bien la resolución de 0.01° brinda mayor precisión espacial, los archivos son demasiado grandes y complican el procesamiento; por otra parte, la resolución de 0.1° es más ligera, sin embargo, se pierde detalles importantes a nivel local. Por esta razón, la resolución de 0.05° resulta apropiada, pues mantiene el detalle espacial requerido sin causar dificultades técnicas al manipular los datos.

2.1.4.2 PISCOp v2.1.

Es un conjunto de datos de precipitación en cuadrículas de alta resolución (resolución espacial de 0.1° o ~ 10 km) desarrollado para Perú correspondiente al período 1981 a la actualidad, liderado por el SENAMHI, cuyas cuadrículas se construyeron mediante la integración de base de datos de pluviómetros nacionales con control de calidad y relleno, climatologías de precipitación combinadas de pluviómetro y radar, datos del Grupo de Riesgos Climáticos CHIRP V2.0 (sin estaciones pluviómetros), y metodologías de interpolación geoestadísticos y deterministas (Aybar et al., 2020).

2.1.5 *Tendencia climática*

Es la variación, generalmente uniforme, en el valor de una variable en un determinado lapso de tiempo; a través de las tendencias se puede entender la evolución histórica del clima a largo plazo, puesto que nos proporciona pruebas de que el clima ha experimentado cambios o no durante un lapso de tiempo determinado (SENAMHI, 2020).

2.1.6 Análisis de tendencia

2.1.6.1 Prueba estadística Mann-Kendall (MK).

Un método para monitorear cambios climáticos es el análisis de tendencias en variables climáticas, siendo una de las técnicas recomendadas por la Organización Mundial de Meteorología (OMM) para ejecutar dicho análisis, la prueba de Mann Kendall (Alencar & Silva, 2017).

La prueba estadística Mann-Kendall (MK), es un modelo de análisis de tendencias ideado para detectar tendencias estadísticamente significativas en la serie temporal de variables climáticas e hidrológicas (Haldar et al., 2023), cuyo valor estadístico que indicará si existe una tendencia creciente o decreciente estadísticamente significativa es simbolizado por la letra Z, donde un valor positivo de Z indicará que la tendencia es creciente; mientras que, si es negativo, significará que la tendencia es decreciente (Alencar & Silva, 2017).

En la siguiente tabla se muestra la descripción de la significancia del test Mann Kendall, en donde considerando un nivel de significancia con $p=0.05$ y un 95% de nivel de confianza (NC); si el valor de Z es igual a 0, significará sin tendencia; si $Z \geq 1.96$ representa valor positivo, por tal existe tendencia significativa creciente; si $Z < 1.96$ indica tendencia no significativa creciente; si $Z \leq -1.96$ representa valor negativo, por tal la tendencia es significativa decreciente; y si $Z > -1.96$ señala tendencia no significativa decreciente (Alves et al., 2015, como se citó en Alencar & Silva, 2017).

Tabla 1*Descriptiva del test Mann - Kendall*

Significancia	Simbología	Z
Sin tendencia	ST	0
Tendencia significativa creciente	TSC	> + 1,96
Tendencia significativa decreciente	TSD	< - 1,96
Tendencia no significativa creciente	TNSC	< + 1,96
Tendencia no significativa decreciente	TNSD	> - 1,96

Nota. Adaptado de Alves et al. (2015, como se citó en Alencar & Silva, 2017).

El análisis de tendencia mediante la aplicación de la prueba de Mann Kendall es muy idóneo para el estudio de las variables de temperatura y precipitación, ya que no requiere normalidad ni linealidad (Chihuan, 2020).

Para el cálculo de la prueba estadística Mann-Kendall se puede usar el software TREND, el cual es un software elaborado para calcular pruebas estadísticas de tendencia en datos hidrológicos y otras secuencias temporales (Metzger, 2024).

2.1.6.2 Prueba del estimador de la pendiente de Sen (Q).

Esta prueba se emplea para evaluar la magnitud de una tendencia a través de la tasa de cambio lineal y la intersección (Toma et al., 2022). Es un método robusto para datos dudosos, valores atípicos y la ausencia de registros ya que se evalúa a través de la mediana para N pares de datos (Lamprea-Quiroga & Sanabria-Marin, 2024). La ecuación para estimar la pendiente de tendencia en la muestra de N pares de datos, según Gocic y Trajkovic (2013) es la siguiente:

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad \text{para } i = 1, \dots, N \quad (1)$$

Donde:

x_j y x_k son los valores de los datos en los instantes j y k ($j > k$), respectivamente. Los N valores de Q_i se ordenan de menor a mayor para calcular su mediana, el cual constituye el estimador de la pendiente de Sen (Gocic & Trajkovic, 2013), dicha mediana se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_{med} = \begin{cases} Q[(N+1)/2], & \text{si } N \text{ es impar} \\ \frac{Q[N/2] + Q[(N+2)/2]}{2}, & \text{si } N \text{ es par} \end{cases} \quad (2)$$

Diversos estudios (Bahamóndez, 2021; Lamprea-Quiroga & Sanabria-Marin, 2024; Toma et al., 2022) usan esta prueba para analizar las magnitudes de tendencias, principalmente de la precipitación y temperatura.

2.1.6.3 Regresión lineal.

Es un modelo estadístico para predecir cómo cambia una variable en función de otra (Hernández et al., 2014), por ejemplo, se puede emplear para calcular el efecto de la temperatura en la precipitación, tal como lo hicieron los autores Cruz (2022) y Quirita (2021). Asimismo, según Quispe (2024), mediante la regresión lineal se puede analizar las tendencias, como por ejemplo, de los caudales.

2.1.7 Cuenca hidrográfica

Desde la perspectiva hidrológica, se define una cuenca hidrográfica como una zona geográfica natural que está delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarum), la cual capta las precipitaciones y canaliza el agua de escorrentía hacia un colector común conocido como río principal (Vásquez et al., 2016).

Una cuenca hidrográfica posee elementos básicos como los recursos naturales (clima, suelo, agua, flora, fauna, paisaje, etc), elementos antropogénicos (reservorios,

relaves contaminantes, vertimientos, emisiones, residuos, instalaciones y actividades mineras, carreteras, etc), institucionales (marco normativo y legal relacionado al manejo de cuencas, etc.), gubernamentales (decisión política y el buen gobierno) que se interrelacionan entre sí y son variables en el tiempo (Vásquez et al., 2016).

El concepto de cuenca como unidad territorial natural es primordial debido a que a partir de esta concepción se puede entender que solo en la cuenca hidrográfica es viable llevar a cabo balances hídricos, en otras palabras, cuantificar la oferta de agua que la cuenca genera durante el ciclo hidrológico (Llerena, 2003).

Además, las cuencas hidrográficas facilitan una comprensión espacial del ciclo hidrológico y permiten la cuantificación e identificación de los impactos acumulados de las actividades humanas o externalidades (sedimentos, contaminantes y nutrientes) a lo largo de la red hidrográfica, que impactan positiva o negativamente la calidad y cantidad del agua, la capacidad de adaptación de los ecosistemas y la calidad de vida de las personas que habitan en estas áreas (Cotler et al., 2013).

Para Ordoñez (2011a), la principal característica de la cuenca es lo asociado a la cantidad de agua que existe en ella y a la calidad de este recurso para los distintos usos, especialmente para el consumo humano.

Las cuencas hidrográficas están organizadas de manera jerárquica, debido a que pueden subdividirse en subcuencas, definidas también por un parteaguas y donde se agrupan los escurrimientos llevándolos al curso principal del río. A su vez, las subcuencas pueden dividirse en microcuencas (Cotler et al., 2013).

En cuanto al área, de acuerdo a lo indicado por DSMC-DGASI (1983, como se citó en Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA] et al., 2003) y Faustino (1996), una

microcuenca cubre un área de 10 a 100 km², una subcuenca un área que varía entre 100 a 700 km², y una cuenca entre 700 a 6000 km².

2.1.7.1 Importancia de una cuenca.

La cuenca es importante ya que cumplen diversas funciones, los cuales, de acuerdo a lo señalado por Ordoñez (2011a), se da a nivel ambiental, ecológico, hidrológico y socioeconómico, los cuales se describen a continuación:

2.1.7.1.1 Función ambiental.

Las cuencas regularizan los ciclos biogeoquímicos y la recarga hídrica, preservan la biodiversidad, contienen bancos de germoplasma, mantiene la integridad y diversidad de los suelos, y constituyen una fuente de secuestro de CO₂ (Ordoñez, 2011a). En relación a este último, las cuencas hidrográficas con una cubierta terrestre natural y recursos de suelo intactos son capaces de capturar carbono, compensando así las emisiones de gases de efecto invernadero (Hanson et al., 2010, como se citó en Environmental Protection Agency [EPA], 2023).

2.1.7.1.2 Función ecológica.

La cuenca ofrece una variedad de lugares y trayectorias donde se realizan interacciones entre las características físicas y químicas del agua. Además, proporciona hábitats para la flora y fauna que constituyen los componentes biológicos del ecosistema y tienen interacciones con las propiedades físicas y biológicas del agua (Ordoñez, 2011a).

2.1.7.1.3 Función hidrológica.

La cuenca recoge precipitaciones para formar escorrentías de ríos, arroyos y manantiales. Asimismo, la cuenca almacena el agua en sus diferentes estados y tiempos de duración. Por último, permite la descarga del agua como escurrimiento, es decir, facilita

el movimiento del agua que no es absorbida por el suelo hacia un cauce como ríos, arroyos o lagos (Ordoñez, 2011a).

2.1.7.1.4 *Función socioeconómica.*

La cuenca proporciona recursos naturales que apoyan el desarrollo de actividades productivas que garantizan el sustento a la población. Además, ofrece un espacio para el desarrollo social y cultural de la comunidad (Ordoñez, 2011a).

Además, para la EPA (2023), las cuencas hidrográficas que son saludables proporcionan muchos servicios ecosistémicos tales como ciclo de nutrientes, control de la erosión y sedimentación, almacenamiento de carbono, formación de suelos, aumento de la biodiversidad, corredores de movimiento de la fauna, almacenamiento de agua, filtración de agua que permite la mejora de la calidad del agua, ya que los paisajes naturales y las llanuras aluviales filtran contaminantes de fuentes puntuales y difusas y ayudan a retener sedimentos, control de inundaciones, alimentos, madera, recreación, así como una menor vulnerabilidad a las especies invasoras, a los efectos del cambio climático y otros desastres naturales. En relación a los efectos del cambio climático, la cuenca permite una mayor resiliencia ante las amenazas de la misma, ya que las llanuras aluviales y las áreas ribereñas sin alterar, posibilitan una mayor adaptabilidad de las cuencas hidrográficas a los patrones climáticos más extremos y a la variación en las precipitaciones asociados con el cambio climático. Estos bienes y servicios son fundamentales para nuestro bienestar ambiental, social y económico.

En general, las cuencas hidrográficas son indispensables ya que ofrecen un hábitat para la flora y fauna; asimismo, brindan agua potabilizada para la población, sus animales, sus cosechas, entre otros. Del mismo modo, nos ofrece la posibilidad de entretenernos y apreciar de la naturaleza, y su cuidado es crucial para preservar la salud y el bienestar de todos los organismos vivos, tanto en la actualidad como en el futuro (Villegas, 2004, como

se citó en Mattos, 2018). Por último, la cuenca hidrográfica es fundamental ya que conlleva a una menor vulnerabilidad a los efectos del cambio climático (EPA, 2023).

2.1.7.2 Delimitación de una cuenca hidrográfica.

El trabajo de delimitar cuencas manualmente suele ser muy arduo, no obstante, hay un método para delimitar cuencas de forma automática a través del uso del software ArcGIS, el cual posee herramientas especializadas para tal fin (López & Patiño, 2017).

En la siguiente tabla, se muestra el procedimiento automático para realizar la delimitación de una cuenca:

Tabla 2
Procedimiento para delimitar una cuenca con ArcGIS

Herramienta del ArcGIS	Descripción	Entrada	Salida
Fill	Rellena imperfecciones	Archivo DEM	Raster fill
Flow direction	Dirección del flujo	Raster fill	Raster flow direction
Flow accumulation	Acumulación del flujo	Raster flow direction	Raster Flow accumulation
Con	Ajusta celdas de densidad de drenaje ^a	Raster Flow accumulation	Raster Con ^b
Watershed	Delimita la cuenca	Punto de descarga y Raster flow direction	Raster Watershed (raster de cuenca)
Raster to polygon	Convierte el raster de la cuenca a formato shapefile (tipo polígono)	Raster Watershed	Cuenca delimitada (área de estudio) en formato shapefile

Nota. Adaptado de Llamoctanta (2021).
^a La red de drenaje se ajustó de forma similar a la red hídrica de la Carta Nacional del IGN, razón por la cual se consideró un umbral de 20 000.
^b El “Raster Con” fue utilizado como base para dibujar el punto de descarga o salida mediante la creación de un shapefile (tipo punto).

Asimismo, en cuanto a la red de drenaje, en la siguiente tabla se muestra el procedimiento a seguir:

Tabla 3*Procedimiento para generar la red de drenaje*

Herramienta del ArcGIS	Descripción	Entrada	Salida
Stream Link	Segmenta el drenaje creado	Raster Con (red de drenaje) y Raster flow direction	Raster stream link
Stream Order	Proporciona el orden a las corrientes	Raster stream link y Raster flow direction	Raster stream order
Stream Feature	Genera la red de drenaje en formato shapefile	Raster stream order	Raster Flow accumulation

Nota. Adaptado de Sig y Agua (2011, como se citó en Zhicay, 2020).

2.1.7.3 Parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica.

La geomorfometría o morfometría se refiere al estudio cuantitativo de la superficie terrestre de una cuenca de agua (Quesada & Barrantes, 2017).

De acuerdo Zhicay (2020), entre las características físicas para llevar a cabo un análisis morfométrico se incluyen los parámetros generales, de forma, de relieve, así como de la red de drenaje.

2.1.7.3.1 Parámetros generales.

a) Área

Es la superficie de la cuenca el cual es posiblemente la característica geomorfológica de mayor relevancia. Se representa con la letra A mayúscula (Ordoñez, 2011a).

b) Perímetro

Es la longitud de la línea que delimita la cuenca, el cual a menudo es representado por la letra P (Ordoñez, 2011a).

c) Longitud del cauce principal

Es la longitud del río principal de la cuenca, a donde van desaguar todos los afluentes y quebradas. (Ordoñez, 2011a), desde el punto de salida hasta su cabecera (Alcántara, 2015). Es la longitud del cauce de mayor orden jerárquico de la cuenca (Gulden, 2021).

d) Longitud total de la red hídrica

Es la suma de la longitud total de los cauces que pertenecen a la red hídrica de la cuenca (Gulden, 2021).

e) Longitud Axial

Es la distancia en línea recta entre el lugar más alto de la cuenca y la zona más baja (desembocadura) (Hacha & Tacusi, 2015).

f) Ancho de la Cuenca

El ancho de la cuenca es la relación entre el área de la cuenca y su longitud axial, el cual es obtenida usando la siguiente ecuación (Hacha & Tacusi, 2015):

$$W = \frac{A}{La} \quad (3)$$

Donde:

A: Superficie de la cuenca (km²)

La: longitud axial de la cuenca (km)

g) Cotas máxima y mínima de la cuenca

La cota máxima es la cota más alta dentro de la delimitación de la cuenca y la cota mínima, la más baja (Sellers et al., 2017).

h) Cotas superior e inferior del cauce principal

Expresada por la cota inicial y final del cauce principal, los cuales no coinciden necesariamente con las cotas máxima y mínima de la cuenca (Alcántara, 2015).

i) Desnivel Altitudinal de la cuenca

Es la diferencia entre la cota superior e inferior de la cuenca, en donde una cuenca con más estratos altitudinales puede acoger más ecosistemas al presentarse fluctuaciones relevantes en su temperatura y precipitación (Fuentes, 2004). Según Zhicay (2020), el desnivel altitudinal es expresada mediante la siguiente ecuación:

$$DA = HM - Hm \quad (4)$$

Donde:

HM: altura máxima

Hm: altura mínima

De acuerdo a Fuentes (2004), existen tres clases de desniveles altitudinales: alto (rango de altitud 1842-2462 msnm), mediano (1221-1841 msnm) y bajo (600-1220 msnm).

2.1.7.3.2 Parámetros de forma.

La forma de una cuenca es crucial para comprender su conducta hidrológica. Cuencas que, aunque comparten la misma área, pero distintas formas, presentan distintas respuestas hidrológicas e hidrogramas (Sellers et al., 2017). Los parámetros de forma considerados son:

a) Compacidad o Gravelius

Es el resultado obtenido al dividir el perímetro de la cuenca con el de un círculo de igual superficie al de la cuenca hidrográfica, cuyo valor, según Ordoñez (2011a), se obtiene empleando la siguiente ecuación:

$$Kc = \frac{P}{(2\sqrt{\pi A})} = \frac{0.28 P}{(\sqrt{A})} \quad (5)$$

Donde:

Kc: Índice de compacidad

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km²)

De acuerdo a Villela e Matos (1975, como se citó en Zhicay, 2020), si el índice de compacidad varía de 1 a 1.25, la cuenca es casi redonda a oval-redonda, si varía de 1.25 a 1.5, es oval redonda a oval alargada, si varía de 1.5 a 1.75, es oval alargada a alargada, y si es mayor de 1, 75, la cuenca es alargada.

b) Factor Forma de Horton

Es la relación que existe entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud axial o máxima de la misma, su valor es adimensional y se obtiene mediante el empleo de la siguiente ecuación (Ramírez et al., 2015, como se citó en Zhicay, 2020):

$$Rf = \frac{A}{La^2} \quad (6)$$

Donde:

Rf: Factor forma de Horton (adimensional)

A: Área de la cuenca (km²)

La: Longitud axial de la cuenca (km)

En la siguiente tabla, se muestran los valores que puede tomar en factor forma de Horton y su respectiva interpretación:

Tabla 4

Factor forma de Horton

Rango de valores	Forma de la cuenca
< 0,22	Muy Alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,3 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37 – 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,12	Muy Ensanchada
> 1,20	Rodeando el desagüe

Nota. Adaptado de Strahler (1957, como se citó en Sellers et al., 2017).

c) Índice de alargamiento

Es la relación existente entre el trayecto más largo del agua y el ancho promedio del área drenada de la cuenca (Fierro & Jiménez, 2011, como se citó en Ramírez, 2015), medido de forma perpendicular a la magnitud anterior (Baldeon, 2016). De acuerdo a Zhicay (2020) este índice es adimensional y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$I_a = \frac{La}{W} \quad (7)$$

Donde:

la: Índice de alargamiento (adimensional)

La: Longitud axial de la cuenca

W: Ancho de la cuenca

Si el índice de alargamiento varía de 0 a 1.4, la cuenca será poco alargada, si varía de 1.5 a 2.8, será moderadamente alargada y si varía de 2.9 a 4.2, será muy alargada (Fuentes, 2004).

d) Razón de elongación

De acuerdo a Hacha & Tacusi (2015), es la división obtenida entre el diámetro de un círculo con igual área que la cuenca, y la longitud de la cuenca, cuyo valor es adimensional y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$R_e = 2 \frac{\sqrt{A/\pi}}{La} \quad (8)$$

Donde:

Re: Relación de elongación (adimensional)

La: Longitud axial de la cuenca (km)

A: Área (km²)

Si el valor resultante de Re es inferior a 1 se asocia a cuencas con formas alargadas, y en cuanto más inferior se encuentre de la unidad, la forma será más alargada; mientras que valores cercanos a 1 implican formas redondeadas (Jardí, 1985).

2.1.7.3.3 Parámetros de relieve.

Son de gran relevancia debido a que pueden influir en la respuesta hidrológica de la cuenca. Así, a una pendiente más alta, le corresponderá un tiempo menor de concentración de la escorrentía en la red de drenaje y afluentes al cauce principal (Yaguachi, 2013).

a) Pendiente media del cauce

Es el cociente obtenido de la división entre la diferencia de las cotas máxima y mínima del cauce del río y la longitud del río, cuya ecuación, expresada en porcentaje, se presenta a continuación (Aguilar & Naranjo, 2018):

$$j = \frac{Cota_{sup} - Cota_{inf}}{Lr} * 100\% \quad (9)$$

Donde:

j: Pendiente media del cauce (%)

Cota sup, Cota inf: cota superior e inferior respectivamente en m.s.n.m.

Lr: Longitud del río (m)

Si la pendiente del cauce es menor al 10%, eso indica que la pendiente es de clasificación suave, si varía entre 10% a 30%, la pendiente es de clase moderada y si es mayor a 30%, la pendiente es se clasifica como fuerte (Baldeon, 2016).

Es preciso indicar que, al incrementarse la pendiente, se incrementa la velocidad del agua por la red hidrográfica, dando como resultado una mayor susceptibilidad de la cuenca a procesos erosivos y al arrastre de materiales (Yaguachi, 2013).

b) Pendiente media de la cuenca

La pendiente media de la cuenca caracteriza la topografía de una cuenca hidrográfica, y es uno de los parámetros más relevantes, asociado con el flujo superficial del agua, la infiltración, la humedad del suelo y la aportación del agua subterránea al flujo de las corrientes (Guerra & Gonzales, 2002).

De acuerdo a Zhicay (2020), para estimar la pendiente media de la cuenca, se puede utilizar el método de Alvord, el cual se presenta en la siguiente ecuación:

$$J = 100 \frac{\sum Li * E}{A} \quad (10)$$

Donde:

J: Pendiente media de la cuenca (%)

E: Equidistancia de las curvas de nivel (km)

Li: Longitud de cada una de las curvas de nivel (km)

A: Área de la cuenca (km²)

En la siguiente tabla, se muestra la clasificación del relieve de una cuenca de acuerdo a los rangos de pendiente:

Según la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) del departamento de Arequipa (2020), aprobado con Ordenanza Regional N°437 - Arequipa, si la pendiente varía de 0 a 4, esta se clasifica como plano a ligeramente inclinado; de 4 a 8 es moderadamente inclinado; de 8 a 15, es fuertemente inclinado; de 15 a 25, es moderadamente empinado; de 25 a 50 es empinado; de 50 a 75, es fuertemente empinado; y si es mayor a 75, se clasifica como extremadamente empinado.

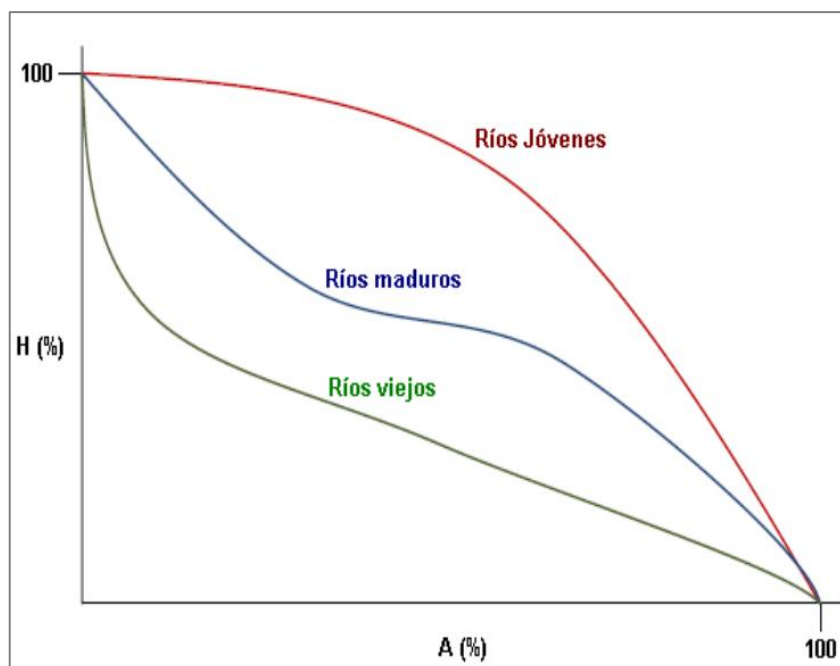
c) Curva hipsométrica

Es la curva que representa la relación entre la altitud y el área de la cuenca que queda sobre dicha altitud (Villón, 2002). Se construye colocando en el eje X la superficie drenada, ya sea en km² o en porcentaje, obtenida hasta un cierto nivel, dicho nivel, que generalmente va en metros, se coloca en el eje Y.

Las curvas hipsométricas pueden convertirse en un gráfico adimensional de gran utilidad para la hidrología relacionadas a las edades de los ríos, utilizando en reemplazo de los valores totales en los ejes, valores relativos; que pueden obtenerse al dividir la altura y el área por sus respectivos valores máximos. (Ibañez et al., 2011), obteniéndose la siguiente figura:

Figura 2

Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río



Nota. Reimpreso de Ibañez et al.(2011).

De acuerdo a Aguilar & Naranjo (2018), las cuencas con ríos jóvenes poseen gran potencial erosivo, cuencas con ríos maduros permanecen en estado de equilibrio, y las cuencas con ríos viejos son sedimentarias.

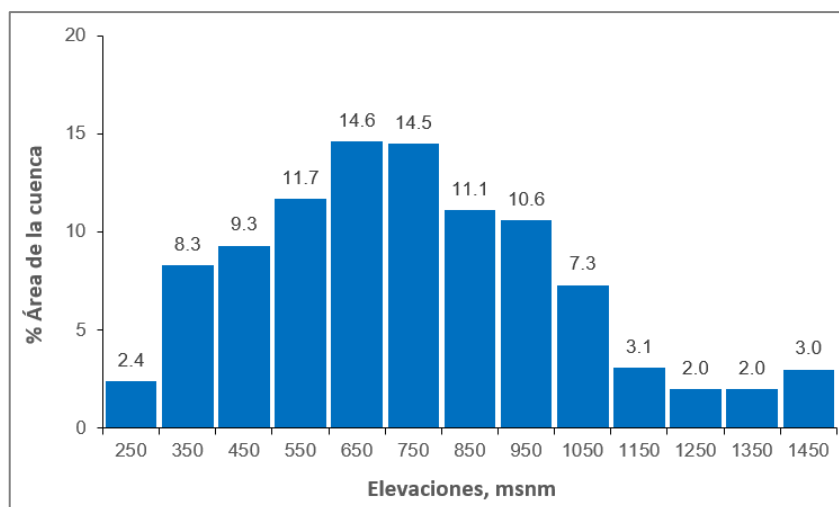
d) Histograma de frecuencias altimétricas

Es la representación del área (expresada en porcentaje o km^2) contenida entre dos niveles o cotas, siendo la marca de clase el promedio de las alturas, siendo preciso indicar que el histograma y la curva hipsométrica poseen la misma información; sin embargo, ambos poseen una representación distinta, generando una idea de la variación de la elevación de la cuenca (Ibañez et al., 2011).

En la siguiente figura se muestra un ejemplo del histograma de frecuencias altimétricas.

Figura 3

Histograma de frecuencias altimétricas



Nota. Adaptado de Sellers et al. (2017).

e) Altura media de la cuenca

Es la ordenada media de la curva hipsométrica, en donde el 50% del área de la cuenca está localizado sobre esa altitud, y el 50%, por debajo de la misma, cuyo valor se obtiene de la siguiente ecuación (Villón, 2002).

$$E_m = \frac{\sum a * e}{A} \quad (11)$$

Donde:

Em: elevación media (m.s.n.m.)

a: área entre dos curvas de nivel (km²)

e: elevación media entre dos curvas de nivel (m.s.n.m.)

A: área de la cuenca (km²)

f) Coeficiente de Masividad

Es el valor obtenido de dividir la altura media de la cuenca denotada en metros (m) y su área, expresado en km², tal como se muestra en la siguiente ecuación (Fuentes, 2004):

$$K_m = \frac{\text{Altura media de la cuenca (m)}}{\text{Área de cuenca (km}^2\text{)}} \quad (12)$$

Si el rango del coeficiente de masividad es de 0-35, la clase de masividad es muy montañosa, si el rango varía de 35-70, la masividad es montañosa; finalmente, si varía de 70-105, eso indica que la clase de masividad es moderadamente montañosa (Fuentes, 2004).

2.1.7.3.4 Parámetros de la red de drenaje.

a) Densidad de drenaje

De acuerdo a Ibañez et al. (2011), es la razón entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua de la cuenca y la superficie de esta, cuyo valor se obtiene de la siguiente ecuación:

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (13)$$

Donde:

D_d : Densidad de drenaje

L : $\sum$ Longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca (km)

A : Área de la cuenca (km²)

De acuerdo con Horton (1945), Strahler (1957) y França (1968), como se citó en Cerignoni y Rodrigues (2015), si la densidad de drenaje es menor a 1.5, la densidad se interpreta como baja e indica que disminuye la escorrentía y aumenta la infiltración; si la densidad está en el rango de 1.5-2.5, la densidad es media y señala una tendencia media de escorrentía; si la densidad está en el rango de 2.5-3.0, la densidad es alta e indica una alta tendencia a fluir y a las inundaciones; y si la densidad es mayor a 3, la densidad es muy alta y señala una alta tendencia a la escorrentía y a la erosión.

b) Perfil longitudinal del río

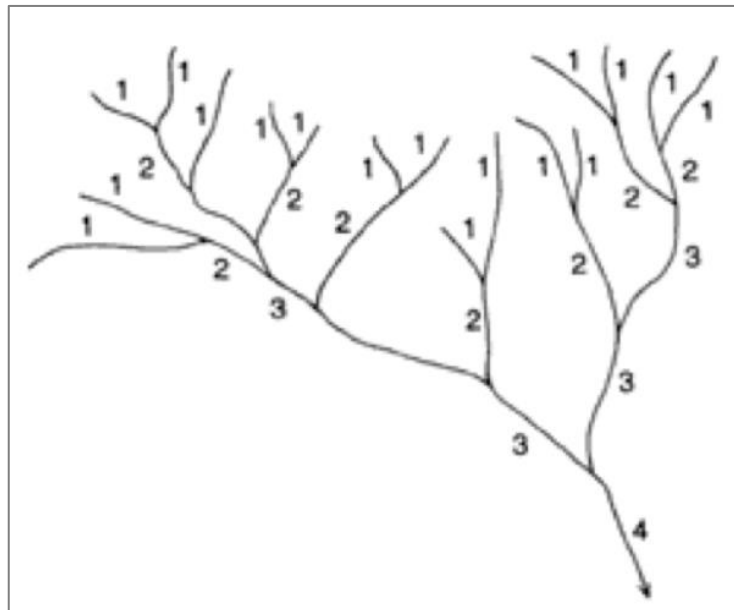
Es la línea generada a partir de la representación gráfica de las distintas alturas desde su nacimiento hasta su salida (Sellers et al., 2017).

c) Orden de la red hídrica o de corriente

De acuerdo a Fuentes (2004), es el índice que indica el grado de estructura de la red de drenaje, así; a mayor número de orden, su estructura será más definida y en general, un mayor orden señala una mayor probabilidad de erosión y la existencia de controles estructurales de relieve, cuyo método más común y más entendible por el cual se puede obtener este índice es usando el método de Strahler, el cual considera que una corriente de primer orden es aquella que no tiene efluentes, una de segunda orden, es aquel en donde confluyen dos corrientes del primer orden, y así sucesivamente, tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 4

Orden de cauces



Nota. Adaptado de Strahler (1957, como se citó en Sellers et al., 2017).

Si el rango de orden de corriente es de 1-2, esta se clasifica como bajo; si varía de 2.1-4, esta orden se clasifica como medio; y, si el rango varía de 4.1-6, esta orden se clasifica como alto (Fuentes, 2004).

d) Tiempo de concentración

Es el tiempo que se toma el flujo superficial para aportar al caudal de salida, desde el punto más lejano hasta la desembocadura de la cuenca y depende de la forma de la cuenca (Sellers et al., 2017). Existen varias fórmulas para su cálculo; sin embargo, para el presente se ha utilizado la ecuación de Kirpich de la misma forma que lo hizo Sánchez (2019) y Llamoctanta (2021), expresándose dicha ecuación de la siguiente manera:

$$T_c = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (14)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce principal (m)

H: Diferencia de elevación entre la cota superior (inicio) e inferior (final) del cauce principal (m)

En la siguiente tabla, se muestran las clases de tiempo concentración según Baldeon (2016):

Tabla 5

Tiempo de concentración

Rango de T_c (min)	Clases
<40	Rápido
40-80	Moderado
>80	Lento

Nota. Adaptado de Baldeon (2016).

2.1.8 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico se refiere a la serie de transformaciones que experimenta el agua en la naturaleza, ya sea en su estado (sólido, líquido y gaseoso) o en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.) (Villón, 2002).

Se asume que el ciclo hidrológico comienza con la evaporación del agua que se encuentra en la superficie terrestre (lagos, mares, ríos, etc.), que asciende hacia las partes elevadas de la atmósfera donde, debido a la menor temperatura en dichas zonas, el vapor se condensa formándose las nubes, esto a su vez, darán lugar a la precipitación que puede ser en forma de lluvia o en nieves o granizos. La precipitación puede caer en los mares, en la superficie terrestre o en los glaciares o nevados; donde una gran parte que cae en la superficie terrestre fluye como escorrentía superficial dando lugar los ríos y en la mayoría de caso desembocan en el mar. En el agua de escorrentía superficial va ocurriendo de forma paralela los procesos de evaporación, transpiración, infiltración en el suelo, almacenamiento en reservorios, lagos, lagunas, así como el uso del agua por parte del ser humano, mientras que lo restante termina en el mar. El agua utilizada por el ser humano, también sufre los mismos procesos que se mencionó anteriormente repitiéndose constantemente el ciclo (Vásquez et al., 2016).

Diversos estudios señalan que la circulación del ciclo hidrológico pueda ser intensificada por el cambio climático, lo que hace que se modifique los patrones de evapotranspiración y precipitación y esto a su vez altere el equilibrio del balance hídrico superficial (Liu & Liu, 2019).

2.1.8.1 Evapotranspiración.

La evapotranspiración son los procesos combinados mediante los cuales el agua se transmite a la atmósfera a partir de superficies de hielo y aguas abiertas, suelo desnudo

y vegetación que forman la superficie de la Tierra (IPCC, 2023b). En esa línea, la evapotranspiración está conformada por las pérdidas totales tales como la transpiración de las plantas más la evaporación de la superficie evaporante (del agua y suelo) (Villón, 2002).

2.1.8.1.1 Evapotranspiración potencial.

La evapotranspiración potencial es una denominación que introdujo Thornthwaite y que queda conceptualizada como la pérdida total del agua, que sucedería si en ningún instante hubiera falta de agua en el terreno para la utilización de la vegetación (Villón, 2002).

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, el método de Thornthwaite constituye uno de los enfoques más usados para tal fin (Liu & Liu, 2019). De acuerdo a Villón (2002), para estimar la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite, se realiza el siguiente procedimiento:

Como primer paso, se estima la evapotranspiración mensual sin corregir en mm (ETP_{sc}), por mes que comprende 30 días con 12 horas de duración.

$$ETP_{sc} = 16 \left(10 \frac{t}{I} \right)^a \quad (15)$$

Donde:

ETP_{sc} = evapotranspiración mensual sin corregir (mm)

t = temperatura media mensual en °C

$$I = \text{índice térmico anual} \quad I = \sum i \quad (16)$$

$$i = \text{índice térmico mensual} \quad i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (17)$$

a = exponente que varía con el índice anual de calor de la localidad

$$a = 0.6751 \times 10^{-6} I^3 - 0.771 \times 10^{-4} I^2 + 0.01792 I + 0.49239 \quad (18)$$

Como segundo paso, se obtiene la evapotranspiración mensual corregida en mm, corrigiendo el valor de ETP , de acuerdo a la siguiente expresión:

$$ETP = fxe \quad (19)$$

Donde:

ETP = evapotranspiración mensual corregida, en mm

f = factor de corrección

e = evapotranspiración mensual sin corregir, en mm

Para el cálculo del factor de corrección (f), se toma en cuenta el mes considerado y la latitud del área de estudio, la cual definen las horas del sol. Para el caso de la presente investigación, debido a que el área de estudio se ubica a 15° latitud sur, el factor de corrección por cada mes, se puede obtener de la siguiente tabla:

Tabla 6

Factor de corrección f , por duración media de las horas de sol expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una

Latitud	E	F	M	A	M	J _N	J _L	A	S	O	N	D
Sur 15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12

Nota. Adaptado de Villón (2002).

2.1.8.1.2 Evapotranspiración real.

La evapotranspiración real es el flujo real de vapor de agua desde la superficie terrestre, lo cual se determina no solo por las características climáticas y fisiográficas, sino también por las restricciones de agua que experimenta el suelo (Menares, 2020).

Para estimar la evapotranspiración real, diversos autores han empleado la fórmula de Turc, usando parámetros climáticos como la temperatura y la precipitación. Cruz (2022) lo aplicó para evaluar los efectos de la temperatura y precipitación sobre la calidad y cantidad del agua, demostrando de esta manera, su utilidad en estudios que requieren evaluar la influencia del cambio climático sobre la cantidad y calidad del agua. Según Ordoñez (2011b), la fórmula de Turc viene expresada con la siguiente ecuación:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (20)$$

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3 \quad (21)$$

Donde:

ETR: Evapotranspiración real (mm/año)

P = Precipitación (mm/año)

T = Temperatura media anual en °C

2.1.9 Balance hidrológico

Es la evaluación de la entrada y salida de agua de una cuenca o sistema durante un intervalo de tiempo. Su estimación se fundamenta en el principio de conservación de masa de agua (OMM, 2012, como se citó en SENAMHI et al., 2021).

De acuerdo a González-Otoya (2016), el balance hídrico (que se realiza teniendo en cuenta los recursos disponibles y las demandas) es una herramienta fundamental y

esencial, ya que permite determinar si dicho sistema tiene un exceso o déficit tanto para la situación del presente como para el futuro.

Para evaluar los recursos hídricos de una cuenca, es necesario un correcto cálculo del balance hidrológico, en otras palabras, una comprensión del ciclo en sus diversas etapas, entender cómo el agua que se obtiene por la precipitación se divide entre los procesos de evaporación, escorrentía e infiltración (Pladeyra, 2003, como se citó en Ordoñez, 2011b).

De acuerdo a Ordoñez (2011b), dichas magnitudes se sujetan a la siguiente ecuación denominada como balance hídrico:

$$P = ETR + ES + I \quad (22)$$

Donde:

P: Precipitación

ETR: Evapotranspiración

Es: Escorrentía superficial

I: Infiltración

En cuanto al cálculo del balance hídrico, es preciso mencionar que, de acuerdo a la UNESCO (2006), la ecuación del balance hídrico en una unidad territorial puede simplificarse o complicarse debido a que está supeditado a varios aspectos tales como la disponibilidad de datos, tamaño del área, duración del periodo del tiempo de balance y el objetivo del cálculo.

2.1.10 Agua

El agua es el componente con mayor presencia en la Tierra y único en encontrarse en la atmósfera en tres estados: sólido, líquido y gaseoso. Se encuentra en mayor abundancia en los océanos (el 97% del agua terrestre), el cual es salada permitiendo solo la existencia de la flora y fauna marina. Lo restante es agua dulce que no está del todo disponible ya que la gran mayoría permanece helada en forma de glaciales y casquetes polares (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], s.f.).

2.1.10.1 Calidad del agua.

La calidad del agua se refiere a la condición del agua, incluyendo sus características físicas, químicas y biológicas, generalmente con respecto a su idoneidad para un propósito particular como beber, pescar o nadar (Diersing, 2009) o para los diferentes usos (ONU Medio Ambiente, 2018). Así, el agua potable, debe tener niveles bajos de patógenos y toxinas, el agua para ciertos procesos industriales debe contener bajos materiales en suspensión, el agua de riego requiere bajos niveles en sales, y el ecosistema acuático debe tener agua con oxígeno y nutrientes naturales con un nivel bajo de sólidos en suspensión y ninguna o niveles muy bajos de sustancias tóxicas (ONU Medio Ambiente, 2018).

La calidad del agua depende de la variabilidad espacial en función del clima, la geología y uso de la tierra, pero también está sujeta a la variabilidad temporal diaria, estacional, anual y decenal. Es importante comprender estos patrones naturales en sus diversas escalas para poder diferenciar los impactos antropógenos y los impulsados por el cambio climático (ONU Medio Ambiente, 2018).

Para la determinación de la calidad del agua, se toman en consideración los denominados parámetros de calidad de agua, los cuales son compuestos, elementos, sustancias, indicadores y propiedades físicas, químicas y biológicas (ANA, 2016). Los

conceptos de los parámetros de calidad de agua seleccionados para la presente investigación se presentan en los siguientes ítems:

2.1.10.1.1 *Temperatura del Agua.*

La temperatura es una de las características de calidad del agua más relevantes e impactantes para la existencia de vida en dicho recurso. La temperatura influye en cómo las personas utilizan el agua; asimismo, influye en la capacidad del agua para retener oxígeno disuelto y en las capacidades de los seres acuáticos para vivir, desarrollarse y reproducirse. La temperatura del agua regula la composición de las especies y la actividad de la vida acuática en cualquier lugar. Por ejemplo, una investigación demostró que las diatomeas tenían predominio en temperaturas de 20 °C a 25 °C, las algas verdes en temperaturas de 25 °C a 30 °C y las algas verdeazuladas en temperaturas de 30 °C a 35 °C. Un incremento mínimo en la temperatura media mensual puede cambiar considerablemente la composición de especies de una comunidad acuática mediante cambios en las interacciones entre las especies (Pasco Scientific, 2010). Por otro lado, la temperatura aumenta al disminuir el caudal del cuerpo de agua, esto incrementa la solubilidad de las sales, ocasionando cambios de conductividad y pH (IMTA, 2011).

2.1.10.1.2 *Oxígeno disuelto.*

Concentración de oxígeno diluido en un líquido que depende de la presión atmosférica y la temperatura, siendo un factor crucial para el crecimiento de la vida acuática (ANA, 2016).

2.1.10.1.3 *PH.*

Es una medida adimensional de la acidez de una solución determinada por la cantidad de iones de hidrógeno (H⁺), cuya medición se realiza en una escala logarítmica

donde $\text{pH} = -\log_{10}(\text{H}^+)$, donde una reducción de 1 unidad en el pH equivale a un incremento de 10 veces en la concentración de H^+ o acidez (IPCC, 2023b).

2.1.10.1.4 Conductividad eléctrica.

Es una medida sencilla de las sustancias disueltas como las sales que ayuda a describir la masa de agua. Los valores de la conductividad eléctrica cambian naturalmente, particularmente cuando el caudal aumenta (ONU Medio Ambiente, 2018).

2.1.10.2 Cantidad de agua.

Es la disponibilidad física (Pradinaud et al., 2019) a través de las precipitaciones, los ríos y los acuíferos en un área determinada (High Level Panel of Experts [HLPE], 2015). La disponibilidad se estudia a partir de la variación del caudal (Milla, 2018), cuya definición se muestra a continuación:

2.1.10.2.1 Caudal.

Es la cantidad de agua que atraviesa una sección transversal, el cual se expresa en unidades de volumen por unidad de tiempo (Arboleda et al., 2018).

Complementando la definición anterior, el IPCC (2023b) indica que el caudal es el agua que fluye dentro del cauce de un río y se encuentra expresado, por ejemplo, en m^3/s .

El caudal del río estacionalmente se afecta mediante el incremento o disminución de la precipitación y por el deshielo, lo cual puede repercutir sobre algunos parámetros de la calidad de agua como la temperatura y el oxígeno disuelto; además, en caso de variar la velocidad del río, los organismos que están adaptados al mismo, pueden verse afectados (Pasco Scientific, 2010).

2.1.11 Cantidad y calidad del agua frente al cambio climático

De acuerdo a UNESCO (2020), el cambio climático impacta de muchas formas a los ecosistemas, sociedades humanas y economías, y el agua es el medio primario por el cual se aprecia dicha afectación. Asimismo, en dicho informe se indica que claramente el cambio climático afecta la cantidad y calidad del agua para satisfacer las necesidades básicas de las personas.

En esa línea, según el IPCC (2015), las proyecciones sobre el cambio climático durante el siglo XXI señalan que se reducirán las aguas superficiales y subterráneas en la mayoría de las regiones secas subtropicales (evidencia sólida, nivel de acuerdo alto), por lo que la competencia por el agua entre los sectores se acrecentará (evidencia limitada, nivel de acuerdo medio); por otra parte, UNESCO (2020), advierte que posiblemente el cambio climático afecte la disponibilidad estacional de agua en muchas zonas; asimismo, se advierte que en las regiones donde hay escasez de agua, el cambio climático va a agravar su situación; y en las regiones donde todavía hay agua, creará escasez. Asimismo, en el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC se concluyó que se proyecta que el cambio climático reduciría la calidad del agua (Jiménez Cisneros et al., 2014, como se citó en IPCC, 2023b).

Sin embargo, a pesar de lo indicado en el párrafo precedente, UNESCO (2020) menciona que existen algunas incertidumbres, especialmente a escala local y cuenca; ya que, si bien no hay mucho desacuerdo sobre el incremento de las temperaturas, las previsiones acerca de las tendencias de las precipitaciones son variables y ambiguas. Asimismo, el Informe afirma que frecuentemente, las tendencias en los eventos extremos tales como precipitaciones más fuertes, sequías prolongadas, etc, muestran una dirección más clara que las tendencias de las precipitaciones totales anuales y que los patrones estacionales.

2.1.12 Relación entre indicadores climáticos y calidad/cantidad del agua

Cruz (2022), a fin de evaluar los efectos de la temperatura y precipitación sobre la calidad y cantidad del agua, ha estimado la evapotranspiración real mediante el empleo de la fórmula de Turc, cuya descripción se encuentra en el ítem 2.1.8.1, literal b). Asimismo, estimó el balance hídrico del ecosistema mediante la siguiente expresión:

$$\text{Balance hídrico del ecosistema} = \text{Ingreso (P)} - \text{Salida (ETR)} \quad (23)$$

De esta forma, el autor demuestra la utilidad de las herramientas indicadas en estudios que requieren evaluar la influencia del cambio climático sobre la cantidad y calidad del agua.

2.1.12.1 Correlación.

La correlación es una técnica de medición del grado de relación o asociación entre dos variables, el cual se realiza a través del coeficiente de correlación que es un índice adimensional que presenta valores en el rango cerrado entre -1 y +1 (Lapa, 2024).

Si el valor del coeficiente de correlación se aproxima a -1 o +1, la correlación está por convertirse en fuerte; si tiende a cero la correlación se torna débil; y si es cero o cercano a la misma, indica que no hay asociación significativa entre las variables (Lapa, 2024).

La correlación indica el grado de relación que existe entre dos o más variables, más no indica a una variable como independiente y la otra como dependiente (Hernández et al. (2014).

2.1.12.1.1 Prueba estadística de correlación.

La correlación entre las dos variables, según las estadísticas, se mide comúnmente con el coeficiente de correlación de Pearson y el coeficiente de correlación de Spearman (Zheng et al., 2022).

a) Coeficiente de correlación de Pearson o r de Pearson

Es una prueba estadística paramétrica (Lapa, 2024) que mide relaciones lineales de variables continuas con distribución normal (Mendivelso & Rodríguez, 2021). Este coeficiente a través de su signo nos permite conocer la dirección de la correlación (positiva o negativa), mientras que el valor numérico, nos indica su magnitud; asimismo, en cuanto a la significancia de este coeficiente, los programas computacionales indican si el coeficiente presenta significancia o no mediante un valor p , en donde si p es menor que 0.05 se establece que el coeficiente tiene significancia a un nivel de 0.05 (Hernández et al., 2014).

b) Coeficiente de correlación de Spearman (ρ)

Es una prueba estadística no paramétrica (Lapa, 2024) que mide relaciones monótonas con variables ordinales organizadas en rangos o jerarquías (Mendivelso & Rodríguez, 2021). Este coeficiente nos permite conocer si existe relación entre las variables, identificar su dirección y la magnitud de dicha relación en cualquier tipo de asociación que no específicamente es lineal, y se aplica a aquellas investigaciones que no satisfacen con los supuestos de normalidad en los datos (Mondragón, 2014). Es imprescindible considerar la significancia del valor del coeficiente de correlación de Spearman, representada por el valor p que lo acompaña. Se puede afirmar que una correlación es significativa cuando p es menor que 0.05, lo que señala una relación real, y no por cuestiones del azar (Mondragón, 2014).

El coeficiente de correlación de Pearson es el más adecuado si los datos son continuos y presentan una distribución normal, y si no se cumplen las condiciones anteriores, el coeficiente de correlación será el de Spearman (Zheng et al., 2022).

En tal sentido, al medir el grado de correlación entre dos variables cuantitativas es fundamental tener conocimiento de si la muestra presenta distribución normal o no para así establecer el tipo de prueba a aplicar, una prueba paramétrica como el coeficiente de correlación de Pearson o una prueba no paramétrica como el coeficiente de correlación Spearman (Lapa, 2024).

2.1.12.1.2 Prueba de normalidad.

La prueba de normalidad es de gran relevancia para datos continuos, ya que, en función de la condición de la normalidad, se opta por la elección de pruebas paramétricas o no paramétricas (Mishra et al., 2019).

Las dos pruebas de normalidad más comunes para verificar la normalidad de un conjunto de datos es la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de Shapiro-Wilk (Mishra et al., 2019).

La prueba de Kolmogorov-Smirnov es una prueba no paramétrica que se suele recomendar cuando el tamaño de la muestra es de 50 o más, cuya hipótesis nula indica que la distribución del conjunto de datos se rige por una distribución normal. Un valor P significativo ($P < 0,05$) señala que se debe rechazar la hipótesis nula y que la distribución de datos no sigue una distribución normal; en cambio, un valor P no significativo ($P \geq 0,05$), indica que se puede mantener la hipótesis nula y asumirse que la distribución de datos sea normal (Habibzadeh, 2024). La prueba de Shapiro-Wilk es la prueba de normalidad usada cuando el tamaño de la muestra es menor a 50 (Habibzadeh, 2024).

La prueba de normalidad se puede realizar mediante el uso del programa estadístico SPSS siguiendo la siguiente ruta: Analizar > Estadísticos descriptivos > Explorar > Gráficos > Gráficos de normalidad con pruebas (Mishra et al., 2019).

2.1.12.1.3 Interpretación de la magnitud del valor del coeficiente de correlación.

Para la interpretación de la magnitud de los valores del coeficiente de correlación, en la literatura no hay consenso (Lapa, 2024), por lo que para la presente investigación se ha considerado a Machado (2008) (como se cita en Lapa, 2024) para la interpretación del coeficiente de correlación Pearson, y a Martínez y Campos (2015) para la interpretación del coeficiente de correlación Spearman, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7
Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson

Valor de r (+ o -)	Interpretación
0.00	Ausencia de correlación
0.01 a 0.19	Correlación muy débil
0.20 a 0.39	Correlación débil
0.40 a 0.69	Correlación moderada
0.70 a 0.89	Fuerte correlación
0.90 a 0.99	Correlación muy fuerte
1.00	Correlación perfecta

Nota. Machado (2008, como se citó en Lapa, 2024).

Tabla 8
Interpretación del coeficiente de correlación de Spearman

Valor de rho	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0.9 a -0.99	Correlación negativa muy alta
-0.7 a -0.89	Correlación negativa alta
-0.4 a -0.69	Correlación negativa moderada
-0.2 a -0.39	Correlación negativa baja

Valor de rho	Significado
-0.01 a -0.19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0.01 a 0.19	Correlación positiva muy baja
0.2 a 0.39	Correlación positiva baja
0.4 a 0.69	Correlación positiva moderada
0.7 a 0.89	Correlación positiva alta
0.9 a 0.99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Nota. Martínez & Campos (2015).

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Enfoque de investigación

El enfoque de investigación es cuantitativo debido a que se utilizarán datos numéricos para el análisis y correlación entre los indicadores correspondiente a cada variable considerada en la presente tesis.

3.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación, según su propósito, es aplicada, ya que, según la justificación de la presente tesis, esta investigación aplica conocimiento teórico a un contexto real, aplicando conocimientos existentes para interpretar una situación ambiental en concreto.

3.3 Alcance de investigación

Teniendo en cuenta que según Hernández et al. (2014), existen cuatro (4) niveles de investigación (exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo), de los cuales, una investigación algunas veces puede incluir diferentes alcances; la metodología de la presente investigación, por sus características, es del nivel descriptivo, correlacional y parcialmente explicativo, debido a las siguientes razones:

Es de nivel descriptivo debido a que, como parte de los objetivos de la investigación, se presenta la variación estacional y tendencias de la serie de datos climáticos; asimismo, se muestra el comportamiento del balance hídrico superficial.

Es de nivel correlacional ya que, la presente investigación incluye la correlación entre los indicadores del cambio climático (precipitación y temperatura del aire) con los

parámetros de campo (temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad) y caudal.

Es parcialmente del nivel explicativo ya que, además de presentar la variación estacional y tendencias de la serie de datos climáticos y el comportamiento del balance hídrico superficial, se intenta identificar las causas que explican su comportamiento; asimismo, además de realizar la correlación, se busca proporcionar cierta información explicativa a los resultados obtenidos de dicha asociación.

3.4 Diseño de la investigación

La presente investigación adopta un diseño no experimental debido a que las variables se estudian sin ser manipuladas por el investigador, lo cual permite analizar los fenómenos tal como se presentan en la realidad.

3.5 Población y muestra de la investigación

3.5.1 *Población*

La población está conformada por todos los datos climatológicos de temperatura del aire y precipitación, y datos de calidad y cantidad del agua registrados en la microcuenca del río Santiago.

3.5.2 *Muestra*

La muestra está conformada por los datos meteorológicos de temperatura del aire y precipitación del periodo 1981 al 2020 y datos de calidad (temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad) y cantidad del agua (caudal) del periodo 2015-2019 registrados en la microcuenca del río Santiago.

3.5.3 Técnicas de selección de muestra

La técnica de selección de muestra es no probabilística, ya que los elementos de la muestra no se han seleccionado de forma aleatoria, sino que han sido seleccionados en función al propósito de la investigación.

Así, los datos correspondientes a los indicadores climáticos de temperatura y precipitación se han seleccionado a partir de datos modelados, debido a la ausencia de estaciones meteorológicas del SENAMHI dentro del área de estudio, considerando el producto PISCO (PISCOt v1.2 para temperatura y PISCOp v2.1 para precipitación).

Es preciso indicar que, en la presente investigación, la relación de los indicadores del cambio climático y la cantidad y calidad del agua en el río Santiago se medirá a través de la estimación del balance hídrico; sin embargo, de forma complementaria, se ha considerado determinar si existe correlación entre los indicadores del cambio climático y los parámetros de campo y caudal, y medir su grado de asociación en caso de existir dicha correlación. Para ello, se ha considerado utilizar los registros de datos de agua superficial proporcionados por MINEM del periodo 2015 al 2019, correspondiente a cuatro (4) puntos de monitoreo de agua (E-1, E-9, E-11 y E-16) establecidos por una operación minera, utilizándose principalmente los datos de temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, conductividad y caudal.

Se ha considerado el periodo de estudio 2015 al 2019, debido a que para dicho periodo se ha logrado obtener datos que constituyen una serie temporal continua, ya que fueron obtenidos con una frecuencia regular (mensual) y sin interrupciones significativas, ello con el fin de que se pueda realizar la correlación con los indicadores climáticos. Por otro lado, se ha seleccionado cuatro (4) indicadores para representar a la calidad del agua (temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad), porque en la presente tesis se busca que los investigadores que estudian el cambio climático y el agua puedan realizar

el seguimiento de los efectos del cambio climático sobre la calidad y cantidad del agua, y una de las formas más eficaces para comenzar abordar esta necesidad es mediante la utilización de indicadores que puedan ser medidos directamente en campo mediante un equipo multiparámetro portátil, lo que reduce significativamente los costos, ya que no es necesario para su medición el análisis en laboratorio. Esta condición lo cumplen los cuatro (4) indicadores anteriormente mencionados.

En referencia a lo indicado, en la siguiente tabla se muestra el periodo de estudio a considerar en la presente investigación:

Tabla 9

Periodo de estudio

Datos	Tipo de datos	Periodo considerado	Fuente de información
Meteorológicos: temperatura máxima, mínima, media ^a y precipitación	Modelado-grillado	1981-2020 ^b 2015-2019 ^c	Conjunto de datos grillados del producto PISCOt v1.2 y PISCOp v2.1 correspondiente a Huerta et al. (2023) y SENAMHI, respectivamente.
Cantidad del agua: Caudal Calidad del agua (parámetros de campo): Temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, conductividad	De campo	2015-2019 ^d	Registro de datos de calidad y cantidad del agua proporcionados por MINEM, correspondiente a cuatro (4) puntos de monitoreo de agua ubicados en el río Santiago establecidos por una operación minera.

^a Obtenido del promedio de la temperatura máxima y mínima.

^b Periodo considerado para análisis de tendencias.

^c Periodo considerado para la evaluación de la correlación.

^d Periodo considerado para la evaluación del caudal, los parámetros de campo, y la correlación.

3.6 Área de estudio

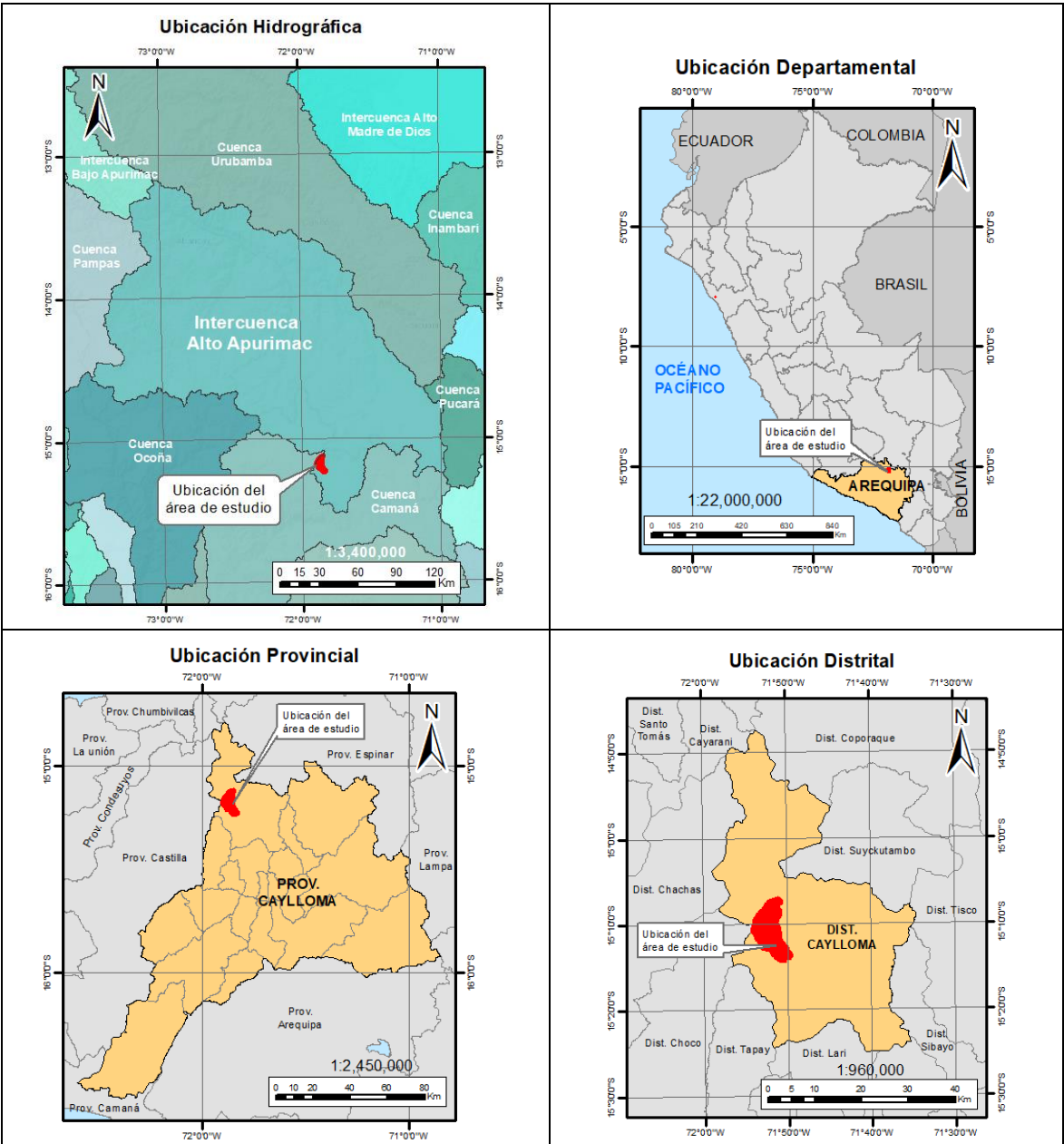
3.6.1 Ubicación

El área de estudio está representada por la microcuenca del río Santiago, el cual se encuentra ubicada en el distrito y provincia de Caylloma y departamento de Arequipa, dentro de las siguientes coordenadas UTM, WGS 84, Zona 19 Sur: Norte: 8 313 234 – 8 326 749 y Este: 187 956 – 197 592. Hidrográficamente, se encuentra ubicada en el lado sur de la Intercuenca Alto Apurímac, el cual pertenece a la Región Hidrográfica del

Amazonas. En la siguiente figura se muestra la ubicación hidrográfica y política del área de estudio.

Figura 5

Ubicación de la microcuenca del río Santiago (área de estudio)



Nota. Elaboración propia usando el software ArcGIS 10.8.

El río principal de esta microcuenca es el río Santiago, el cual desemboca en el río Apurímac y tiene como afluentes principales a las quebradas Huarajo y Cuchilladas y a la laguna Vilafró.

3.6.2 Delimitación del área de estudio

La delimitación de la microcuenca del río Santiago que posee un área de 57.59 km² (5 759 ha) ha sido de elaboración propia, denominada para la presente investigación con el nombre de microcuenca, debido a que según DSMC-DGASI (1983, como se citó en INRENA et al., 2003) y Faustino (1996) indican que una microcuenca cubre un área que varía entre 10 a 100 km². Asimismo, la metodología a aplicarse en la presente tesis tal como la estimación del balance hídrico, se realizó con especial enfoque en el río Santiago, debido a que es el cauce principal de la microcuenca que recibe aporte de las quebradas Huarajo y Cuchilladas, así como de la laguna Vilafro, el cual permite determinar el balance hídrico en un único colector.

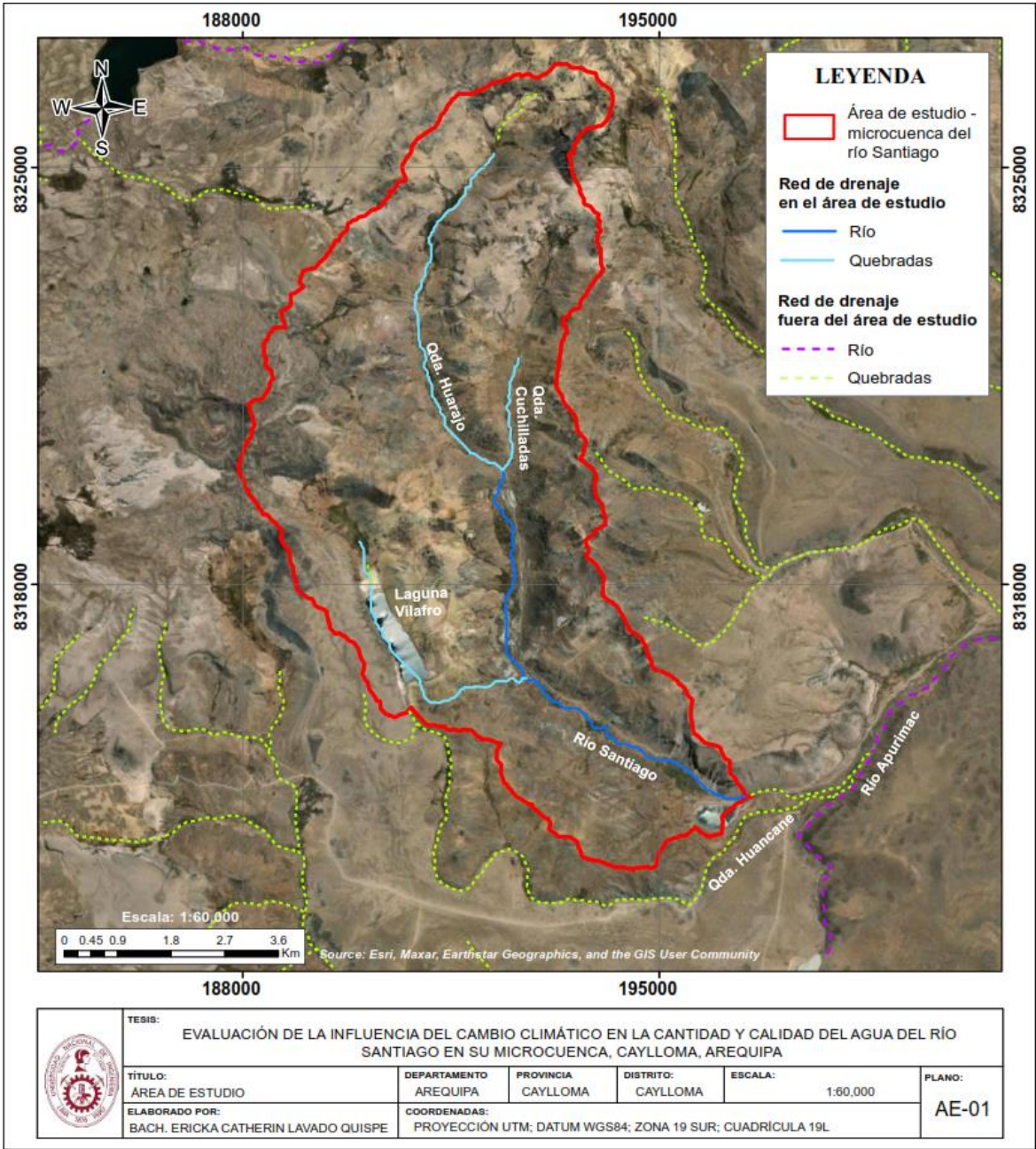
En este contexto, la delimitación de la microcuenca del río Santiago, así como su red de drenaje se realizó a partir del modelo de elevación digital (DEM) Alos Palsar que cuenta con una resolución de 12.5m, obtenido de la página Alaska Satellite Facility, particularmente del satélite ALOS PALSAR (<https://search.asf.alaska.edu/#/>). Para tal fin se usó el programa ArcGIS Desktop 10.8, siguiendo el procedimiento detallado en las tablas 2 y 3 respectivamente. Para la obtención del nombre de río Santiago y sus afluentes (quebrada Huarajo, Cuchilladas y laguna Vilafro), se utilizó la Carta Nacional del IGN, escala 1/100 000, hoja: Caylloma 31s, y el nombre del cuerpo de agua en donde desemboca el río Santiago (río Apurímac) se obtuvo del Visor de cuenca de la Autoridad Nacional del Agua (<https://snirh.ana.gob.pe/VisorPorCuenca/>).

Si bien, según información cartográfica del IGN, el río Santiago se extiende hasta su concurrencia con el río Apurímac (Ver Figura 6); sin embargo, se ha definido el punto de cierre de la microcuenca en la estación de agua superficial (E-11), ya que la delimitación realizada con el programa ArcGIS a partir del DEM Alos Palsar, permitió identificar la parte baja de la microcuenca, únicamente hasta el punto E-11. Este punto nos permite observar la captación del drenaje total correspondiente al área de estudio.

En vista de lo señalado, en la siguiente figura se muestra el área de estudio y su red de drenaje, producto de la ejecución del procedimiento mencionado anteriormente.

Figura 6

Área de estudio y su red de drenaje



Nota. Elaboración propia usando el software ArcGIS 10.8.

3.6.3 Descripción del área de estudio

3.6.3.1 Parámetros morfométricos del área de estudio.

Una vez obtenido la delimitación de la cuenca y su red de drenaje, se procedió a calcular los parámetros morfométricos mediante el uso del Microsoft Excel y ArcMap de ArcGIS Desktop 10.8.

3.6.3.1.1 Parámetros generales.

Los parámetros generales como área, perímetro, longitud del cauce principal, longitud total de la red hídrica y longitud axial fueron calculados de forma directa a partir de los shapefiles de la microcuenca y de la red de drenaje obtenida anteriormente, mediante el empleo del ArcGIS Desktop 10.8. Para el cálculo del ancho de la cuenca se empleó la ecuación 3. Las cotas máxima y mínima de la cuenca se obtuvieron a partir del shapefile de la cuenca interpolada, el cual se obtuvo con el siguiente procedimiento:

- Se convirtió el DEM corregido (Raster fill) a una superficie TIN.
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Conversion > From Raster > Raster to TIN
- Se interpoló el shapefile de polígono (microcuenca del río Santiago) con el TIN.
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Functional Surface > Interpolate shape

Las cotas superior e inferior de la red de drenaje se obtuvieron a partir del shapefile de la red de drenaje interpolada. Para ello se interpoló el shapefile de la red de drenaje con el TIN siguiendo el paso anterior. Para el cálculo del desnivel altitudinal se empleó la ecuación 2.

En la siguiente figura se muestra el resultado de algunos de los parámetros generales:

Figura 7

Cálculo de parámetros generales

Table								
Cuenca interp								
FID	Shape *	Id	gridcod	Área (km2)	Perímetro (km)	Cota máx (ms.n.m)	Cota mín (m.s.n.m)	
0	Polygon ZM	1	0	57.593059	40.113128	5292.5	4458.777344	

Table								
red_drenajeinterp								
FID	Shape *	Orden	Nombre	Tipo	Longitud__	Cota_max	Cota_min	
2	Polyline ZM	2	Santiago	Rio	8.626615	4599	4459	

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para los parámetros generales:

Tabla 10

Parámetros generales de la microcuenca del río Santiago

Parámetros morfométricos	Herramienta	Resultados	
Parámetros generales	Área	57.59 km ²	Microcuenca
	Perímetro	40.11 km	-
	Longitud del cauce principal	8.63 km	-
	Longitud total de la red hídrica	22.5 km	-
	Longitud axial	12.7 km	-
	Ancho de la cuenca	4.53 km	-
	Cota máxima de la cuenca	5293 m.s.n.m.	-
	Cota mínima de la cuenca	4459 m.s.n.m.	-
	Cota superior cauce principal	4599 m.s.n.m.	-
	Cota inferior cauce principal	4459 m.s.n.m.	-
	Desnivel altitudinal	834 m.s.n.m.	-

Nota. Elaboración propia.

3.6.3.1.2 Parámetros de forma.

Los parámetros morfométricos de forma compacidad o gravelius, factor Forma de Horton, índice de alargamiento y razón de elongación fueron calculados mediante el

empleo de las ecuaciones 3,4,5 y 6 respectivamente, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 11

Parámetros de forma de la microcuenca del río Santiago

Parámetros morfométricos	Herramienta		Resultados
Parámetros de forma	Compacidad o Gravelius	1.48	Oval redonda a oval-alargada (Mediana tendencia a inundaciones)
	Factor forma de Horton	0.36	Ligeramente alargada
	Índice de alargamiento	2.80	Moderadamente alargada
	Razón de elongación	0.67	Forma alargada

Nota. Elaboración propia.

De la tabla anterior, se observa que la forma de la microcuenca del río Santiago tiende a ser alargada.

3.6.3.1.3 Parámetros de relieve.

a) Pendiente media del cauce

La pendiente media del cauce se calculó mediante el empleo de la ecuación 9, obteniéndose como resultado 1.62 %, el cual según Baldeon (2016), es considerado como una pendiente suave.

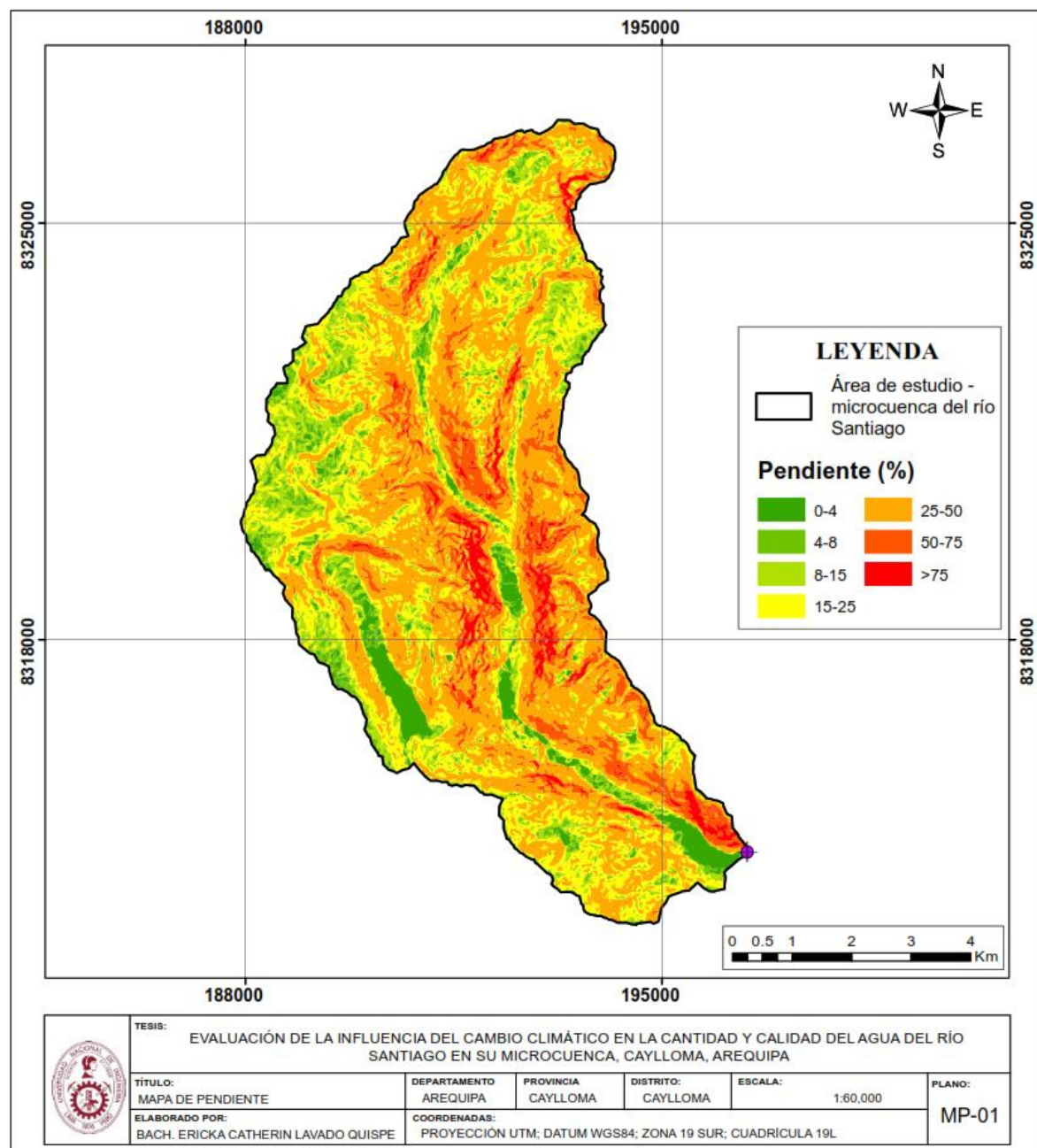
b) Pendiente media de la cuenca

La pendiente media de la cuenca se calculó mediante el empleo de la ecuación 10 (Método de Alvord). Las curvas de nivel utilizadas fueron la que provienen de la carta nacional del IGN y que fueron cortadas teniendo en cuenta el contorno de la cuenca. Su longitud total fue de 325.31 km y la equidistancia entre cada curva de nivel de 0.05 km. El resultado de la pendiente media de la cuenca obtenida fue de 28.24%, el cual de acuerdo a la ZEE del departamento de Arequipa (2020), se clasifica como una pendiente empinada.

En la siguiente figura se muestra el mapa de pendientes de la microcuenca Santiago, en donde se puede identificar que en áreas contiguas al cauce principal (río Santiago), así como en sus afluentes, existe la presencia de pendientes mayores a 50%, los cuales al ser pendientes fuertemente empinadas.

Figura 8

Mapa de pendientes de la microcuenca Santiago



Nota. Elaboración propia usando el software ArcGIS 10.8.

c) Curva hipsométrica

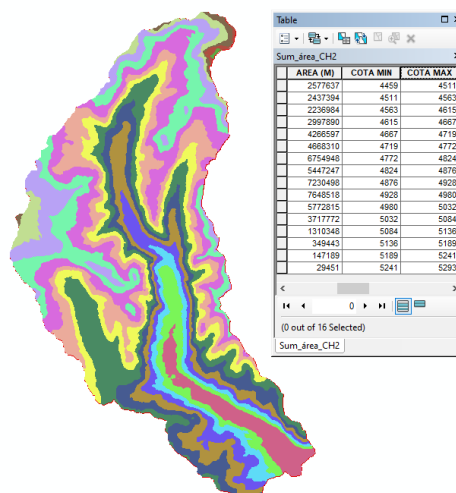
Para la obtención de la curva hipsométrica se obtuvo información de las áreas entre las curvas de nivel mediante el uso del software ArcGIS Desktop 10.8, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se cortó el TIN usando el shapefile de cuenca interpolado
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Data management> TIN > Edit TIN
- Se convirtió el TIN en ráster
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Conversion > From TIN > TIN to raster
- Se reclasificó los intervalos, el cual para este caso se utilizó 16 clases
ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify
- Se usó la herramienta “Zonal Statistics as Table” para la obtención de los datos de las áreas parciales ingresando el ráster reclasificado y el ráster del TIN cortado.
ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Zonal > Zonal Statistics as Table

Como resultado se obtuvo los resultados de áreas parciales, el cual se muestra en la siguiente figura:

Figura 9

Valores de áreas entre dos curvas de nivel de la microcuenca de río Santiago



Nota. Elaboración propia usando el software ArcGIS 10.8.

En la siguiente tabla se presentan los cálculos para la construcción de la curva hipsométrica, el cual graficando la columna (4) vs (1) se obtuvo la curva hipsométrica, la misma que se muestra en la figura 10.

Tabla 12

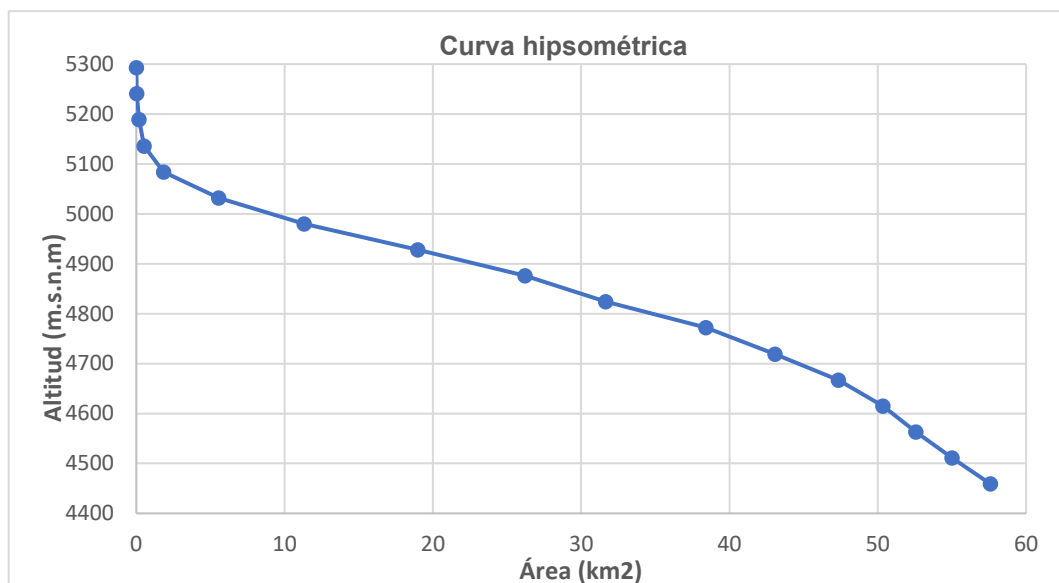
Cálculos para la obtención de la curva hipsométrica

Altitud (msnm) (1)	Áreas parciales (km ²) (2)	Áreas acumuladas (km ²) (3)	Áreas que quedan sobre las altitudes (km ²) (4) = 57.59 - (3)	% del total (5) [(2)/ 57.59]x100	% del total que queda sobre la altitud (6) [(4)/ 57.59]x100
4459	0.000	0.00	57.592	0.00	100.00
4511	2.578	2.578	55.014	4.48	95.52
4563	2.437	5.015	52.577	4.23	91.29
4615	2.237	7.252	50.340	3.88	87.41
4667	2.998	10.250	47.342	5.21	82.20
4719	4.267	14.517	43.075	7.41	74.79
4772	4.668	19.185	38.407	8.11	66.69
4824	6.755	25.940	31.652	11.73	54.96
4876	5.447	31.387	26.205	9.46	45.50
4928	7.230	38.617	18.975	12.55	32.95
4980	7.649	46.266	11.326	13.28	19.67
5032	5.773	52.039	5.553	10.02	9.64
5084	3.718	55.757	1.835	6.46	3.19
5136	1.310	57.067	0.525	2.27	0.91
5189	0.349	57.416	0.176	0.61	0.31
5241	0.147	57.563	0.029	0.26	0.05
5293	0.029	57.592	0.000	0.05	0.00
	57.59			100	

Nota. Elaboración propia. El encabezado de esta tabla fue elaborado considerando el modelo de Tabla 2.1. "Cálculos para la obtención de la curva hipsométrica" de Villón (2002).

Figura 10

Curva hipsométrica de la microcuenca del río Santiago



Nota. Elaboración propia.

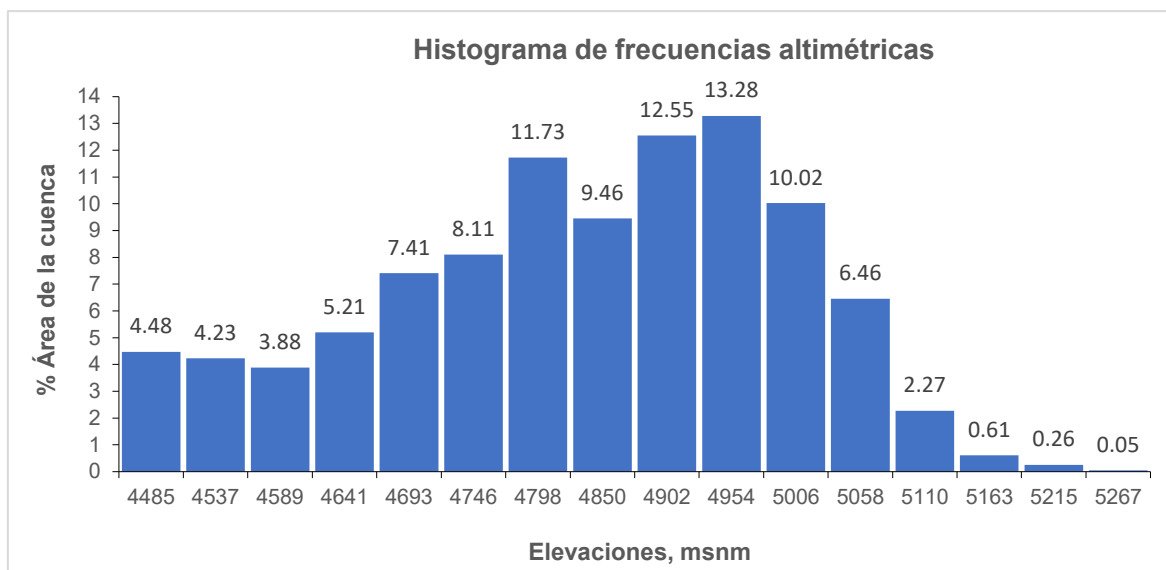
De la figura anterior, se puede apreciar que comparándola con la curva hipsométrica de Ibáñez et al. (2011) (Ver figura 2), es concordante señalar que esta microcuenca constituye un río maduro, el cual según Aguilar & Naranjo (2018), son ríos que permanecen en estado de equilibrio; sin embargo, de acuerdo a Alcántara (2015), ello podría asociarse a un potencial erosivo que no debe ignorarse.

d) Histograma de frecuencias altimétricas

Para la obtención del histograma, según lo indicado por Ibáñez et al. (2011) se ha usado como marca de clase el promedio de las alturas o cotas de la columna (1) de la tabla 12; asimismo, para el eje de las ordenadas se ha usado los datos de áreas entre curvas de nivel, expresado en porcentaje, de la columna (5) de dicha tabla, quedando el histograma tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 11

Histograma de frecuencias altimétricas la microcuenca del río Santiago



Nota. Elaboración propia.

De la figura anterior, se observa que las altitudes más frecuentes son las cotas comprendidas entre 4928 y 4980 m.s.n.m. con un porcentaje de 13.28% del área de total de la cuenca.

e) Altura media de la cuenca

Para el cálculo de la altura media de la cuenca, se empleó la ecuación 9, cuyos datos utilizados fueron extraídos de la columna (1) de la tabla 13 para la obtención de la elevación media entre dos curvas de nivel, asimismo, se extrajo las áreas parciales de la columna (2). En la siguiente tabla se muestra el cálculo de la altura media de la cuenca:

Tabla 13

Cálculos de la altura media de la microcuenca del río Santiago

Curvas de nivel (msnm)	Elevación media entre dos curvas de nivel (e)	Áreas parciales (km ²) (a)	(a) x (e)
4459 - 4511	4485	2.578	11562
4511 - 4563	4537	2.437	11057
4563 - 4615	4589	2.237	10266
4615 - 4667	4641	2.998	13914

Curvas de nivel (msnm)	Elevación media entre dos curvas de nivel (e)	Áreas parciales (km ²) (a)	(a) x (e)
4667 - 4719	4693	4.267	20025
4719 - 4772	4746	4.668	22152
4772 - 4824	4798	6.755	32410
4824 - 4876	4850	5.447	26418
4876 - 4928	4902	7.230	35441
4928 - 4980	4954	7.649	37893
4980 - 5032	5006	5.773	28900
5032 - 5084	5058	3.718	18806
5084 - 5136	5110	1.310	6694
5136 - 5189	5163	0.349	1802
5189 - 5241	5215	0.147	767
5241 - 5293	5267	0.029	153
Total		57.59	278259
		Em	4831.55

Nota. Elaboración propia.

El valor obtenido de la altura media de la microcuenca fue de 4831.55 m.s.n.m.

f) Coeficiente de masividad

Para el cálculo del coeficiente de masividad, se empleó la ecuación 10, cuyo valor obtenido fue 83.9 %, el cual según lo indicado por Fuentes (2004), la microcuenca del río Santiago presenta un relieve moderadamente montañoso.

3.6.3.1.4 Parámetros de la red de drenaje.

La densidad de drenaje y el tiempo de concentración, se obtuvo con las ecuaciones 11 y 12. Para el cálculo del orden de la red hídrica, se utilizó el método de Strahler (Ver figura 4), en donde se obtuvo como resultado que la red hídrica de la microcuenca del río Santiago es de orden 2. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para estos parámetros:

Tabla 14

Parámetros de la red de drenaje de la microcuenca del río Santiago

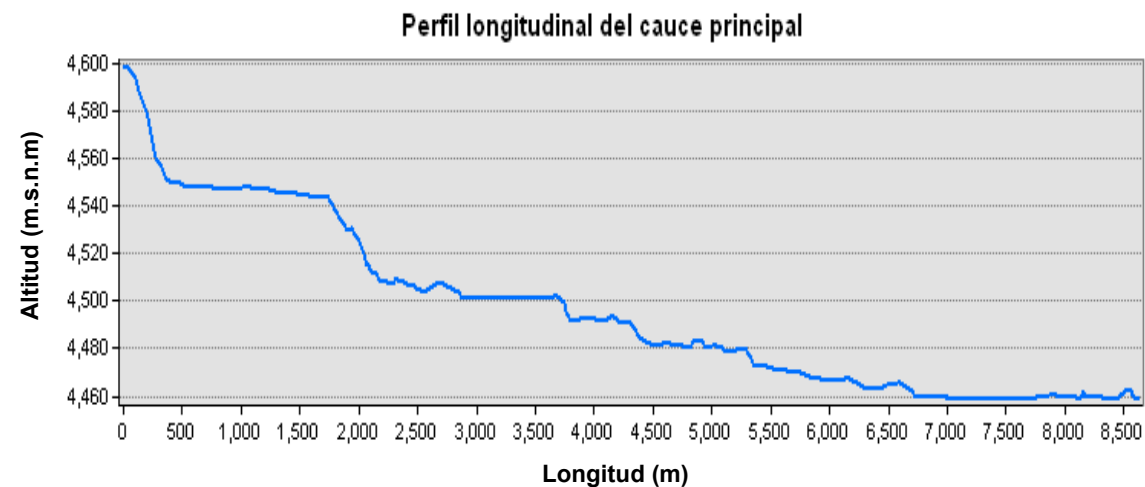
Parámetros morfométricos	Herramienta		Resultados
Parámetros de la red de drenaje	Densidad de drenaje	0.39	Bajo (Baja la escorrentía y aumenta la infiltración)
	Orden de la red Hídrica	2	Bajo
	Tiempo de concentración	102.3 min	Lento

Nota. Elaboración propia.

En lo que respecta al perfil longitudinal del cauce principal, su construcción se realizó con la herramienta “Profile Graph” de la barra 3D Analyst, considerando el shapefile de la red de drenaje interpolado. Como resultado, en la siguiente figura se muestra el perfil longitudinal de cauce principal:

Figura 12

Perfil longitudinal del cauce principal



Nota. Elaboración propia.

3.6.3.2 Clasificación climática.

Tomando como referencia el portal web Mapa climático del Perú del SENAMHI (2021), desarrollado según el método de clasificación climática de Warren Thornthwaite, el área de estudio presenta dos tipos de clima, los cuales se muestran a continuación:

3.6.3.2.1 *B (r) D': Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Semifrío.*

De acuerdo a SENAMHI (2021), esta zona está situada por encima de la altitud de 4700 m.s.n.m. del flanco oriental y occidental de la cordillera de los Andes, el cual, para el periodo 1981-2010, durante el año mostró, en promedio, temperaturas mínimas de -7°C a -3°C y temperaturas máximas de 11°C a 15°C; por otra parte, los acumulados anuales de las precipitaciones varían entre los 700 mm y 900 mm aproximadamente. La estación climática A-1 se encuentra ubicado en este tipo de clima.

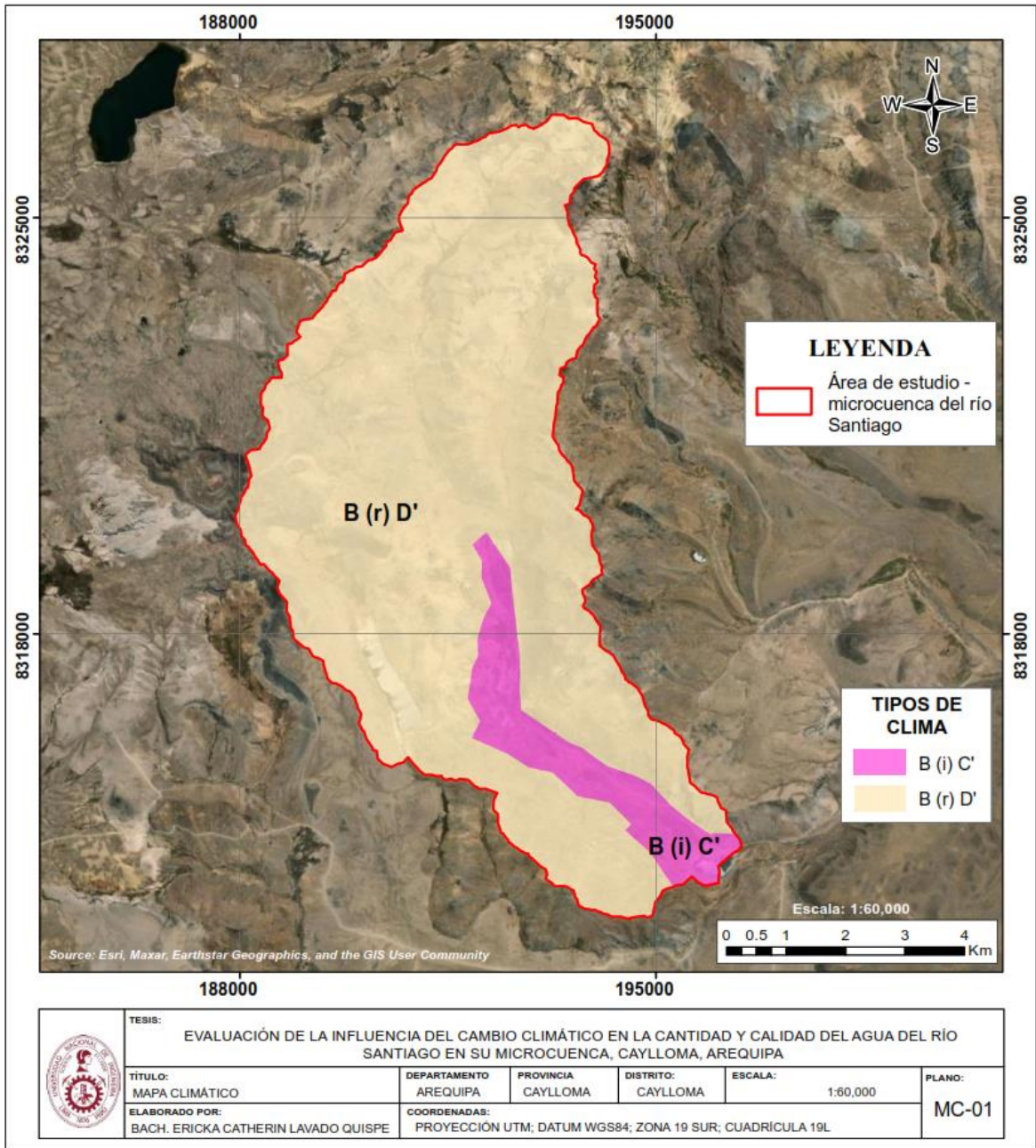
3.6.3.2.2 *B (i) C': Lluvioso con invierno seco. Frío.*

De acuerdo a SENAMHI (2021), esta zona está ubicada por encima de la altitud de 4300 m.s.n.m. del flanco occidental de la cordillera de los Andes, el cual, para el periodo 1981-2010, durante el año mostró, en promedio, temperaturas mínimas de -5°C a -1°C y temperaturas máximas de 13°C a 17°C; por otra parte, los acumulados anuales de las precipitaciones varían entre los 700 mm y 900 mm. La estación climática A-2 se encuentra ubicado en este tipo de clima.

En la siguiente figura se muestran los dos tipos de clima que posee el área de estudio:

Figura 13

Tipos de clima en el área de estudio



Nota. Elaboración propia usando el software ArcGIS 10.8, a partir del portal web Mapa climático del Perú del SENAMHI (2021).

3.6.3.3 Geología.

En la siguiente tabla, tomando como referencia la geología (unidades litoestratigráficas) de la Zonificación Ecológica Económica del departamento de Arequipa (2020) aprobado con Ordenanza Regional N° 437-Arequipa, el área de estudio presenta

ocho (8) unidades litoestratigráficas, siendo la Formación Palca la que predomina con un 63.02%. Asimismo, en el área de estudio se observa la existencia de dos tipos de rocas (sedimentaria y volcánica), de los cuales la roca volcánica es la que predomina con un 83.31%.

Tabla 15

Unidades litoestratigráficas en el área de estudio

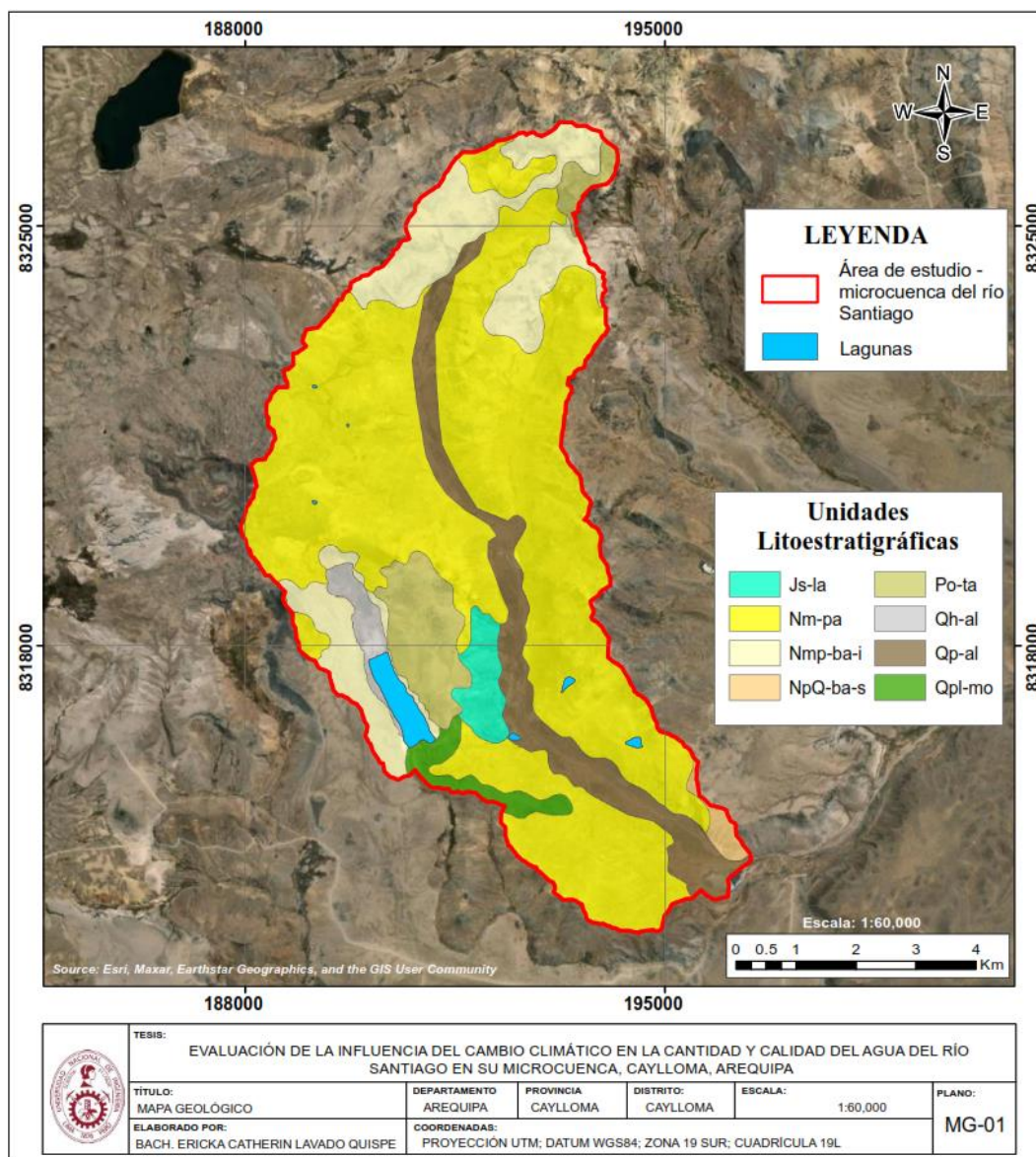
Unidades litoestratigráficas	Simbología	Tipo de roca	Litología predominante	Litología	Área	
					Km ²	%
Depósito aluvial	Qh-al	Sedimentaria	Gravas, arenas y limos	Gravas inconsolidadas, con matriz arenosa y limoso	0.85	1.47
Depósito aluvial antiguo	Qp-al	Sedimentaria	Gravas, arenas y limos	Gravas poco consolidadas con matriz arenosa y limos	5.64	9.8
Depósito morrenico	Qpl-mo	Sedimentaria	Conglomerados, gravas	Acumulación de grava y bloques sub angulosos a angulosos consolidados en matriz areno limosa	1.14	1.97
Formación Palca	Nm-pa	Volcánica	Flujos piroclásticos Andesitas	Depósitos de flujo piroclásticos de pómez y cenizas	36.29	63.02
Formación barroso inferior	Nmp-ba-i	Volcánica	Flujos piroclásticos Andesitas	Estructuras volcánicas como domos y calderas, lavas de composición andesítica, dacíticas basálticas grises oscuras a negras y riolitas	7.88	13.68
Formación barroso superior	NpQ-ba-s	Volcánica	Andesitas	Andesitas porfíricas y brechas piroclásticas, domos riódacíticos y brechas de cristales	0.46	0.8
Formación tacaza	Po-ta	Volcánica	Andesitas	Andesitas afaníticas, tufos, conglomerados, areniscas y riolitas	3.34	5.81
Formación labra	Js-la	Sedimentaria	Areniscas, Areniscas cuarcíticas	Areniscas, areniscas cuarcíticas intercaladas con lutitas y limolitas. (Grupo Yura)	1.27	2.2
Otros						
Laguna	Lag	-	-	-	0.72	1.25
Total					57.59	100%

Nota. Elaboración propia a partir de datos del shapefile del Geoservidor del Minam correspondiente a la Zonificación Ecológica Económica del departamento de Arequipa, 2020, aprobado con Ordenanza Regional N° 437-Arequipa. *Geología* [archivo shapefile]. <https://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/arequipa/>

En la siguiente figura se muestran las unidades litoestratigráficas que posee el área de estudio:

Figura 14

Unidades Litoestratigráficas en el área de estudio



Nota. Elaboración propia usando el software ArcGIS 10.8, a partir de shapefile del Geoservidor del Minam. Geología [archivo shapefile]. <https://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/arequipa/>

3.6.3.4 Fuentes de agua superficial.

Tomando como referencia la información cartográfica en formato editable (shapefile) de la red de drenaje creada a partir del DEM Alos Palsar (Ver detalle en el ítem 3.6.2), y la geodatabase del “Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar Actualizado al año 2020” del Geoportal INAIGEM, dentro del área de estudio se encuentran los cuerpos de agua indicados en la siguiente tabla y figura:

Tabla 16

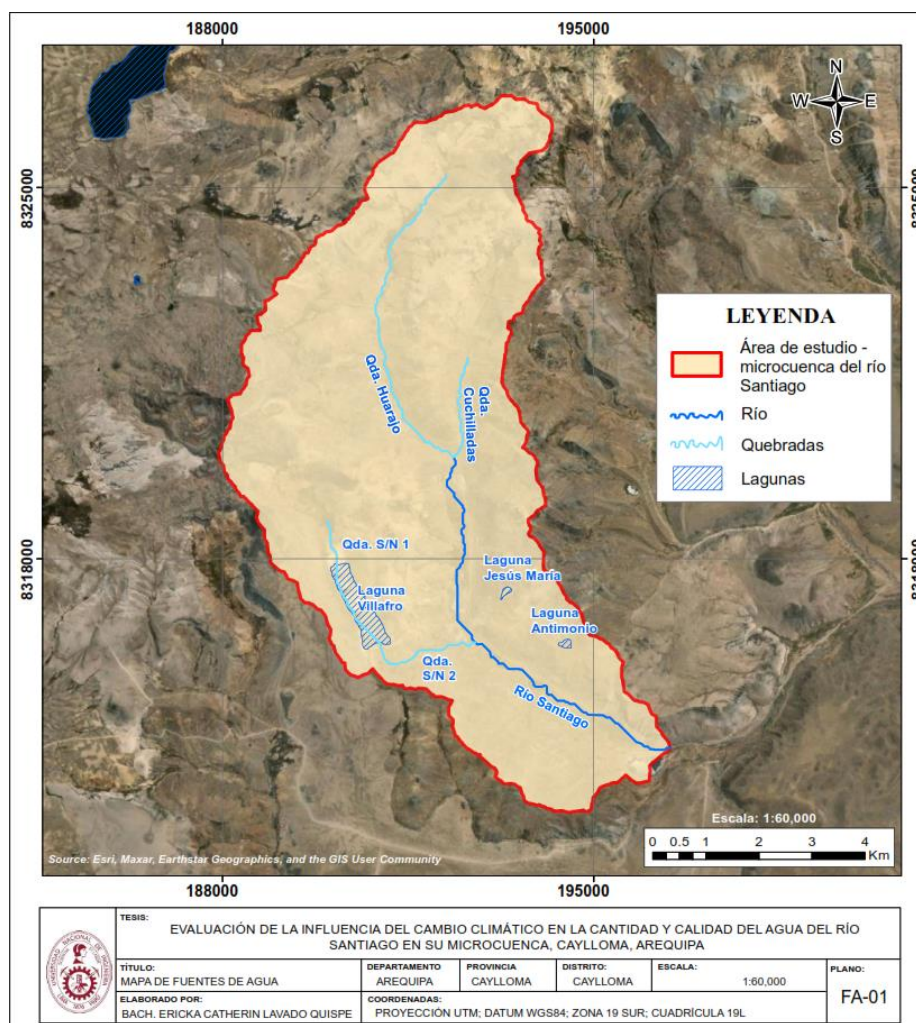
Cuerpos de agua en el área de estudio

Nombre del cuerpo de agua	Tipo	Fuente
Santiago	Río	Geovisor del IGN
Cuchilladas	Quebrada	Geovisor del IGN
Huarajo	Quebrada	Geovisor del IGN
S/N 1	Quebrada	Geovisor del IGN
S/N 2	Quebrada	Geovisor del IGN
Vilafro	Laguna	Geoportal INAIGEM
Antimonio	Laguna	Geoportal INAIGEM
Jesús María	Laguna	Geoportal INAIGEM

Nota. Elaboración propia

Figura 15

Fuentes de agua superficial en el área de estudio.



Nota. Elaboración propia usando el software ArcGIS 10.8, a partir de red de drenaje creada considerando el DEM Alos Palsar, cuyo nombre para las fuentes de agua fueron obtenidos de la información cartográfica del Geovisor del IGN. <https://www.idep.gob.pe/geovisor/VisorDeMapas-3D/>. Asimismo, las lagunas y bofedales fueron obtenidos de la geodatabase del "Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar Actualizado al año 2020" del Geoportal INAIGEM. <https://visor.inaigem.gob.pe/>

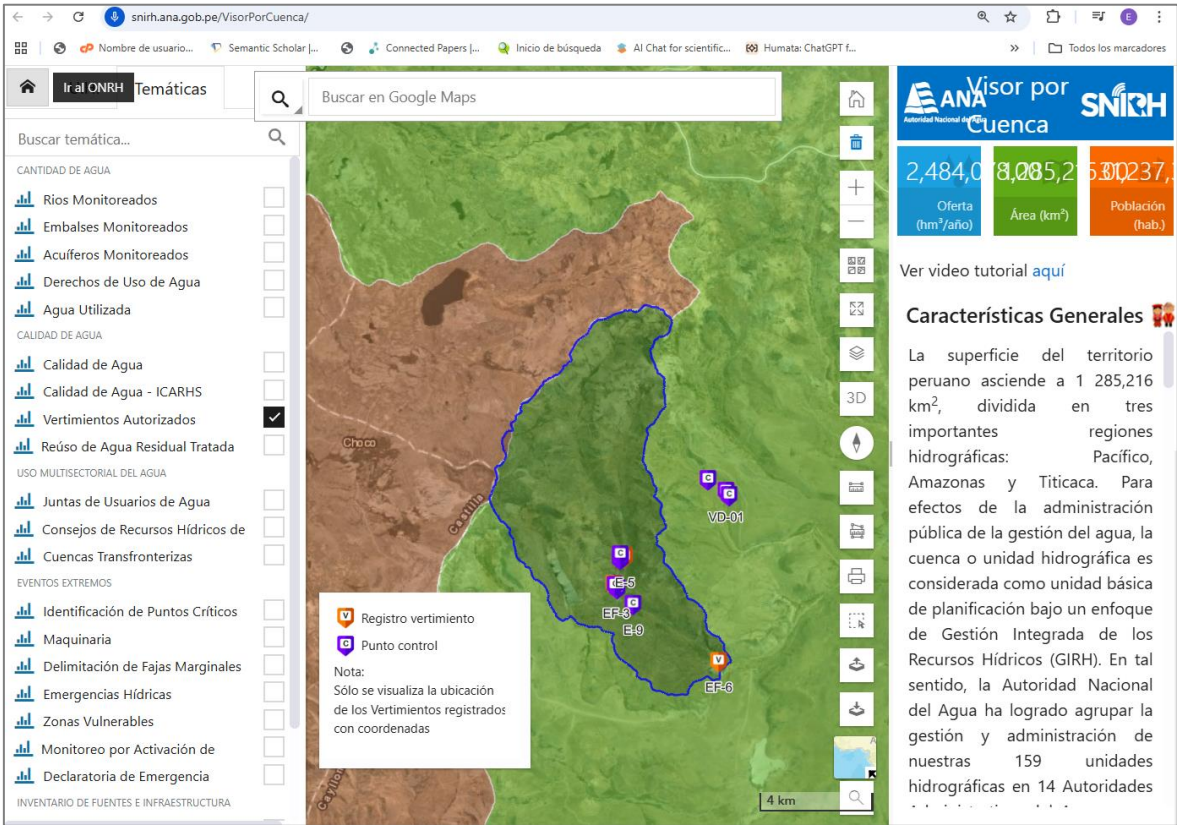
Es preciso indicar que, verificando la geodatabase del “Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar Actualizado al año 2020”, dentro del área de estudio no se evidenció la presencia de glaciares.

3.6.3.5 Vertimientos autorizados en el área de estudio.

De acuerdo al “Visor por cuenca” de la ANA que se muestra en la siguiente figura, dentro del área de estudio se encuentran cuatro (4) registros de vertimientos autorizados de aguas residuales tratadas que, según resoluciones de estos emitidos por la ANA, el cuerpo receptor es el río Santiago.

Figura 16

Resultado de consulta de vertimientos autorizados – Visor por cuencas (ANA)



Nota. De Visor por Cuenca – ANA (s.f.) <https://snirh.ana.gob.pe/VisorPorCuenca/>

En la siguiente tabla, se muestran el detalle de los cuatro (4) puntos de vertimientos de aguas residuales tratadas.

Tabla 17

Resoluciones que otorgan autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Resoluciones ANA	Fecha de otorgamiento o de autorización de vertimiento	Punto de Vertimiento de aguas residuales tratadas	Descripción	Coordenadas de ubicación UTM (WGS 84, Zona 19)		Volumen anual (m³)	Caudal (l/s)	Tipo
				Este (m)	Norte (m)			
R.D. N° 003-2015-ANA-DGCRH prorrogada con R.D. N°071-2018-ANA-DCERH y R.D N°0228-2024-ANA-DCERH	08/01/2015, por un plazo de 3 años ^a	EF-6	Efluente de la poza de decantación del Depósito de Relaves N°3 (anteriormente denominada relavera N°3), San Francisco	195 994	8 314 378	305 700	9.7	Industrial
- R.D. N° 105-2013-ANA-DGCRH (EF-3) - R.D. N° 103-2010-ANA-DGCRH (E-5), renovada con R.D. N° 117-2013-ANA-DGCRH.	15/05/2013, por un plazo de 2 años ^b	EF-3 ^c	Aguas residuales industriales tratadas del lavadero de vehículos	192 403	8 316 906	7 007	0.269	Industrial
Ambas renovadas con R.D. N° 123-2015-ANA-DGCRH, prorrogada con R.D. N°194-2019-ANA-DCERH, R.D N°0203-2021-ANA-DCERH y R.D N°0192-2024-ANA-DCERH	10/12/2010, por un plazo de 2 años ^b	E-5 ^c	Aguas residuales industriales tratadas de la bocamina del Nv.12 Animas	192 665	8 317 976	3 468 960	110	Industrial
R.D. N° 159-2013-ANA-DGCRH renovada con R.D. N°191-2016-ANA-DGCRH, prorrogada con R.D N°142-2019-ANA-DCERH, modificada con R.D N°183-2019-ANA-DCERH, prorrogada con R.D N°0115-2024-ANA-DCERH	26/06/2013, por un plazo de 3 años ^d	EF-4	Aguas residuales domésticas tratadas de las nuevas instalaciones en la Zona Reservada de la Unidad de Producción San Cristóbal de la Planta de Beneficio Huayllacho – MINERA BATEAS S.A.C	192 306	8 317 031	39 420	1.25	Doméstico

- ^a. Computados a partir de la fecha del inicio de operaciones del sistema de tratamiento, el cual fue el 01.04.2015 (Fuente: R.D. N°071-2018-ANA-DCERH).
- ^b. Contados a partir de la notificación de la resolución.
- ^c. Inicialmente EF-3 y E-5 se encontraban en otras coordenadas; sin embargo, con resolución R.D. N° 123-2015-ANA-DGCRH (11.05.2015), se cambió a las coordenadas que figura en la presente tabla y que han perdurado hasta la actualidad.
- ^d. Computados a partir de la fecha del inicio de operaciones del sistema de tratamiento, el cual fue el 30.06.2013 (Fuente: R.D. N°191-2016-ANA-DGCRH).

3.6.3.6 Zona de vida.

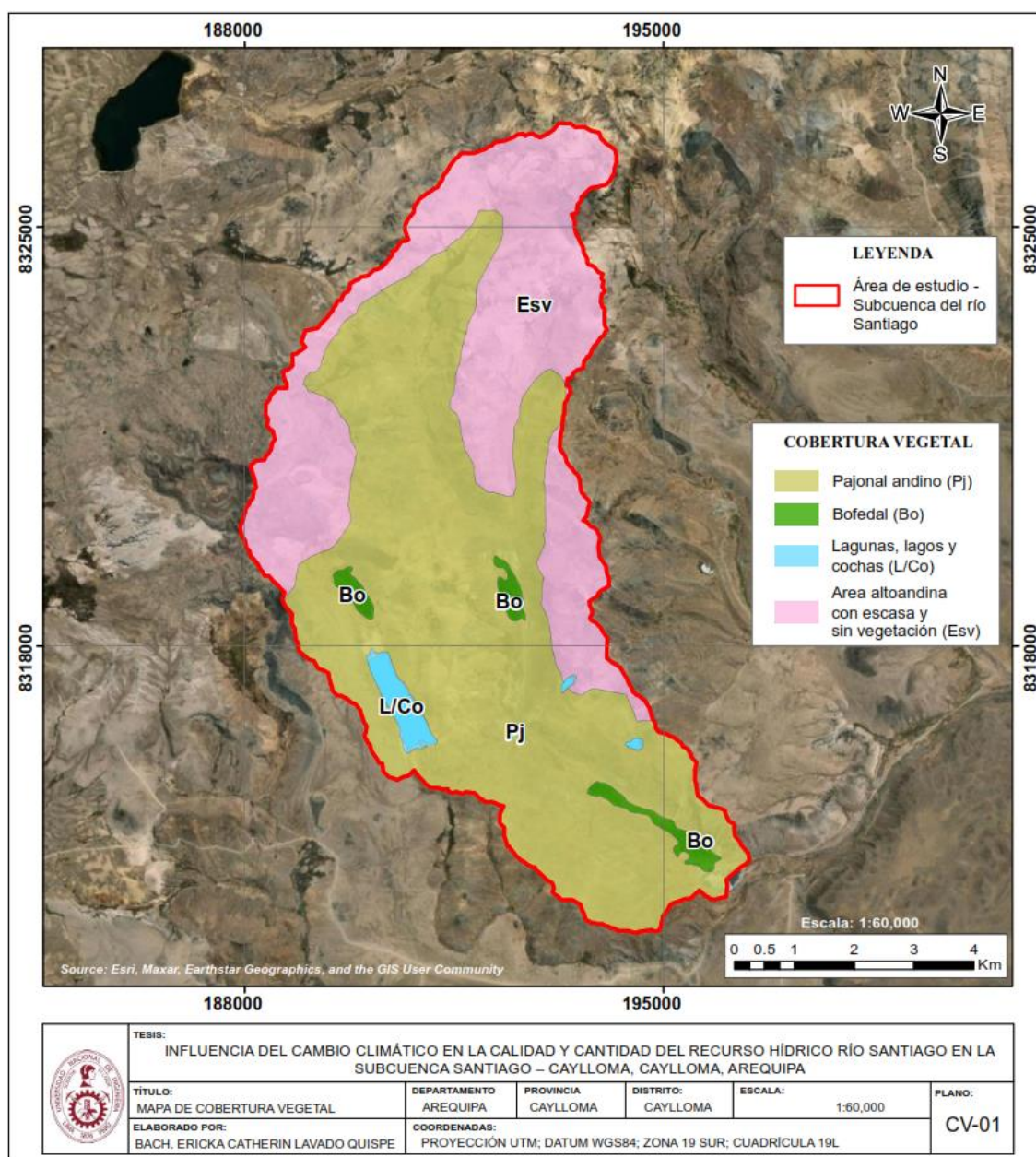
De acuerdo con el Mapa ecológico del Perú y su guía explicativa de la Oficina Nacional de Evaluación de Recurso Naturales (ONERN, 1976), el área de estudio se emplaza en tres zonas de vida denominadas Nival Subtropical (NS), tundra pluvial Alpino Subtropical (tp-AS) y paramo muy húmedo Subalpino Subtropical (pmh-SaS).

3.6.3.7 Cobertura vegetal.

Conforme al Mapa Nacional de Cobertura Vegetal del MINAM (2015), el área de estudio se emplaza mayormente en la cobertura vegetal pajonal andino (Pj), seguido de otras coberturas como los bofedales y área altoandina con escasa y sin vegetación (Esv).

Figura 17

Zonas de vida del área de estudio y de las estaciones climáticas

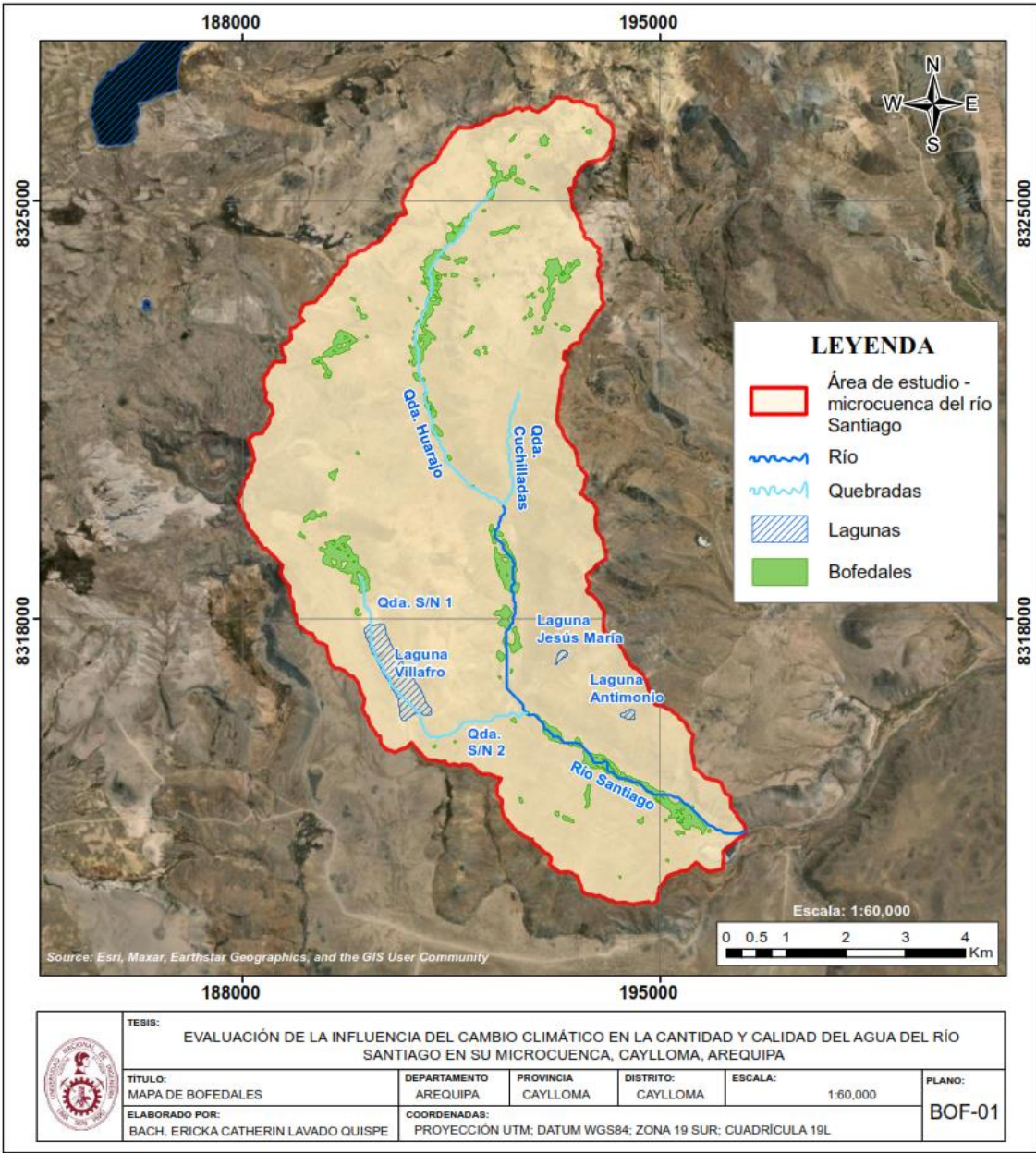


Nota. Elaboración propia usando el software ArcGIS 10.8, a partir de shapefile del MINAM (2015). Cobertura vegetal [archivo shapefile]. <https://geoservidor.minam.gob.pe/recursos/intercambio-de-datos/>

Sin embargo, tomando como referencia el archivo shapefile del “Inventario Nacional de Bofedales 2023 - Segunda Edición” obtenido del Geoportal INAIGEM, se observa que la superficie de los bofedales presentes en el área de estudio es mayor con respecto a la cobertura vegetal del MINAM (2015), siendo su extensión de 2.4 km², el cual representa el 4% de la superficie total del área de estudio, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 18

Bofedales en el área de estudio



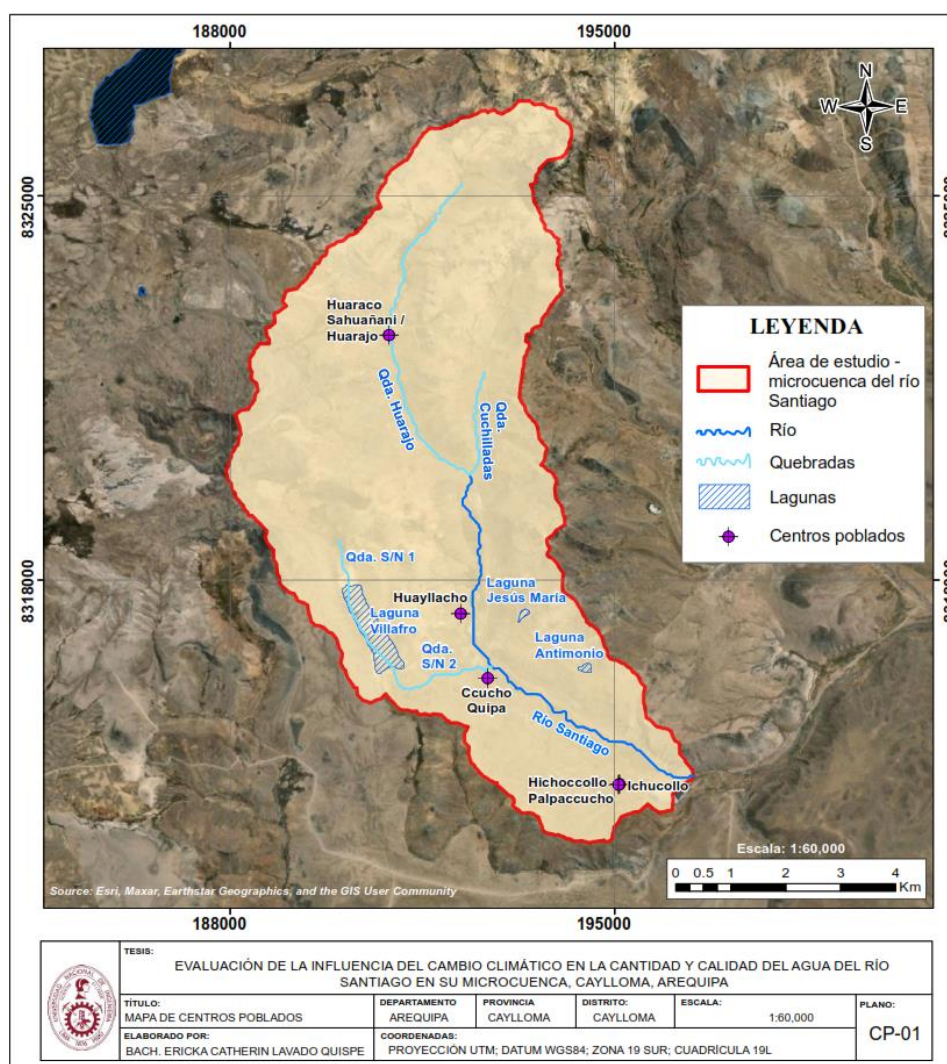
Nota. Elaboración propia usando el software ArcGIS 10.8, a partir del shapefile del “Inventario Nacional de Bofedales 2023 - Segunda Edición” del Geoportal INAIGEM (2023). *Bofedales* [archivo shapefile]. <https://visor.inaigem.gob.pe/>

3.6.3.8 Centros poblados.

De acuerdo al Directorio Nacional de Centros Poblados de los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, en el distrito de Caylloma existen 145 centros poblados, de los cuales según el servicio Web Map Service (WMS) del Portal de Infraestructura de Datos espaciales INEI, en el área de estudio se identifican cinco centros poblados (Huaraco Sahuañani / Huarajo, Huayllacho, Ccucho Quipa, Hichoccollo Palpaccucho, Ichucollo), cuya distribución espacial se muestra en la siguiente figura:

Figura 19

Centros poblados en el área de estudio.



Nota. Elaboración propia usando el software ArcGIS 10.8, a partir del WMS del Portal de Infraestructura de Datos espaciales INEI. *Centros poblados* [archivo WMS]. <https://ide.inei.gob.pe/#capas>

La cantidad de población censada y viviendas particulares de cada uno de los cinco (5) centros poblados del área de estudio, fueron obtenidas de los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas (INEI, 2018), cuya información se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 18

Centros poblados en el área de estudio

Código	Centro poblado	Región Natural (según piso altitudinal)	Altitud (m.s.n.m.)	Población censada			Viviendas particulares		
				Total	Hombre	Mujer	Total	Ocupadas	Desocupadas
405050091	Huaraco Sahuafñani/ Huarajo	Puna	4601	4	3	1	3	3	-
405050119	Huayllacho	Puna	4476	4	2	2	1	1	-
405050120	Ccucho Quipa	Puna	4486	1	-	1	4	4	-
405050125	Hichocollo Palpaccucho	Puna	4454	-	-	-	2	2	-
405050361	Ichucollo	Puna	4506	-	-	-	1	1	-

Nota. Adaptado de INEI (2018).

De acuerdo al informe técnico del Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2021), la habitabilidad en los cinco (5) centros poblados anteriormente identificados es temporal, en donde se realizan las siguientes actividades:

- Ganadería extensiva de subsistencia.
- No se detectó actividad agrícola en el sitio, el ganado se alimenta de pastos naturales.
- Actividades de pastoreo, se realiza mayormente entre los meses de marzo a mayo, el resto del año se busca otras estancias para alimentar al ganado debido a la ocurrencia de heladas y ausencia de lluvias.
- En el centro poblado Huayllacho se realiza la crianza de camélidos sudamericanos (alpacas y llamas); asimismo, en los centros poblados de Huaraco Sahuafñani / Huarajo, Ccucho Quipa y Hichocollo Palpaccucho, además de ello, se realiza la

crianza de ganado ovino. Por otra parte, el centro poblado Ichucollo realiza la crianza de ovinos y alevinos de trucha (piscicultura).

3.7 Materiales, programas y equipos

3.7.1 Materiales

- Materiales de escritorio

3.7.2 Programas

En la presente investigación se ha usado los siguientes programas para poder encontrar y analizar los resultados, siendo estos los siguientes:

- Software TREND
- Microsoft Excel
- ArcMap de ArcGIS Desktop 10.8.
- Programa IBM SPSS Statistics 27.

3.7.3 Equipos

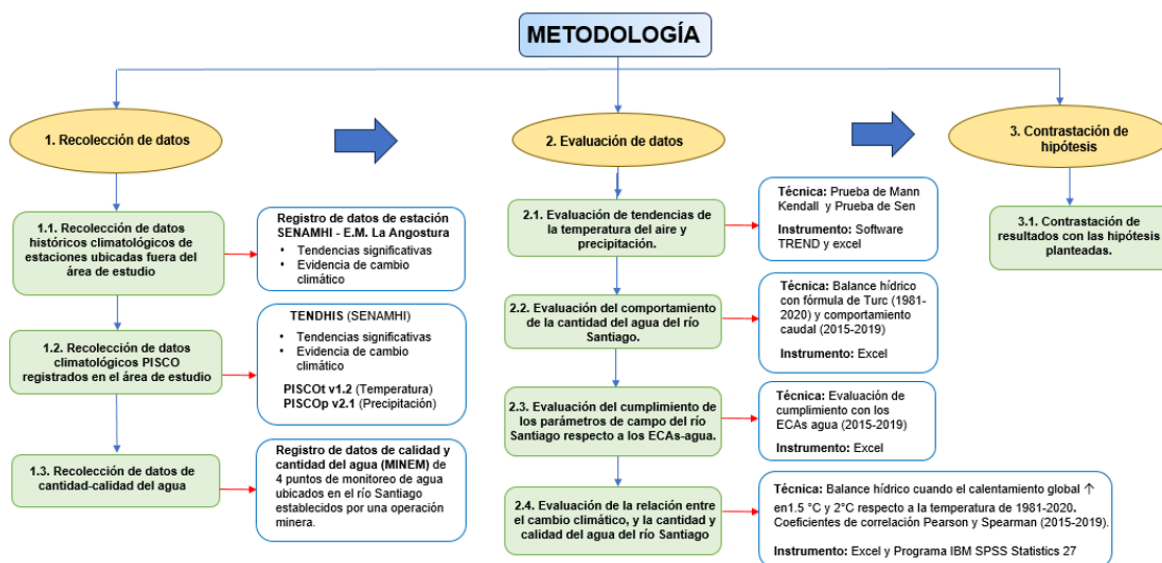
- Computadora personal

3.8 Metodología

Para lograr los objetivos planteados se siguió las siguientes etapas metodológicas: i.) recolección de datos, ii.) evaluación de datos y, iii.) contrastación de hipótesis; tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 20

Diagrama de la metodología empleada



Nota. Elaboración propia.

3.8.1 Recolección de datos

La técnica de recolección de datos empleada fue documentaria debido a que se recopiló datos numéricos de temperatura del aire y precipitación a partir de base de datos ya existentes tales como el producto PISCOT v1.2 y PISCOp v2.1 publicados por Huerta et al. (2023) y SENAMHI respectivamente; asimismo, se recopiló datos agua superficial a partir de registros proporcionados por MINEM correspondiente a cuatro (4) puntos de monitoreo de agua establecidos por una operación minera.

Los instrumentos de recolección de datos empleados fueron el registro de datos de temperatura y precipitación de PISCOT v1.2 y PISCOp v2.1 publicados por Huerta et al. (2023) y SENAMHI, respectivamente, así como registro de datos de calidad y cantidad del agua proporcionados por MINEM, correspondiente a cuatro (4) puntos de monitoreo de agua ubicados en la microcuenca del río Santiago, establecidos por una operación minera.

En lo que respecta a la validez del instrumento, los datos recolectados son valores que tienen validez debido a que los datos de temperatura provienen del producto PISCOT

v1.2, el cual se encuentra asociado a un artículo científico publicado por Huerta et al. (2023) y los datos de precipitación provienen del PISCOp v2.1 del SENAMHI, el cual un organismo público adscrito al Ministerio de Ambiente encargado de brindar información meteorológica confiable. Asimismo, los datos de temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, conductividad y caudal provienen de informes de ensayo de agua superficial y cadenas de custodia, los cuales fueron elaborados por laboratorios acreditados ante INACAL-DA (anteriormente INDECOPI-SNA) tales como ALS LS Perú S.A.C (anteriormente Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C. – CORPLAB) con registro N°LE-029 (para el periodo enero 2015 a septiembre 2018), y Certificaciones del Perú S.A. con registro N°LE-003 (para el periodo octubre 2018 a diciembre 2019).

La recolección de datos comprende las siguientes etapas metodológicas: i.) recolección de datos históricos climatológicos de estaciones ubicadas fuera del área de estudio, ii.) recolección de datos climatológicos PISCO registrados en el área de estudio y, iii.) recolección de datos de cantidad-calidad del agua.

3.8.1.1 Recolección de datos históricos climatológicos de estaciones ubicadas fuera del área de estudio.

En primera instancia, se optó por solicitar al SENAMHI registros históricos correspondiente a las siguientes estaciones: Minas Caylloma, Janacancha, Caylloma y La Angostura (Ver **Anexo 4**), debido a que son las estaciones más cercanas al área de estudio, ubicándose el primero dentro del área de estudio, y los tres (3) restantes a 8 km, 7.4 km y a 19 km respectivamente. Sin embargo, los dos primeros no contaban con datos de temperatura del aire, y el tercero, no contaba con datos de temperatura máxima que alcancen el periodo mínimo de los 30 años que señala la OMM para que una investigación sea estadísticamente representativa (Suárez et al., 2021); no obstante, la estación La Angostura sí cumplía con el requerimiento (1970-2016), por lo que se tomó esta última como referencia para evaluar la existencia del cambio climático en el entorno del área de

estudio mediante el análisis de tendencias de series de datos climatológicos. Como resultado, se evidenció la existencia del cambio climático en la estación La Angostura.

3.8.1.2 Recolección de datos climatológicos PISCO registrados en el área de estudio.

Para evidenciar indicios de manifestación de cambio climático en el área de estudio, se revisó el aplicativo web “Tendencias Históricas de precipitación y temperatura – TENDHIS” del SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe/tendenciashistoricas/>), en el cual se pudo observar tendencias de los datos grillados de precipitación y temperatura en un punto referencial ubicado dentro del área de estudio (latitud:-15.20 y longitud:- 71.85). Como resultado, se obtuvo indicios de incremento progresivo de la temperatura máxima y mínima a lo largo de los años 1981-2016 para el periodo anual, hidrológico, avenida, estiaje y trimestral (Ver tablas 19 y 20). En estas tablas, se evidencian que todos los valores de tendencias son estadísticamente significativos (a excepción del trimestre MAM y JJA asociada a la temperatura mínima), evidenciándose un incremento progresivo de la temperatura máxima y mínima a lo largo del periodo en evaluación.

Tabla 19

Tendencias de la temperatura máxima en el área de estudio entre los años 1981-2016 usando base de datos PISCO

Periodo		Tendencia ^a	Significancia estadística
Anual	Ene. a Dic.	0.41 °C/dec	Significativo
Periodo hidrológico	Sep. a Ago.	0.39 °C/dec	Significativo
Avenida	Dic. a Abr.	0.35 °C/dec	Significativo
Estiaje	May. a Nov.	0.42 °C/dec	Significativo
Trimestres del año	Dic, Ene, Feb (DEF)	0.37 °C/dec	Significativo
	Mar, Abr, May (MAM)	0.27 °C/dec	Significativo
	Jun, Jul, Ago (JJA)	0.45 °C/dec	Significativo
	Sep, Oct, Nov (SON)	0.44 °C/dec	Significativo

Nota. Adaptado del aplicativo web TENDHIS del SENAMHI. En la tabla se observan que todos los valores de tendencias son estadísticamente significativos para todos los periodos de evaluación, cuyos valores positivos nos indican que existe evidencia de incremento progresivo de la temperatura máxima a lo largo del periodo comprendido entre 1981 al 2016.

^a La evidencia de tendencia o significancia estadística asociada está resaltado en negrita.

Tabla 20

Tendencias de la temperatura mínima en el área de estudio entre los años 1981-2016 usando base de datos PISCO

Periodo		Tendencia ^a	Significancia estadística
Anual	Ene. a Dic.	0.21 °C/dec	Significativo
Periodo hidrológico	Sep. a Ago.	0.22 °C/dec	Significativo
Avenida	Dic. a Abr.	0.18 °C/dec	Significativo
Estiaje	May. a Nov.	0.20 °C/dec	Significativo
Trimestres del año	Dic, Ene, Feb (DEF)	0.19 °C/dec	Significativo
	Mar, Abr, May (MAM)	0.26 °C/dec	No Significativo
	Jun, Jul, Ago (JJA)	0.21 °C/dec	No Significativo
	Sep, Oct, Nov (SON)	0.25 °C/dec	Significativo

Nota. Adaptado del aplicativo web TENDHIS del SENAMHI. En la tabla se observan valores de tendencias que son estadísticamente significativas para los periodos anual, periodo hidrológico, avenida y estiaje y trimestral (DEF y SON), cuyos valores positivos nos indican que existe evidencia de incremento progresivo de la temperatura mínima a lo largo del periodo comprendido entre 1981 al 2016.

^a La evidencia de tendencia o significancia estadística asociada está resaltado en negrita, mientras que las tendencias no significativas están sin resaltar.

En lo que respecta a la precipitación en el área de estudio, para el periodo comprendido entre 1981 al 2016 su tendencia no es muy marcada, no se evidencia de una tendencia de aumento o disminución de la precipitación durante todos los periodos de evaluación (anual, periodo hidrológico, avenida, estiaje, trimestral), tal como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 21

Tendencias de la precipitación en el área de estudio entre los años 1981-2016 usando base de datos PISCO

Periodo		Tendencia ^a	Significancia estadística
Anual	Ene. a Dic.	19.87 mm/dec	No Significativo
Periodo hidrológico	Sep. a Ago.	30.53 mm/dec	No Significativo
Avenida	Dic. a Abr.	34.94 mm/dec	No Significativo
Estiaje	May. a Nov.	NaN mm/dec	No Significativo
Trimestres del año	Dic, Ene, Feb (DEF)	22.95 mm/dec	No Significativo
	Mar, Abr, May (MAM)	9.66 mm/dec	No Significativo
	Jun, Jul, Ago (JJA)	-0.58 mm/dec	No Significativo
	Sep, Oct, Nov (SON)	0.67 mm/dec	No Significativo

Nota. Adaptado del aplicativo web TENDHIS del SENAMHI. En la tabla se observan que todos los valores de tendencias de la precipitación son no significativos para todos los periodos de evaluación a lo largo del periodo comprendido entre 1981 al 2016.

^a La evidencia de tendencia o significancia estadística asociada está resaltado en negrita, mientras que las tendencias no significativas están sin resaltar.

En tal sentido, de acuerdo a los datos reportados por TENDHIS del SENAMHI, debido a que durante el periodo de evaluación (1981 al 2016) se observó un calentamiento progresivo a lo largo del tiempo mediante el análisis de tendencias, esto determina la existencia de cambio climático (Lamprea-Quiroga y Sanabria-Marin, 2024) en el área de estudio para dicho periodo; sin embargo, con fines de utilizar datos climatológicos del producto PISCO, considerando su versión más actualizada para la temperatura del aire (PISCOt v1.2), el cual cuenta con una mejor resolución espacial (0.05°) a diferencia del TENDHIS; asimismo, a fin de contar con un mayor periodo de evaluación (1981-2020); se recopiló registro de datos climatológicos modelados-grillados (PISCO) a partir de PISCOt v1.2 y PISCOp v2.1, considerándose dos puntos referenciales A-1 y A-2 para el periodo 1981 - 2020 (Ver **Anexo 6**).

3.8.1.2.1 *Registro de datos de temperatura máxima y mínima.*

Los valores de temperatura máxima y mínima que se utilizaron en la presente investigación, se obtuvieron de los datos diarios modelados de temperatura máxima y mínima para el periodo 1981-2019, correspondiente a dos (2) cuadrículas con resolución espacial de 0.05° del producto PISCOt v1.2 publicado por Huerta et al. (2023) en su artículo científico “High-resolution grids of daily air temperature for Peru - the new PISCOt v1.2 dataset”. Estos datos se guardan en archivos NetCDF y se pueden obtener usando el siguiente link: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.22712365>. Los datos de temperatura (máxima y mínima) se adjuntan en el **Anexo 6**.

3.8.1.2.2 *Registro de datos de precipitación.*

Los valores de precipitación que se utilizaron en la presente investigación, se obtuvieron de los datos mensuales modelados de precipitación para el periodo 1981-2020, correspondiente a dos (2) cuadrículas con resolución espacial de 0.1° del producto PISCOp v2.1 del SENAMHI. Estos datos se obtuvieron a partir de archivos NetCDF, los cuales se

pueden obtener desde el sitio web de la Biblioteca de Datos del IRI, usando el link: <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAHMI/.HSR/.PISCO/.Prec/.v2p1/.unstable/.monthly/>. Los datos de precipitación se adjuntan en el **Anexo 6**.

3.8.1.2.3 *Ubicación de estaciones meteorológicas.*

Considerando que los datos de temperatura del aire y precipitación se obtuvieron de dos cuadrículas del producto PISCO y que el área de estudio posee dos tipos de clima, se ha definido dos estaciones meteorológicas, cuya denominación asignada para la presente investigación será A-1 y A-2, ubicándose el primero en la parte alta de la microcuenca del río Santiago, mientras que el segundo en la parte baja de dicha microcuenca. La ubicación de las dos estaciones meteorológicas a considerar se muestra en la siguiente tabla y figura:

Tabla 22

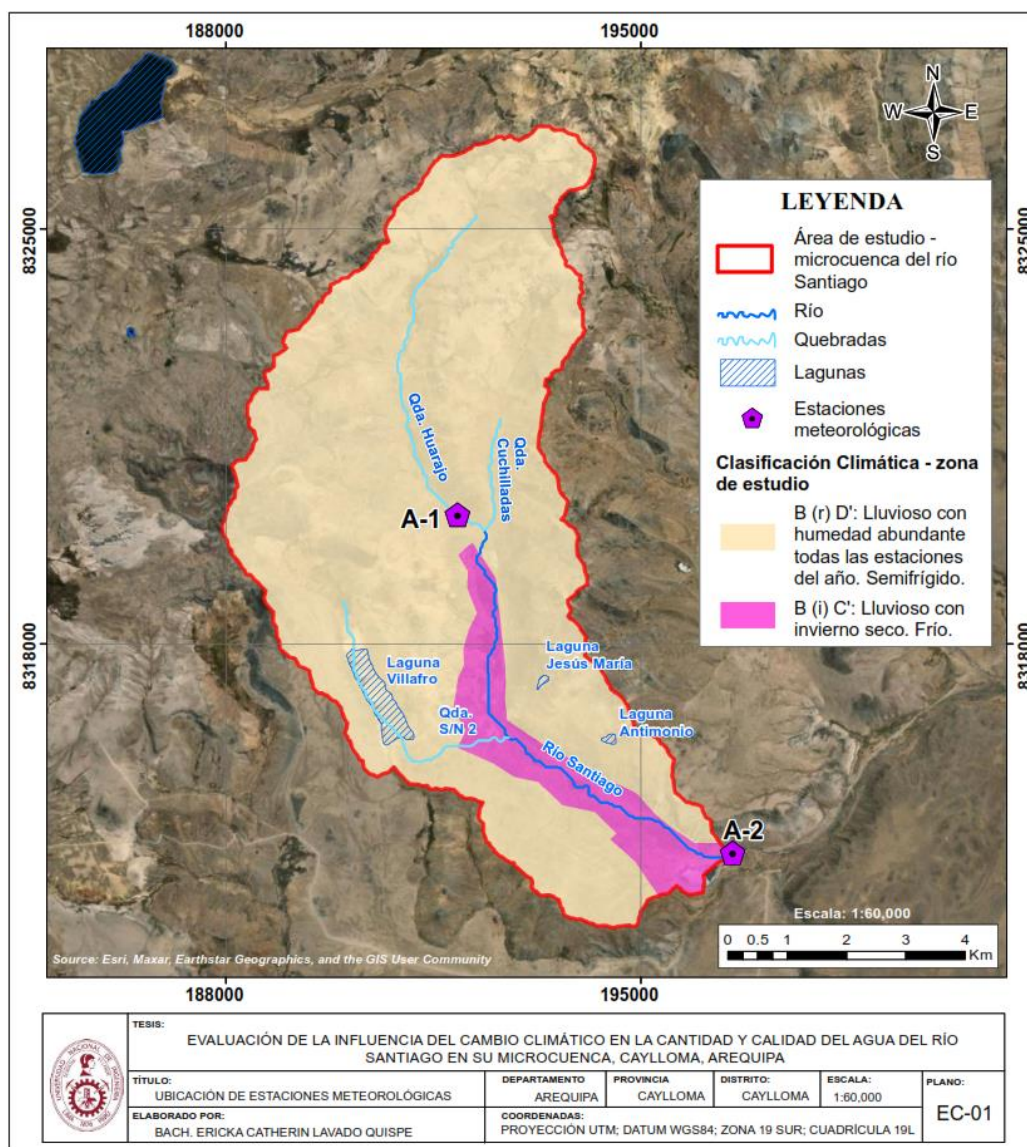
Coordenadas de las estaciones meteorológicas, producto PISCO

Nombre de estación	Coordenada Geográfica	Coordenadas UTM, WGS84, Zona 19Sur	Altitud (m.s.n.m.) ^a	Indicador climático	Resolución espacial	Periodo con información disponible
A-1	Latitud: -15.176083	Este (m): 191902	4578	Temperatura Máxima diaria (°C)	0,05°	1981 a 2020
	Longitud -71.867149	Norte (m): 8320179		Temperatura Mínima diaria (°C)	0,05°	1981 a 2020
				Precipitación (mm)	0,1°	1981 a 2020
A-2	Latitud: -15.228118	Este (m): 196550	4422	Temperatura Máxima diaria (°C)	0,05°	1981 a 2020
	Longitud -71.824619	Norte (m): 8314477		Temperatura Mínima diaria (°C)	0,05°	1981 a 2020
				Precipitación (mm)	0,1°	1981 a 2020

^a Información obtenida de Google Earth Pro.

Figura 21

Ubicación de estaciones meteorológicas (A-1 y A-2)



Nota. Elaboración propia usando el software ArcGIS 10.8.

3.8.1.3 Recolección de datos de cantidad-calidad del agua.

Para la obtención de los datos de calidad y cantidad del agua, se tuvo en consideración en primera instancia, buscar instrumentos de gestión ambiental que cuenten con un Programa de Monitoreo de calidad de agua superficial aprobado con la más mínima frecuencia que pueda existir a nivel nacional (mensual), ello con la finalidad de realizar la metodología de correlación con los indicadores climáticos de temperatura y precipitación. Luego de realizar la búsqueda a través de plataformas públicas como la extranet del

MINEM (<https://extranet.minem.gob.pe/>) se encontró que una unidad minera cuenta con Programas de Monitoreo Ambiental aprobados con Resoluciones Directorales que incluyen estaciones de monitoreo de agua superficial con una frecuencia de monitoreo mensual.

Posterior a ello, se realizó la solicitud de acceso a la información pública del MINEM, requiriéndose los informes de ensayo mensuales de las estaciones de agua superficial monitoreados por dicha unidad. Como respuesta se obtuvo los informes de ensayo y cadenas de custodia solicitados (Ver **Anexo 5**), de los cuales se seleccionó solo a cuatro (4) estaciones de monitoreo de agua superficial (E-1, E-9, E-11 y E-16), debido a que se encuentran dentro del área de estudio y porque en relación a dichos puntos, se obtuvo acceso a datos que constituyen una serie temporal continua en el periodo comprendido entre enero 2015 a diciembre 2019, que si bien se muestrearon de forma puntual con una frecuencia mensual, estos fueron obtenidos con una frecuencia regular y sin interrupciones significativas. De dichos informes se utilizó principalmente para la presente investigación los datos de parámetros de campo (temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, conductividad) y caudal, porque pueden ser medidos directamente en campo mediante un equipo multiparámetro portátil, lo que reduce costos, ya que no es necesario el análisis en laboratorio. Esto facilita que los investigadores que estudian el cambio climático y el agua puedan realizar un monitoreo más eficiente y continuo con fines de realizar el seguimiento de los efectos del cambio climático sobre dichos indicadores.

Cabe indicar que los resultados como temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad y caudal que se pueden visualizar en los informes de ensayo de agua superficial, fueron muestreados y analizados in situ por laboratorios acreditados ante INACAL-DA (anteriormente INDECOPI-SNA) tales como ALS LS Perú S.A.C (anteriormente Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C. – CORPLAB) con registro N°LE-029 y Certificaciones del Perú S.A. con registro N°LE-003, siguiendo los métodos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 23

Métodos de referencia realizados por laboratorios acreditados

Periodo	Responsable del muestreo y análisis	Parámetro ^a	Método de referencia / Descripción
Ene 2015 a sept 2018	ALS LS Perú S.A.C.	Temperatura (campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 22nd Ed. 2012 Temperature Laboratory and Field Methods
	ALS LS Perú S.A.C.	Oxígeno disuelto (campo)	EPA 360.1 1971 Oxygen, Dissolved (Membrane Electrode)
	ALS LS Perú S.A.C.	pH (campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+B, 22nd Ed. 2012 pH Value Electrometric Method
	ALS LS Perú S.A.C.	Conductividad (campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed.2012 Conductivity: Laboratory Method
	ALS LS Perú S.A.C.	Caudal (campo)	ASTM D 3858-95 (2003) Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity- Área Method
Oct 2018 a dic 2019	Certificaciones del Perú S.A.	Temperatura (campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed.2017. Temperature. Laboratory and Field Methods.
	Certificaciones del Perú S.A.	Oxígeno disuelto (campo)	ASTM-Designation: D888 Ed.2012. Standard Test Methods for Dissolved Oxygen in Water ^b ASTM-D888-18.2018. Standard Test Methods for Dissolved Oxygen in Water. TEST METHOD C INSTRUMENTAL PROBE PROCEDURE – LUMINESCENCE – BASED SENSOR.
	Certificaciones del Perú S.A.	pH (campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method.
	Certificaciones del Perú S.A.	Conductividad (campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Ed.2017. Conductivity. Laboratory Method.
	Certificaciones del Perú S.A.	Caudal (campo)	METHOD DETERMINING MEAN VELOCITIES, USG GEOLOGICAL SURVEY 1965

Nota. Adaptado de informes de ensayo (Ver Anexo 7).

^a Parámetros analizados in situ.

^b Método empleado hasta el periodo de junio 2019.

En cuanto a los equipos empleados, de acuerdo a indicado en las cadenas de custodia, para los parámetros in situ se usaron el multiparámetro y el correntómetro. Los datos de los parámetros de campo y caudal extraídos de los informes de ensayo se adjuntan en el **Anexo 7**.

3.8.1.3.1 Ubicación de estaciones de agua superficial.

La ubicación de las cuatro estaciones de agua superficial se muestra en la siguiente tabla y figura:

Tabla 24

Coordenadas de las estaciones de agua superficial

Estación	Coordenadas UTM, WGS84, Zona 19Sur		Altitud ^a	Periodo de datos considerados
	Este (m)	Norte (m)		
E1 ^b	191902	8320179	4578	2015-2019
E-9 ^b	192990	8316287	4451	2015-2019
E-11 ^b	196550	8314477	4422	2015-2019
E-16 ^c	195813	8314576	4430	2015-2019

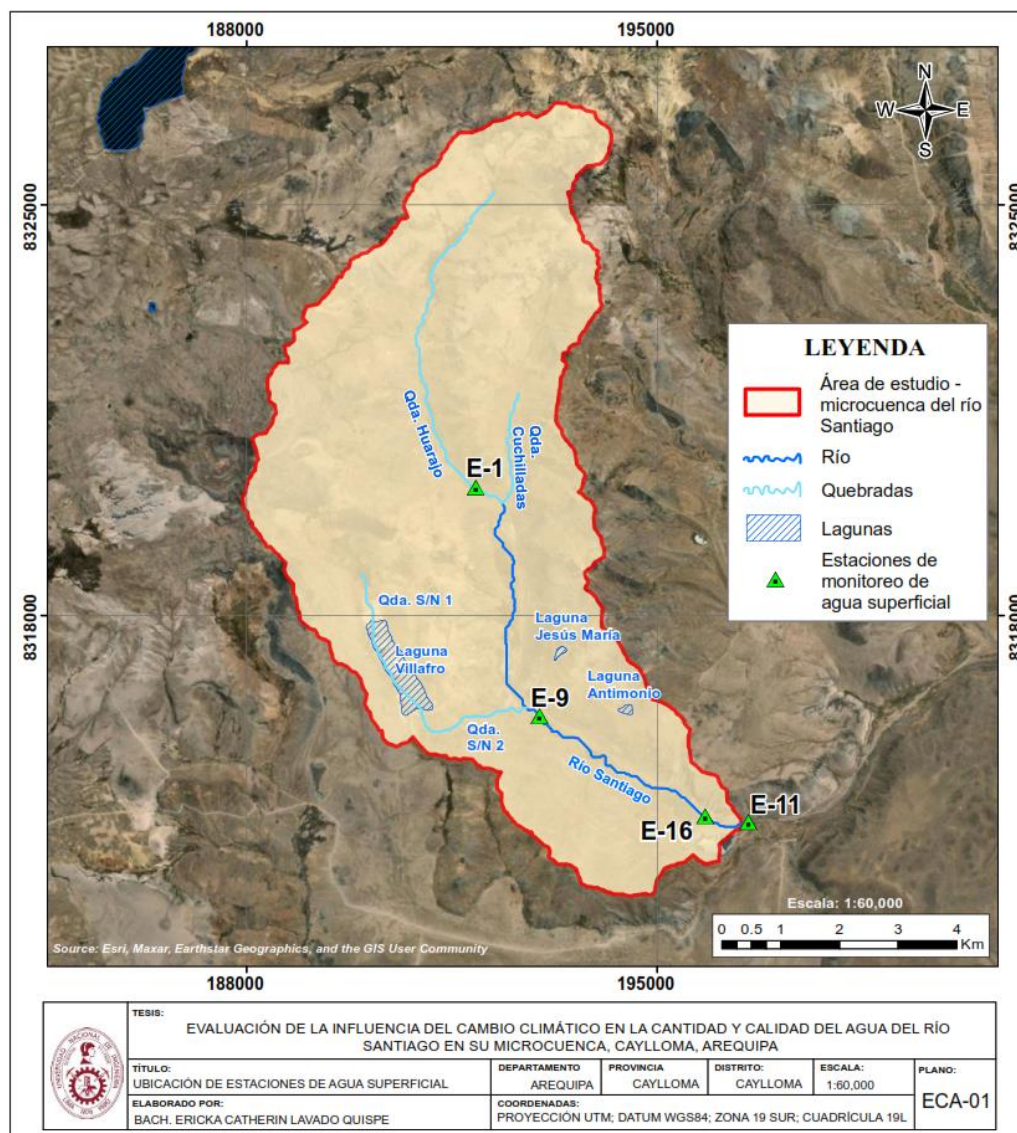
^a Información obtenida de Google Earth Pro.

^b Adaptado del Informe N°711-2015-MEM-DGAAM/DNAM/DGAM/D de la Resolución Directoral N°334-2015-MEM-DGAAM e informes de ensayo de agua superficial brindado por MINEM.

^c Adaptado del Informe N°005-2014-MEM-AAM/ARP/PDP/ADB/MLB/LRG/MTM/RTM/ATI de la Resolución Directoral N°004-2014-MEM/AAM e informes de ensayo de agua superficial brindado por MINEM.

Figura 22

Ubicación de estaciones de monitoreo de agua superficial



Nota. Elaboración propia usando el software ArcGIS 10.8.

3.8.2 Evaluación de datos

La evaluación de datos comprende las siguientes etapas metodológicas: i.) evaluación de tendencias de la temperatura del aire y precipitación, ii.) evaluación del comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago, iii.) evaluación del cumplimiento de los parámetros de campo del río Santiago respecto a los ECAs-agua y, iv.) evaluación de la relación entre el cambio climático, y la cantidad y calidad del agua del río Santiago.

3.8.2.1 Evaluación de tendencias de la temperatura del aire y precipitación.

Con el fin de detectar tendencias significativas ya sea de incremento o disminución en los datos de precipitación y temperatura del aire (media, máxima y mínima), que pueda reflejar una posible manifestación del cambio climático, se realizó el análisis estadístico de tendencias de dichos indicadores climáticos, mediante la aplicación de las pruebas de Mann Kendall y Sen. Para la prueba Mann Kendall se usó el software TREND y para calcular el estimador de la pendiente de Sen se usó la ecuación 1 Y 2, con apoyo del Microsoft Excel. Cabe indicar que el software TREND considera tres niveles de significancia ($\alpha=0.10$ y $Z= 1.645$, $\alpha=0.05$ y $Z= 1.96$, $\alpha=0.01$ y $Z= 2.576$) (Ver **Anexo 8**); sin embargo, para la presente investigación se considerará un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) y 99% ($\alpha=0.01$).

Para el análisis de tendencia, se consideró datos mensuales de temperatura máxima y mínima obtenidos a partir de datos diarios del producto PISCOt v1.2 y datos mensuales de precipitación obtenidos directamente del producto PISCO Prec v2p1, considerando como periodo de análisis los años comprendidos desde 1981 hasta 2020. La temperatura media se obtuvo con el promedio de las temperaturas máxima y mínima.

Cabe indicar que previo al análisis de tendencias, se estimó las variaciones estacionales de la precipitación y temperatura del aire, y además, se determinó el periodo

húmedo y seco, considerando los datos de la precipitación mensual y de la evapotranspiración potencial mensual, siendo esta última calculada con el método de Thornthwaite, considerando las ecuaciones 15,16, 17, 18 y 19 siguiendo la siguiente secuencia:

- Como primer paso, se consideró los datos de temperaturas medias mensuales de las estaciones climatológicas (A-1 y A-2).
- Como segundo paso, se realizó el cálculo del índice térmico mensual (i) con la ecuación 17 y el índice térmico anual (I) con la ecuación 16.
- Como tercer paso, se realizó el cálculo de la evapotranspiración potencial mensual sin corregir en mm con la ecuación 15, donde el valor de “a” se halló con la ecuación 18.
- Como cuarto paso, se calculó el factor de corrección f considerando la Tabla 6, para la ubicación 15° latitud sur.
- Finalmente, el cálculo de la evapotranspiración potencial mensual corregida en mm (ETP) fue obtenida con la ecuación 19.

Para identificar el periodo húmedo y seco, se realizó una gráfica que incorpora los datos de evapotranspiración potencial y la precipitación, de forma que utilizando las desigualdades $P - ETP > 0$ y $P - ETP < 0$, se pudo determinar los meses húmedos y secos respectivamente (Santillán et al., 2013).

3.8.2.2 Evaluación del comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago.

El comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago se evaluó mediante la estimación de la evapotranspiración real (calculada con la fórmula de Turc) y balance hídrico superficial (calculado a partir de la diferencia entre los valores de precipitación y la evapotranspiración real) para el periodo 1981-2020 en dos estaciones climatológicas A-1

y A-2. Asimismo, se evaluó el comportamiento del caudal diario obtenido en cada una de las estaciones de agua superficial (E-1, E-9, E-11 y E-16) para el periodo 2015-2019.

3.8.2.3 Evaluación del cumplimiento de los parámetros de campo del río Santiago respecto a los ECAs-agua.

Para evaluar el cumplimiento de los parámetros de campo del río Santiago respecto a los ECAs-agua aprobado con D.S. N°004-2017-MINAM, se construyó una base de datos de estos parámetros en la serie mensual y anual (periodo 2015-2019), mediante el empleo del programa Microsoft Excel (Ver **anexo 7**). Asimismo, para visualizar si los parámetros de campo cumplen el ECA-agua, utilizando este mismo programa, se elaboró gráficas que incluyen los valores de los parámetros de campo, así como el valor del ECA-agua.

Es preciso señalar que en cuanto a la selección del tipo de categoría de los ECAs-agua para el río Santiago, este curso de agua no cuenta con una categorización según la “Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales” aprobada con R.J. N°056-2018-ANA; sin embargo, considerando la resolución de aprobación (Resolución Directoral N°004-2014-MEM/AAM) que aprueba el Programa de Monitoreo Ambiental de las estaciones de agua superficial E-1, E-9 y E-11, el cual indica que los valores de los parámetros de calidad del agua superficial deben ser comparados con la Categoría 3 “Riego de vegetales y bebidas de animales” y 4 “Conservación del ambiente acuático” del D.S. N°002-2008-MINAM (ECA-agua vigente en su momento); para la presente investigación, se está considerando que los valores de los parámetros de campo correspondientes a las 4 estaciones sean comparados con las Categorías 3 “Riego de vegetales y bebida de animales” y 4 “Conservación del ambiente acuático” de los ECAs-agua aprobados con D.S. N°004-2017-MINAM.

Cabe indicar que, la selección de la categoría 4 guarda concordancia con lo estipulado en la tercera disposición complementaria transitoria del D.S. N°004-2017-MINAM, el cual indica que, mientras la ANA no haya otorgado una clasificación a un cierto cuerpo natural de agua, es necesario aplicar la categoría del recurso hídrico al que este tributa; en tal sentido, considerando que el río Santiago tributa al río Apurímac, siendo esta última, según la “Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales” aprobada con R.J. N°056-2018-ANA, clasificada en la categoría 4: Conservación del ambiente acuático (Ver tabla 36), resulta pertinente seleccionar la categoría 4 para el río Santiago. Asimismo, en cuanto a la categoría 3, considerando que los centros poblados del área de estudio se dedican a la ganadería extensiva, crianza de animales y pastoreo, de igual modo, es concordante la selección de la categoría 3 para el río Santiago.

Tabla 25

Clasificación del río Apurímac

Autoridad administrativa del agua	Unidad hidrográfica			Curso de agua			
	Código UH	Nombre	N°	Código Curso	Nombre	Longitud (km)	Categoría ECA-agua
Pampas - Apurímac	4999	Intercuenca Alto Apurímac	1036	4999999	Río Apurímac	92.38	Categoría 4

Nota. Adaptado de Clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales, por ANA, 2018.

3.8.2.4 Evaluación de la relación entre el cambio climático, y la cantidad y calidad del agua del río Santiago.

Para la evaluación de la relación entre el cambio climático, y la cantidad y calidad del agua del río Santiago se recogió los datos de temperatura media mensual y precipitación mensual (1981-2020) para desarrollar una regresión lineal, ello con el fin de obtener una ecuación lineal que permita estimar las precipitaciones, evapotranspiración real y los balances hídricos cuando se manifiesten los dos escenarios del cambio climático según la IPCC: escenario 1 (cuando el calentamiento global se incremente en 1.5°C) y

escenario 2 (cuando el calentamiento global se incrementa en 2°C). Los balances hídricos resultantes fueron comparados con el balance hídrico (1981-2020).

Asimismo, de forma complementaria, se ha considerado determinar si existe correlaciones significativas entre temperatura (aire y agua) con parámetros de campo y caudal. Para ello, primero se aplicó la prueba de normalidad a cada indicador considerando una significancia de ($p=0.05$), el cual significa que se tiene un 95% de confiabilidad y un 0.05 margen de error. Para realizar la prueba de normalidad se utilizó el programa estadístico SPSS. Dicho programa nos proporcionó dos tipos de pruebas para poder determinar la normalidad: prueba de Kolmogorov-Smirnov (para datos mayores o iguales a 50) y prueba de Shapiro-Wilk (para datos menores a 50) con los respectivos niveles de significancia para cada indicador analizado. Para que esta prueba indique existencia de normalidad, el estadístico tiene que presentar una significación mayor a 0.05.

Luego de determinar la normalidad de cada parámetro se formó pares de indicadores (por ejemplo, temperatura máxima y temperatura del agua, temperatura máxima y caudal, etc.) para evaluar la correlación ya sea mediante el coeficiente de correlación de Pearson o Spearman considerando un nivel de significancia de 0.05. El coeficiente de correlación de Pearson se empleó cuando ambos datos fueron continuos y cumplieron los supuestos de normalidad, mientras que el coeficiente de correlación de Spearman, se utilizó cuando no se cumplió con las condiciones anteriores. Para la obtención de los coeficientes de correlación, se usó el programa IBM SPSS Statistics 27.

3.8.3 *Contrastación de hipótesis*

3.8.3.1 Contrastación de resultados con las hipótesis planteadas.

Una vez evaluado los datos, se realizó la contrastación de resultados con la hipótesis general y específicas.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Evaluación de tendencias de la temperatura del aire y precipitación

Para evidenciar la existencia de una posible manifestación de cambio climático en el área de estudio, se realizó la evaluación de tendencias de la precipitación y temperatura del aire (máxima, mínima, media), a escala anual, mensual y estacional, analizándose previamente la variación estacional de dichos indicadores climáticos.

4.1.1 Análisis de la precipitación

4.1.1.1 Resultados.

4.1.1.1.1 Variación estacional de la precipitación.

En la siguiente tabla, se observa que la precipitación media anual en las estaciones A-1 y A-2, para un periodo de 40 años, es de 795.99 mm y 573.53 mm respectivamente. Asimismo, se observa que los valores extremos en A-1 son de 0.11 mm en julio y 188.22 mm en febrero, mientras que en A-2 son de 1.31 mm en junio y 148.21 mm en enero. Con respecto a los periodos trimestrales de la precipitación, en ambas estaciones se observan que el trimestre más seco lo constituyen los meses de junio, julio y agosto, los cuales reúnen el 0.41% y 1% de la precipitación anual en A-1 y A-2 respectivamente, mientras que el trimestre más húmedo son los meses de enero, febrero y marzo, los cuales concentran el 65 % y 71% del valor de la precipitación anual en A-1 y A-2 respectivamente. Durante el año, la variabilidad de la precipitación en las dos estaciones fluctúa entre 0.11 a 188.22 mm.

Tabla 26*Precipitación media mensual y anual (mm), periodo 1981-2020*

Estación	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
A-1	170.72	188.22	157.98	61.87	8.17	0.74	0.11	2.47	15.36	39.24	48.25	102.86	795.99
A-2	148.21	130.39	128.31	37.22	3.38	1.31	1.53	3.36	9.34	25.01	23.14	62.33	573.53

Nota. Elaboración propia.**4.1.1.1.2 Estimación de periodo húmedo/seco.**

Para la estimación del periodo húmedo y seco, se consideró los resultados de la variación estacional de la precipitación y se calculó la evapotranspiración potencial mensual y anual en las estaciones A-1 y A-2 para el periodo 1981-2020, los cuales se muestran en las siguientes tablas y figura:

Tabla 27

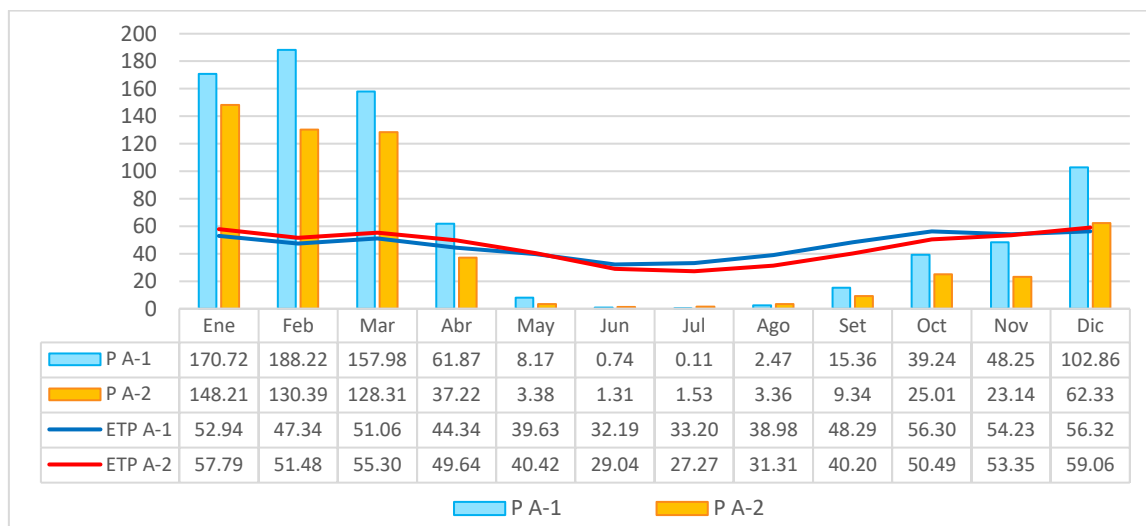
Cálculo de la evapotranspiración potencial mensual y anual en estaciones A-1 y A-2, periodo 1981-2020

Mes	Estación A-1					Estación A-2					
	T (°C)	i	ETP sc (mm)	f	ETP (mm)	T (°C)	i	ETP sc (mm)	f	ETP (mm)	
Enero	7.6	1.88	47.26	1.12	52.93	8.14	2.09	51.58	1.12	57.77	
Febrero	7.8	1.96	48.30	0.98	47.33	8.32	2.16	52.51	0.98	51.46	
Marzo	7.86	1.98	48.61	1.05	51.04	8.35	2.17	52.67	1.05	55.30	
Abril	7.22	1.74	45.26	0.98	44.36	7.96	2.02	50.65	0.98	49.64	
Mayo	6.31	1.42	40.42	0.98	39.61	6.19	1.38	41.26	0.98	40.43	
Junio	5.18	1.06	34.25	0.94	32.19	4.34	0.81	30.89	0.94	29.03	
Julio	5.18	1.06	34.25	0.97	33.22	3.87	0.68	28.13	0.97	27.29	
Agosto	6.04	1.33	38.96	1	38.96	4.41	0.83	31.29	1	31.29	
Septiembre	7.8	1.96	48.30	1	48.30	6	1.32	40.22	1	40.22	
Octubre	8.64	2.29	52.63	1.07	56.32	7.3	1.77	47.20	1.07	50.50	
Noviembre	8.26	2.14	50.68	1.07	54.23	7.81	1.96	49.87	1.07	53.36	
Diciembre	8.18	2.11	50.27	1.12	56.30	8.36	2.18	52.72	1.12	59.04	
a = 0.84 I = 20.93 ETP anual (mm)					554.80	a = 0.82 I = 19.38 ETP anual (mm)					545.35

Nota. Elaboración propia. ETP sc = Evapotranspiración potencial sin corregir.

Figura 23

Comportamiento de la precipitación y evapotranspiración potencial mensual (mm) en las estaciones A-1 y A-2



Nota. Elaboración propia

En relación a la evapotranspiración potencial en las estaciones A-1 y A-2, se observa en la tabla 27 que, para un periodo de 40 años, la evapotranspiración potencial anual es de 554.80 mm y 545.35 mm respectivamente. Asimismo, según la figura 23, se observa que el valor máximo en A-1 se presenta en el mes de octubre con un valor de 56.32 mm, mientras que su valor mínimo se da en el mes de junio con 32.19 mm; del mismo modo, el valor máximo en A-2 se presenta en el mes de diciembre con un valor de 59.04 mm, mientras que su valor mínimo se da en el mes de julio con 27.29 mm.

En relación a la estimación del periodo húmedo y seco, se observa en la figura 23 que, el comportamiento de la evapotranspiración potencial junto con la precipitación tanto en la estación A-1 como en A-2 es de régimen estacional, ya que para el caso de A-1, el periodo húmedo lo conforman los meses comprendidos desde diciembre a abril, el cual concentra el 85.64% de la precipitación anual, mientras que el periodo seco son los meses que comprende mayo a noviembre, el cual reúne el 14.36% del valor anual; asimismo, para el caso de A-2, el periodo húmedo lo comprenden los meses que abarcan de diciembre a

marzo, el cual concentra el 81.82% de la precipitación anual; mientras que el periodo seco, constituido por los meses de abril a noviembre, el 18.18% del valor anual. Durante el año, la variabilidad de la evapotranspiración potencial en las dos estaciones fluctúa entre 27.27 a 59.06 mm.

4.1.1.1.3 Tendencia de la precipitación.

Luego de definir el periodo húmedo y seco para cada una de las estaciones (A-1 y A-2), en la siguiente tabla se presenta los resultados de tendencias de la precipitación media anual, mensual y estacional, obtenido mediante las pruebas de Mann-Kendall y Sen, correspondientes a las estaciones A-1 y A-2 para el periodo 1981 al 2020.

Tabla 28

Resultados de las pruebas de Mann-Kendall (MK) y Sen (Q) para precipitación anual, mensual y estacional

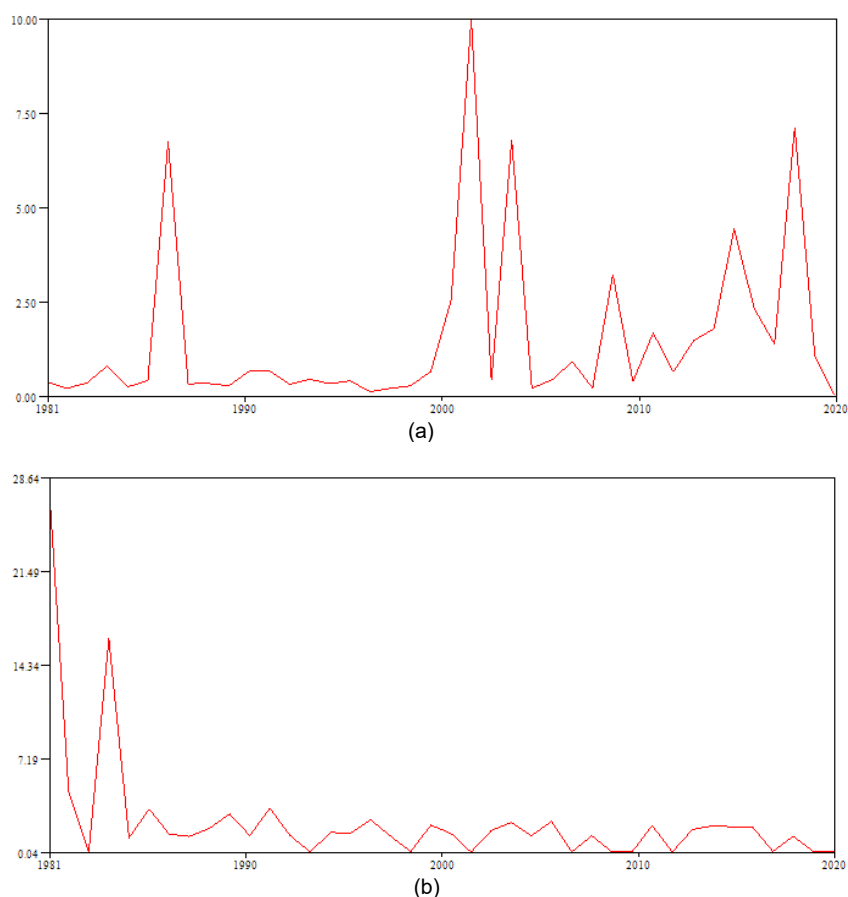
Periodo	Estación A-1				Estación A-2			
	Z	Significancia	NC-MK (%)	Q (mm/año)	Z	Significancia	NC-MK (%)	Q (mm/año)
Anual	0.641	TNSC	-	1.501	1.084	TNSC	-	2.184
Ene.	-0.454	TNSD	-	-0.262	0.757	TNSC	-	0.543
Feb.	1.2	TNSC	-	0.993	1.247	TNSC	-	1.244
Mar.	1.596	TNSC	-	1.120	1.27	TNSC	-	1.102
Abr.	0.827	TNSC	-	0.158	0.874	TNSC	-	0.282
May.	-0.128	TNSD	-	-0.006	0.676	TNSC	-	0.025
Mensual								
Jun.	-0.14	TNSD	-	0.000	-0.117	TNSD	-	0.000
Jul.	0.757	TNSC	-	0.001	2.365	TSC	95	0.021
Ago.	-2.179	TSD	95	-0.045	-1.631	TNSD	-	-0.046
Sep.	0.454	TNSC	-	0.067	0.781	TNSC	-	0.061
Oct.	0.664	TNSC	-	0.223	1.317	TNSC	-	0.337
Nov.	-0.92	TNSD	-	-0.120	-1.049	ST	-	-0.236
Dic.	0.851	TNSC	-	0.322	-0.315	TNSC	-	-0.150
Estacional								
Húmedo	1.2	TNSC	-	2.295	1.596	TNSC	-	2.730
Seco	-0.291	TNSD	-	-0.194	-0.012	TNSD	-	-0.019

Nota. Resultados de valor Z obtenidos mediante el Software TREND v.1.0.2. (Ver Anexo 8) y valor Q mediante la ecuación 1 y 2. La celda de color verde son resultados obtenidos a un nivel de confianza de la prueba de Mann-Kendall (NC-MK) al 95%. El valor positivo de Z señala que la tendencia se incrementa y su valor negativo, una disminución.

Asimismo, en la siguiente figura, se muestra la gráfica de tendencia de la precipitación en la estación A-1 y A-2 que resultaron ser estadísticamente significativas.

Figura 24

Tendencia estadísticamente significativa de la precipitación en las estaciones A-1 y A-2 (1981-2020)



Nota. Resultados de valor Z obtenidos mediante el Software TREND v.1.0.2. (Ver Anexo 8).

^a Tendencia significativa creciente del mes de julio en estación A-2.

^b Tendencia significativa decreciente del mes de agosto en estación A-1.

4.1.1.2 Discusión de resultados.

4.1.1.2.1 Variación estacional de la precipitación.

Para el periodo 1981-2020, la estación A-2 presenta un acumulado de la precipitación anual de 573.53 mm, y la estación A-1, ubicada a una mayor altitud, de 795.99 mm, observándose un aumento de la precipitación a medida que se incrementa la altitud,

ello es concordante a lo reportado por Todote et al. (2021), que encontraron que dos estaciones (Natitingou y Parakou-Airport) ubicadas a mayor altitud que las estaciones (Bohicon y Savè), reportaron mayores valores en la precipitación.

4.1.1.2.2 *Estimación de periodo húmedo/seco.*

En relación a la estimación del periodo húmedo y seco ($P - ETP < 0$), para la estación A-1, se tiene como periodo húmedo a 5 meses (de diciembre a abril), mientras que para A-2, lo conforman 4 meses (de diciembre a marzo). Los demás meses se caracterizan como periodo seco ($P - ETP < 0$). Los resultados en la estación A-1 son concordantes con lo establecido por SENAMHI (2020) que considera como periodo de avenida los meses comprendidos entre diciembre a abril (DEFMA) y estiaje los meses de mayo a noviembre (MJJASON); sin embargo, los resultados en la estación A-2 difiere ligeramente de lo indicado por dicha institución. Es preciso indicar que SENAMHI (2020) hace mención que los periodos que ha considerado son de uso común; es decir, de esto último se puede inferir que en un determinado lugar no necesariamente se va a presentar el periodo establecido por dicha entidad, ya que la diferencia podría atribuirse a factores locales como la topografía, la presencia de lugares húmedos como los bofedales en el área de estudio, los cuales podrían influir en la distribución temporal de la precipitación.

4.1.1.2.3 *Tendencia de la precipitación.*

Los resultados del análisis de tendencia de la precipitación, a un nivel de confianza (NC) del 95%, mostraron predominantemente tendencias insignificantes a escala anual, estacional y mensual en ambas estaciones (A-1 y A-2) de 1981 a 2020, siendo únicamente los meses de julio en A-2 y agosto en A-1, aquellos que presentaron una tendencia significativa, con magnitud ascendente de 0.021 mm/año y descendente de -0.045 mm/año, respectivamente.

La magnitud de tendencia para la escala anual, aunque insignificante, fue de aumento con 1.501mm/año en A-1 y 2.184mm/año en A-2; asimismo, el periodo húmedo presentó un incremento de 2.295 mm/año en A-1 y 2.73 mm/año en A-2; en cuanto al periodo seco, se registró una disminución no significativa de -0.194 mm/año en A-1 y -0.019 mm/año en A-2. En referencia a la escala mensual, la magnitud de tendencia no significativa, varía entre ascendente y descendente, que oscilan entre -0.262 mm/año (enero) a 1.12 mm/año (marzo) en A-1, y -0.236 mm/año (noviembre) a 1.244 mm/año (febrero) en A-2, habiendo en la mayoría de meses una tendencia ascendente.

Los resultados obtenidos para el periodo anual y estacional (avenida y estiaje), se encuentran acorde a los resultados obtenidos mediante el aplicativo TENDHIS del SENAMHI (Ver tabla 21), que indica que en el punto latitud: -15.20 y longitud: - 71.85 (ubicado dentro del área de estudio) para el periodo 1981-2016, la tendencia es estadísticamente creciente, aunque esta no es significativa. Estos resultados se encuentran en concordancia con lo reportado por Moraes et al. (2023), ya que estos autores, que tuvieron como objetivo evaluar las tendencias climáticas en Arequipa, identificaron en la mayoría de las estaciones climatológicas de evaluación, un incremento de la precipitación anual para el periodo 1988-2017; sin embargo, en solo dos de ellas, se obtuvo tendencias estadísticamente significativas.

En lo que respecta a los resultados obtenidos para la escala mensual, si bien se obtuvo una tendencia no significativa creciente en la mayoría de los meses en ambas estaciones (A-1 y A-2), estos resultados se asemejan a lo encontrado por Moraes et al. (2023), cuyos hallazgos evidencian que en la mayoría de las temporadas consideradas: estación seca y fría (junio-septiembre), estación húmeda y calurosa (diciembre-marzo) y temporada de transición de húmedo a seco (abril, mayo), las precipitaciones han ido en aumento, solo en la temporada de transición seco a húmedo (octubre a noviembre) es la única que mostró señales generalizadas de reducción de lluvias. Por otro lado, es

importante resaltar que en los meses de julio en A-2 y agosto en A-1, se presentaron tendencias significativas, con magnitud ascendente de 0.021 mm/año y descendente de - 0.045 mm/año, respectivamente. La tendencia significativa creciente en el mes de julio, puede estar asociada a las intensas nevadas y granizo ocurrida en julio del 2002 en la sierra de Arequipa (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2024), los cuales hicieron aumentar el valor de la precipitación, este fenómeno se puede observar en la figura 24b, específicamente para el año 2002; asimismo, la tendencia significativa creciente en el mes de agosto puede estar asociada a factores locales de la zona, como la topografía y/o la presencia de bofedales en el área de estudio, que pudieron haber influenciado en la regulación de la temperatura y en consecuencia, influir en la precipitación.

En resumen, debido a la predominancia de tendencias no significativas de la precipitación en el área de estudio, no se han encontrado evidencias claras de una tendencia de aumento o disminución de la precipitación durante todas las escalas de evaluación (anual, estacional y mensual). Este resultado es concordante con lo afirmado por UNESCO (2020), que menciona que las previsiones acerca de las tendencias de las precipitaciones son variables y ambiguas.

4.1.2 *Análisis de la temperatura máxima*

4.1.2.1 Resultados.

4.1.2.1.1 *Variación estacional de la temperatura máxima.*

En la siguiente tabla, se observa que la temperatura máxima media multianual en la estación A-1, para un periodo de 40 años, es de 16.98°C, en donde octubre es el mes más cálido con una temperatura de 20.14 °C y febrero, el más frío con una temperatura de 14.41 °C. Asimismo, la temperatura máxima media multianual en la estación A-2, para un periodo de 40 años, es de 16.01°C, en donde noviembre es el mes más cálido con una temperatura de 17.99 °C y julio, el más frío con una temperatura de 14.68 °C. Durante el

año, la variabilidad de la temperatura máxima media en las dos estaciones fluctúa entre 14.41 a 20.14 °C.

Tabla 29

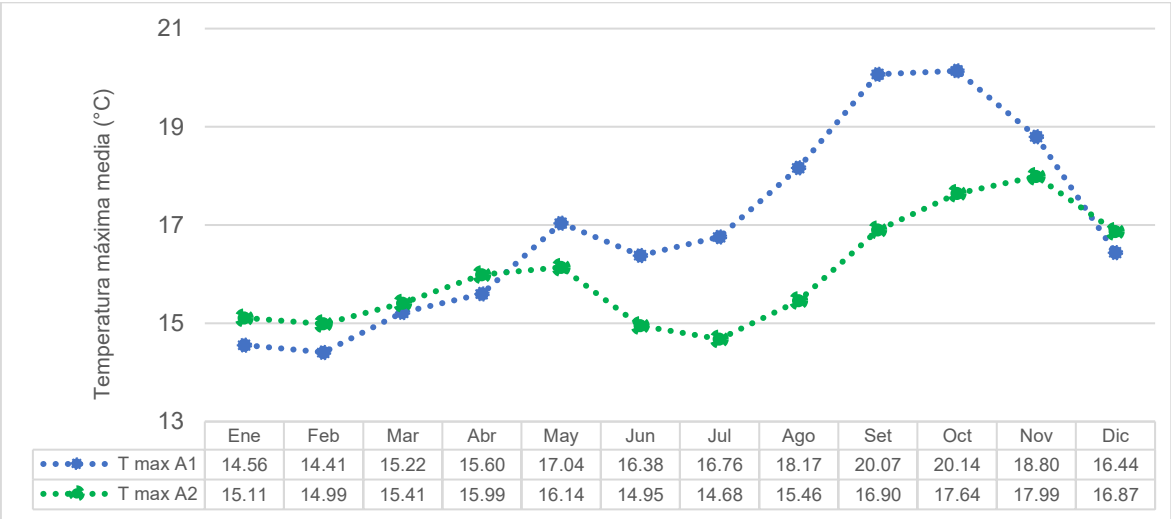
Temperatura máxima media mensual y anual (°C), periodo 1981-2020

Estación	Temperatura máxima media mensual y anual												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
A-1	14.56	14.41	15.22	15.60	17.04	16.38	16.76	18.17	20.07	20.14	18.80	16.44	16.98
A-2	15.11	14.99	15.41	15.99	16.14	14.95	14.68	15.46	16.90	17.64	17.99	16.87	16.01

Nota. Elaboración propia.

Figura 25

Comportamiento de la temperatura máxima media mensual (°C) en las dos estaciones



Nota. Elaboración propia

4.1.2.1.2 Tendencia de la temperatura máxima.

En la siguiente tabla, se presenta los resultados de tendencias de la temperatura máxima media anual, mensual y estacional, obtenido mediante las pruebas de Mann-Kendall y Sen, correspondientes a las estaciones A-1 y A-2 para el periodo 1981 al 2020.

Tabla 30

Resultados de las pruebas de Mann-Kendall (MK) y Sen (Q) para temperatura máxima media anual, mensual y estacional

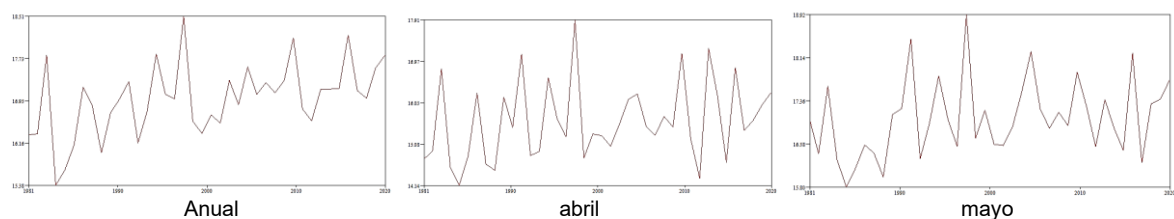
Periodo	Estación A-1				Estación A-2			
	Z	Significancia	NC-MK (%)	Q (mm/año)	Z	Significancia	NC-MK (%)	Q (mm/año)
Anual	3.297	TSC	99	0.028	3.612	TSC	99	0.032
Ene.	1.748	TNSC	90	0.028	2.062	TSC	95	0.030
Feb.	1.107	TNSC	-	0.023	1.223	TNSC	-	0.022
Mar.	1.282	TNSC	-	0.017	1.922	TNSC	90	0.020
Abr.	2.12	TSC	95	0.027	2.086	TSC	95	0.028
May.	2.109	TSC	95	0.019	2.47	TSC	95	0.024
Jun.	3.495	TSC	99	0.037	3.414	TSC	99	0.040
Jul.	2.051	TSC	95	0.031	2.319	TSC	95	0.035
Ago.	2.587	TSC	99	0.036	2.61	TSC	99	0.040
Sep.	3.915	TSC	99	0.040	3.717	TSC	99	0.040
Oct.	2.19	TSC	95	0.026	1.957	TNSC	90	0.023
Nov.	3.903	TSC	99	0.040	4.229	TSC	99	0.047
Dic.	1.922	TNSC	90	0.022	2.284	TSC	95	0.027
Húmedo	1.981	TSC	95	0.024	2.342	TSC	95	0.025
Seco	3.658	TSC	99	0.033	4.055	TSC	99	0.033

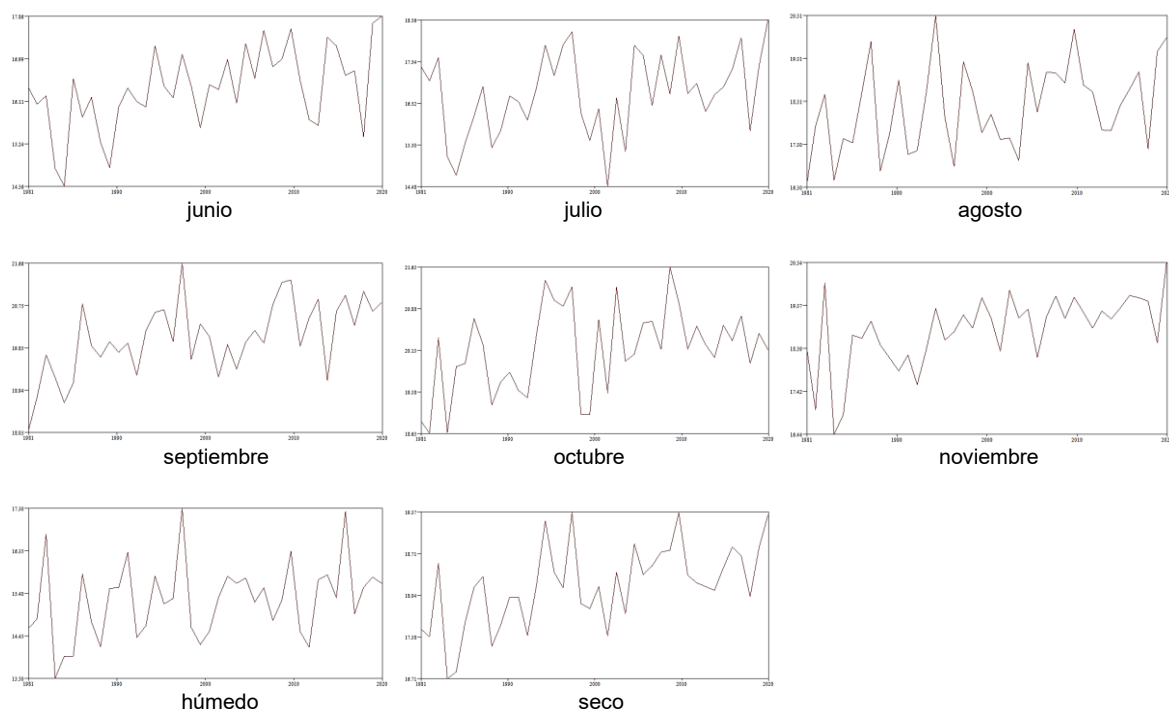
Nota. Resultados de valor Z obtenidos mediante el Software TREND v.1.0.2. (Ver Anexo 8) y valor Q mediante la ecuación 1 y 2. La celda de color verde son resultados obtenidos a un nivel de confianza de la prueba de Mann-Kendall (NC-MK) por encima del 95%. El valor positivo de Z señala que la tendencia se incrementa y su valor negativo, una disminución.

Asimismo, en las siguientes figuras, se muestran las gráficas de tendencias de la temperatura máxima anual, mensual y estacional en la estación A-1 y A-2 que resultaron ser crecientes y a su vez estadísticamente significativa.

Figura 26

Tendencia creciente estadísticamente significativa de la temperatura máxima media anual, mensual y estacional en la estación A-1 (1981-2020)

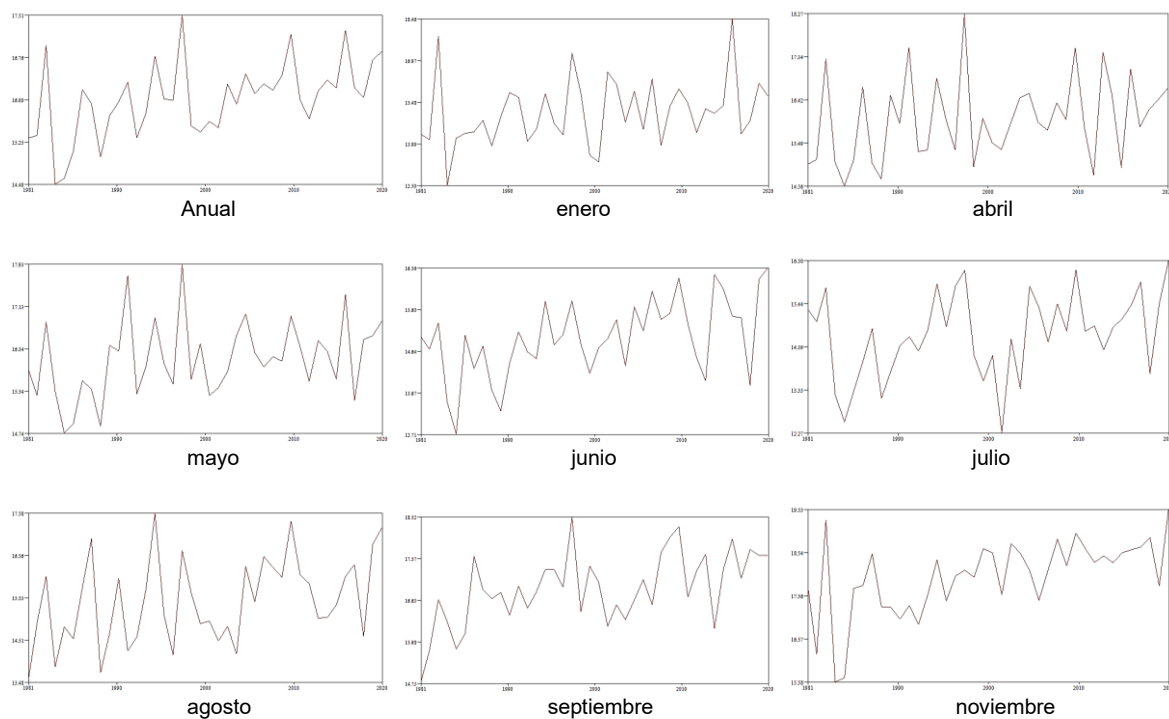


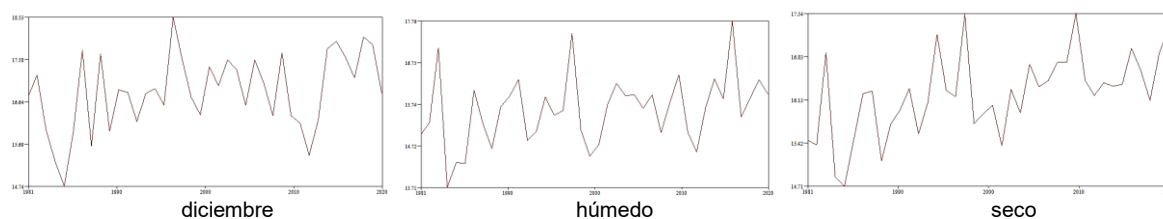


Nota. Resultados obtenidos mediante el Software TREND v.1.0.2. (Ver Anexo 8).

Figura 27

Tendencia creciente estadísticamente significativa de la temperatura máxima media anual, mensual y estacional en la estación A-2 (1981-2020)





Nota. Resultados obtenidos mediante el Software TREND v.1.0.2. (Ver Anexo 8).

4.1.2.2 Discusión de resultados.

4.1.2.2.1 Variación estacional de la temperatura máxima.

Para el periodo 1981-2020, la estación A-2 presenta una temperatura máxima media multianual de 16.01 °C, y la estación A-1, ubicada a una mayor altitud que A-2, de 16.98 °C. Estos resultados indican que a elevaciones mayores la temperatura máxima aumenta, los cuales concuerdan con lo reportado por Vicente-Serrano et al. (2018), en cuya investigación enfocada a evaluar los cambios de las temperaturas máximas y mínimas del aire en el Perú (1964-2014), indican que existe un incremento paulatino de las tendencias de temperatura máxima a medida que aumenta la altitud, mostrándose un calentamiento más intenso en zonas más elevadas.

4.1.2.2.2 Tendencia de la temperatura máxima.

La temperatura máxima media, con un nivel de confianza (NC) del 99%, evidencia tendencia significativa creciente a escala anual en ambas estaciones (A-1 y A-2) desde 1981 a 2020, siendo la magnitud de la tendencia en la estación A-1 de 0.028°C/año; mientras que en la estación A-2, de 0.032°C/año. En cuanto a la escala estacional, se mostraron tendencias significativas crecientes de la temperatura máxima con NC por encima del 95% en ambas estaciones, con magnitudes de incremento en la estación A-1 de 0.024°C/año y 0.033°C/año para época húmeda y seca respectivamente; mientras que en la estación A-2, se obtuvo 0.025°C/año y 0.033°C/año para época húmeda y seca respectivamente. En referencia a la escala mensual, a un NC superior del 95%, se obtuvieron tendencias significativas de incremento de la temperatura máxima en algunos

meses (abril hasta noviembre en la estación A-1, y abril a septiembre, noviembre, diciembre y enero en A-2) con magnitudes ascendentes de tendencias que oscilan entre $0.019^{\circ}\text{C/año}$ a 0.04°C/año en A-1, y $0.024^{\circ}\text{C/año}$ a $0.047^{\circ}\text{C/año}$ en A-2. Por otro lado, si bien para los demás meses no se encontraron tendencias significativas, es preciso indicar que todas ellas fueron de incremento.

Los resultados obtenidos para el periodo anual y estacional, se encuentra acorde a los resultados obtenidos mediante el aplicativo TENDHIS del SENAMHI (Ver tabla 19), que indica que en el punto latitud: -15.20 y longitud: -71.85 (ubicado dentro del área de estudio) para el periodo 1981-2016, la tendencia es estadísticamente significativa, evidenciándose de esta manera un incremento progresivo de la temperatura máxima anual y estacional (avenida y estiaje) en el tiempo.

En lo que respecta a los resultados obtenidos para el periodo mensual, si bien la tendencia de la temperatura máxima media no fue significativa para los meses de verano (diciembre, enero, febrero y marzo) en A-1 y para los meses de verano (febrero y marzo) y octubre en A-2, estos resultados son similares a lo indicado por los autores Vicente-Serrano et al. (2018), ya que en su investigación enfocada a evaluar los cambios de la temperatura del aire en el Perú, señaló que durante los meses de verano, se encontraron tendencias positivas; no obstante, estas fueron estadísticamente insignificantes. Asimismo, la no significancia en estos meses, se podría explicar por las precipitaciones mayores que ocurren en dichos meses (Ver figura 23), los cuales propician la generación de la humedad, y esto a su vez, favorece la formación de nubes en el verano que impiden la incidencia directa de la radiación solar, trayendo como consecuencia, según Imfeld et al. (2020), una tendencia más débil de la temperatura máxima en los Andes del Sur del Perú. Por otra parte, es preciso indicar que en el mes de octubre asociado a la estación A-2, se obtuvo un $Z=1.957$, el cual refleja una tendencia estadísticamente insignificante ($Z < 1.96$), esto difiere de la investigación de Vicente-Serrano et al. (2018), ya que el autor indica que en el

territorio peruano (por arriba de los 500 m.s.n.m.) durante los meses de marzo a noviembre se mostró tendencias positivas y significativas de la temperatura máxima del aire. Esta diferencia puede deberse a factores locales como la topografía, en la cual el área de estudio caracterizada por presentar un relieve moderadamente montañoso con una pendiente empinada (28.24%) puede ser uno de los factores que modula la temperatura; asimismo, la presencia de bofedales, al tener una gran capacidad de almacenamiento de agua (INAIGEM, 2023), podría ayudar a mantener una temperatura más estable.

4.1.3 Análisis de la temperatura mínima

4.1.3.1 Resultados.

4.1.3.1.1 Variación estacional de la temperatura mínima.

En la siguiente tabla, se observa que la temperatura mínima media multianual en la estación A-1, para un periodo de 40 años, es de - 2.64°C, en donde febrero es el mes más cálido con una temperatura de 1.19 °C y julio, el más frío con una temperatura de - 6.41 °C. Asimismo, la temperatura mínima media multianual en la estación A-2, para un periodo de 40 años, es de -2.52°C, en donde febrero es el mes más cálido con una temperatura de 1.66 °C y julio, el más frío con una temperatura de - 6.95 °C. Durante el año, la variabilidad de la temperatura mínima media en las dos estaciones fluctúa entre -6.41 a 1.66 °C.

Tabla 31

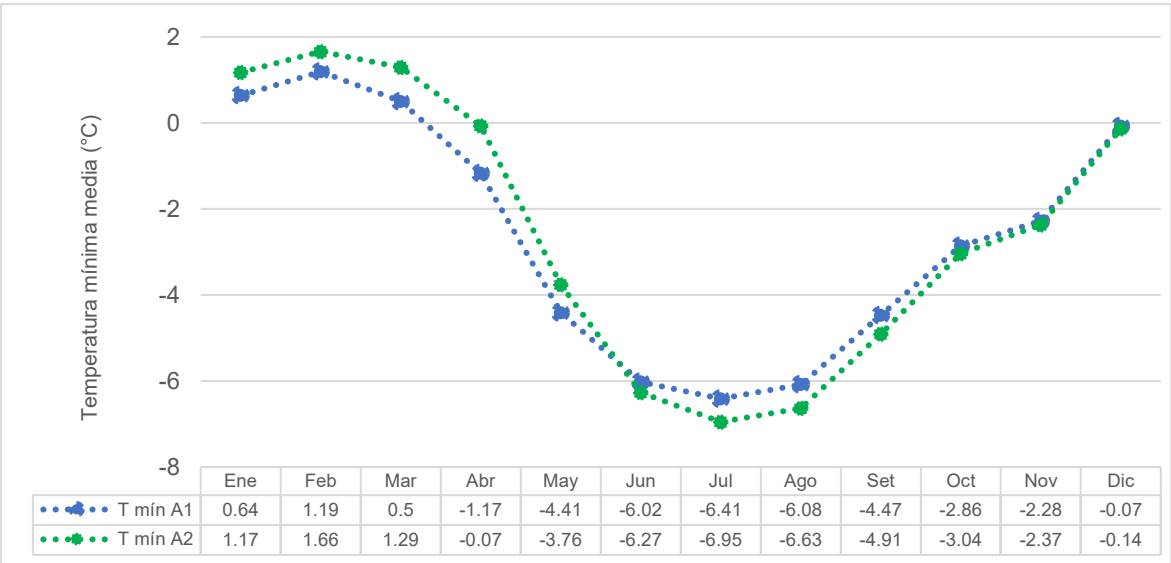
Temperatura mínima media mensual y anual (°C), periodo 1981-2020

Estación	Temperatura mínima media mensual y anual												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
A-1	0.64	1.19	0.50	-1.17	-4.41	-6.02	-6.41	-6.08	-4.47	-2.86	-2.28	-0.07	-2.64
A-2	1.17	1.66	1.29	-0.07	-3.76	-6.27	-6.95	-6.63	-4.91	-3.04	-2.37	-0.14	-2.52

Nota. Elaboración propia.

Figura 28

Comportamiento de la temperatura mínima media mensual (°C) en las dos estaciones



Nota. Elaboración propia.

4.1.3.1.2 Tendencia de la temperatura mínima.

En la siguiente tabla, se presenta los resultados de tendencias de la temperatura mínima media anual, mensual y estacional, obtenido mediante las pruebas de Mann-Kendall y Sen, correspondientes a las estaciones A-1 y A-2 para el periodo 1981 al 2020.

Tabla 32

Resultados de las pruebas de Mann-Kendall (MK) y Sen (Q) para temperatura mínima media anual, mensual y estacional

Periodo	Estación A-1				Estación A-2			
	Z	Significancia	NC-MK (%)	Q (mm/año)	Z	Significancia	NC-MK (%)	Q (mm/año)
Anual	3.88	TSC	99	0.018	3.752	TSC	99	0.017
Ene.	1.235	TNSC	-	0.008	1.188	TNSC	-	0.010
Feb.	1.829	TNSC	90	0.016	2.190	TSC	95	0.019
Mar.	1.538	TNSC	-	0.014	1.643	TNSC	-	0.016
Abr.	0.687	TNSC	-	0.006	0.781	TNSC	-	0.009
Mensual	2.016	TSC	95	0.018	1.619	TNSC	-	0.016
Jun.	3.076	TSC	99	0.031	2.540	TSC	95	0.031
Jul.	2.831	TSC	99	0.027	2.563	TSC	95	0.027
Ago.	1.771	TNSC	90	0.018	1.025	TNSC	-	0.013

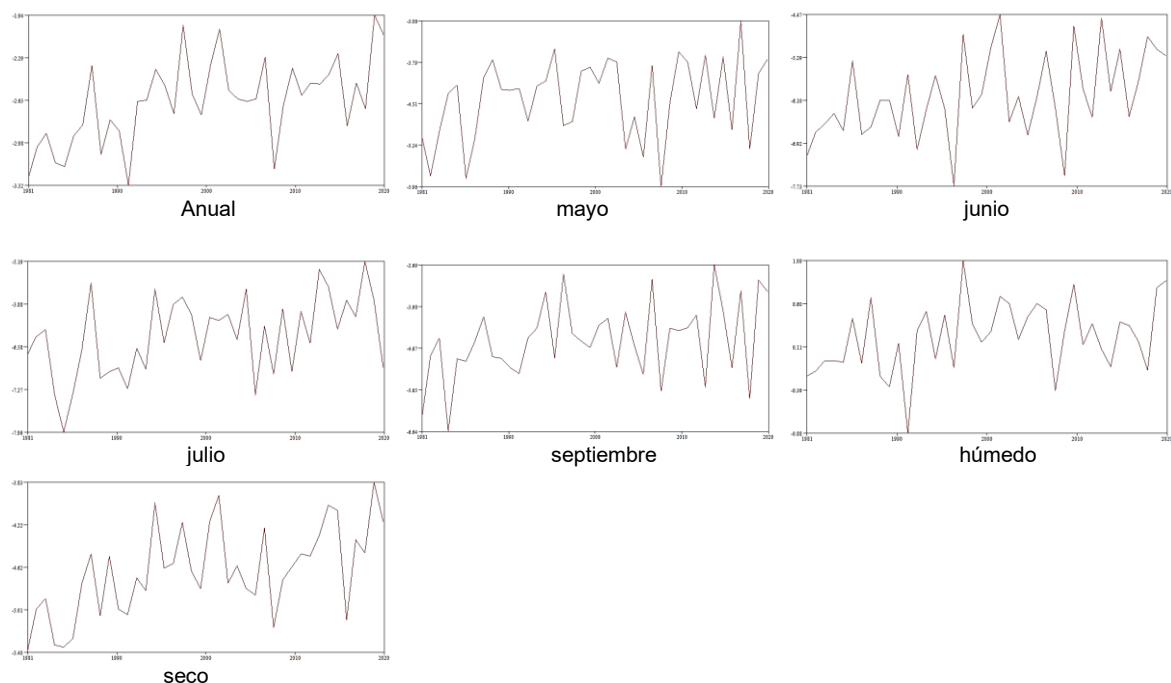
Periodo	Estación A-1				Estación A-2			
	Z	Significancia	NC-MK (%)	Q (mm/año)	Z	Significancia	NC-MK (%)	Q (mm/año)
Sep.	2.388	TSC	95	0.033	1.969	TSC	95	0.031
Oct.	1.748	TNSC	90	0.015	1.153	TNSC	-	0.012
Nov.	0.746	TNSC	-	0.009	0.291	TNSC	-	0.004
Dic.	1.841	TNSC	90	0.016	1.573	TNSC	-	0.014
Húmedo	2.167	TSC	95	0.013	2.796	TSC	99	0.015
Seco	3.903	TSC	99	0.023	3.227	TSC	99	0.017

Nota. Resultados de valor Z obtenidos mediante el Software TREND v.1.0.2. (Ver Anexo 8) y valor Q mediante la ecuación 1 y 2. La celda de color verde son resultados obtenidos a un nivel de confianza de la prueba de Mann-Kendall (NC-MK) por encima del 95%. El valor positivo de Z señala que la tendencia se incrementa y su valor negativo, una disminución.

Asimismo, en las siguientes figuras, se muestran las gráficas de tendencias de la temperatura mínima anual, mensual y estacional en la estación A-1 y A-2 que resultaron ser crecientes y a su vez estadísticamente significativa.

Figura 29

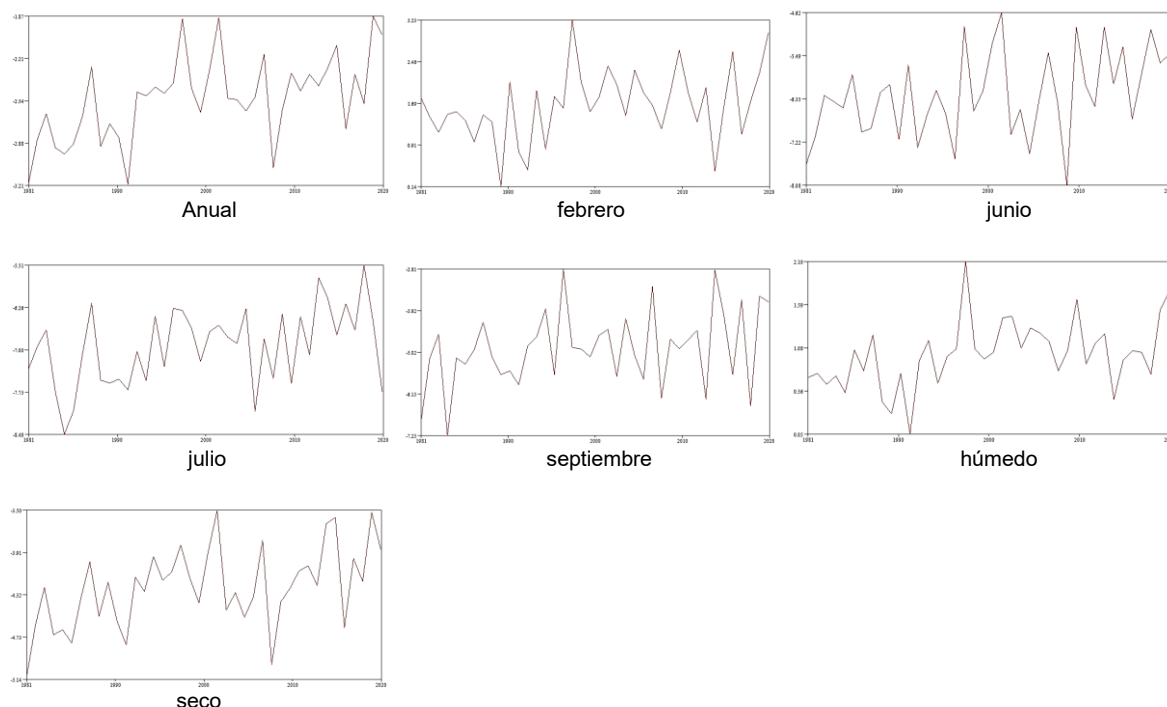
Tendencia creciente estadísticamente significativa de la temperatura mínima media anual, mensual y estacional en la estación A-1 (1981-2020)



Nota. Resultados obtenidos mediante el Software TREND v.1.0.2. (Ver Anexo 8).

Figura 30

Tendencia creciente estadísticamente significativa de la temperatura mínima media anual, mensual y estacional en la estación A-2 (1981-2020)



Nota. Resultados obtenidos mediante el Software TREND v.1.0.2. (Ver Anexo 8).

4.1.3.2 Discusión de resultados.

4.1.3.2.1 Variación estacional de la temperatura mínima.

Para el periodo 1981-2020, la estación A-2 presenta una temperatura mínima media multianual de -2.52°C , y la estación A-1, ubicada a una mayor altitud que A-2, de -2.64°C . Estos resultados indican que a elevaciones mayores la temperatura mínima disminuye, los cuales concuerdan con lo reportado por Vicente-Serrano et al. (2018), en cuya investigación enfocada a evaluar los cambios de las temperaturas máximas y mínimas del aire en el Perú (1964-2014), señalaron que en general, las tendencias de las temperaturas mínimas no mostraron un aumento en función a la altitud, tal como sucede con las tendencias de las temperaturas máximas, sino una tendencia al enfriamiento en zonas elevadas a escala anual y en la mayoría de los meses del año.

4.1.3.2.2 *Tendencia de la temperatura mínima.*

La temperatura mínima media, con un nivel de confianza (NC) del 99%, evidencia tendencia significativa creciente a escala anual en ambas estaciones (A-1 y A-2) desde 1981 a 2020, siendo la magnitud de la tendencia en la estación A-1 de $0.018^{\circ}\text{C/año}$; mientras que en la estación A-2, de $0.017^{\circ}\text{C/año}$. En cuanto a la escala estacional, se mostraron tendencias significativas crecientes de la temperatura mínima con NC por encima del 95% en ambas estaciones, con magnitudes de incremento en la estación A-1 de $0.013^{\circ}\text{C/año}$ y $0.023^{\circ}\text{C/año}$ para época húmeda y seca respectivamente; mientras que en la estación A-2, se obtuvo $0.015^{\circ}\text{C/año}$ y $0.017^{\circ}\text{C/año}$ para época húmeda y seca respectivamente. En referencia a la escala mensual, a un NC superior del 95%, se obtuvieron tendencias significativas de incremento de la temperatura mínima en algunos meses (mayo, junio, julio y septiembre en la estación A-1, y febrero, junio, julio y septiembre en A-2) con magnitudes ascendentes de tendencias que oscilan entre $0.018^{\circ}\text{C/año}$ a $0.033^{\circ}\text{C/año}$ en A-1, y $0.019^{\circ}\text{C/año}$ a $0.031^{\circ}\text{C/año}$ en A-2. Por otro lado, si bien para los demás meses no se encontraron tendencias significativas, es preciso indicar que todas ellas fueron de incremento.

Los resultados obtenidos para el periodo anual y estacional, se encuentra acorde a los resultados obtenidos mediante el aplicativo TENDHIS del SENAMHI (Ver tabla 20), que indica que en el punto latitud: -15.20 y longitud: - 71.85 (ubicado dentro del área de estudio) para el periodo 1981-2016, la tendencia es estadísticamente significativa, evidenciándose un incremento progresivo de la temperatura mínima anual y estacional (avenida y estiaje) en el tiempo. Asimismo, se encuentra en línea a lo reportado por Moraes et al. (2023), en donde identificaron que la temperatura media diaria mínima anual en la región Arequipa aumentaba en casi todas las estaciones evaluadas.

En lo que respecta a los resultados obtenidos para el periodo mensual, si bien la tendencia de la temperatura mínima media para ambas estaciones solo fue significativa

para los meses de junio, julio y septiembre, este resultado es parecido con lo indicado por Imfeld et al. (2020), ya que en su investigación enfocada a evaluar las tendencias de la temperatura en los Andes del Sur del Perú, se encontró que solo en el invierno (junio, julio y agosto) se mostraron tendencias crecientes estadísticamente significativas. Por otro lado, es preciso indicar que si bien se obtuvo tendencias significativas para el mes de mayo en A-1 y febrero en A-2, el cual difiere de la investigación de Imfeld et al. (2020), esto posiblemente podría deberse a factores locales como la topografía y/o la presencia de bofedales en el área de estudio, que pudieron haber influenciado en la regulación de la temperatura.

4.1.4 Análisis de la temperatura media

4.1.4.1 Resultados.

4.1.4.1.1 Variación estacional de la temperatura media.

En la siguiente tabla, se observa que la temperatura media multianual en la estación A-1, para un periodo de 40 años, alcanza los 7.17°C, en donde octubre es el mes más cálido con una temperatura de 8.64 °C y junio-julio, los más fríos con una temperatura de 5.18 °C. Asimismo, la temperatura media multianual en la estación A-2, para un periodo de 40 años, es de 6.75°C, en donde diciembre es el mes más cálido con una temperatura de 8.36 °C y julio, el más frío con una temperatura 3.87 °C. Durante el año, la variabilidad de la temperatura media en las dos estaciones fluctúa entre 3.87 a 8.64 °C.

Tabla 33

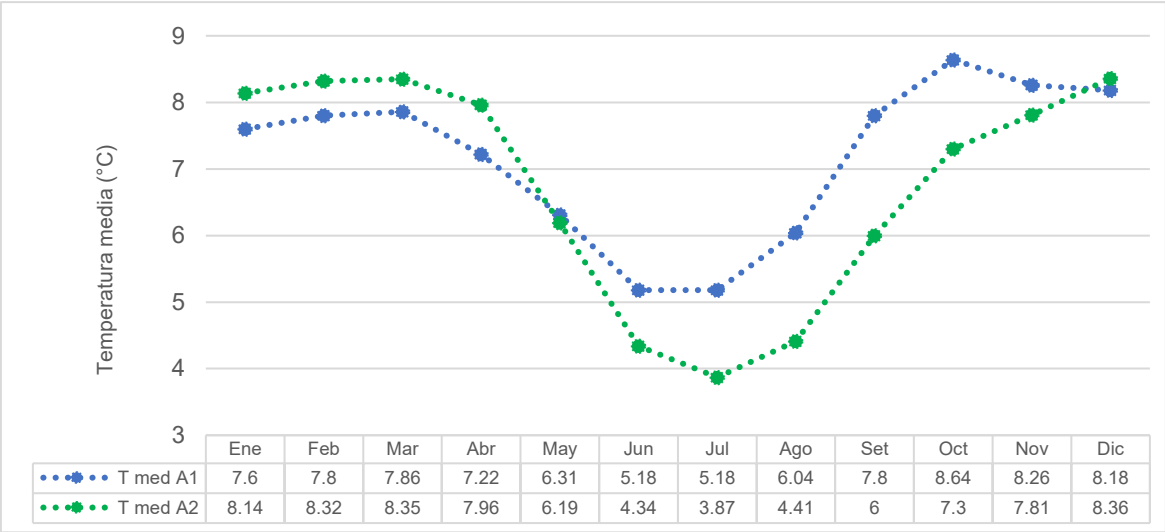
Temperatura media mensual y media anual (°C), periodo 1981-2020

Estación	Temperatura media mensual y anual												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
A-1	7.60	7.80	7.86	7.22	6.31	5.18	5.18	6.04	7.80	8.64	8.26	8.18	7.17
A-2	8.14	8.32	8.35	7.96	6.19	4.34	3.87	4.41	6.00	7.30	7.81	8.36	6.75

Nota. Elaboración propia.

Figura 31

Comportamiento de la temperatura media mensual (°C) en las dos estaciones



Nota. Elaboración propia.

4.1.4.1.2 Tendencia de la temperatura media.

En la siguiente tabla, se presenta los resultados de tendencias de la temperatura media anual, mensual y estacional, obtenido mediante las pruebas de Mann-Kendall y Sen, correspondientes a las estaciones A-1 y A-2 para el periodo 1981 al 2020.

Tabla 34

Resultados de las pruebas de Mann-Kendall (MK) y Sen (Q) para temperatura media anual, mensual y estacional

Periodo	Estación A-1				Estación A-2			
	Z	Significancia	NC-MK (%)	Q (mm/año)	Z	Significancia	NC-MK (%)	Q (mm/año)
Anual	4.031	TSC	99	0.023	4.311	TSC	99	0.026
Ene.	1.701	TNSC	90	0.017	2.179	TSC	95	0.018
Feb.	2.039	TSC	95	0.019	2.144	TSC	95	0.021
Mar.	2.354	TSC	95	0.017	2.703	TSC	99	0.019
Abr.	2.027	TSC	95	0.015	2.225	TSC	95	0.015
Mensual	2.447	TSC	95	0.017	2.715	TSC	99	0.017
Jun.	4.031	TSC	99	0.033	4.101	TSC	99	0.033
Jul.	3.192	TSC	99	0.030	3.425	TSC	99	0.033
Ago.	2.750	TSC	99	0.028	2.703	TSC	99	0.026
Sep.	3.903	TSC	99	0.033	3.495	TSC	99	0.034

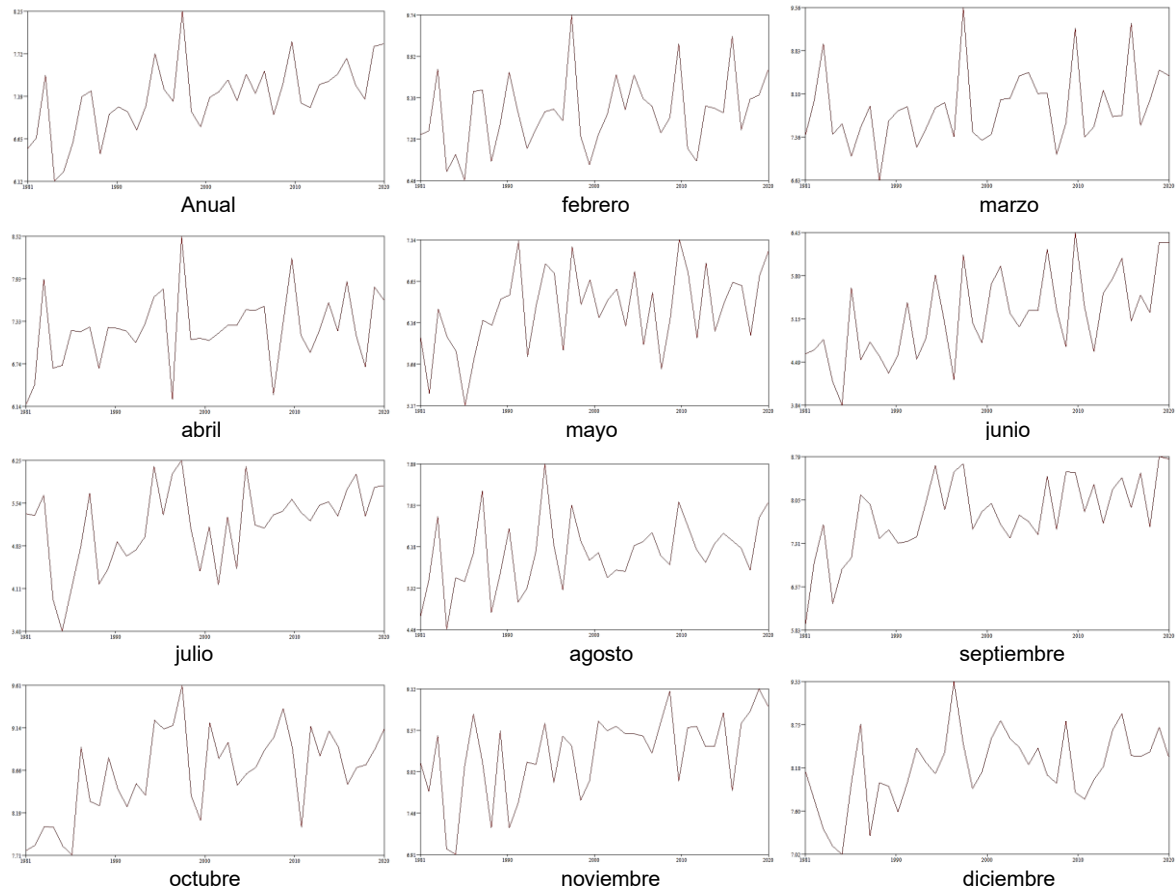
Periodo	Estación A-1				Estación A-2			
	Z	Significancia	NC-MK (%)	Q (mm/año)	Z	Significancia	NC-MK (%)	Q (mm/año)
Oct.	3.297	TSC	99	0.025	3.239	TSC	99	0.022
Nov.	3.623	TSC	99	0.023	3.262	TSC	99	0.022
Dic.	2.808	TSC	99	0.019	2.901	TSC	99	0.021
Estacional Húmedo	2.61	TSC	99	0.017	2.924	TSC	99	0.020
Seco	4.66	TSC	99	0.027	4.684	TSC	99	0.026

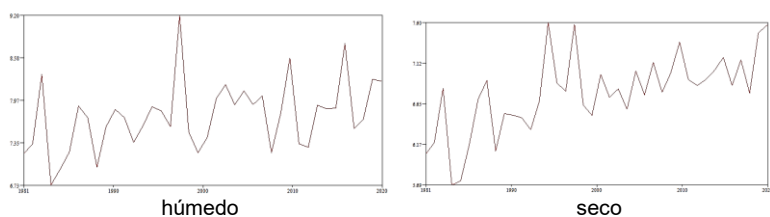
Nota. Resultados de valor Z obtenidos mediante el Software TREND v.1.0.2. (Ver Anexo 8) y valor Q mediante la ecuación 1 y 2. La celda de color verde son resultados obtenidos a un nivel de confianza de la prueba de Mann-Kendall (NC-MK) por encima del 95%. El valor positivo de Z señala que la tendencia se incrementa y su valor negativo, una disminución.

Asimismo, en las siguientes figuras, se muestran las gráficas de tendencias de la temperatura media anual, mensual y estacional en la estación A-1 y A-2 que resultaron ser crecientes y a su vez estadísticamente significativa.

Figura 32

Tendencia creciente estadísticamente significativa de la temperatura media anual, mensual y estacional en la estación A-1 (1981-2020)

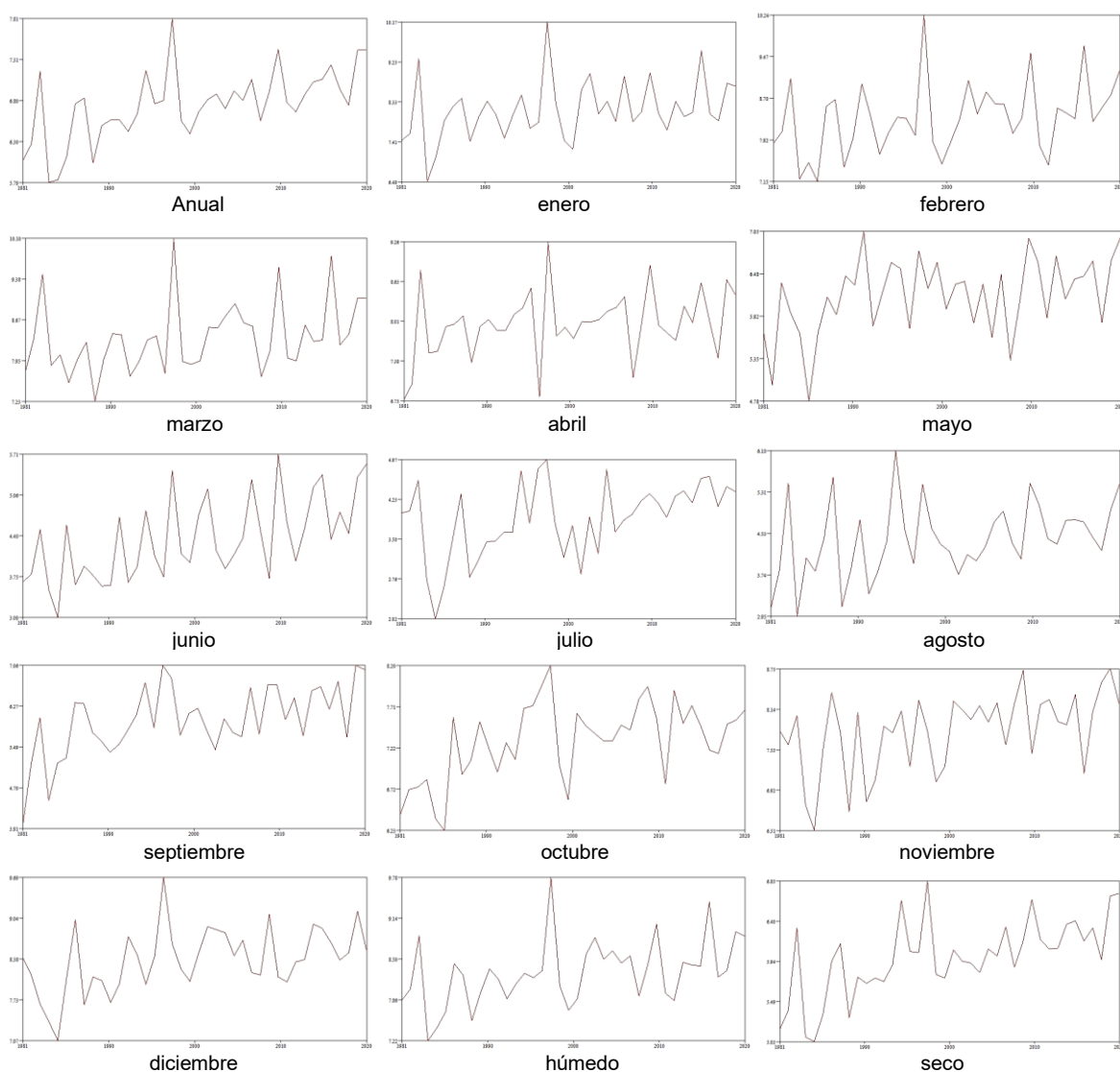




Nota. Resultados obtenidos mediante el Software TREND v.1.0.2. (Ver Anexo 8).

Figura 33

Tendencia creciente estadísticamente significativa de la temperatura media anual, mensual y estacional en la estación A-2 (1981-2020)



Nota. Resultados obtenidos mediante el Software TREND v.1.0.2. (Ver Anexo 8).

4.1.4.2 Discusión de resultados.

4.1.4.2.1 *Variación estacional de la temperatura media.*

Para el periodo 1981-2020, la estación A-2 presenta una temperatura media multianual de 6.75 °C, y la estación A-1, ubicada a una mayor altitud que A-2, de 7.17 °C. Estos resultados señalan que, a altitudes mayores, la temperatura media aumenta. Estos hallazgos se asemejan con los resultados de Vicente-Serrano et al. (2018), en cuya investigación enfocada a evaluar los cambios de las temperaturas máximas y mínimas del aire en el Perú (1964-2014), reportan que las temperaturas máximas del aire presentan un incremento ligeramente mayor que las temperaturas mínimas, de los cuales se puede esperar una elevación (aunque baja) de las tendencias de la temperatura media del aire, siendo preciso indicar que dichos autores no especifican si existe una dependencia de la temperatura media con la altitud.

4.1.4.2.2 *Tendencia de la temperatura media.*

La temperatura media, con un nivel de confianza (NC) del 99%, evidencia tendencia significativa creciente a escala anual en ambas estaciones (A-1 y A-2) desde 1981 a 2020, siendo la magnitud de la tendencia en la estación A-1 de 0.023°C/año; mientras que en la estación A-2, de 0.026°C/año. En cuanto a la escala estacional, se mostraron tendencias significativas crecientes de la temperatura media con NC del 99% en ambas estaciones, con magnitudes de incremento en la estación A-1 de 0.017°C/año y 0.027°C/año para época húmeda y seca respectivamente; mientras que en la estación A-2, se obtuvo 0.020°C/año y 0.026°C/año para época húmeda y seca respectivamente. En referencia a la escala mensual, a un NC superior al 95%, se obtuvieron tendencias significativas de incremento de la temperatura media en todos meses (a excepción de enero en A-1) con magnitudes ascendentes de tendencias que oscilan entre 0.015°C/año a 0.033°C/año en A-1, y 0.015°C/año a 0.034°C/año en A-2. Por otro lado, si bien para los demás meses no

se encontraron tendencias significativas, es preciso indicar que todas ellas fueron de incremento.

Estos resultados son similares a los hallazgos encontrados por Vicente-Serrano et al. (2018), los cuales indican que la temperatura media del aire, tanto en la serie mensual y anual, mostraron en general, en la mayor parte del Perú, una tendencia creciente significativa para el período 1964 – 2014. Si bien en el mes de enero se obtuvo una tendencia creciente no significativa ($Z < 1.96$), esto posiblemente puede deberse a factores locales como la topografía (relieve moderadamente montañoso y pendiente empinada) del área de estudio y la presencia de bofedales, los cuales pudieron haber regulado la temperatura del área de estudio.

4.2 Evaluación del comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago

El comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago se evaluó mediante la estimación del balance hídrico superficial para el periodo 1981-2020. Asimismo, se analizó el comportamiento del caudal obtenido en cada una de las estaciones (E-1, E-9, E-11 y E-16) durante el periodo 2015-2019.

4.2.1 Estimación del balance hídrico superficial (1981-2020)

4.2.1.1 Resultados.

En las siguientes tablas, se muestran los valores de la evapotranspiración real de las estaciones A-1 y A-2, calculada a partir de la fórmula de Turc para el periodo 1981-2020, así como el balance hídrico superficial.

Respecto a la evapotranspiración real, se observa que la evapotranspiración real mensual en A-1 varía entre 0.12mm a 185.31mm, siendo la evapotranspiración real anual

de 804.78mm; por otra parte, la evapotranspiración real mensual en A-2 oscila entre 1.38mm a 149.87mm siendo la pérdida de agua anual de 589.16mm.

En cuanto al balance hídrico, se muestran los valores del balance hídrico superficial de las estaciones A-1 y A-2, en donde se observa que la pérdida de agua mensual en A-1 varía entre -3.38mm a 2.91mm siendo la pérdida de agua anual de -8.79mm; por otra parte, la pérdida de agua mensual en A-2 oscila entre -2.89mm a -0.07mm, siendo la pérdida de agua anual de -15.63mm.

Tabla 35

Balance hídrico superficial (1981-2020) en la estación A-1

Meses	T media	Precipitación	ETR	Pérdida agua
Enero	7.60	170.72	169.77	0.95
Febrero	7.80	188.22	185.31	2.91
Marzo	7.86	157.98	158.62	-0.64
Abril	7.22	61.87	64.67	-2.80
Mayo	6.31	8.17	8.61	-0.44
Junio	5.18	0.74	0.78	-0.04
Julio	5.18	0.11	0.12	-0.01
Agosto	6.04	2.47	2.60	-0.13
Setiembre	7.80	15.36	16.18	-0.82
Octubre	8.64	39.24	41.25	-2.01
Noviembre	8.26	48.25	50.63	-2.38
Diciembre	8.18	102.86	106.24	-3.38
Total				-8.79

Nota. Elaboración propia.

Tabla 36

Balance hídrico superficial (1981-2020) en la estación A-2

Meses	T media	Precipitación	ETR	Pérdida agua
Enero	8.14	148.21	149.87	-1.66
Febrero	8.32	130.39	133.15	-2.76
Marzo	8.35	128.31	131.17	-2.86
Abril	7.96	37.22	39.12	-1.90
Mayo	6.19	3.38	3.56	-0.18
Junio	4.34	1.31	1.38	-0.07
Julio	3.87	1.53	1.61	-0.08

Meses	T media	Precipitación	ETR	Pérdida agua
Agosto	4.41	3.36	3.54	-0.18
Setiembre	6.00	9.34	9.84	-0.50
Octubre	7.30	25.01	26.33	-1.32
Noviembre	7.81	23.14	24.36	-1.22
Diciembre	8.36	62.33	65.22	-2.89
Total				-15.63

Nota. Elaboración propia.

4.2.1.2 Discusión de resultados.

En el balance hídrico superficial de las tablas 34 y 35 realizado para el periodo 1981-2020, se evidencian en la mayoría de los meses, un balance hídrico negativo en las dos estaciones (A-1 y A-2) que fluctúan entre -3.38mm a 2.91mm en A-1, y -2.89mm a -0.07mm en A-2, siendo la pérdida de agua anual de -8.79mm en A-1 y -15.63mm en A-2. Este resultado de disminución del agua es concordante con los resultados de Cruz (2022), quien realizó un balance hídrico para el periodo 2014-2015 en la microcuenca de la laguna de Piuray, Chincheros, Cusco, obteniendo como resultado un balance hídrico negativo con una pérdida que fluctúa entre 0.26 a 3.45mm al mes, y una pérdida de 20.44mm durante el año.

4.2.2 Comportamiento del caudal (periodo 2015-2019)

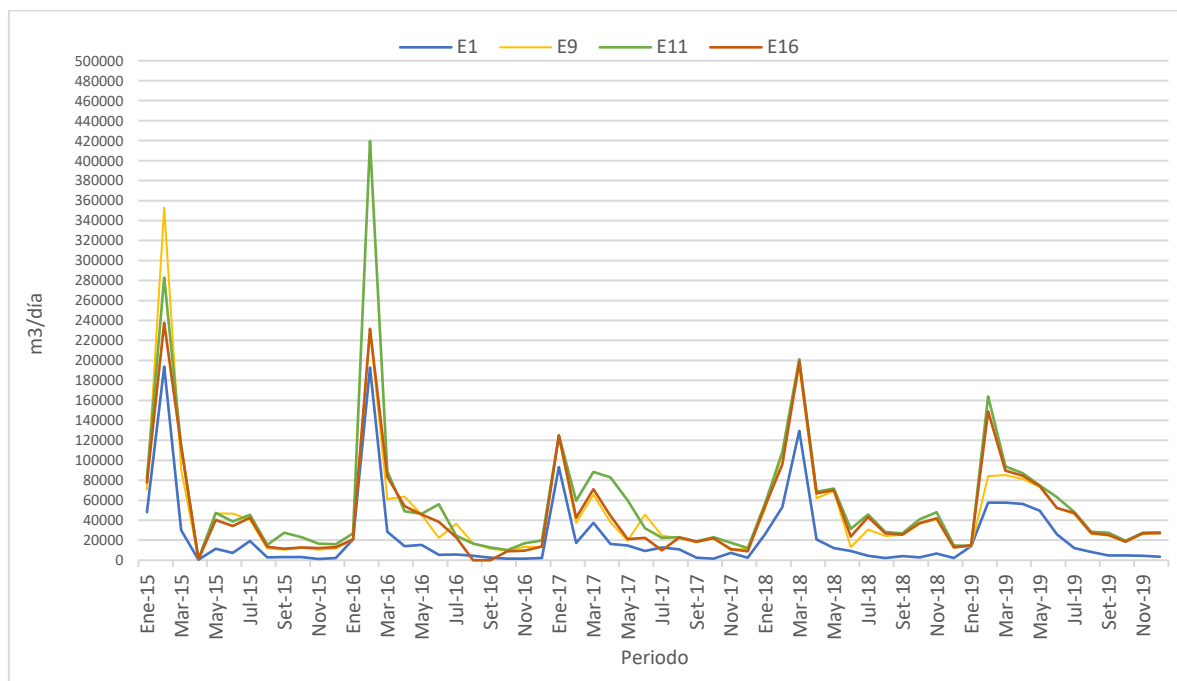
4.2.2.1 Resultados.

En el **Anexo 7** y en la siguiente figura, se muestra la serie de tiempo para del caudal para el periodo 2015 al 2019 en las cuatro estaciones, en donde se observan valores que oscilan de 525 (abril 2015) a 193795 m³/día (febrero 2015) en la estación E-1; 973.1(abril 2015) a 352987 m³/día (febrero 2015) en la estación E-9; 1278 (abril 2015) a 419696.64 m³/día (febrero 2016) en la estación E-11; y, 1048 (abril 2015) a 237622 m³/día (febrero 2015) en la estación E-16. De lo señalado, se observa que los picos de los caudales en las cuatro estaciones (E-1, E-9, E-11 y E-16) durante el periodo 2015 a 2019, suelen

concentrarse en gran medida en los meses de febrero (periodo húmedo). Asimismo, los comportamientos del caudal son casi idénticos en las estaciones E9, E11 y E16, mientras que E1 mantiene caudales ligeramente reducidos en comparación con las tres estaciones (E9, E11 y E16).

Figura 34

Serie de tiempo del caudal ($m^3/día$) mensual en las 4 estaciones de agua superficial

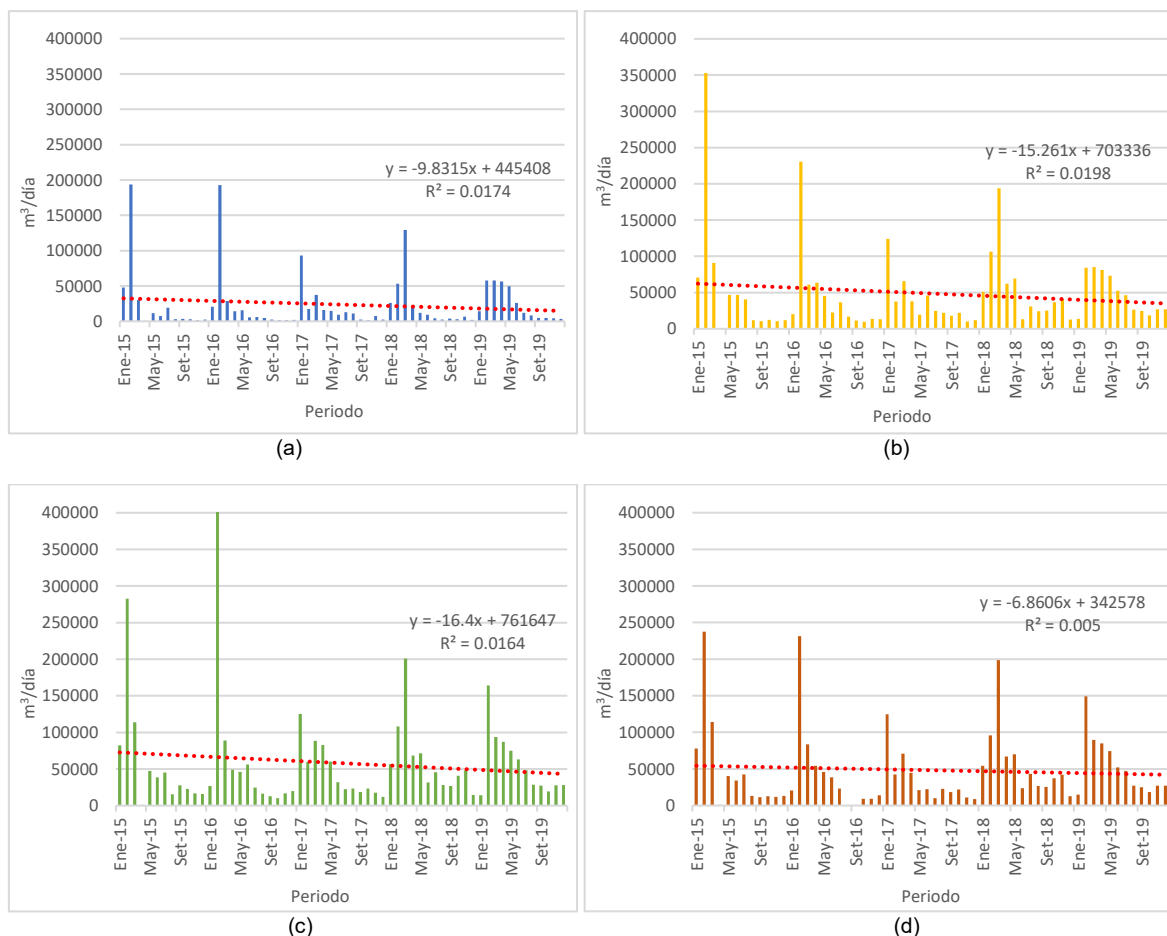


Nota. Elaboración propia. (Ver Anexo 7).

En cuanto a la tendencia del caudal, durante el periodo analizado (2015-2019), se presentó una tendencia decreciente de $-9.8315mm/año$ en la estación E-1, $-15.261mm/año$ en la estación E-9, $-16.4 mm/año$ en la estación E-11 y $-6.8606mm/año$ en la estación E-16.

Figura 35

Serie de tiempo de la temperatura del agua (°C) en las 4 estaciones de agua superficial



Nota. Tendencia de disminución progresiva del caudal en 4 estaciones durante el periodo 2015-2019.

^a Estación E1: -98.315 mm/década.

^b Estación E9: -152.61 mm/década.

^c Estación E11: -164 mm/década.

^d Estación E16: -68.606 mm/década.

4.2.2.2 Discusión de resultados.

De los resultados obtenidos, se muestra que los caudales diarios variaron desde menos de 20000 m³/día en época seca hasta picos por encima de los 400000 m³/día en época húmeda, esta última asociada principalmente a los meses de febrero. Esta situación evidencia que el comportamiento del caudal se ajusta con el periodo húmedo, respondiendo así, a la marcada estacionalidad de la precipitación del área de estudio.

Por otro lado, se observó que los comportamientos del caudal son casi idénticos entre las estaciones E9, E11 y E16 (aprox. entre 900 a 400 000 m³/día), mientras que E1

mantiene caudales ligeramente reducidos (aprox. entre 500 a 200 000 m³/día) en comparación con las otras tres estaciones. En tal sentido, se evidencia que los valores de caudales en la parte superior de la microcuenca tienen menores caudales a comparación de las estaciones ubicadas en la parte inferior. Este resultado es previsible, ya que a medida que se avanza por la cuenca (desde la parte superior hacia la parte inferior), se espera que se sumen aportes de agua (afluentes, escorrentía superficial, filtraciones subterráneas, etc.), esto hace que el caudal acumulado se incremente aguas abajo.

En cuanto a la tendencia del caudal, es preciso indicar durante el periodo 2015 a 2019, existe una tendencia de disminución progresiva del caudal en las 4 estaciones, que oscilan entre -68.606mm/década a -164mm/década. Esta tendencia de disminución es concordante a los resultados obtenidos por Quispe (2024), en donde el autor indica que de las 7 estaciones de monitoreo ubicadas en la central hidroeléctrica de Chijisia, distrito de Sandía, Puno, en 6 de ellas se obtuvieron tendencia decreciente de los caudales para el periodo 2016-2021; asimismo, menciona que la tendencia de reducción puede afectar a la calidad de los ríos dado que al fluir menos agua, se incrementa la concentración de contaminantes, y señala que según BBC (2009), esto puede estar atribuido al cambio climático, la gestión del agua, la deforestación, entre otros.

4.3 Evaluación del cumplimiento de los parámetros de campo del río Santiago respecto a los ECAs-agua

En el **Anexo 7** se muestra la base de datos de los parámetros de campo correspondiente a las estaciones E-1, E-9, E-11 y E-16 correspondientes al periodo 2015 al 2019, los cuales fueron tomados para evaluar el cumplimiento de los parámetros de campo del río Santiago respecto a los ECAs-agua vigente aprobado con D.S. N°004-2017-MINAM (categoría 3 y 4).

El total de mediciones obtenidos de los registros de monitoreo de agua superficial mensual realizadas in situ por un laboratorio acreditado a solicitud de una operación minera, considerando 4 estaciones de agua superficial, 4 parámetros de campo y el periodo 2015-2019, fue de 952, de los cuales 238 registros corresponden a cada parámetro de campo, y de este valor (238), 60 provienen de cada una de las estaciones E-1, E-9, E-11, y 58 de la estación E-16. En este contexto, de las 952 mediciones realizadas en las cuatro estaciones para temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad, 880 cumplieron los ECAs-agua, lo que representa un 92.4% de cumplimiento global en el período evaluado. En referencia a cada parámetro, el porcentaje de cumplimiento se especifica en los siguientes apartados.

4.3.1 Evaluación del cumplimiento de la temperatura del agua respecto al ECA-agua

En el **Anexo 7** y en la siguiente tabla, se muestran los valores para la temperatura del agua desde el año 2015 al 2019 en las cuatro estaciones, en donde el porcentaje de cumplimiento de la temperatura del agua fue de 77.31 % (184 de 238 mediciones) para la categoría 3 y 4 del ECA-agua. Por estación, los cumplimientos fueron: E1: 46.67%, E9: 91.67 %, E11: 90% y E16: 81.67 % para las categorías 3 y 4 del ECA-agua, observándose que los menores cumplimientos se concentraron principalmente en la estación E-1, el cual podría explicarse por el incremento de la temperatura del aire a medida que aumenta la altitud en la microcuenca, evidenciado en los resultados de la temperatura media del aire obtenidos en las estaciones climatológicas A-1: 7.17°C y A-2: 6.75 °C, donde A-1 se ubica a una mayor altitud de A-2. En tal sentido, en todas las estaciones, los valores de temperatura del agua cumplen parcialmente con las categorías 3 “Riego de vegetales y bebida de animales” ($\Delta 3$) y 4: “Conservación del ambiente acuático” ($\Delta 3$) del ECA-agua del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

Tabla 37

Comparativa de los valores de temperatura del agua (°C) y el ECA-agua en las 4 estaciones de agua superficial

Mes/año	E1	E9	E11	E16
Ene-15	11.6	10.1	8.6	8.7
Ene-16	14.3	11.4	9	9.8
Ene-17	16.7	10.9	6.8	9
Ene-18	6.2	12	11.9	13.2
Ene-19	4.7	17.2	16.1	15.9
T agua prom.	10.70	12.32	10.48	11.32
ECA-agua Cat.3 y 4 (Δ3)	7.7-13.7	9.32-15.32	7.48-13.48	8.32-14.32
Feb-15	13.5	12.2	12.5	12.3
Feb-16	13.5	8.2	8.2	7.1
Feb-17	17.9	13.5	13.3	11
Feb-18	6.3	11.5	10.1	10.5
Feb-19	10.1	14.1	8.9	10
T agua prom.	12.26	11.9	10.6	10.18
ECA-agua Cat.3 y 4 (Δ3)	9.26-15.26	8.9-14.9	7.6-13.6	7.18-13.18
Mar-15	11.8	16	14.2	14.6
Mar-16	17.9	12.6	10.1	11
Mar-17	9.4	8.7	7.9	8.1
Mar-18	10.3	7.5	6.9	6.9
Mar-19	7.5	10.2	11.5	10.8
T agua prom.	11.38	11	10.12	10.28
ECA-agua Cat.3 y 4 (Δ3)	8.38-14.38	8.0-14.0	7.12-13.12	7.28-13.28
Abr-15	14.3	7	6.4	6.5
Abr-16	12.8	9.2	8.3	8.1
Abr-17	14.6	8.8	8.6	9.2
Abr-18	6.5	12	10.6	11.5
Abr-19	4.1	9.5	9.9	10.2
T agua prom.	10.46	9.3	8.76	9.1
ECA-agua Cat.3 y 4 (Δ3)	7.46-13.46	6.3-12.3	5.76-11.76	6.1-12.1
May-15	12	8.6	7.3	7.7
May-16	13.4	10.6	6.5	9
May-17	5.9	10.6	9.8	10.7
May-18	7.8	12.2	10.9	13.1
May-19	9	9.7	9	9.4
T agua prom.	9.62	10.34	8.7	9.98
ECA-agua Cat.3 y 4 (Δ3)	6.62-12.62	7.34-13.34	5.7-11.7	6.98-12.98
Jun-15	12.1	7	5.3	4.8
Jun-16	7	11.7	10.9	12.6
Jun-17	12.4	10.8	4.7	7
Jun-18	7.4	6.2	5.1	1.5
Jun-19	1.9	12.1	9.7	6
T agua prom.	8.16	9.56	7.14	6.38
ECA-agua Cat.3 y 4 (Δ3)	5.16-11.16	6.56-12.56	4.14-10.14	3.38-9.38
Jul-15	9	10.8	7.5	10.9
Jul-16	0.5	7.5	8.7	8.3
Jul-17	2.9	7.9	2.6	1.9
Jul-18	1.1	12	11.6	11.9
Jul-19	7.7	7.9	8.6	9.5
T agua prom.	4.24	9.22	7.8	8.5
ECA-agua Cat.3 y 4 (Δ3)	1.24-7.24	6.22-12.22	4.8-10.8	5.5-11.5
Ago-15	9.5	6.4	4.2	1.8
Ago-16	13.3	7.3	4.9	-
Ago-17	7.6	9.1	5.3	4.5
Ago-18	9.5	15.6	15.8	15.8

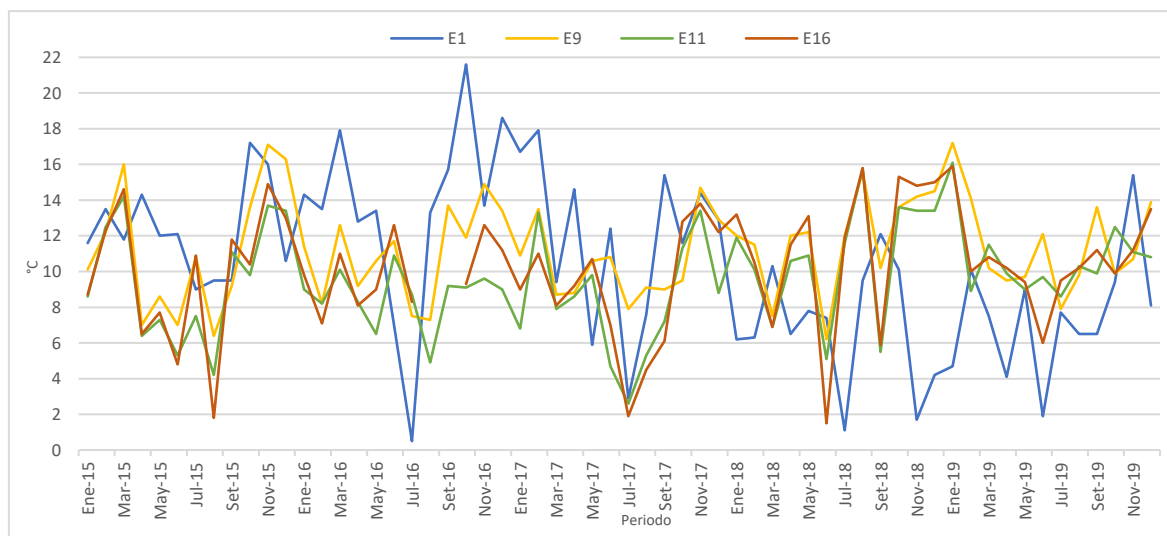
Mes/año	E1	E9	E11	E16
Ago-19	6.5	9.8	10.3	10.2
T agua prom.	9.28	9.64	8.1	8.08
ECA-agua Cat.3 y 4 ($\Delta 3$)	6.28-12.28	6.64-12.64	5.1-11.1	5.08-11.08
Set-15	9.5	9.2	11.1	11.8
Set-16	15.7	13.7	9.2	-
Set-17	15.4	9	7.2	6.1
Set-18	12.1	10.2	5.5	5.9
Set-19	6.5	13.6	9.9	11.2
T agua prom.	11.84	11.14	8.58	8.75
ECA-agua Cat.3 y 4 ($\Delta 3$)	8.84-14.84	8.14-14.14	5.58-11.58	5.75-11.75
Oct-15	17.2	13.6	9.8	10.4
Oct-16	21.6	11.9	9.1	9.3
Oct-17	11.6	9.5	11.3	12.8
Oct-18	10.1	13.6	13.6	15.3
Oct-19	9.4	9.9	12.5	9.9
T agua prom.	13.98	11.7	11.26	11.54
ECA-agua Cat.3 y 4 ($\Delta 3$)	10.98-16.98	8.7-14.7	8.26-14.26	8.54-14.54
Nov-15	16	17.1	13.7	14.9
Nov-16	13.7	14.9	9.6	12.6
Nov-17	14.4	14.7	13.4	13.8
Nov-18	1.7	14.2	13.4	14.8
Nov-19	15.4	10.7	11.1	11.2
T agua prom.	12.24	14.32	12.24	13.46
ECA-agua Cat.3 y 4 ($\Delta 3$)	9.24-15.24	11.32-17.32	9.24-15.24	10.46-16.46
Dic-15	10.6	16.3	13.4	13
Dic-16	18.6	13.4	9	11.2
Dic-17	12.9	12.9	8.8	12.2
Dic-18	4.2	14.5	13.4	15
Dic-19	8.1	13.9	10.8	13.5
T agua prom.	10.88	14.2	11.08	12.98
ECA-agua Cat.3 y 4 ($\Delta 3$)	7.88-13.88	11.2-17.2	8.08-14.08	9.98-15.98

Nota. Elaboración propia considerando datos del Anexo 7. Las celdas de color naranja indican el incumplimiento del ECA-agua Categoría 3 y 4.

Asimismo, en la siguiente figura, se observan valores que oscilan de 0.5 (julio 2016) a 21.6 °C (octubre 2016) en la estación E-1; 6.2 (junio 2018) a 17.2 °C (enero 2019) en la estación E-9; 2.6 (julio 2017) a 16.1 °C (enero 2019) en la estación E-11; y, 1.5 (junio 2018) a 15.9 °C (enero 2019) en la estación E-16. Del mismo modo, se señala que para el periodo 2015 al 2019, la temperatura del agua promedio en las estaciones E-1, E-9, E-11 y E-16 fueron de 10.4, 11.2, 9.6 y 10°C respectivamente.

Figura 36

Serie de tiempo de la temperatura del agua (°C) en las 4 estaciones de agua superficial



Nota. Elaboración propia considerando datos del Anexo 7.

4.3.2 Evaluación del cumplimiento del oxígeno disuelto respecto al ECA-agua

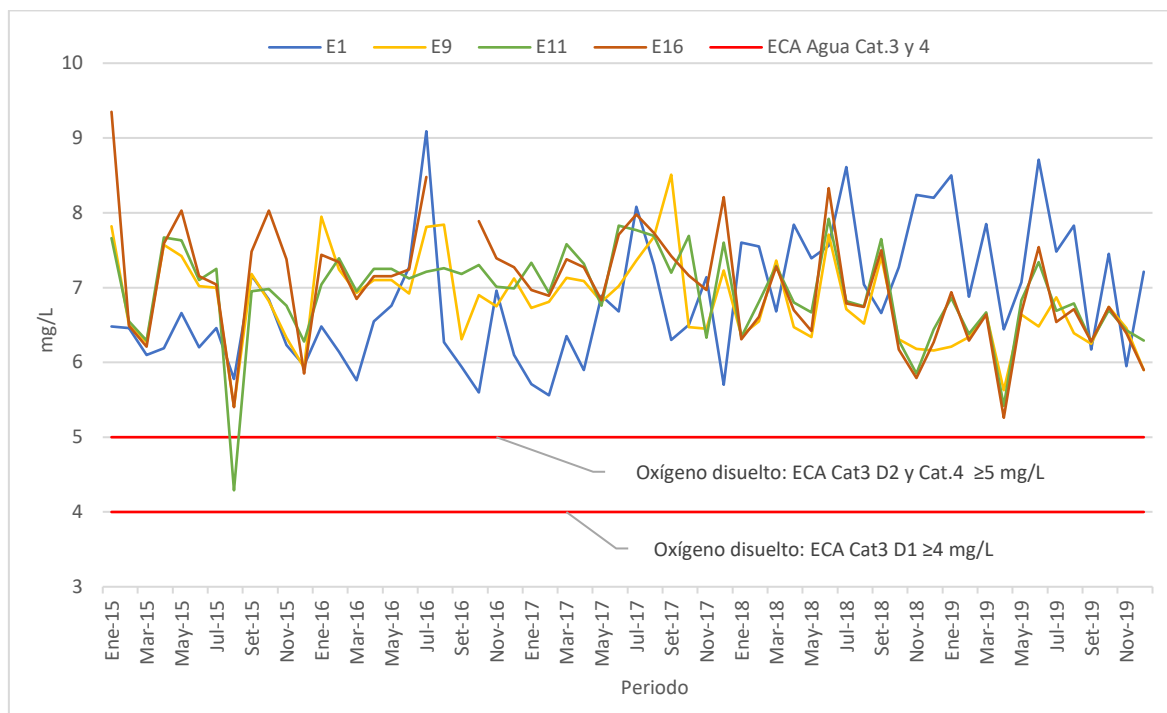
En el **Anexo 7** y en la siguiente figura, se muestran los valores para el oxígeno disuelto desde el año 2015 al 2019 en las cuatro estaciones, en donde el porcentaje de cumplimiento del oxígeno disuelto fue de 99.58 % (237 de 238 mediciones) para la categoría 3 y 4 del ECA-agua. Por estación, los cumplimientos fueron: E1: 100%, E9: 100 %, E11: 98.33% y E16: 100%. En tal sentido, en todas las estaciones (a excepción de agosto 2015 en E-11), los valores del oxígeno disuelto cumplen con las categorías 3 “Riego de vegetales y bebida de animales” ($\geq 4\text{mg/L}$ para D1 y $\geq 5\text{mg/L}$ para D2) y 4: “Conservación del ambiente acuático” ($\geq 5\text{mg/L}$) del ECA-agua del Decreto Supremo N.º004-2017-MINAM.

Asimismo, en la siguiente figura, se observan valores que oscilan de 5.56 (febrero 2017) a 9.09 mg/L (julio 2016) en la estación E-1; 5.41 (agosto 2015) a 8.51 mg/L (septiembre 2017) en la estación E-9; 4.29 (agosto 2015) a 7.92 mg/L (junio 2018) en la estación E-11; 5.26 (abril 2019) a 9.35 mg/L (enero 2015) en la estación E-16. Del mismo

modo, se señala que para el periodo 2015 al 2019, el oxígeno disuelto promedio en las estaciones E-1, E-9, E-11 y E-16 fueron de 6.86, 6.82, 6.93, y 7.03 mg/L respectivamente.

Figura 37

Serie de tiempo del oxígeno disuelto (mg/L) en las 4 estaciones de agua superficial



Nota. Elaboración propia considerando datos del Anexo 7.

4.3.3 Evaluación del cumplimiento del pH respecto al ECA-agua

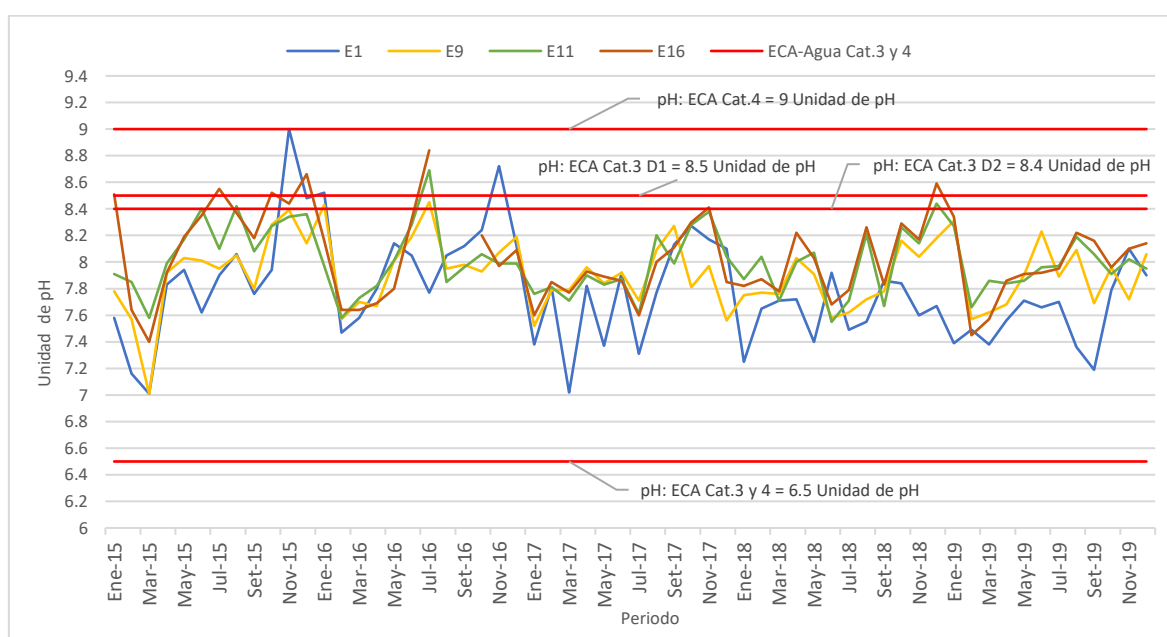
En el **Anexo 7**, se muestran la serie de tiempo para el pH desde el año 2015 al 2019 en las cuatro estaciones, en donde el porcentaje de cumplimiento del pH fue de 100% para la categoría 4; sin embargo, fue de 92.86 % (221 de 238 mediciones) para la categoría 3 del ECA-agua. Por estación, el cumplimiento fue del 100% por cada estación para la categoría 4; sin embargo, para la categoría 3 fueron de: E1: 93.33%, E9: 96.67 %, E11: 95% y E16: 83.33%. En tal sentido, en todas las estaciones, los valores del pH cumplen con las categorías 4: “Conservación del ambiente acuático” (6.5-9 Unidad de pH); sin embargo, se cumple parcialmente con la categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de

animales” (6.5-8.5 Unidad de pH para D1 y 6.5-8.4 Unidad de pH para D2) del ECA-agua del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

Asimismo, en la siguiente figura, se observan valores que oscilan de 7.01 (marzo 2015) a 9 unidades de pH (noviembre 2015) en la estación E-1; 7.01 (marzo 2015) a 8.45 unidades de pH (julio 2016) en la estación E-9; 7.55 (junio 2018) a 8.69 unidades de pH (julio 2016) en la estación E-11; y, 7.4 (marzo 2015) a 8.84 unidades de pH (julio 2016) en la estación E-16. Del mismo modo, se señala que para el periodo 2015 al 2019, el pH promedio en las estaciones E-1, E-9, E-11 y E-16 fueron de 7.78, 7.91, 8.0, 8.04 unidades de pH respectivamente.

Figura 38

Serie de tiempo del potencial de hidrógeno (Unidad de pH) en las 4 estaciones de agua superficial



Nota. Elaboración propia considerando datos del Anexo 7.

4.3.4 Evaluación del cumplimiento de la conductividad respecto al ECA-agua

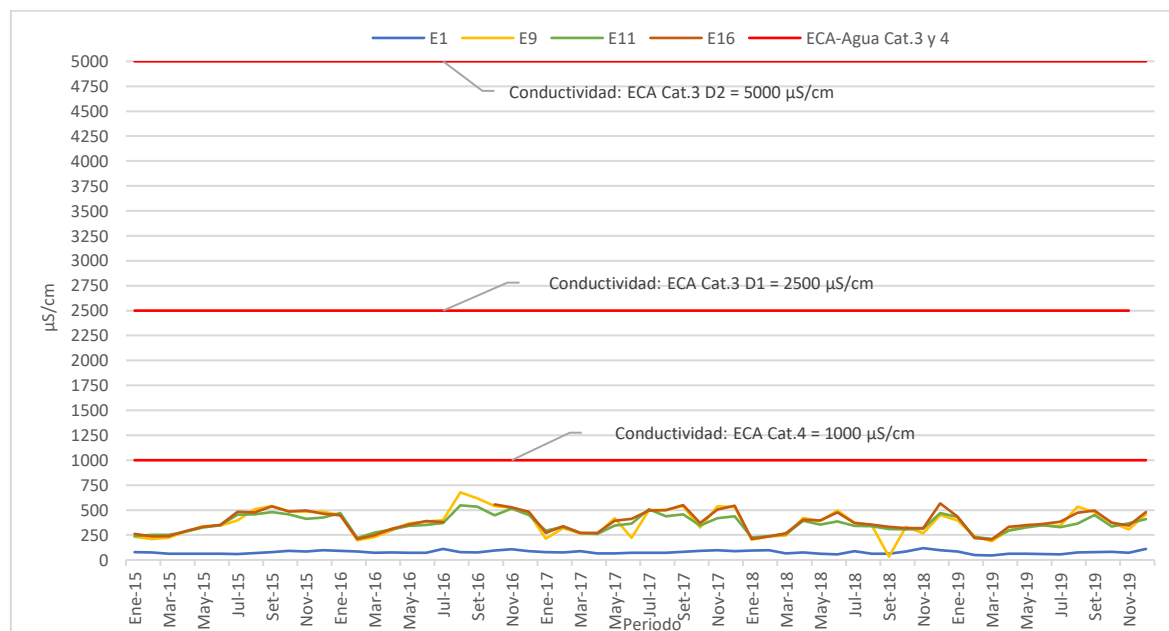
En el **Anexo 7** y en la siguiente figura, se muestran la serie de tiempo para la conductividad desde el año 2015 al 2019 en las cuatro estaciones, en donde el porcentaje

de cumplimiento del pH fue de 100% para la categoría 3 y 4 del ECA-agua. En tal sentido, en todas las estaciones, los valores del pH cumplen con las categorías 3 “Riego de vegetales y bebida de animales” (2500 $\mu\text{S/cm}$ para D1 y 5000 $\mu\text{S/cm}$ para D2) y 4: “Conservación del ambiente acuático” (1000 $\mu\text{S/cm}$) del ECA-agua del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

Asimismo, en la siguiente figura, se observan valores que oscilan de 44.8 (marzo 2019) a 118 $\mu\text{S/cm}$ (noviembre 2018) en la estación E-1; 32.7 (septiembre 2018) a 678 $\mu\text{S/cm}$ (agosto 2016) en la estación E-9; 211 (marzo 2019) a 547 $\mu\text{S/cm}$ (agosto 2016) en la estación E-11; y, 205 (marzo 2019) a 567 $\mu\text{S/cm}$ (diciembre 2018) en la estación E-16. Del mismo modo, se señala que para el periodo 2015 al 2019, la conductividad promedio en las estaciones E-1, E-9, E-11 y E-16 fueron de 77.23, 373.41, 361.94 y 382.07 $\mu\text{S/cm}$ respectivamente.

Figura 39

Serie de tiempo de la conductividad ($\mu\text{S/cm}$) en las 4 estaciones de agua superficial



Nota. Elaboración propia considerando datos del Anexo 7.

4.4 Evaluación de la relación entre el cambio climático, y la cantidad y calidad del agua del río Santiago

En las siguientes secciones se presentan los resultados de la estimación del balance hídrico superficial bajo escenarios de cambio climático según la IPCC (1.5°C y 2°C), así como la relación entre la temperatura del aire y precipitación con los parámetros de campo y caudal.

4.4.1 Estimación del balance hídrico superficial bajo escenarios de cambio climático según la IPCC (1.5°C y 2°C)

4.4.1.1 Resultados.

En la siguiente tabla, se muestran los datos de temperatura media mensual y precipitación mensual (1981-2020) que fueron empleados para la aplicación de la regresión lineal, a fin de estimar la ecuación lineal que será utilizada para la estimación de las precipitaciones, evapotranspiración real y balance hídrico cuando el calentamiento global sea $\Delta 1.5^{\circ}\text{C}$ y $\Delta 2^{\circ}\text{C}$.

Tabla 38

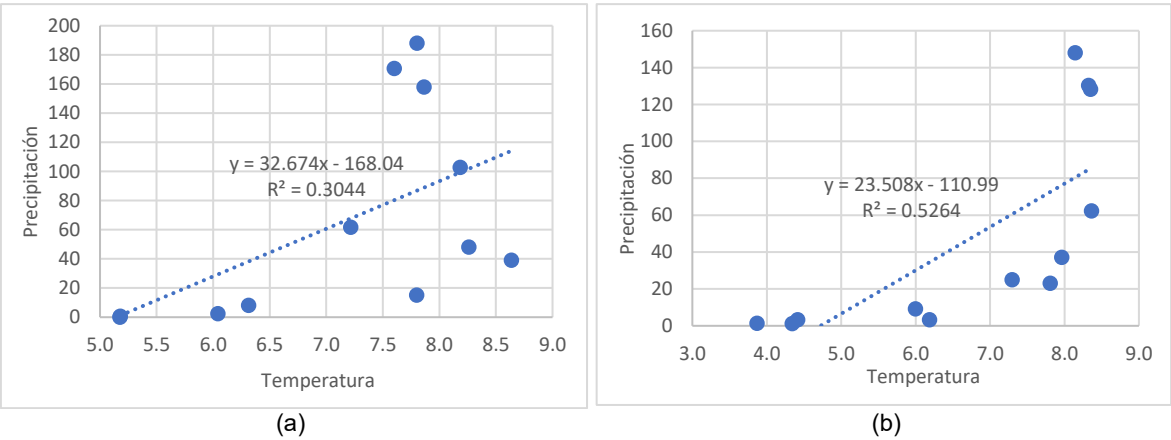
Temperatura media mensual y precipitación mensual (1981-2020)

Meses	A-1		A-2	
	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
Enero	7.60	170.72	8.14	148.21
Febrero	7.80	188.22	8.32	130.39
Marzo	7.86	157.98	8.35	128.31
Abril	7.22	61.87	7.96	37.22
Mayo	6.31	8.17	6.19	3.38
Junio	5.18	0.74	4.34	1.31
Julio	5.18	0.11	3.87	1.53
Agosto	6.04	2.47	4.41	3.36
Setiembre	7.80	15.36	6.00	9.34
Octubre	8.64	39.24	7.30	25.01
Noviembre	8.26	48.25	7.81	23.14
Diciembre	8.18	102.86	8.36	62.33

Nota. Elaboración propia.

Figura 40

Regresión lineal de la temperatura media mensual y precipitación mensual (1981-2020)



Nota. Regresión lineal entre temperatura media del aire y precipitación.
a Estación climatológica A-1: $r^2=30\%$; $r=0.55$; ecuación de regresión: $32.674x-168.04$; error estándar de estimaciones: 62mm de precipitación
b Estación climatológica A-2: $r^2=53\%$; $r=0.73$; ecuación de regresión: $23.508x-110.99$; error estándar de estimaciones: 40.5mm de precipitación.

Luego de la obtención de la ecuación lineal, en las siguientes tablas, se muestran los resultados de las estimaciones de las precipitaciones, evapotranspiración real y balance hídrico en las estaciones A-1 y A-2 para dos escenarios del cambio climático: escenario 1 (cuando el calentamiento global se incremente en 1.5°C) y escenario 2 (cuando el calentamiento global se incremente en 2°C) y su comparativa con el periodo 1981-2020.

Tabla 39

Estimación del balance hídrico superficial en la estación A-1 cuando el calentamiento global sea $\Delta 1.5^{\circ}\text{C}$ y $\Delta 2^{\circ}\text{C}$ y su comparativa con el periodo 1981-2020

Meses	Periodo 1981-2020				Calentamiento global de 1.5°C				Calentamiento global de 2°C			
	T media ($^{\circ}\text{C}$)	Precipitación (mm)	ETR (mm)	Pérdida de agua (mm)	T media ($^{\circ}\text{C}$)	Precipitación (mm)	ETR (mm)	Pérdida de agua (mm)	T media ($^{\circ}\text{C}$)	Precipitación (mm)	ETR (mm)	Pérdida de agua (mm)
Enero	7.60	170.72	169.77	0.95	9.10	129.36	132.55	-3.20	9.60	145.70	148.53	-2.84
Febrero	7.80	188.22	185.31	2.91	9.30	135.90	138.97	-3.07	9.80	152.23	154.88	-2.65
Marzo	7.86	157.98	158.62	-0.64	9.36	137.91	140.94	-3.03	9.86	154.25	156.83	-2.59
Abril	7.22	61.87	64.67	-2.80	8.72	116.80	120.16	-3.36	9.22	133.14	136.27	-3.13
Mayo	6.31	8.17	8.61	-0.44	7.81	87.27	90.58	-3.31	8.31	103.61	107.02	-3.41
Junio	5.18	0.74	0.78	-0.04	6.68	50.25	52.65	-2.40	7.18	66.58	69.50	-2.91

Meses	Periodo 1981-2020				Calentamiento global de 1.5 °C				Calentamiento global de 2 °C			
	T media (°C)	Precipitación (mm)	ETR (mm)	Pérdida de agua (mm)	T media (°C)	Precipitación (mm)	ETR (mm)	Pérdida de agua (mm)	T media (°C)	Precipitación (mm)	ETR (mm)	Pérdida de agua (mm)
Julio	5.18	0.11	0.12	-0.01	6.68	50.09	52.48	-2.40	7.18	66.42	69.33	-2.91
Agosto	6.04	2.47	2.60	-0.13	7.54	78.41	81.59	-3.18	8.04	94.75	98.13	-3.38
Setiembre	7.80	15.36	16.18	-0.82	9.30	135.79	138.86	-3.07	9.80	152.12	154.78	-2.65
Octubre	8.64	39.24	41.25	-2.01	10.14	163.18	165.46	-2.28	10.64	179.52	181.14	-1.62
Noviembre	8.26	48.25	50.63	-2.38	9.76	150.88	153.57	-2.69	10.26	167.22	169.35	-2.13
Diciembre	8.18	102.86	106.24	-3.38	9.68	148.36	151.12	-2.76	10.18	164.70	166.92	-2.22
	795.99	804.78	-8.79		1384.20	1418.94	-34.74		1580.24	1612.68	-32.44	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 40

Estimación del balance hídrico superficial en la estación A-2 cuando el calentamiento global sea $\Delta 1.5^{\circ}\text{C}$ y $\Delta 2^{\circ}\text{C}$ y su comparativa con el periodo 1981-2020

Meses	Periodo 1981-2020				Calentamiento global de 1.5 °C				Calentamiento global de 2 °C			
	T media (°C)	Precipitación (mm)	ETR (mm)	Pérdida de agua (mm)	T media (°C)	Precipitación (mm)	ETR (mm)	Pérdida de agua (mm)	T media (°C)	Precipitación (mm)	ETR (mm)	Pérdida de agua (mm)
Enero	8.14	148.21	149.87	-1.66	9.64	115.72	119.41	-3.70	10.14	127.47	131.18	-3.71
Febrero	8.32	130.39	133.15	-2.76	9.82	119.95	123.66	-3.71	10.32	131.71	135.40	-3.70
Marzo	8.35	128.31	131.17	-2.86	9.85	120.56	124.27	-3.71	10.35	132.31	136.01	-3.69
Abril	7.96	37.22	39.12	-1.90	9.46	111.43	115.11	-3.68	9.96	123.19	126.90	-3.71
Mayo	6.19	3.38	3.56	-0.18	7.69	69.73	72.76	-3.03	8.19	81.48	84.79	-3.31
Junio	4.34	1.31	1.38	-0.07	5.84	26.33	27.70	-1.37	6.34	38.08	40.00	-1.92
Julio	3.87	1.53	1.61	-0.08	5.37	15.19	16.00	-0.81	5.87	26.94	28.35	-1.40
Agosto	4.41	3.36	3.54	-0.18	5.91	28.03	29.48	-1.45	6.41	39.78	41.77	-1.99
Setiembre	6.00	9.34	9.84	-0.50	7.50	65.22	68.13	-2.91	8.00	76.98	80.19	-3.21
Octubre	7.30	25.01	26.33	-1.32	8.80	95.83	99.38	-3.55	9.30	107.59	111.24	-3.66
Noviembre	7.81	23.14	24.36	-1.22	9.31	107.82	111.48	-3.66	9.81	119.58	123.28	-3.71
Diciembre	8.36	62.33	65.22	-2.89	9.86	120.87	124.58	-3.71	10.36	132.63	136.32	-3.69
	573.53	589.16	-15.63	996.68		1031.98	-35.30		1137.73	1175.43	-37.70	

Nota. Elaboración propia.

4.4.1.2 Discusión de resultados.

En el balance hídrico superficial de las tablas 39 y 40 realizado se evidencia que ante un incremento de la temperatura de 1.5°C (escenario 1), la evapotranspiración real anual aumenta en 614.15 mm y 442.82 mm en las estaciones A-1 y A-2 respectivamente; mientras que ante un incremento de 2°C (escenario 2), la evapotranspiración real anual se incrementa en 807.9mm (A-1) y 586.27 mm (A-2); los cuales generan balances hídricos negativos con pérdidas de agua en 25.95mm (A-1) y 19.67mm (A-2) ante el escenario 1, y 23.64mm (A-1) y 22.07 mm (A-2) ante el escenario 2, con respecto al balance hídrico del periodo 1981-2020, lo que evidencia la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago.

Estos resultados de aumento tanto de la evapotranspiración real y la pérdida de agua son concordantes con los resultados de Cruz (2022), que estimó que ante un escenario de un incremento de 1.5 °C y 2 °C de la temperatura, la evapotranspiración real anual aumentaría en 588.52 mm y 739.7 mm respectivamente, los cuales generarían un balance hídrico negativo de 19.84 mm y 20.76 mm, respectivamente.

Asimismo, indicar que la pérdida del agua evidencia la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago es concordante con lo indicado por los autores Suárez-Almiñana et al. (2021), los cuales manifiestan que, como efectos del cambio climático, se proyecta una disminución en los caudales, lo que implica una menor capacidad de dilución de cargas contaminantes afectando la calidad del agua a futuro. Del mismo modo, autores como Quispe (2024), indican que una tendencia decreciente de los caudales puede afectar a la calidad de los ríos dado que, al fluir menos agua, se incrementa la concentración de contaminantes.

4.4.2 Relación entre la temperatura del aire y los parámetros de campo-caudal

4.4.2.1 Resultados.

De acuerdo a la metodología descrita, mediante el uso del Programa IBM SPSS Statistics 27 se obtuvo los resultados de la aplicación de la prueba de normalidad a la serie de datos de la temperatura del aire (máxima, mínima, media), temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, conductividad y caudal del periodo 2015 al 2019, por cada punto de correlación: E-1, E-9, E-11 y E-16 (Ver **Anexo 10**). Asimismo, en dicho anexo se observan los valores del coeficiente de correlación y el valor sig. obtenidos con el uso del Programa SPSS, los cuales se integran en la siguiente tabla:

Tabla 41

Correlación entre temperaturas y parámetros de campo y caudal

ítem	Punto de correlación	Prueba de correlación	Pares de indicadores	Coeficiente de correlación	Valor sig. (bilateral)	N
1	E-1	Pearson	Temperatura máxima del aire y Temperatura del agua	0.226	0.082	60
2		Pearson	Temperatura máxima del aire y Oxígeno disuelto	-0.065	0.621	60
3		Pearson	Temperatura máxima del aire y pH	0.226	0.083	60
4		Pearson	Temperatura máxima del aire y Conductividad	0.447**	<0.001	60
5		Spearman	Temperatura máxima del aire y Caudal	-0.621**	<0.001	60
6		Spearman	Temperatura mínima del aire y Temperatura del agua	0.294*	0.022	60
7		Spearman	Temperatura mínima del aire y Oxígeno disuelto	-0.274*	0.034	60
8		Spearman	Temperatura mínima del aire y pH	-0.162	0.218	60
9		Spearman	Temperatura mínima del aire y Conductividad	0.197	0.131	60
10		Spearman	Temperatura mínima del aire y Caudal	0.446**	<0.001	60
11		Pearson	Temperatura media del aire y Temperatura del agua	0.481**	<0.001	60
12		Pearson	Temperatura media del aire y Oxígeno Disuelto	-0.367**	0.004	60
13		Pearson	Temperatura media del aire y pH	0.206	0.114	60
14		Pearson	Temperatura media del aire y Conductividad	0.343**	0.007	60
15		Spearman	Temperatura media del aire y Caudal	-0.046	0.727	60
16		Pearson	Temperatura del agua y Oxígeno Disuelto	-0.818**	<0.001	60
17		Pearson	Temperatura del agua y pH	0.445**	<0.001	60
18		Pearson	Temperatura del agua y Conductividad	-0.004	0.977	60
19		Spearman	Temperatura del agua y Caudal	-0.202	0.122	60
20	E-9	Pearson	Temperatura máxima del aire y Temperatura del agua	0.137	0.296	60
21		Pearson	Temperatura máxima del aire y Oxígeno disuelto	-0.051	0.697	60
22		Pearson	Temperatura máxima del aire y pH	0.321*	0.012	60
23		Pearson	Temperatura máxima del aire y Conductividad	0.501**	<0.001	60
24		Spearman	Temperatura máxima del aire y Caudal	-0.616**	<0.001	60
25		Spearman	Temperatura mínima del aire y Temperatura del agua	0.168	0.2	60
26		Spearman	Temperatura mínima del aire y Oxígeno disuelto	-0.042	0.752	60
27		Spearman	Temperatura mínima del aire y pH	-0.291*	0.024	60
28		Spearman	Temperatura mínima del aire y Conductividad	-0.563**	<0.001	60
29		Spearman	Temperatura mínima del aire y Caudal	0.448**	<0.001	60
30		Pearson	Temperatura media del aire y Temperatura del agua	0.298*	0.021	60
31		Pearson	Temperatura media del aire y Oxígeno Disuelto	-0.122	0.353	60
32		Pearson	Temperatura media del aire y pH	-0.048	0.716	60

ítem	Punto de correlación	Prueba de correlación	Pares de indicadores	Coefficiente de correlación	Valor sig. (bilateral)	N
33		Pearson	Temperatura media del aire y Conductividad	-0.151	0.249	60
34		Spearman	Temperatura media del aire y Caudal	-0.051	0.701	60
35		Pearson	Temperatura del agua y Oxígeno Disuelto	-0.52**	<0.001	60
36		Pearson	Temperatura del agua y pH	1	0.446	60
37		Pearson	Temperatura del agua y Conductividad	0.08	0.543	60
38		Spearman	Temperatura del agua y Caudal	-0.152	0.247	60
39		Pearson	Temperatura máxima del aire y Temperatura del agua	0.271*	0.036	60
40		Pearson	Temperatura máxima del aire y Oxígeno disuelto	-0.238	0.067	60
41		Pearson	Temperatura máxima del aire y pH	0.247	0.057	60
42		Pearson	Temperatura máxima del aire y Conductividad	0.351**	0.006	60
43		Spearman	Temperatura máxima del aire y Caudal	-0.468**	<0.001	60
44		Spearman	Temperatura mínima del aire y Temperatura del agua	0.153	0.244	60
45		Spearman	Temperatura mínima del aire y Oxígeno disuelto	-0.107	0.416	60
46		Spearman	Temperatura mínima del aire y pH	-0.368**	0.004	60
47		Spearman	Temperatura mínima del aire y Conductividad	-0.638**	<0.001	60
48	E-11	Spearman	Temperatura mínima del aire y Caudal	0.528**	<0.001	60
49		Pearson	Temperatura media del aire y Temperatura del agua	0.288*	0.026	60
50		Pearson	Temperatura media del aire y Oxígeno Disuelto	-0.235	0.070	60
51		Pearson	Temperatura media del aire y pH	-0.197	0.131	60
52		Pearson	Temperatura media del aire y Conductividad	-0.398**	0.002	60
53		Spearman	Temperatura media del aire y Caudal	0.256*	0.49	60
54		Pearson	Temperatura del agua y Oxígeno Disuelto	-0.413**	0.001	60
55		Pearson	Temperatura del agua y pH	0.275*	0.033	60
56		Pearson	Temperatura del agua y Conductividad	-0.146	0.267	60
57		Spearman	Temperatura del agua y Caudal	0.016	0.905	60
58		Pearson	Temperatura máxima del aire y Temperatura del agua	0.204	0.124	58
59		Pearson	Temperatura máxima del aire y Oxígeno disuelto	-0.1	0.454	58
60		Pearson	Temperatura máxima del aire y pH	0.211	0.112	58
61		Spearman	Temperatura máxima del aire y Conductividad	0.372**	0.004	58
62		Spearman	Temperatura máxima del aire y Caudal	-0.388**	0.003	58
63		Spearman	Temperatura mínima del aire y Temperatura del agua	0.099	0.458	58
64		Spearman	Temperatura mínima del aire y Oxígeno disuelto	-0.172	0.195	58
65		Spearman	Temperatura mínima del aire y pH	-0.432**	<0.001	58
66		Spearman	Temperatura mínima del aire y Conductividad	-0.660**	<0.001	58
67	E-16	Spearman	Temperatura mínima del aire y Caudal	0.490**	<0.001	58
68		Pearson	Temperatura media del aire y Temperatura del agua	0.235	0.076	58
69		Pearson	Temperatura media del aire y Oxígeno Disuelto	-0.223	0.092	58
70		Pearson	Temperatura media del aire y pH	-0.241	0.069	58
71		Spearman	Temperatura media del aire y Conductividad	-0.394**	0.002	58
72		Spearman	Temperatura media del aire y Caudal	0.237	0.073	58
73		Pearson	Temperatura del agua y Oxígeno Disuelto	-0.404**	0.002	58
74		Pearson	Temperatura del agua y pH	0.250	0.058	58
75		Spearman	Temperatura del agua y Conductividad	0.103	0.442	58
76		Spearman	Temperatura del agua y Caudal	-0.082	0.541	58

Nota. Resultados obtenidos mediante el Programa IBM SPSS Statistics 27. (Ver Anexo 10).

* $p < 0.05$. ** $p < 0.01$.

En la siguiente tabla se presenta de forma resumida, los coeficientes de correlación que fueron estadísticamente significativos a un nivel de significancia de 0.05 y 0.01.

Tabla 42

Correlación entre pares de indicadores (temperatura y parámetros de campo-caudal)

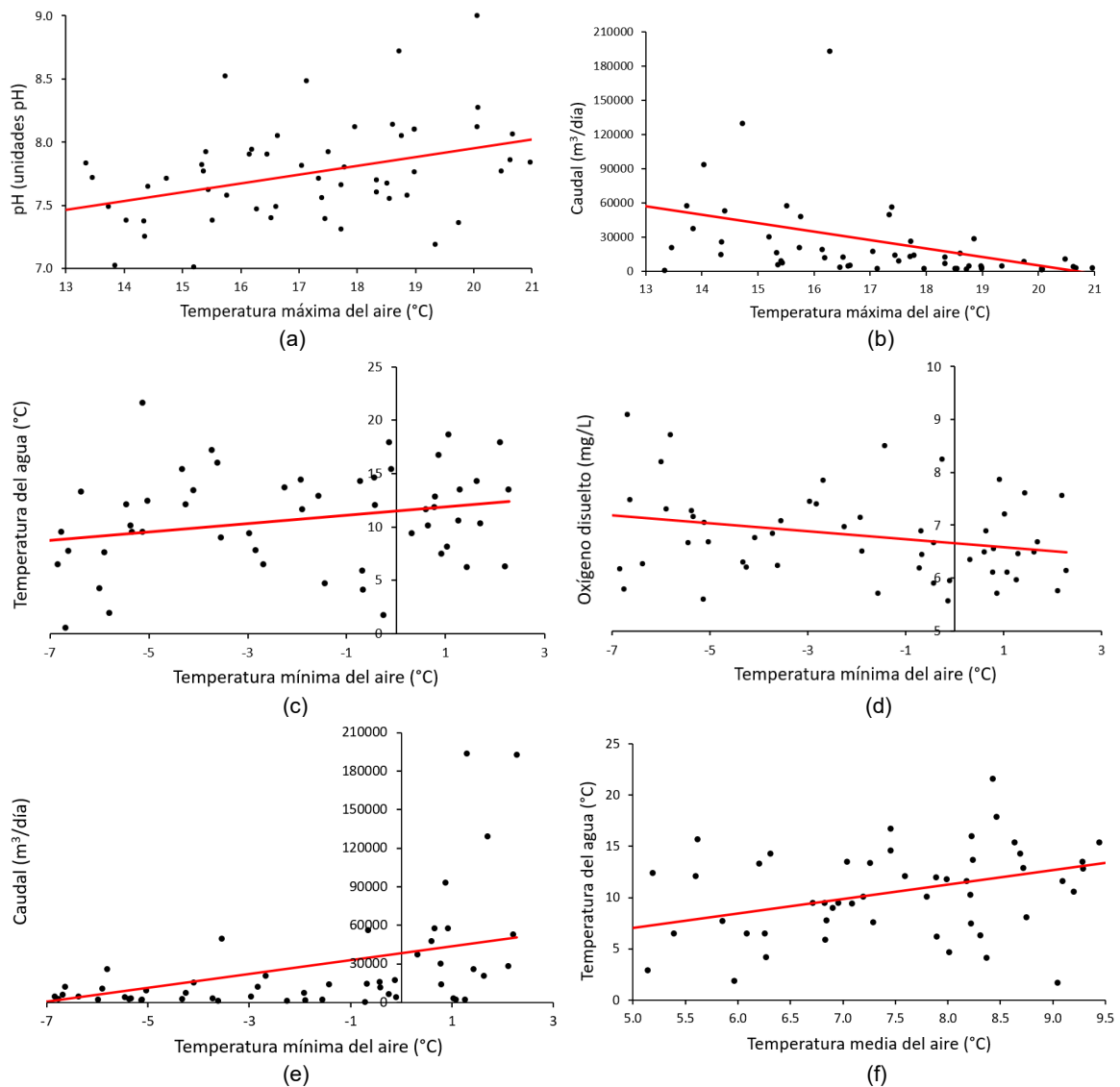
Ítem	Pares de indicadores	Punto de correlación E-1		Punto de correlación E-9		Punto de correlación E-11		Punto de correlación E-16	
		CC	Interpret.	CC	Interpret.	CC	Interpret.	CC	Interpret.
1	Temperatura máxima del aire y Temperatura del agua	-	-	-	-	0.271	Correlación débil positiva	-	-
2	Temperatura máxima del aire y Oxígeno disuelto	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Temperatura máxima del aire y pH	0.447	Correlación moderada positiva	0.321	Correlación débil positiva	-	-	-	-
4	Temperatura máxima del aire y Conductividad	-	-	0.501	Correlación moderada positiva	0.351	Correlación débil positiva	0.372	Correlación positiva baja
5	Temperatura máxima del aire y Caudal	-0.621	Correlación negativa moderada	-0.616	Correlación negativa moderada	-0.468	Correlación negativa moderada	-0.388	Correlación negativa baja
6	Temperatura mínima del aire y Temperatura del agua	0.294	Correlación positiva baja	-	-	-	-	-	-
7	Temperatura mínima del aire y Oxígeno disuelto	-0.274	Correlación negativa baja	-	-	-	-	-	-
8	Temperatura mínima del aire y pH	-	-	-0.291	Correlación negativa baja	-0.368	Correlación negativa baja	-0.432	Correlación negativa moderada
9	Temperatura mínima del aire y Conductividad	-	-	-0.563	Correlación negativa moderada	-0.638	Correlación negativa moderada	-0.66	Correlación negativa moderada
10	Temperatura mínima del aire y Caudal	0.446	Correlación positiva moderada	0.448	Correlación positiva moderada	0.528	Correlación positiva moderada	0.49	Correlación positiva moderada
11	Temperatura media del aire y Temperatura del agua	0.481	Correlación moderada positiva	0.298	Correlación débil positiva	0.288	Correlación positiva baja	-	-
12	Temperatura media del aire y Oxígeno Disuelto	-0.367	Correlación débil negativa	-	-	-	-	-	-
13	Temperatura media del aire y pH	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Temperatura media del aire y Conductividad	0.343	Correlación débil positiva	-	-	-0.398	Correlación negativa baja	-0.394	Correlación negativa baja
15	Temperatura media del aire y Caudal	-	-	-	-	0.256	Correlación positiva baja	-	-
16	Temperatura del agua y Oxígeno Disuelto	-0.818	Fuerte correlación negativa	-0.52	Correlación moderada negativa	-0.413	Correlación moderada negativa	-0.404	Correlación moderada negativa
17	Temperatura del agua y pH	0.445	Correlación moderada positiva	-	-	0.275	Correlación débil positiva	-	-
18	Temperatura del agua y Conductividad	-	-	-	-	-	-	-	-
19	Temperatura del agua y Caudal	-	-	-	-	-	-	-	-

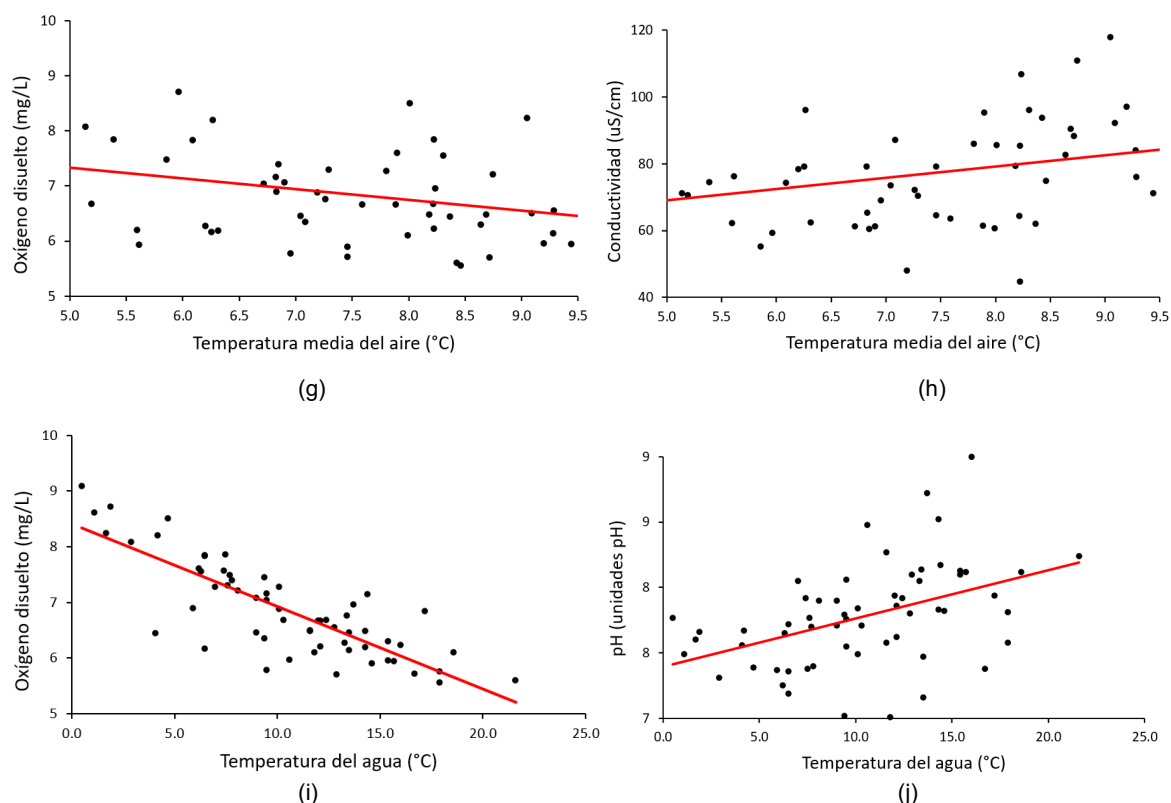
Nota. Resultados obtenidos mediante el Programa IBM SPSS Statistics 27. (Ver Anexo 10). Las celdas de color celeste indican que el coeficiente de correlación es de Pearson (r) el cual es estadísticamente significativa, mientras que las celdas de color verde indican que el coeficiente de correlación es de Rho de Spearman (ρ) y es estadísticamente significativa. CC = Coeficiente de correlación.

Asimismo, en las siguientes figuras se presentan los diagramas de dispersión de aquellos pares de indicadores que resultaron tener una correlación estadísticamente significativa.

Figura 41

Diagrama de dispersión entre pares de indicadores en punto de correlación E-1



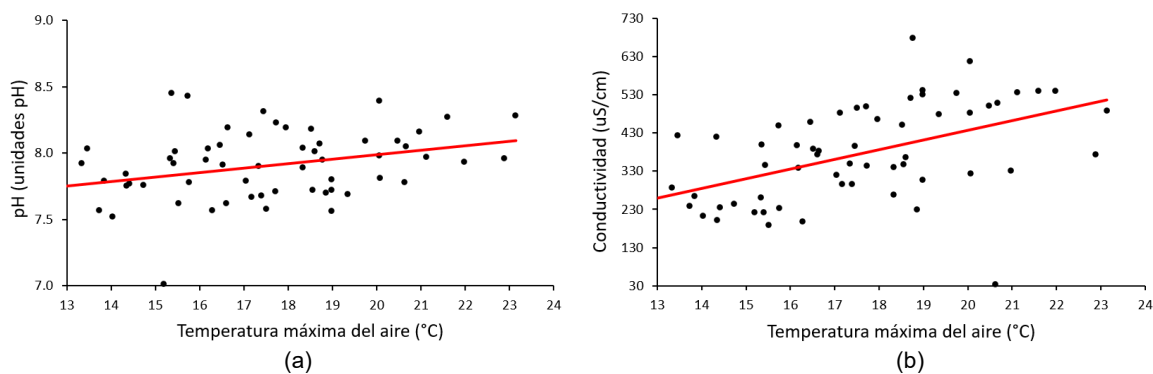


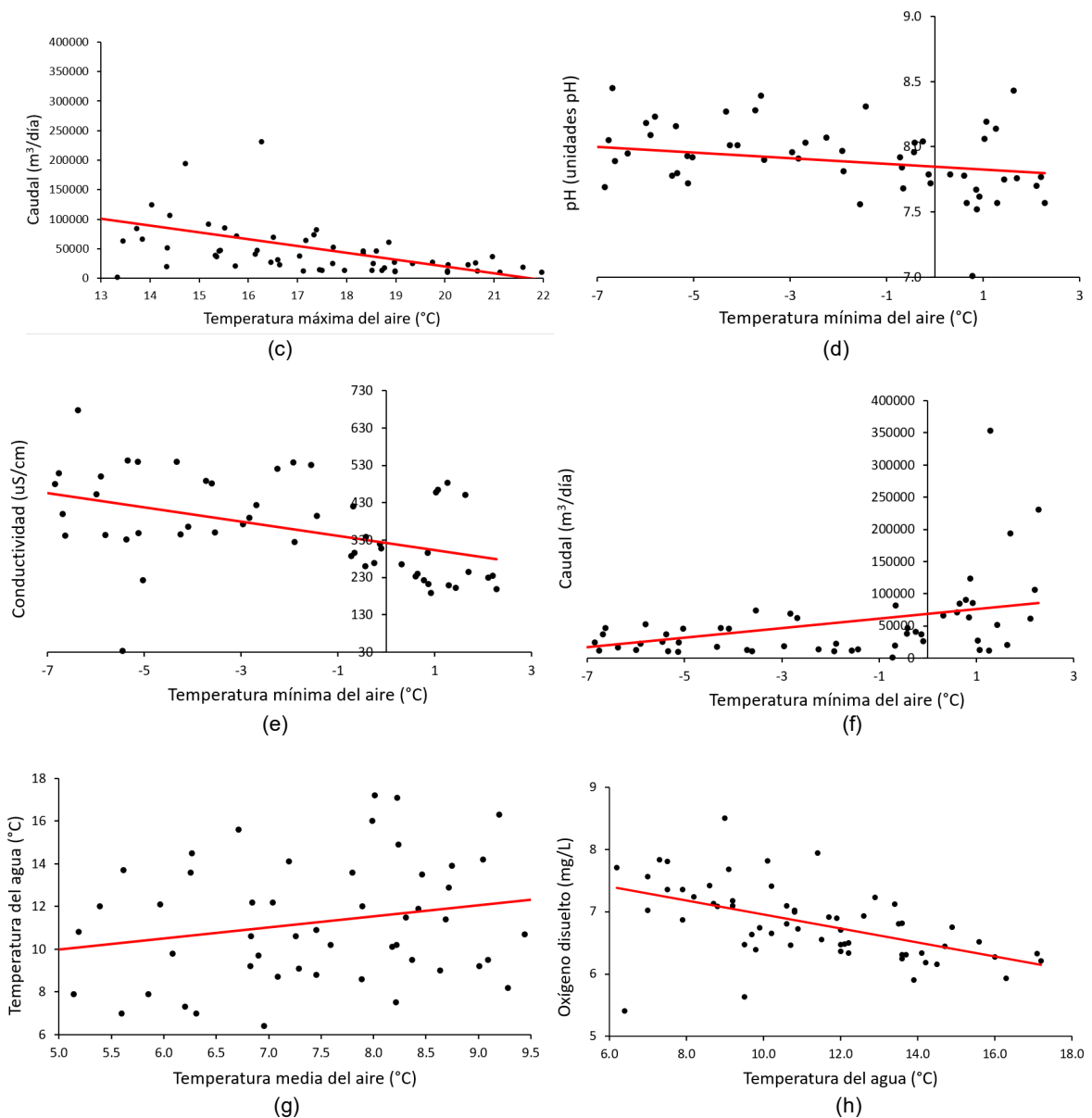
Nota. Los diagramas de dispersión indican la correlación entre pares de indicadores en el punto de correlación E-1.

- ^a Correlación entre temperatura máxima del aire y pH (correlación moderada positiva; $r = 0.447$)
- ^b Correlación entre temperatura máxima del aire y caudal (correlación negativa moderada; $r = -0.621$)
- ^c Correlación entre temperatura mínima del aire y temperatura del agua (correlación positiva baja; $r = 0.294$)
- ^d Correlación entre temperatura mínima del aire y oxígeno disuelto (correlación negativa baja; $r = -0.274$)
- ^e Correlación entre temperatura mínima del aire y caudal (correlación positiva moderada; $r = 0.446$)
- ^f Correlación entre temperatura media del aire y temperatura del agua (correlación moderada positiva; $r = 0.481$)
- ^g Correlación entre temperatura media del aire y oxígeno disuelto (correlación débil negativa; $r = -0.367$)
- ^h Correlación entre temperatura media del aire y conductividad (correlación débil positiva; $r = 0.343$)
- ⁱ Correlación entre temperatura del agua y oxígeno disuelto (fuerte correlación negativa; $r = -0.818$)
- ^j Correlación entre temperatura del agua y pH (correlación moderada positiva; $r = 0.445$)

Figura 42

Diagrama de dispersión entre pares de indicadores en punto de correlación E-9



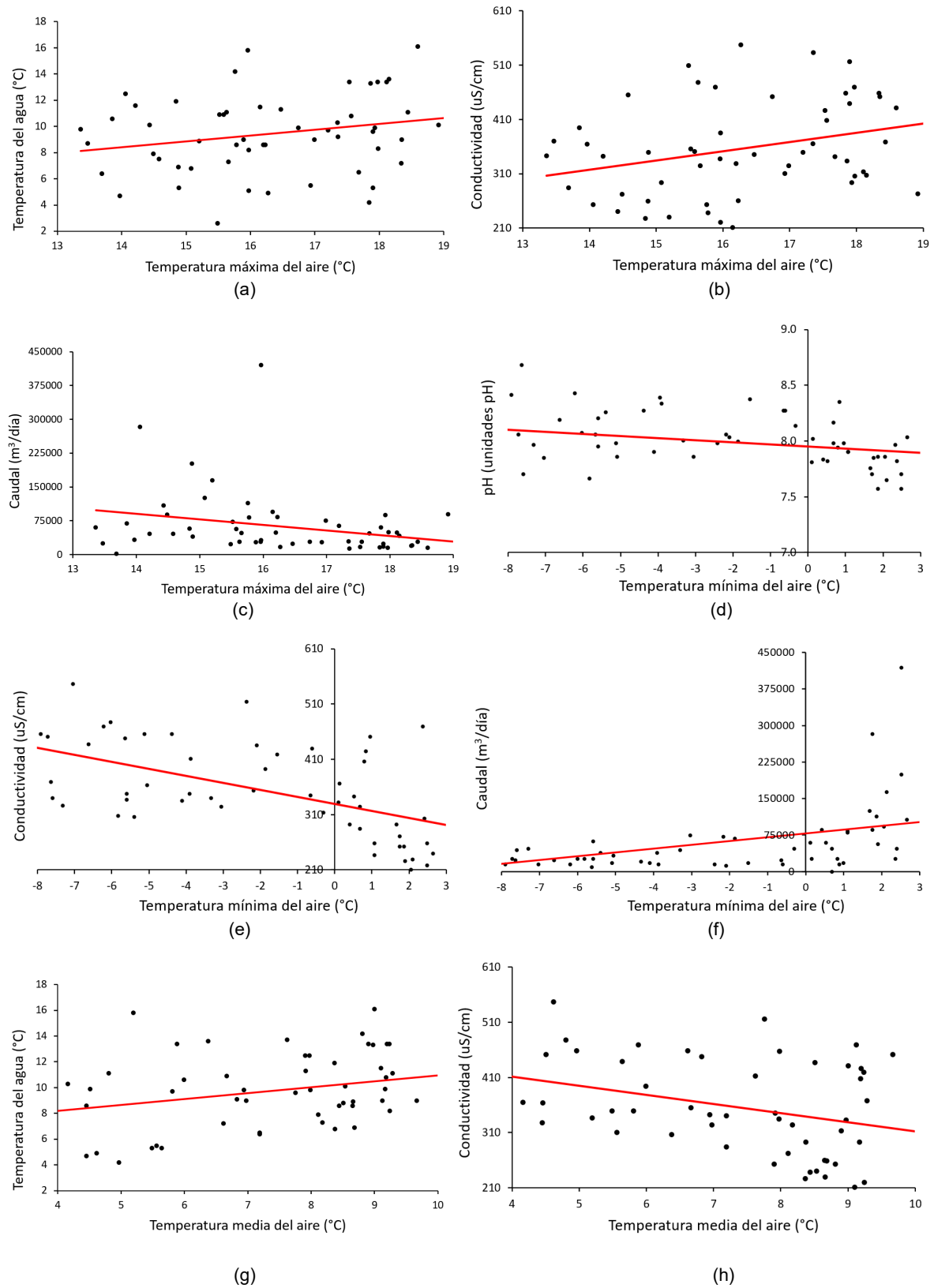


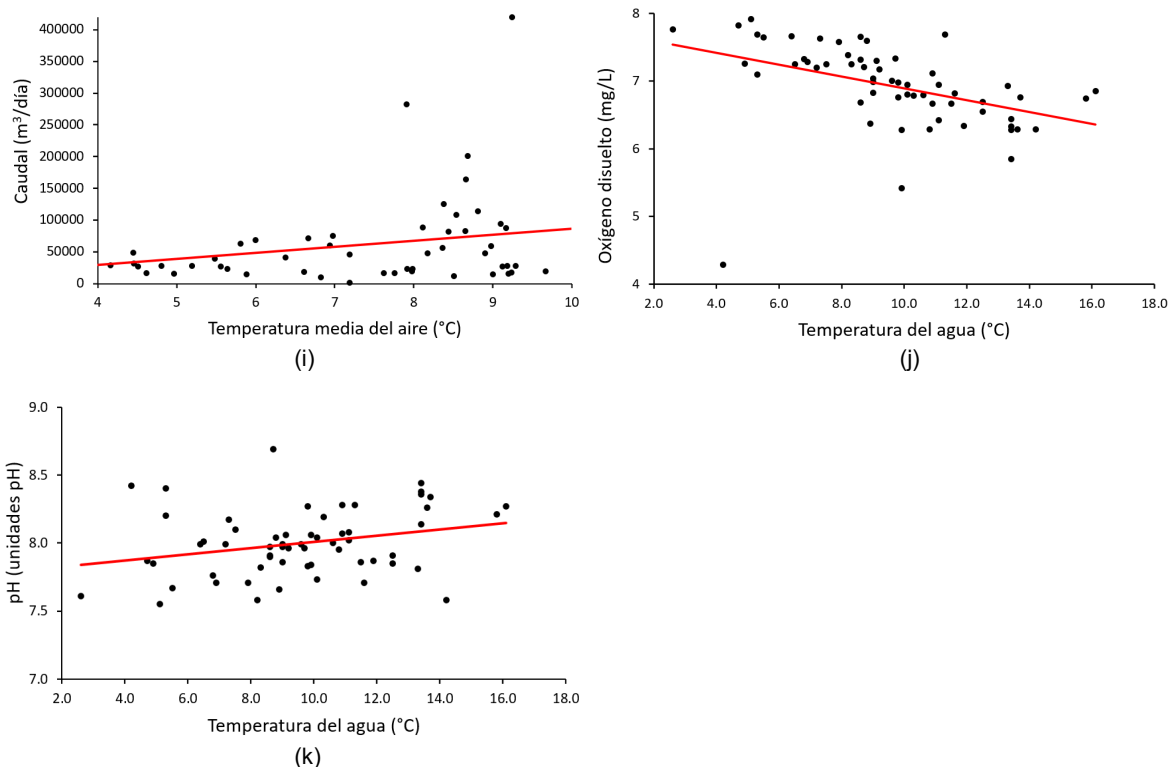
Nota. Los diagramas de dispersión indican la correlación entre pares de indicadores en el punto de correlación E-9.

- ^a Correlación entre temperatura máxima del aire y pH (correlación débil positiva; $r = 0.321$)
- ^b Correlación entre temperatura máxima del aire y conductividad (correlación moderada positiva; $r = 0.501$)
- ^c Correlación entre temperatura máxima del aire y caudal (correlación negativa moderada; $r = -0.616$)
- ^d Correlación entre temperatura mínima del aire y pH (correlación negativa baja; $r = -0.291$)
- ^e Correlación entre temperatura mínima del aire y conductividad (correlación negativa moderada; $r = -0.563$)
- ^f Correlación entre temperatura mínima del aire y caudal (correlación positiva moderada; $r = 0.448$)
- ^g Correlación entre temperatura media del agua y temperatura del agua (correlación débil positiva; $r = 0.298$)
- ^h Correlación entre temperatura del agua y oxígeno disuelto (correlación moderada negativa; $r = -0.52$)

Figura 43

Diagrama de dispersión entre pares de indicadores en punto de correlación E-11



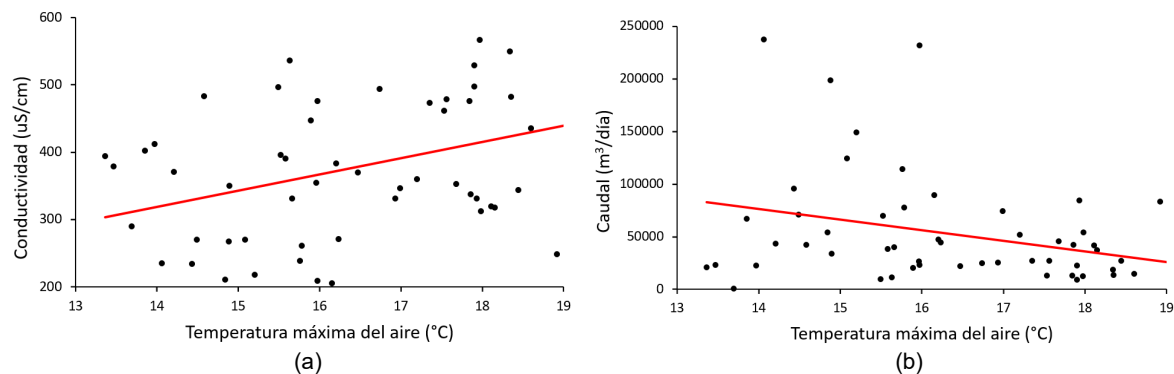


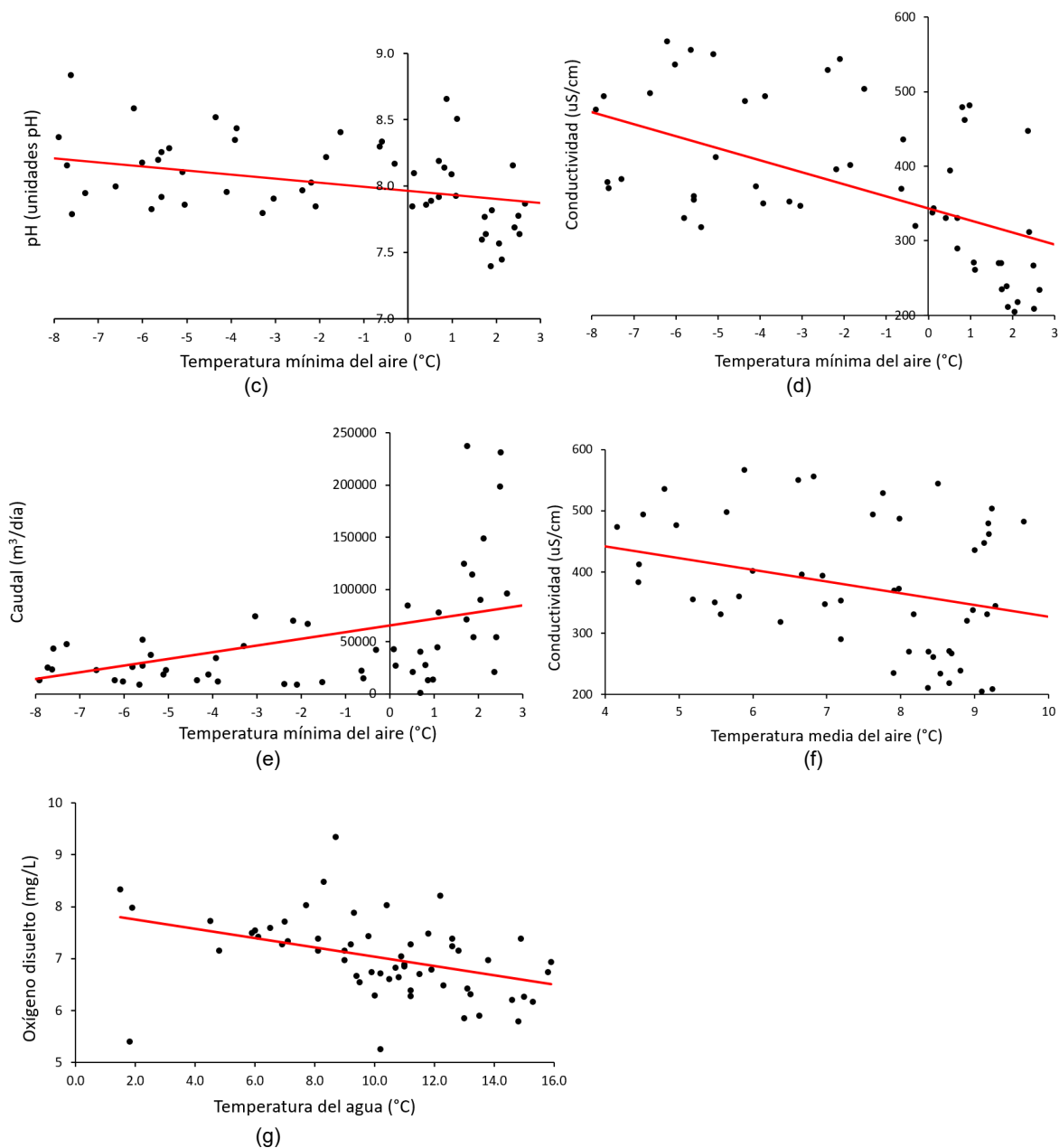
Nota. Los diagramas de dispersión indican la correlación entre pares de indicadores en el punto de correlación E-11.

- ^a Correlación entre temperatura máxima del aire y temperatura del agua (correlación débil positiva; $r = 0.271$)
- ^b Correlación entre temperatura máxima del aire y conductividad (correlación débil positiva; $r = 0.351$)
- ^c Correlación entre temperatura máxima del aire y caudal (correlación negativa moderada; $\rho = -0.468$)
- ^d Correlación entre temperatura mínima del aire y pH (correlación negativa baja; $\rho = -0.368$)
- ^e Correlación entre temperatura mínima del aire y conductividad (correlación negativa moderada; $\rho = -0.638$)
- ^f Correlación entre temperatura mínima del aire y caudal (correlación positiva moderada; $\rho = 0.528$)
- ^g Correlación entre temperatura media del aire y temperatura del agua (correlación positiva baja; $\rho = 0.288$)
- ^h Correlación entre temperatura media del aire y conductividad (correlación negativa baja; $\rho = -0.398$)
- ⁱ Correlación entre temperatura media del aire y caudal (correlación positiva baja; $\rho = 0.256$)
- ^j Correlación entre temperatura del agua y oxígeno disuelto (correlación moderada negativa; $r = -0.413$)
- ^k Correlación entre temperatura del agua y pH (correlación débil positiva; $r = 0.275$)

Figura 44

Diagrama de dispersión entre pares de indicadores en punto de correlación E-16





Nota. Los diagramas de dispersión indican la correlación entre pares de indicadores en el punto de correlación E-11.

^a Correlación entre temperatura máxima del aire y conductividad (correlación positiva baja; $\rho = 0.372$)

^b Correlación entre temperatura máxima del aire y caudal (correlación negativa baja; $\rho = -0.388$)

^c Correlación entre temperatura mínima del aire y pH (correlación negativa moderada; $\rho = -0.432$)

^d Correlación entre temperatura mínima del aire y conductividad (correlación negativa moderada; $\rho = -0.66$)

^e Correlación entre temperatura mínima del aire y caudal (correlación positiva moderada; $\rho = 0.49$)

^f Correlación entre temperatura media del aire y conductividad (correlación negativa baja; $\rho = -0.394$)

^g Correlación entre temperatura del agua y oxígeno disuelto (correlación moderada negativa; $r = -0.404$)

4.4.2.2 Discusión de resultados.

De las 76 correlaciones evaluadas en total para el periodo 2015 a 2019, 36 (47.4%) resultaron ser correlaciones estadísticamente significativas ($p < 0.05$) con valores que

oscilaron entre 0.256 a 0.818 con magnitud promedio de 0.43, lo que evidencia una relación moderada y consistente.

Por otra parte, de las 19 correlaciones efectuadas por estación, se evidenció la existencia de 10 (52.63%), 8 (42.1%), 11 (57.9%) y 7 (36.84%) correlaciones estadísticamente significativas para los puntos de correlación E1, E9, E11 y E16 respectivamente.

Asimismo, se observa que los pares de indicadores en donde existe una correlación estadísticamente significativa en al menos tres puntos de correlación son: i.) temperatura máxima del aire y caudal, ii.) temperatura mínima del aire y caudal, iii.) temperatura del agua y oxígeno disuelto, iv.) temperatura máxima del aire y conductividad, v.) temperatura mínima del aire y pH, vi.) temperatura mínima del aire y conductividad, vii.) temperatura media del aire y temperatura del agua, viii.) temperatura media del aire y conductividad.

4.4.2.2.1 *Relación entre la temperatura máxima del aire y caudal.*

En todos los puntos de correlación, se evidenció la existencia de correlaciones significativas entre la temperatura máxima del aire y caudal con magnitud moderada en su mayoría, siendo los coeficientes de correlación para cada punto de correlación E1: -0.621, E9: -0.616, E11: -0.468 y E16: -0.388. Estos valores negativos evidencian una relación inversa en todos los casos, resultado que coincide con lo señalado por Zolfagharpour et al. (2020), el cual indica que el análisis de sensibilidad de la temperatura en la subcuenca de salida (localizada en tierras bajas planas), evidencia que a medida que la temperatura se incrementa de 0 a 5 °C, la escorrentía superficial se reduce en un promedio de 14%, y ello se podría explicar por la no presencia de nevadas significativas en el área, por lo que un aumento de la temperatura, hace que la evapotranspiración consuma la mayor parte de la precipitación. Sin embargo, Milla (2018) tuvo como resultado una correlación significativa de incremento entre la temperatura media mensual promedio anual y el caudal (a mayor

temperatura mayor es el caudal); lo cual difiere con el resultado de relación inversa identificado en la presente investigación; no obstante aclara que su resultado pudo deberse a un mayor aporte de glaciares por efecto de la deglaciación producto del incremento de la temperatura, situación que no se asemeja a la condiciones del área de estudio ya que, según revisión documentaria, en la microcuenca del río Santiago no hay presencia de glaciares.

4.4.2.2.2 *Relación entre temperatura mínima del aire y caudal.*

En todos los puntos de correlación, se evidenció la existencia de correlaciones significativas entre la temperatura mínima del aire y caudal con magnitudes moderadas, siendo los coeficientes de correlación para cada punto de correlación E1: 0.446, E9: 0.448, E11: 0.528 y E16: 0.49. Estos valores positivos revelan una relación directa en todos los casos, es decir a mayor temperatura mínima del aire, mayor es el caudal. Es preciso indicar que durante la revisión de la literatura, no se hallaron estudios previos que analicen específicamente la correlación entre los dos indicadores (temperatura mínima del aire y caudal), lo cual, limita el contraste de los resultados obtenidos en la presente investigación con otras similares. La ausencia de antecedentes de la correlación entre los dos indicadores podría deberse por el carácter incipiente de estudios que vinculen el cambio climático (representado por la temperatura mínima del aire) con el caudal; no obstante, esta condición resalta la originalidad y relevancia de la presente tesis como una contribución inicial que puede constituir la base de investigaciones futuras en la región, cubriendo de esta manera la brecha en el conocimiento teórico.

4.4.2.2.3 *Relación entre temperatura del agua y oxígeno disuelto.*

En todos los puntos de correlación, se evidenció la existencia de correlaciones significativas entre la temperatura del agua y oxígeno disuelto, con magnitudes que varían entre moderada a fuerte, siendo los coeficientes de correlación para cada punto de

correlación E1: -0.818, E9: -0.52, E11: -0.413 y E16: -0.404. Estos valores negativos revelan una relación inversa en todos los casos, hallazgo que es concordante con los resultados de Morrill (2005), el cual en su investigación indica que si la temperatura de los arroyos se incrementa en verano, en lugares donde el nivel de oxígeno disuelto ya es bajo, esto puede causar una disminución crítica de los valores de oxígeno disuelto y poner en peligro la salud de numerosas especies acuáticas. Asimismo, es relevante indicar que el valor obtenido en E1 al presentar una fuerte correlación entre temperatura del agua y oxígeno disuelto, ello sugiere que los cambios del oxígeno disuelto se encuentran estrechamente asociados con la variación de la temperatura del agua, lo cual evidencia que el comportamiento de ambos indicadores no es al azar, esto refuerza la necesidad de validar estos resultados con series temporales más extensas, a fin de realizar el seguimiento de los efectos del cambio climático (a partir de la temperatura del agua) sobre el oxígeno disuelto.

4.4.2.2.4 *Relación entre temperatura máxima del aire y conductividad.*

En tres puntos de correlación, se evidenció la existencia de correlaciones significativas entre la temperatura máxima del aire y conductividad con magnitudes que varían entre baja a moderadas, siendo los coeficientes de correlación para cada punto de correlación E9: 0.501, E11: 0.351 y E16: 0.372. Es preciso indicar que, durante la revisión de la literatura, no se hallaron estudios previos que analicen específicamente la correlación entre los dos indicadores (temperatura máxima del aire y conductividad), lo cual, limita el contraste de los resultados obtenidos en la presente investigación con otras similares. La ausencia de antecedentes de la correlación entre los dos indicadores podría deberse por el carácter incipiente de estudios que vinculen el cambio climático (representado por la temperatura máxima) con el parámetro de campo (representado por la conductividad); no obstante, esta condición resalta la originalidad y relevancia de la presente tesis como una

contribución inicial que puede constituir la base de investigaciones futuras en la región, cubriendo de esta manera la brecha en el conocimiento teórico.

4.4.2.2.5 *Relación entre temperatura mínima del aire y pH.*

En tres puntos de correlación, se evidenció la existencia de correlaciones significativas entre la temperatura mínima del aire y pH con magnitudes que varían entre baja a moderada, siendo los coeficientes de correlación para cada punto de correlación E9:-0.291, E11:-0.368 y E16:-0.432. Estos valores negativos evidencian una relación inversa. Es preciso indicar que, durante la revisión de diversos artículos, no se hallaron estudios previos que analicen específicamente la correlación entre los dos indicadores (temperatura mínima del aire y pH), lo cual, impide la comparación de los resultados obtenidos con otras investigaciones similares. La ausencia de antecedentes entre los dos indicadores podría deberse por el carácter incipiente de estudios que vinculen el cambio climático (representado por la temperatura mínima) con el parámetro de campo (representado por el pH); sin embargo, esta situación resalta la originalidad y relevancia de la presente tesis como una contribución inicial que puede constituir la base de investigaciones futuras en la región, cubriendo de esta manera la brecha en el conocimiento teórico.

4.4.2.2.6 *Relación entre temperatura mínima del aire y conductividad.*

En tres puntos de correlación, se evidenció la existencia de correlaciones significativas entre la temperatura mínima del aire y conductividad con magnitudes moderadas, siendo los coeficientes de correlación para cada punto de correlación E9:-0.563, E11:-0.638 y E16:-0.66. Estos valores negativos evidencian una relación inversa. Es preciso indicar que, durante la revisión de diversos artículos, no se hallaron estudios previos que analicen específicamente la correlación entre los dos indicadores (temperatura mínima del aire y conductividad), lo cual, impide la comparación de los resultados obtenidos

con otras investigaciones similares. La ausencia de antecedentes entre los dos indicadores podría deberse por el carácter incipiente de estudios que vinculen el cambio climático (representado por la temperatura mínima) con el parámetro de campo (representado por la conductividad); sin embargo, esta situación resalta la originalidad y relevancia de la presente tesis como una contribución inicial que puede constituir la base de investigaciones futuras en la región, cubriendo de esta manera la brecha en el conocimiento teórico.

4.4.2.2.7 *Relación entre temperatura media del aire y temperatura del agua.*

En tres puntos de correlación, se evidenció la existencia de correlaciones significativas entre la temperatura media del aire y temperatura del agua con magnitudes que varían entre baja a moderadas, siendo los coeficientes de correlación para cada punto de correlación E1: 0.481, E9: 0.298 y E11: 0.288. Estos valores positivos evidencian una relación directa, lo cual es concordante con los hallazgos de diversos autores (IMTA, 2011; Rehana et al., 2019; van Vliet et al., 2011), que indican que la temperatura del agua aumenta progresivamente en relación con un incremento de la temperatura del aire.

4.4.2.2.8 *Relación entre temperatura media del aire y conductividad.*

En tres puntos de correlación, se evidenció la existencia de correlaciones significativas entre la temperatura media del aire y conductividad con magnitudes bajas, siendo los coeficientes de correlación para cada punto de correlación E1: 0.343, E11: -0.398 y E16: -0.394. Es preciso indicar que, durante la revisión de diversos artículos, no se hallaron estudios previos que analicen específicamente la correlación entre los dos indicadores (temperatura media del aire y conductividad), lo cual, impide la comparación de los resultados obtenidos con otras investigaciones similares. La ausencia de antecedentes entre los dos indicadores podría deberse por el carácter incipiente de estudios que vinculen el cambio climático (representado por la temperatura media del aire)

con el parámetro de campo (representado por la conductividad); sin embargo, esta situación resalta la originalidad y relevancia de la presente tesis como una contribución inicial que puede constituir la base de investigaciones futuras en la región, cubriendo de esta manera la brecha en el conocimiento teórico.

4.5 Contrastación de resultados con las hipótesis planteadas

La hipótesis general planteó que el cambio climático influye en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa. Los resultados de balances hídricos negativos con pérdidas de agua en 25.95mm (A-1) y 19.67mm (A-2) ante el escenario 1, y 23.64mm (A-1) y 22.07 mm (A-2) ante el escenario 2 con respecto al balance hídrico del periodo 1981-2020 confirman de manera sólida la hipótesis general, evidenciándose la influencia del cambio climático en la cantidad del agua, así como en la calidad, ya que, al fluir menos agua, conlleva a un incremento en la concentración de contaminantes afectando a su calidad.

La hipótesis específica 1 planteó que la temperatura máxima, mínima, media en la microcuenca del río Santiago evidencian tendencias significativas crecientes a escala anual, estacional y en la mayoría de meses, a excepción en la precipitación. Los resultados de tendencias significativas con magnitudes ascendentes a escala anual, estacional y en la mayoría de los meses en ambas estaciones (A-1 y A-2) con un nivel de confianza por encima del 95%, y los resultados de precipitación en donde predominaron tendencias insignificantes en todas las escalas, confirman de manera sólida la hipótesis específica 1.

La hipótesis específica 2 planteó que el comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago evidencia una disminución del agua. Los resultados del balance hídrico superficial realizado para el periodo 1981-2020, que evidencian pérdidas de agua al año de -8.79mm en A-1 y -15.63mm en A-2; así como los resultados que evidencian una tendencia de disminución progresiva de los caudales diarios en las 4 estaciones de agua

superficial (E-1, E-9, E-11 y E-16) para el periodo 2015 y 2019, que oscilan entre -6.8606mm/año a -16.4mm/año, confirman de manera sólida la hipótesis específica 2.

La hipótesis específica 3 planteó que los parámetros de campo del río Santiago cumplen con los ECAs-agua. Los resultados en donde se evidencian que de las 952 mediciones realizadas en las cuatro estaciones para temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad, 880 cumplieron los ECAs-agua (Categoría 3 y 4), representando un 92.4% de cumplimiento global en el período 2015-2019, evidencian una alta concordancia entre los resultados obtenidos y la hipótesis planteada, confirmando de manera sólida la hipótesis 3.

La hipótesis específica 4 planteó que el cambio climático influye en la cantidad y calidad del agua del río Santiago, y existen correlaciones significativas entre temperatura (aire y agua) con parámetros de campo y caudal. Los resultados de balances hídricos negativos con pérdidas de agua en 25.95mm (A-1) y 19.67mm (A-2) ante el escenario 1, y 23.64mm (A-1) y 22.07 mm (A-2) ante el escenario 2 con respecto al balance hídrico del periodo 1981-2020; y el resultado donde se evidencia que de 76 correlaciones analizadas para el periodo 2015 a 2019, 36 (47.4%) resultaron ser correlaciones estadísticamente significativas que oscilaron entre 0.256 a 0.818 con magnitud promedio de 0.43, confirman de manera sólida la hipótesis específica 4.

Conclusiones

1. Se evaluó las tendencias de la temperatura del aire (máxima, mínima, media) en la microcuenca del río Santiago evidenciándose tendencias significativas crecientes a escala anual desde 1981 a 2020, con nivel de confianza (NC) del 99%, siendo las magnitudes de cambio de las temperaturas máxima, mínima, media en la estación A-1 de 0.028°C/año, 0.018 °C/año, y 0.023 °C/año, respectivamente; mientras que en la estación A-2, de 0.032 °C/año, 0.017 °C/año, y 0.026 °C/año, respectivamente. En cuanto a la escala estacional, se mostraron tendencias significativas crecientes de la temperatura del aire (máxima, mínima y media) con NC por encima del 95%, con magnitudes de cambio en la estación A-1 para época húmeda de 0.024°C/año, 0.013 °C/año, y 0.017 °C/año, respectivamente, y para época seca de 0.033°C/año, 0.023 °C/año, y 0.027 °C/año; por otro lado, en la estación A-2 para época húmeda, se obtuvieron magnitudes de cambio de 0.025 °C/año, 0.015 °C/año, y 0.020 °C/año, respectivamente, y para época seca de 0.033°C/año, 0.017 °C/año, y 0.026 °C/año, respectivamente. En referencia a la escala mensual, a un NC por encima del 95%, se obtuvieron tendencias significativas crecientes de la temperatura media en todos los meses del año (a excepción de enero para A-1), de la temperatura máxima en la mayoría de los meses (8 meses en A-1 y 9 meses A-2) y de la temperatura mínima en algunos meses (4 meses en A-1 y A-2). En lo que respecta a la precipitación, se mostraron predominantemente tendencias insignificantes a escala anual, estacional y mensual, observándose solo en el mes de agosto para A-1 y julio en A-2 tendencias significativas decrecientes y crecientes respectivamente.
2. Se evaluó el comportamiento en la cantidad del agua del río Santiago, evidenciándose en el balance hídrico superficial realizado para el periodo 1981-2020, pérdidas de agua mensuales en las dos estaciones (A-1 y A-2) que fluctúan entre -3.38mm a 2.91mm en A-1 y -2.89mm a -0.07mm en A-2, siendo la pérdida de agua anual de -8.79mm en A-1 y -15.63mm en A-2. Asimismo, en lo que respecta al comportamiento de los

caudales, estos se evaluaron durante el periodo 2015 y 2019 en 4 estaciones de agua superficial (E-1, E-9, E-11 y E-16), obteniéndose como resultado, caudales diarios ($\text{m}^3/\text{día}$) que variaron desde menos de $20000 \text{ m}^3/\text{día}$ en época seca hasta picos por encima de los $400000 \text{ m}^3/\text{día}$ en época húmeda, siendo los comportamientos del caudal casi idénticos en las estaciones de agua superficial (E9, E11 y E16), mientras que E1 mantiene caudales ligeramente reducidos en comparación con las tres estaciones señaladas. En cuanto a la tendencia del caudal, durante el periodo 2015 a 2019 existe una tendencia de disminución progresiva del caudal en las 4 estaciones, que oscilan entre -6.8606 mm/año a -16.4 mm/año . Los resultados del balance hídrico superficial y del caudal evidencian una señal clara de disminución del agua en el tiempo.

3. Se evaluó el cumplimiento de los parámetros de campo del río Santiago respecto a los ECAs-agua (categorías 3 y 4) del D.S. N°004-2017-MINAM en 4 estaciones de monitoreo de agua superficial (E-1, E9, E-11 y E-16) para el periodo 2015-2019, en donde se evidenció que de las 952 mediciones realizadas en las cuatro estaciones para temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad, 880 cumplieron los ECAs-agua, lo que representa un 92.4% de cumplimiento global en el período evaluado. En referencia a cada parámetro, la temperatura del agua alcanzó un 77.31% de cumplimiento, el oxígeno disuelto un 99.58%, el pH un 92.86% y la conductividad eléctrica un 100%.
4. Se evaluó la relación entre la temperatura del aire y precipitación, y la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, mostrándose que, ante un escenario de un incremento de 1.5 °C de la temperatura (Escenario 1), la evapotranspiración real anual aumenta en 614.15 mm y 442.82 mm en las estaciones A-1 y A-2 respectivamente; mientras que ante un incremento de 2°C (Escenario 2), la evapotranspiración real anual se incrementa en 807.9 mm (A-1) y 586.27 mm (A-2); los cuales generan balances hídricos negativos con pérdidas de agua en 25.95 mm (A-1) y 19.67 mm (A-2) ante el escenario 1, y 23.64 mm (A-1) y 22.07 mm (A-2) ante el

escenario 2, con respecto al balance hídrico del periodo 1981-2020. Estos resultados evidencian la influencia del cambio climático en la cantidad del agua, así como en la calidad, ya que, al fluir menos agua, conlleva a un incremento en la concentración de contaminantes alterando a la calidad del agua. Asimismo, se evidenció que de 76 correlaciones analizadas para el periodo 2015 a 2019, 36 (47.4%) resultaron ser correlaciones significativas que oscilaron entre 0.256 a 0.818 con magnitud promedio de 0.43, lo que evidencia una relación moderada y consistente que requiere validación con series temporales más extensas, para evaluar los efectos del cambio climático sobre la cantidad y calidad (parámetros de campo) del agua.

Recomendaciones

1. Se recomienda implementar al menos 1 estación meteorológica automática con registros horarios de temperatura y precipitación en la microcuenca Santiago, a fin de monitorear si las magnitudes de tendencias identificadas en la presente investigación (con niveles de confianza mayores al 95%) se mantienen o se intensifica en los próximos 5 o 10 años.
2. Se recomienda implementar 1 estación hidrométrica en el área de estudio, a fin de realizar el seguimiento al comportamiento de los caudales en el área de estudio, debido a que en la presente investigación se estimó reducciones de agua mediante el balance hídrico como consecuencia del cambio climático.
3. Profundizar el estudio de los 3 pares de indicadores en donde se obtuvo correlaciones estadísticamente significativas y que cubrieron todos los puntos de correlación: i.) temperatura máxima del aire y caudal, ii.) temperatura mínima del aire y caudal, iii.) temperatura del agua y oxígeno disuelto, y de esta forma robustecer los resultados de la presente investigación.
4. Se recomienda complementar los datos de parámetros de campo y caudal del periodo 2015 a 2019, con series temporales más extensas y a una escala diaria, a fin de realizar el seguimiento de los efectos del cambio climático sobre la cantidad y calidad (parámetros de campo) del agua.
5. Realizar investigaciones sobre especies de flora y fauna endémicas y en peligro de extinción que podrían verse afectados en la zona por efectos del cambio climático.
6. Incluir análisis complementarios que permitan identificar a partir de qué año se evidencia los efectos del cambio climático en la calidad y cantidad del agua.
7. Implementar técnicas de modelamiento y simulación tanto para cantidad como para calidad del agua tales como HEC-4, HASS y WAS para evidenciar el efecto el cambio climático en la calidad y cantidad del agua.

8. Implementar técnicas de inteligencia artificial para las proyecciones de calidad y cantidad del agua.
9. Efectuar una evaluación horaria durante 24 horas (1 día), uno para la época de estiaje y de avenida en el cual se evalúe los parámetros climatológicos (temperatura) e hidrológicos (caudal).

Referencias bibliográficas

- Adnan, R. M., Liang, Z., Kuriqi, A., Kisi, O., Malik, A., Li, B., & Mortazavizadeh, F. (2021). Air temperature prediction using different machine learning models. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 22(1). <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v22.i1.pp534-541>
- Aguilar Aza, J. C., & Naranjo Sandoval, L. G. (2018). *Elaboración de la base de información hidrometeorológica de la cuenca del río Guayas para el procesamiento con el modelo hydraccess ante inundaciones*. [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional de la Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15838>
- Alcántara Membrillo, J. L. (2015). *Caracterización hidromorfométrica de la microcuenca Puyllucana - Baños del Inca - Cajamarca, mediante la aplicación de Arcgis*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/102>
- Alencar da Silva Alves, K. M., & Silva Nóbrega, R. (2017). Rainfall tendencies and seasonal rainfall concentration in rio Moxotó watershed - Pernambuco – Brazil. *Geographical Journal of Central America*, 1(58), 295-313. <https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.12>
- Arboleda Orozco, J. F., Felipe-Obando, O., & Yerrén Suarez, J. E. (2018). *Manual de hidrometría. Documento Técnico 001. SENAMHI-DHI-2018*. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/264>
- Aucahuasi Almidón, A. S. (2019). *Análisis de tendencias de precipitación y temperatura (1970-2017) en la ciudad de Puerto Maldonado, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional de

la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

<http://hdl.handle.net/20.500.12918/4769>

Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA)*.

<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>

Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua Ica-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales*.

<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2440>

Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2020).

Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 770–785.

<https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>

Bahamóndez Provoste, C. F. (2021). *Cambio climático y su efecto sobre los cuerpos de agua de Chile Central: variación interanual superficial de los lagos andinos (32°S–36°S) entre 1984 y 2020* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/188022>

Baldeon Jara, L. C. (2016). *Modelamiento hidrológico de la sub cuenca del Rio Achamayo*.

[Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4588>

- Cerignoni, F. J., Rodrigues, V. A. (2015). Análisis morfométrico de la microcuenca "C" núcleo Cunha, São Paulo, Brasil. *Cuadernos De La Sociedad Española De Ciencias Forestales*, (41), 355-366. <https://doi.org/10.31167/csef.v0i41.17401>
- Chihuan Castro, K. N. (2020). *Impacto del cambio climático en el humedal de Pucush Uclo-Chupaca durante el periodo 1989-2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8774>
- Congreso de la República del Perú. (2009). *Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos*. Sistema Peruano de Información Jurídica. <https://spij.minjus.gob.pe/spij-ext-web/#/detallenorma/H984116>
- Congreso de la República del Perú. (2018). *Ley N.º 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático*. Sistema Peruano de Información Jurídica. <https://spij.minjus.gob.pe/spij-ext-web/#/detallenorma/H1204922>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf
- Cotler Ávalos, H., Galindo Alcántar, A., González Mora, I. D., Pineda López, R. F., & Ríos Patrón, E. (2013). *Cuencas Hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Cuadernos de divulgación ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/cuencas-hidrograficas-fundamentos-perspectivas-manejo-gestion>
- Cruz Miranda, L. J. (2022). *Evaluación del efecto del cambio climático en el recurso hídrico de la laguna de Piuray en la microcuenca de Piuray (Chincheros, Cusco)*. [Tesis de

- doctorado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/14509>
- Diersing, N. (2009). *Water Quality: Frequently Asked Questions*. Florida Keys National Marine Sanctuary. <https://nmsfloridakeys.blob.core.windows.net/floridakeys-prod/media/archive/scisummaries/wgfaq.pdf>
- Environmental Protection Agency. (2023). *Benefits of Healthy Watersheds*. Healthy Watersheds Protection. <https://www.epa.gov/hwp/benefits-healthy-watersheds>
- Faustino, J. (1996). *Gestión ambiental para el manejo de cuencas municipales*. CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2239>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s.f.). *Tema 4: El Agua*. <https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s06.htm>
- Fuentes Junco, J. J. A., (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro*. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/02/morfometria_pico_tancitaro.pdf
- Gobierno Regional de Arequipa. (2020). *Zonificación Ecológica Económica del departamento de Arequipa* (Ordenanza Regional N.º 437-Arequipa).
- Gocic, M., & Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>

- González-Otoya Orbegozo, V. E. (2016). *Los balances hídricos y los indicadores de atención de las demandas*.
<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2527>
- Guerra, F., & González, J. (2002). Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. *Geoenseñanza*, 7(1-2), 88-108. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36070208>
- Gulden García, J. E. (2021). *Validación de las leyes de Horton y Schumm para la generación de hidrogramas de escorrentía directa en las sub cuencas Chorobal y Cerro blanco de la cuenca Huamantla*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio de la Universidad Privada Antenor Orrego. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/8277>
- Habibzadeh F. (2024). Data Distribution: Normal or Abnormal? *Journal of Korean Medical Science* 39(3). <https://doi.org/10.3346/jkms.2024.39.e35>
- Hacha Chuctaya, E. & Tacusi Calla, C. J. (2015). *Modelación hidrológica de la subcuenca de Pitumarca con la aplicación del modelo Weap (Sistema de Evaluación y Planeación de Agua) Canchis - Cusco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/130>
- Haldar, S., Choudhury, M., Choudhury, S., & Samanta, P. (2023). Trend analysis of long-term meteorological data of a growing metropolitan city in the era of global climate change. *Total Environment Research Themes*. 7(2023), <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100056>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Babbista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México. Mc Graw Hill Education.

High Level Panel of Experts (2015). *Water for food security and nutrition*. High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_Reports/HLPE-Report-9_EN.pdf

Huerta, A., Aybar, C., Imfeld, N., Correa, K., Felipe-Obando, O., Rau, P., Drenkhan, F., & Lavado-Casimiro, W. (2023). High-resolution grids of daily air temperature for Peru—The new PISCOT v1.2 dataset. *Scientific Data*, 10(847). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02777-w>

Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2011). *Morfología de las cuencas hidrológicas*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/10782>

Imfeld, N., Sedlmeier, K., Gubler, S., Correa Marrou, K. M., Dávila, C. P., Huerta, A., Lavado-Casimiro, W., Rohrer, M., Scherrer, S. C., & Schwierz, C. (2020). A combined view on precipitation and temperature climatology and trends in the southern Andes of Peru. *International Journal of Climatology*, 41(1), 679–698. <https://doi.org/10.1002/joc.6645>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2011). *Impacto del Cambio Climático en la Calidad del Agua en México*. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1427>

Instituto Nacional de Defensa Civil. (2024). *Compendio estadístico de la gestión reactiva al primer semestre 2024*. Dirección de Políticas, Planes y Evaluación (DIPPE). <https://www.gob.pe/institucion/indeci/informes-publicaciones/6151912-compendio-estadistico-2024>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Directorio Nacional de Centros Poblados. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas* (Tomo 1).

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. (2023). *Memoria Descriptiva del Inventario Nacional de Bofedales del Perú 2023*. Inventario Nacional de Bofedales del Perú 2023. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/466>

Instituto Nacional de Recursos Naturales, Intendencia de Recursos Hídricos & Administración Técnica del Distrito de Riego Chincha - Pisco. (2003). *Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos de la cuenca del río Pisco: Estudio hidrológico* [Tomo I]. Repositorio digital de recursos hídricos de la Autoridad Nacional del Agua. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1891>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (Eds.)]. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2015). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.

[Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023a). *Climate change 2021 – The physical science basis: Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781009157896>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023b). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (Eds.)]. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023c). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

Jardí i Porqueras, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 19(1), 41-68.
<https://raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/view/45789>.

Koue, J. (2024). Assessing the impact of climate change on dissolved oxygen using a flow field ecosystem model that takes into account the anaerobic and aerobic

environment of bottom sediments. *Acta Geochim*, 1-12.
<https://doi.org/10.1007/s11631-024-00711-4>

Lamprea-Quiroga, P. S., & Sanabria-Marin, R. (2024). Diálogos entre perspectivas campesinas y científicas como estrategia para aumentar la resiliencia al cambio climático en un altiplano andino colombiano. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres (REDER)*, 8(2), 128–144.
<https://doi.org/10.55467/reder.v8i2.162>

Lapa Junior, L. G. (2024). Correlação: medida de associação entre variáveis. *Revista Mais Educação*, 7(1). <https://doi.org/10.51778/2595-9611.v7i1p800-811>

Libélula, Comunicación Ambiente y Desarrollo S.A.C. (2018). *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en Arequipa Metropolitana*. (C. A. Fomento, Editor) SCIOTECA.
<http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1181>

Liu, W., & Liu, L. (2019). Analysis of Dry/Wet Variations in the Poyang Lake Basin Using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index Based on Two Potential Evapotranspiration Algorithms. *Water*, 11(7), 1380.
<https://doi.org/10.3390/w11071380>

Llamoctanta Ruiz, D. (2021). *Regionalización morfométrica adimensional de cuencas hidrográficas de la sierra de Huánuco—Perú, con fines de transferencia de información hidrológica*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca.
<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4119>

Llerena, C. A. (2003). *Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú*.

FAO Presentado en el Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), Arequipa, Perú, 9-12 junio 2003, durante el Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas.

https://www.iproga.org.pe/descarga/servicios_ambientales.pdf

López Ullauri, X. E., & Patiño Ramón, D. M. (2017). *Aplicación de modelos hidrológicos de las microcuencas del Área de Bosque y Vegetación Protector Aguarongo con enfoque al cambio climático* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14909>

Martínez Rebollar, A., & Campos Francisco, W. (2015). Correlación entre Actividades de Interacción Social Registradas con Nuevas Tecnologías y el grado de Aislamiento Social en los Adultos Mayores. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 36(3), 181-191. <https://doi.org/10.17488/RMIB.36.3.4>

Mattos Jiménez, H. M. (2018). *Caracterización geomorfológica de las cuencas hidrográficas Chicama, Moche y Virú, a nivel de microcuencas, utilizando software arcgis*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/12064>

Menares Zúñiga, L. (2020). *Estimación regional de evapotranspiración real anual y su tendencia decadal en cuencas del centro y sur de Chile*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile]. Repositorio de la Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/AGR/51210>

Metzger Terrazas, L. A. (2024). *Análisis de tendencias de precipitación y temperatura considerando los movimientos en masa en el departamento de Lima*. Repositorio Institucional – SENAMHI. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/3258>

- Milla Vergara, E. A. (2018). *Efecto del cambio climático en la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del Río Santa – año 2013*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio de la Universidad Nacional Federico Villarreal. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/2103>
- Ministerio de Agricultura. (2010, 24 de marzo). *Decreto Supremo N.º 001-2010-AG, Aprueban Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos*. Sistema Peruano de Información Jurídica. <https://spij.minjus.gob.pe/spij-ext-web/#/detallenorma/H1005557>
- Ministerio de Ambiente. (2017, 7 de junio). *Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Sistema Peruano de Información Jurídica. <https://spij.minjus.gob.pe/spij-ext-web/#/detallenorma/H1182180>
- Ministerio de Ambiente. (2019). *Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en el Perú*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/306347-cambio-climatico-y-desarrollo-sostenible-en-el-peru>
- Ministerio de Ambiente. (2021). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Perú: un insumo para la actualización de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático* (Resolución Ministerial N.º 096-2021-MINAM). <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico-peru-un-insumo>
- Ministerio de Energía y Minas. (2021). *Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del proyecto de exploración minera «Acumulación Cailloma 1, 2 y 3 Etapa B»* (Informe N° 478-2021/MINEM-DGAAM-DEAM-DGAM). <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/2714263-245-2021-mem-dgaam>

- Mishra, P., Pandey, C. M., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C., & Keshri, A. (2019). Descriptive statistics and normality tests for statistical data. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(1), 67-72. https://doi.org/10.4103/aca.ACA_157_18
- Montes , R., Navarro , I., Jiménez , B., Maya , C., Domínguez, R., & Navarrete, S. (2011). *Criterios para reducir incertidumbres en la valoración del impacto del cambio climático en la calidad del agua*. <https://www.researchgate.net/publication/312490511>
- Moraes, A. G. de L., Watkins, A. H., Brecheisen, Z., Bowling, L. C., Pinto Cáceres, J. P., Novoa, H. M., & Cherkauer, K. A. (2023). The fast-changing climate reality of Arequipa, Peru. *International Journal of Climatology*, 43(2), 979-995. <https://doi.org/10.1002/joc.7855>
- Moreno Taquio, D. V. (2024). *Variabilidad climática en Tingo María, distrito Rupa Rupa - Leoncio Prado, periodo 1992-2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2816>
- Morrill, J., Bales, R., & Conklin, M. (2005). Estimating Stream Temperature from Air Temperature: Implications for Future Water Quality. *Journal of Environmental Engineering*, 131(1), 139-146. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2005\)131:1\(139\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:1(139))
- ONU Medio Ambiente. (2018). *6 Agua Limpia y Saneamiento. Progresos en la calidad del agua*. https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2018/12/SDG6_Indicator_Report_632_Progress-on-Ambient-Water-Quality_SPANISH_2018.pdf

- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011a). *¿Qué es cuenca hidrológica?*
https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011b). *Balance Hídrico Superficial*.
https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf
- Pasco Scientific. (2010). *Water Quality Field Guide*.
<https://woodlandhighag.weebly.com/uploads/1/9/2/9/19299463/wqfg.pdf>
- Pradinaud, C., Northey, S., Amor, B., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Boulay, A. M., Junqua, G., Lathuillière, M. J., Margni, M., Motoshita, M., Niblick, B., Payen, S., Pfister, S., Quinteiro, P., Sonderegger, T., & Rosenbaum, R. K. (2019). Defining freshwater as a natural resource: A framework linking water use to the area of protection natural resources. *The international journal of life cycle assessment*, 24(5), 960–974.
<https://doi.org/10.1007/s11367-018-1543-8>
- Quesada Román, A., & Barrantes Castillo, G. (2017). Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. *Investigaciones Geográficas*, (94).
<https://doi.org/10.14350/rig.57318>
- Quirita Merma, J., (2021). *Efectos de la temperatura en la precipitación como consecuencia del cambio climático en la región Cusco 1965-2021* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/12298>
- Quispe Cruz, D.J. (2024). *Análisis de la tendencia de los parámetros físico químicos del agua de la central hidroeléctrica de Chijisia, durante los años 2016-2021 del distrito*

de Sandía 2023. [Tesina, Universidad privada San Carlos]. Repositorio ALCIRA.
<http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/884>

Ramírez López, J. L. (2015). *Alternativas de manejo sustentable de la subcuenca del río Pitura, provincia de Imbabura, Ecuador* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de La Plata]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de La Plata.
<https://doi.org/10.35537/10915/49801>

Rehana, S., Munoz-Arriola, F., Rico, D. A., & Bartelt-Hunt, S. L. (2019). Modelling Water Temperature's Sensitivity to Atmospheric Warming and River Flow. En R. C. Sobti, N. K. Arora, & R. Kothari (Eds.), *Environmental Biotechnology: For Sustainable Future* (pp. 309-319). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7284-0_12

Rojas Bustamante, E. (2024). *Efecto del cambio climático en la disponibilidad del recurso hídrico en la Cuenca del río Chotano* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca.
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/7089>

Sánchez Bernardo, T. (2019). *Caracterización hidroclimática del distrito del Vilque—Puno*. Repositorio Institucional - SENAMHI. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/263>

Santa Cruz Berrios, E. (2023). *Efecto del cambio climático en la producción de maíz amiláceo de la provincia de Urubamba durante los años 1980-2040*. [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/5559>

Santillán Gutiérrez, E., Davila-Vazquez, G., Sánchez, J. de A., & Díaz Torres, J. de J. (2013). Estimación del balance hídrico mediante variables climáticas, en la cuenca del río Cazonas, Veracruz, México. *Revista Ambiente & Agua*, 8(3), 104-117.
<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1147>

Sellers, C., Buján, S., Corbelle, E., & Miranda, D. (2017). EJE 07-09 Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador. *Memorias y Boletines de la Universidad del Azuay*, 1(XVI), 399–411. <https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/87>

Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles. (s.f.). *Geosenace 2.0 - Portal de Servicios de Información Georreferenciada del Senace*. Servicio digital Geosenace. <https://geosenace.senace.gob.pe/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=015cc2527cbc436d9ff325d674d5895a>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020). *Tendhis : tendencias históricas de precipitación y temperatura, guía técnica*. Repositorio Institucional – SENAMHI. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/676>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2021). *Mapa climático del Perú*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024). *Reporte Meteorológico. Resumen de las últimas 24 horas (departamentos de Lambayeque, Centro-Norte de Cajamarca y Amazonas)*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6817258/5900916-rm-dz2-n-1-4ene2024.pdf?v=1724269982>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Organización de desarrollo independiente - HELVETAS Perú, & Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES) (2021). *Glosario de términos relacionados a sequías, gestión de riesgo y cambio climático 2021*. Repositorio Institucional - SENAMHI. <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1773>

- Shen, H., Jiang, Y., Li, T., Cheng, Q., Zeng, C., & Zhang, L. (2020). Deep learning-based air temperature mapping by fusing remote sensing, station, simulation and socioeconomic data. *Remote Sensing of Environment*, 240 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111692>
- Shen, S., & Leptoukh, G.G. (2011). Estimation of surface air temperature over central and eastern Eurasia from MODIS land surface temperature. *Environmental Research Letters*, 6(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/045206>
- Suárez-Almiñana, S., Paredes-Arquiola, J., Andreu, J., Solera, A. (2021). Climate change effect on water quality in the Júcar River Basin. *Ingeniería del agua*, 25(2), 75-95. <https://doi.org/10.4995/la.2021.14644>
- Tapia Ramos, A. B. (2022). *Tendencia de la precipitación y temperatura debido al cambio climático observados en dos estaciones meteorológicas de la región de Arequipa 1965-2020* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12304>
- Todote, V. A. L., Lyra, G. B., & Abreu, M. C. (2021). Climatological water balance and climate classification of thornthwaite and mather for benin, west Africa, in 1970-2015 period: Climatological water balance and climate classification of thornthwaite and mather for benin, west Africa, in 1970-2015 period. *Revista Engenharia na Agricultura* - REVENG, 29(Continúa), 291-302. <https://doi.org/10.13083/reveng.v29i1.12387>
- Toma, M. B., Belete, M. D., & Ulsido, M. D. (2022). Trends in climatic and hydrological parameters in the Ajora-Woybo watershed, Omo-Gibe River basin, Ethiopia. *SN Applied Sciences*, 5(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05270-y>

- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2006). *Balance hídrico superficial del Perú a nivel multianual. Documento Técnico del PHI – LAC N° 1*. UNESDOC Digital Library. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000228136>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020. Agua y cambio climático*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373611>
- van Vliet, M. T. H., Ludwig, F., Zwolsman, J. J. G., Weedon, G. P., & Kabat, P. (2011). Global river temperatures and sensitivity to atmospheric warming and changes in river flow. *Water Resources Research*, 47(2). <https://doi.org/10.1029/2010WR009198>
- Vásquez V., A., Mejía M., A., Faustino M., J., Terán A., R., Vásquez R., I., Díaz R., J., Vásquez R., C., Castro A., A., Tapia M., M., & Alcántara R., J (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. UNALM.
- Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Correa, K., Avalos, G., Bazo, J., Azorin-Molina, C., Domínguez-Castro, F., Kenawy, A. E., Gimeno, L., & Nieto, R. (2018). Recent changes in monthly surface air temperature over Peru, 1964–2014. *International Journal of Climatology*, 38(1), 283-306. <https://doi.org/10.1002/joc.5176>
- Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica. Villón.
- Yaguachi Cuenca, T. M. (2013). *Diagnóstico Ambiental y desarrollo del Plan de Manejo y Conservación de la Subcuenca del río Chillayacu de la Cuenca Media del río Jubones en la provincia de El Oro*. [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional de la Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1282>

- Zheng, X., Feng, Y., & Chen, H. (2022). Analysis of each components of glass samples based on the Spearman correlation coefficient model. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 22, 241-245. <https://doi.org/10.54097/hset.v22i.3368>
- Zhicay Lombaida, J. I. (2020). *Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18364>
- Zolfagharpour, F., Saghafian, B., & Delavar, M. (2020). The impacts of climate variability and human activities on streamflow change at basin scale. *Water Supply*, 20(3), 889-899. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.012>

Anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	1
Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables.....	4
Anexo 3: Ficha de validación por juicio de expertos.....	6
Anexo 4: Respuesta de SENAMHI a solicitud de información.....	19
Anexo 5: Respuesta de MINEM a solicitud de información.....	21
Anexo 6: Datos climatológicos del producto grillado PISCO.....	23
Anexo 7: Datos de parámetros de agua superficial.....	32
Anexo 8: Análisis de tendencia usando el producto TREND	37
Anexo 9: Datos para correlación.....	158
Anexo 10: Pruebas estadísticas realizadas en SPSS Statistics 27.....	165

Anexo 1: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “Evaluación de la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	UNIDAD	ESCALA DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL ¿De qué manera el cambio climático influye en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa?	OBJETIVO GENERAL Determinar la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa.	HIPÓTESIS GENERAL El cambio climático influye significativamente en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa.	VARIABLE INDEPENDIENTE: Cambio climático <u>Dimensión</u> * Clima	Temperatura máxima	°C	Cuantitativo Intervalo	Enfoque de investigación: Cuantitativo. Tipo de investigación: Investigación aplicada. Alcance de investigación: Descriptivo, correlacional y parcialmente explicativo. Diseño de investigación: No experimental. Población de estudio: • Datos meteorológicos y datos de calidad y cantidad del agua registrados en la microcuenca del río Santiago. Muestra de estudio: • Datos meteorológicos (temperatura de máxima, mínima y precipitación) del periodo 1981 al 2020 y datos de calidad (parámetros de campo) y cantidad del agua (caudal) del periodo 2015 al 2019 registrados en la microcuenca del río Santiago. Muestreo: No probabilístico. Técnicas e instrumentos de recolección de datos Técnica: Observacional y documental Instrumento: • Registro de datos climatológicos de PISCOT v1.2 y PISCO Prec v2p1 publicado por Huerta et al. (2023) y SENAMHI respectivamente. • Registro de datos de calidad y cantidad del agua proporcionados por MINEM, correspondiente a cuatro (4) puntos de monitoreo de agua ubicados en el río Santiago establecidos por una operación minera. Técnica e instrumentos para análisis de datos Técnica: Análisis de tendencia mediante la prueba estadística Mann-Kendall, instrumento: Software TREND.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS 1. ¿De qué manera es la tendencia de la temperatura máxima, mínima, media y precipitación en la microcuenca del río Santiago? 2. ¿Cuál es el comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago? 3. ¿En qué medida los parámetros de campo del río Santiago cumplen con los ECAs-agua ⁽¹⁾ ? 4. ¿De qué manera el cambio climático influye en la cantidad y calidad del agua del río Santiago y qué relación tienen la temperatura (aire y agua) con parámetros de campo y caudal?	OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1. Evaluar la tendencia de la temperatura máxima, mínima, media y precipitación en la microcuenca del río Santiago. 2. Evaluar el comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago. 3. Evaluar el cumplimiento de los parámetros de campo del río Santiago respecto a los ECAs-agua. 4. Evaluar la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago y la correlación entre temperatura (aire y agua) con parámetros de campo y caudal.	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS 1. La temperatura máxima, mínima, media en la microcuenca del río Santiago evidencian tendencias significativas crecientes a escala anual, estacional y en la mayoría de meses, a excepción en la precipitación. 2. El comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago evidencia una disminución del agua. 3. Los parámetros de campo del río Santiago cumplen con los ECAs-agua. 4. El cambio climático influye en la cantidad y calidad del agua del río Santiago, y existen correlaciones significativas entre temperatura (aire y agua) con parámetros de campo y caudal.	VARIABLE INDEPENDIENTE: <u>Dimensiones:</u> * Disponibilidad *Parámetros de campo ⁽²⁾ * Relación climatocantidad y calidad del agua	Temperatura mínima	°C	Cuantitativo Intervalo	
				Temperatura media	°C	Cuantitativo Intervalo	
				Precipitación	mm	Cuantitativo Razón	
				Balance hídrico	mm	Cuantitativo Razón	
			VARIABLE DEPENDIENTE: Cantidad y calidad del agua <u>Dimensiones:</u> * Disponibilidad *Parámetros de campo ⁽²⁾ * Relación climatocantidad y calidad del agua	Caudal	m³/día	Cuantitativo Razón	
				Temperatura del agua	°C	Cuantitativo Intervalo	
				Oxígeno disuelto	mg/L	Cuantitativo Razón	
				Potencial de hidrógeno	pH	Cuantitativo Intervalo	
				Conductividad	µS/cm	Cuantitativo Razón	
				Balance hídrico	mm	Cuantitativo Razón	
				Coefficiente de correlación (Pearson o Spearman)	Adimensional	Cuantitativo Razón	

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADO-RES	UNI-DAD	ESCALA DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA
							• Técnica: Evaluación de cumplimiento con los ECA-Agua, instrumento: microsoft Excel. • Técnica: Evaluación de relación mediante balance hídrico y coeficiente de correlación (Pearson y Spearman), instrumento: Programa IBM SPSS Statistics 27.

Nota:

- (1) ECAs-Agua: Hace referencia a las categorías 3 "Riego de vegetales y bebida de animales" y 4 "Conservación del ambiente acuático" y Categoría 4 "Conservación del ambiente acuático" de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobada con Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.
- (2) Se ha seleccionado solo cuatro (4) indicadores para representar a la calidad de agua (temperatura del agua, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, conductividad), porque pueden ser medidos directamente en campo mediante un equipo multiparámetro portátil, lo que reduce costos, ya que no es necesario el análisis en laboratorio. Esto facilita que los investigadores que estudian el cambio climático y el agua puedan realizar un monitoreo más eficiente y continuo con fines de realizar el seguimiento de los efectos del cambio climático sobre dichos indicadores de calidad de agua.

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Título: “Evaluación de la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa”

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE: Cambio climático	El cambio climático es una variación en el estado del clima que se puede observar (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) por cambios en la media y/o la variabilidad de sus características y que persiste durante un largo periodo de tiempo, generalmente décadas o más (IPCC, 2023b).	El cambio climático se midió estadísticamente mediante la prueba de Mann-Kendall, utilizándose su valor estadístico Z con un nivel de significancia $\alpha=0.05$. Es muy idóneo para el estudio de las variables de temperatura y precipitación, ya que no requiere normalidad ni linealidad. El test permitirá detectar si existe una tendencia estadísticamente significativa en la serie temporal de variables climáticas. Para su cálculo se usó el software TREND y los datos climatológicos modelados (PISCO).	Clima	Temperatura máxima	°C	Cuantitativo Intervalo
				Temperatura mínima	°C	Cuantitativo Intervalo
				Temperatura media	°C	Cuantitativo Intervalo
				Precipitación	mm	Cuantitativo Razón
VARIABLE DEPENDIENTE: Cantidad y calidad del agua	La cantidad del agua es la disponibilidad física (Pradinaud et al., 2019) a través de las precipitaciones, los ríos y los acuíferos en un área determinada (HLPE, 2015), mientras que la calidad del agua se refiere a la condición del agua, incluyendo su características físicas, químicas y biológicas, generalmente con respecto a su idoneidad para un propósito particular como beber, pescar o nadar (Diersing, 2009).	El comportamiento de la cantidad del agua del río Santiago se evaluó mediante la estimación de la evapotranspiración real (calculada con la fórmula de Turc) y balance hídrico superficial (calculado a partir de la diferencia entre los valores de precipitación y la evapotranspiración real) para el periodo 1981-2020 en dos estaciones climatológicas A-1 y A-2, y mediante el comportamiento del caudal diario obtenido en cada una de las estaciones (E-1, E-9, E-11 y E-16) durante el periodo 2015-2019. Asimismo, en estas 4 estaciones se evaluó el cumplimiento de los parámetros de campo (temperatura del agua, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, conductividad) del río Santiago respecto a los ECAs-agua ⁽¹⁾ para el periodo 2015-2019.	Disponibilidad	Balance hídrico	mm	Cuantitativo Razón
				Caudal	m³/día	Cuantitativo Razón
		Posteriormente se evaluó la relación entre el cambio climático, y la cantidad y calidad del agua del río Santiago considerando los datos de temperatura media mensual y precipitación mensual (1981-2020) que fueron empleados para la aplicación de la regresión lineal, obteniéndose la ecuación lineal para la estimación de las precipitaciones, evapotranspiración real y los balances hídricos cuando se manifieste los dos escenarios del cambio climático: escenario 1 (cuando el calentamiento global se incrementa en 1.5°C) y escenario 2 (cuando el calentamiento global se incrementa en 2°C). Los balances hídricos resultantes fueron comparados con el balance hídrico (1981-2020). Asimismo, de forma complementaria, se ha considerado determinar si existe correlaciones significativas entre temperatura (aire y agua) con parámetros de campo y caudal. Para ello, primero se aplicó la prueba de normalidad a cada indicador y posteriormente se formó pares de indicadores (por ejemplo, temperatura máxima y temperatura del agua, temperatura máxima y caudal, etc.) para evaluar la correlación ya sea mediante el coeficiente de correlación de Pearson o Spearman considerando un nivel de significancia de 0.05. El primero se empleó cuando ambos datos fueron continuos y cumplieron los supuestos de normalidad, mientras que el segundo, cuando no se cumplió con las condiciones anteriores. Para el desarrollo de este método, se usó el programa IBM SPSS Statistics 27.	Parámetros de campo	Temperatura del agua	°C	Cuantitativo Intervalo
				Oxígeno disuelto	mg/L	Cuantitativo Razón
				Potencial de hidrógeno	pH	Cuantitativo Intervalo
				Conductividad	µS/cm	Cuantitativo Razón
			Relación clima-cantidad y calidad del agua	Balance hídrico	mm	Cuantitativo Razón
				Coefficiente de correlación (Pearson o Spearman)	Adimensional	Cuantitativo Razón

Nota:

- (1) ECAs-Agua: Hace referencia a las categorías 3 “Riego de vegetales y bebida de animales” y 4 “Conservación del ambiente acuático” de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobada con Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Anexo 3: Ficha de validación por juicio de expertos

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y nombres:	Requena Sánchez, Norvin
1.2. Formación académica:	Ingeniero Sanitario MSc. en Ciencias de la Ingeniería Ambiental
1.3. Cargo e institución donde labora:	Universidad Nacional de Ingeniería
1.4. Especialidad o línea de investigación:	Monitoreo Ambiental
1.5. Título de la tesis:	Evaluación de la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa.
1.6. Nombre del instrumento de investigación:	MATRIZ DE CONSISTENCIA
1.7. Autora del instrumento de investigación:	Lavado Quispe, Ericka Catherin

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	NIVELES DE SIGNIFICANCIA				
		Deficiente (0-20%)	Regular (21-40%)	Bueno (41-60%)	Muy Bueno (61%-80%)	Excelente (81%-100%)
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.					95
2.OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.					95
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.					95
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.					92
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.					94
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.					96
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.					95
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.					95
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados. para lograr probar las hipótesis.					95
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.					95

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN

94.7

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los criterios para su aplicación
- El instrumento no cumple con los criterios para su aplicación

Sí

V. OBSERVACIONES DEL EXPERTO (A):

Excelente trabajo.

VI. RECOMENDACIONES Y/O APORTES DEL EXPERTO (A):

Realizar un paper.

Lima, 18 de julio de 2025



Firmado digitalmente por:
REQUENA SANCHEZ Norvin
Plumier FAU 20521286769 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 21/07/2025 10:20:27-0500

Requena Sánchez, Norvin
DNI: 43489032
CIP: 127791

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y nombres:	Requena Sánchez, Norvin
1.2. Grado académico:	Ingeniero Sanitario MSc. en Ciencias de la Ingeniería Ambiental
1.3. Cargo e institución donde labora:	Universidad Nacional de Ingeniería
1.4. Especialidad o línea de investigación:	Monitoreo Ambiental
1.5. Título de la tesis:	Evaluación de la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa.
1.6. Nombre del instrumento de investigación:	MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES
1.7. Autora del instrumento de investigación:	Lavado Quispe, Ericka Catherin

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	NIVELES DE SIGNIFICANCIA				
		Deficiente (0-20%)	Regular (21-40%)	Bueno (41-60%)	Muy Bueno (61%-80%)	Excelente (81%-100%)
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.					94
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.					93
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.					96
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.					95
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.					96
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.					97
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.					95
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.					95
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.					96
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.					95

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN

95.2

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los criterios para su aplicación
- El instrumento no cumple con los criterios para su aplicación

Sí

V. OBSERVACIONES DEL EXPERTO (A):

Excelente trabajo.

VI. RECOMENDACIONES Y/O APORTES DEL EXPERTO (A):

Realizar un paper.

Lima, 18 de julio de 2025



Firmado digitalmente por:
REQUENA SANCHEZ Norvin
Plumieer FAU 20521288789 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 21/07/2025 10:20:39-0500

Requena Sánchez, Norvin
DNI: 43489032
CIP: 127791

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y nombres:	Rodríguez Villanueva, Cesar Augusto
1.2. Formación académica:	Ingeniero agrícola con maestría en construcción
1.3. Cargo e institución donde labora:	Director de Petroperú Docente de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UNI Docente de la Universidad San Agustín de Arequipa, Facultad de Sistemas e Industrial
1.4. Especialidad o línea de investigación:	Ingeniero agrícola con maestría en construcción
1.5. Título de la tesis:	Evaluación de la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa.
1.6. Nombre del instrumento de investigación:	MATRIZ DE CONSISTENCIA
1.7. Autora del instrumento de investigación:	Lavado Quispe, Ericka Catherin

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	NIVELES DE SIGNIFICANCIA				
		Deficiente (0-20%)	Regular (21-40%)	Bueno (41-60%)	Muy Bueno (61%-80%)	Excelente (81%-100%)
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.					90
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.				80	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.					95
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.					90
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.					81
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.					95
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.					95
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.					95
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados. para lograr probar las hipótesis.					95
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.					90

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90.6

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los criterios para su aplicación
- El instrumento no cumple con los criterios para su aplicación

Sí

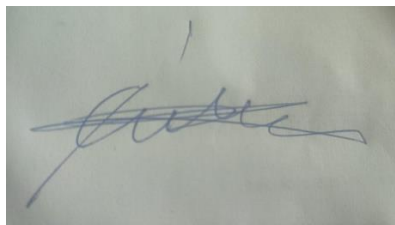
V. OBSERVACIONES DEL EXPERTO (A):

VI. RECOMENDACIONES Y/O APORTES DEL EXPERTO (A):

Se recomienda colocar en el acápite de recomendaciones de la tesis lo siguiente:

- Realizar investigaciones sobre especies de flora y fauna endémicas y en peligro de extinción que podrían verse afectados en la zona por efectos del cambio climático.

Lima, 16 de julio de 2025



Rodríguez Villanueva, Cesar Augusto
DNI: 09068271
CIP: 24122

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y nombres:	Cesar Augusto Rodríguez Villanueva
1.2. Formación académica:	Ingeniero agrícola con maestría en construcción
1.3. Cargo e institución donde labora:	Director de Petroperú Docente de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UNI Docente de la Universidad San Agustín de Arequipa, Facultad de Sistemas e Industrial
1.4. Especialidad o línea de investigación:	Ingeniero agrícola con maestría en construcción
1.5. Título de la tesis:	Evaluación de la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa.
1.6. Nombre del instrumento de investigación:	MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES
1.7. Autora del instrumento de investigación:	Lavado Quispe, Ericka Catherin

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	NIVELES DE SIGNIFICANCIA				
		Deficiente (0-20%)	Regular (21-40%)	Bueno (41-60%)	Muy Bueno (61%-80%)	Excelente (81%-100%)
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.					90
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.					85
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.					90
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.					90
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.				80	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.					90
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.					90
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.					90
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados. para lograr probar las hipótesis.					95
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.					90

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN

89.0

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los criterios para su aplicación
- El instrumento no cumple con los criterios para su aplicación

Sí

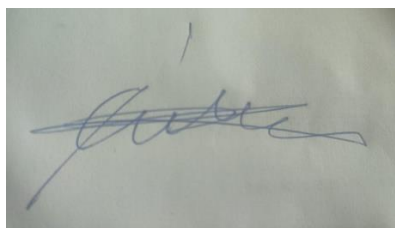
V. OBSERVACIONES DEL EXPERTO (A):

VI. RECOMENDACIONES Y/O APORTES DEL EXPERTO (A):

Se recomienda colocar en el acápite de recomendaciones de la investigación lo siguiente:

- Incluir análisis complementarios que permitan identificar a partir de qué año se evidencia los efectos del cambio climático en la calidad y cantidad del agua.
- Implementar técnicas de modelamiento y simulación tanto para cantidad como para calidad del agua tales como HEC-4, HASS y WAS para evidenciar el efecto el cambio climático en la calidad y cantidad del agua.
- Implementar técnicas de inteligencia artificial para las proyecciones de calidad y cantidad del agua.
- Efectuar una evaluación horaria durante 24 horas (1 día), uno para la época de estiaje y de avenida en el cual se evalúe los parámetros climatológicos (temperatura) e hidrológicos (caudal).

Lima, 16 de julio de 2025



Rodríguez Villanueva, Cesar Augusto
DNI: 09068271
CIP: 24122

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y nombres:	Ordoñez Gálvez, Juan Julio
1.2. Cargo e institución donde labora:	Docente investigador
1.3. Especialidad o línea de investigación:	Hidrología Ambiental
1.4. Título de la tesis:	Evaluación de la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa.
1.5. Nombre del instrumento de investigación:	MATRIZ DE CONSISTENCIA
1.6. Autora del instrumento de investigación:	Lavado Quispe, Ericka Catherin

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	NIVELES DE SIGNIFICANCIA				
		Deficiente (0-20%)	Regular (21-40%)	Bueno (41-60%)	Muy Bueno (61%-80%)	Excelente (81%-100%)
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.				61	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.				61	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.				61	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				61	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.				61	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.				61	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.				61	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.				61	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.				61	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.				61	

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN

61%


 Dr. Ing. JUAN JULIO ORDOÑEZ GALVEZ
 DNI: 88447308
 CIP: 89772

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los criterios para su aplicación
- El instrumento no cumple con los criterios para su aplicación

Sí

V. OBSERVACIONES DEL EXPERTO (A):

Se realiza una validación de la matriz de consistencia, en relación a su nivel de coherencia que tiene con relación al informe del proyecto, y que deberá ser parte de los instrumentos requeridos para la recopilación de los datos.

VI. RECOMENDACIONES Y/O APORTES DEL EXPERTO (A):

Es imprescindible, el adecuado manejo conceptual y teórico, del método de investigación.

Lima, 18 de julio de 2025


Dr. Ing. JUAN JULIO ORDOÑEZ GALVEZ
ORDÓÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO
DNI: 08447308
CIP: 89972

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y nombres:	Ordoñez Gálvez, Juan Julio
1.2. Cargo e institución donde labora:	Docente investigador
1.3. Especialidad o línea de investigación:	Hidrología Ambiental
1.4. Título de la tesis:	Evaluación de la influencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua del río Santiago en su microcuenca, Caylloma, Arequipa.
1.5. Nombre del instrumento de investigación:	MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES
1.6. Autora del instrumento de investigación:	Lavado Quispe, Ericka Catherin

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	NIVELES DE SIGNIFICANCIA				
		Deficiente (0-20%)	Regular (21-40%)	Bueno (41-60%)	Muy Bueno (61%-80%)	Excelente (81%-100%)
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.				61	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.				61	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.				61	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				61	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.				61	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.				61	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.				61	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.				61	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.				61	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.				61	

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN

61%


 Dr. Ing. JUAN JULIO ORDOÑEZ GÁLVEZ
 DNI: 88447308
 CIP: 89772

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los criterios para su aplicación
- El instrumento no cumple con los criterios para su aplicación

Sí

V. OBSERVACIONES DEL EXPERTO (A):

Se realiza una validación de la matriz de operacionalización de variables, en relación a su nivel de coherencia que tiene con relación al informe del proyecto, y que deberá ser parte de los instrumentos requeridos para la recopilación de los datos.

VI. RECOMENDACIONES Y/O APORTES DEL EXPERTO (A):

Es imprescindible, el adecuado manejo conceptual y teórico, del método de investigación.

Lima, 18 de julio de 2025


Dr. Ing. JUAN JULIO ORDOÑEZ GALVEZ
DNI: 08447308
CIP: 89972

ORDOÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO
DNI: 08447308
CIP: 89972

Anexo 4: Respuesta de SENAMHI a solicitud de información

- **Respuesta SENAMHI a la solicitud de información de data meteorológica**

← ↩ ⌂ 📧 📁 ⓘ 1 de 16 < > Es ▾

TESISTA ERICKA CATHERIN LAVADO QUISPE Recibidos x TESIS x ✕ 🖨 🔗

L Luis Felipe Gamarra Chávarry (UACGD) <lgamarra@senamhi.gob.pe> 📧 10 jul 2023, 12:27 ☆ 😊 ↶ ⋮
 para mí, Manuel, Carmen, Milagros ▾

TESISTA ERICKA CATHERIN LAVADO QUISPE:

Reciba el cordial saludo del SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI, a fin de remitirle los datos disponibles de las estaciones comprendidas en el expediente N° 5562, escala MENSUAL, período (1970 - 2022); cabe indicar que ***bajo la modalidad de servicio gratuito es por única vez***. A la espera de su confirmación en cuanto a la recepción del presente y hacerle recordar que una vez concluida y aprobada su TESIS/INVESTIGACIÓN hacer llegar un ejemplar para nuestra biblioteca especializada, saludos.

Cabe indicar que de acuerdo a los procedimientos establecidos en la Directiva N° 003-2016-SENAMHI-SG-OPP-UM, para la atención a estudiantes, tesis y investigadores bajo la modalidad de servicio gratuito, dichos usuarios firman una DECLARACIÓN JURADA, que tiene un firme compromiso LEGAL de entregar un ejemplar de su tesis para nuestra biblioteca. En ese sentido la Srta. Carmen Sulca (csulca@senamhi.gob.pe), estará atenta al cumplimiento de dicho acuerdo, saludos.

Expediente: 5562

NOTA: Se envía solo lo disponible.

--



Luis Felipe Gamarra Chávarry
 DIRECTOR DE PLANEAMIENTO, COORDINACIÓN Y CONTROL
 GERENCIA GENERAL
 SENAMHI - PERÚ

D: Jr. Canilde 785, Jesús María - Lima
 T01 6141414 Anexo -
 C: -
 E: lgamarra@senamhi.gob.pe
 W: www.senamhi.gob.pe

SENAMHI es una institución responsable con el medio ambiente. Le pedimos no imprimir este correo a menos que sea absolutamente necesario. Reduzca - Reuse - Recicle

4 archivos adjuntos • Analizado por Gmail ⓘ 📧 🔗



X MINAS CAYLLOM...



X JANACANCHA_M...



X CAYLLOMA_M_19...



X LA ANGOSTURA_...

Anexo 5: Respuesta de MINEM a solicitud de información

- **Respuesta del MINEM a la solicitud de información de data de calidad y cantidad del agua**

Respuesta a la Solicitud de Acceso a la Información Pública - Expediente N° 3209934

Recibidos x TESIS x



frai@minem.gob.pe

para mí

5 oct 2021, 14:21

Estimado(a): LAVADO QUIISPE ERICKA CATHERIN	
Por medio del presente se le da respuesta a la Solicitud de Acceso a la Información Pública.	
DATOS DEL SOLICITANTE	
Nombres y Apellidos	LAVADO QUIISPE ERICKA CATHERIN
Teléfono	987797398
Correo	ERICKALQ512@GMAIL.COM
Dirección	ASOC.OASIS MZ. E LT3
DATOS DE LA SOLICITUD	
N° Expediente	3209934
Forma Entrega	CORREO ELECTRONICO
Información Solicitada	-SOLICITO COPIA DE TODOS LOS INFORMES DE ENSAYO MENSUALES DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIAL DE LA UNIDAD MINERA BATEAS, PRECISAMENTE DE LAS ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL APROBADOS MEDIANTE R.D. N°004-2014-MEM/AM (ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL SERIDETALLADO DEL PROYECTO DE EXPLORACIÓN "ACUMULACIÓN CAYLLONA 1,2 Y 3 - ETAPA B") Y DE ESTACIONES DE AGUA SUPERFICIAL APROBADOS MEDIANTE R.D. N°195-2014-MEM-DGAM. ASIMISMO, SOLICITO SUS RESPECTIVOS INFORMES DE MONITOREO AMBIENTAL.
DATOS DE LA RESPUESTA	
Fecha de Asignación	04/10/2021
Fecha de Respuesta	05/10/2021
Respuesta a la Solicitud:	Estimada Sra. Ericka Catherin Lavado Quispe, Me dirijo a usted, en relación a su solicitud de Información requerida con el Expediente N° 3209934, para manifestarle que la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, mediante documento interno indica el enlace electrónico, el usuario y contraseña, que deberá copiar en el explorador de archivos de Windows, con la que deberá acceder a fin de descargar "Informes de monitoreo de la unidad minera Bateas": Enlace: ftp://ftp.minem.gob.pe/3209934/ Usuario: userexterno Contraseña: e32x22 Precisando que, la información se encontrará almacenada en el citado enlace hasta el 8 de octubre de 2021. En ese sentido, se tiene por atendida su solicitud de acceso a la información pública. Finalmente, agradeceremos completar una encuesta de satisfacción en el link: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQL5FFaoV55P0cNDeR7Hv_7A4MY119uLp66tG1D-Tw_8t3p6/viewform Atentamente, Alfonso Roberto Carbajal Sánchez Jefe (t) de la Oficina de Administración Documentaria y Archivo Central
Atentamente. Ministerio de Energía y Minas	
MINEM - Copyright 2021, Todos los derechos reservados	

Anexo 6: Datos climatológicos del producto grillado PISCO

Estación A-1, Latitud: -15.176083, Longitud: -71.867149, Altitud: 4578 m.s.n.m.												Temperatura máxima (°C)	
Departamento: Arequipa			Provincia: Caylloma			Distrito: Caylloma							
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1981	13.87	13.33	14.92	14.73	17.04	16.41	17.44	16.30	18.03	18.86	18.47	16.15	16.31
1982	13.62	13.87	15.08	14.92	16.40	16.05	17.07	17.73	18.79	18.63	17.00	16.63	16.33
1983	17.45	16.79	17.28	16.80	17.62	16.22	17.64	18.47	19.70	20.35	19.88	15.28	17.79
1984	11.76	12.25	14.07	14.55	16.29	14.72	15.22	16.47	19.21	18.64	16.44	14.87	15.38
1985	13.69	12.87	14.62	14.14	15.80	14.36	14.76	17.44	18.67	19.83	16.89	14.63	15.66
1986	13.67	12.05	13.63	14.81	16.14	16.57	15.55	17.34	19.10	19.89	18.69	15.78	16.12
1987	13.92	15.77	16.01	16.25	16.56	15.78	16.21	18.50	20.79	20.70	18.62	17.18	17.20
1988	14.22	15.26	14.75	14.62	16.41	16.19	16.93	19.70	19.89	20.23	19.01	14.97	16.85
1989	13.13	12.80	13.14	14.48	15.98	15.26	15.44	16.68	19.65	19.14	18.47	17.44	15.98
1990	14.45	15.32	15.91	16.15	17.11	14.74	15.86	17.54	19.98	19.56	18.18	15.74	16.72
1991	15.37	15.31	14.82	15.46	17.22	15.99	16.70	18.81	19.75	19.73	17.88	16.63	16.98
1992	15.46	15.44	16.73	17.13	18.48	16.38	16.56	17.07	19.95	19.40	18.24	16.76	17.30
1993	13.46	14.10	14.12	14.82	16.31	16.10	16.11	17.16	19.26	19.27	17.57	15.57	16.16
1994	13.80	13.47	14.64	14.91	16.95	15.99	16.89	18.53	20.21	20.40	18.38	16.56	16.75
1995	15.32	15.17	14.94	16.59	17.81	17.25	17.94	20.31	20.61	21.39	19.30	16.88	17.81
1996	13.92	14.33	15.49	15.65	17.03	16.42	17.20	17.93	20.66	21.03	18.58	16.39	17.06
1997	13.89	14.09	15.31	15.24	16.53	16.18	17.95	16.79	19.98	20.92	18.77	17.90	16.98
1998	16.95	16.86	17.56	17.91	18.92	17.08	18.27	19.23	21.66	21.27	19.15	17.22	18.51
1999	15.10	13.15	14.15	14.76	16.68	16.42	16.29	18.55	19.60	18.97	18.85	15.98	16.56
2000	12.86	12.61	14.14	15.31	17.19	15.56	15.61	17.58	20.36	18.97	19.54	16.31	16.34
2001	12.76	13.40	14.06	15.27	16.57	16.45	16.39	18.00	20.09	20.68	19.08	17.26	16.68
2002	16.16	13.67	14.98	15.03	16.55	16.35	14.48	17.42	19.22	19.36	18.33	16.67	16.53
2003	15.80	15.58	15.09	15.54	16.89	16.97	16.66	17.45	19.92	21.27	19.71	16.88	17.32
2004	14.50	14.73	16.22	16.10	17.52	16.07	15.34	16.93	19.39	19.93	19.08	16.55	16.87
2005	15.30	15.15	15.87	16.22	18.25	17.30	17.94	19.21	19.97	20.06	19.28	16.17	17.57
2006	14.05	14.61	14.88	15.48	17.21	16.58	17.69	18.06	20.22	20.62	18.19	17.00	17.06
2007	15.83	14.82	14.91	15.28	16.86	17.57	16.47	18.99	19.95	20.65	19.11	16.76	17.28
2008	13.30	14.03	14.73	15.71	17.15	16.82	17.70	18.97	20.78	20.14	19.58	16.17	17.09
2009	14.62	14.00	15.04	15.47	16.91	16.98	16.75	18.74	21.25	21.63	19.07	17.13	17.32
2010	15.55	16.13	17.08	17.14	17.88	17.60	18.17	19.99	21.30	20.99	19.55	15.80	18.11
2011	14.44	12.93	14.60	15.19	17.26	16.54	16.76	18.69	19.88	20.15	19.21	15.52	16.79
2012	13.82	12.94	14.85	14.30	16.53	15.73	17.01	18.53	20.49	20.56	18.85	15.04	16.57
2013	14.96	14.41	15.93	17.26	17.38	15.61	16.32	17.64	20.89	20.23	19.24	15.93	17.16
2014	14.40	15.68	15.62	16.18	16.86	17.43	16.73	17.63	19.15	20.00	19.06	17.16	17.16
2015	14.83	14.45	14.79	14.66	16.46	17.25	16.92	18.22	20.63	20.58	19.31	17.78	17.17
2016	18.02	16.44	17.93	16.82	18.22	16.64	17.35	18.59	20.97	20.30	19.59	16.94	18.16
2017	13.47	14.44	14.51	15.39	16.24	16.74	18.13	19.00	20.33	20.75	19.54	16.88	17.13
2018	14.20	14.92	15.21	15.62	17.30	15.37	15.84	17.20	21.06	19.89	19.46	17.71	16.99
2019	15.51	14.61	15.68	15.97	17.39	17.72	17.43	19.47	20.63	20.43	18.52	17.02	17.55
2020	15.13	14.82	15.62	16.25	17.73	17.86	18.56	19.79	20.82	20.14	20.34	16.26	17.78
Prom.	14.56	14.41	15.22	15.60	17.04	16.38	16.76	18.17	20.07	20.14	18.80	16.44	16.98

Estación A-2, Latitud: -15.228118, Longitud: -71.824619, Altitud: 4422 m.s.n.m.												Temperatura máxima (°C)	
Departamento: Arequipa			Provincia: Caylloma			Distrito: Caylloma							
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1981	14.33	13.89	14.98	15.02	15.97	14.98	15.32	13.48	14.73	16.40	17.85	16.73	15.31
1982	14.14	14.69	15.10	15.13	15.45	14.68	15.00	14.92	15.48	16.27	16.21	17.23	15.36
1983	17.84	16.97	17.61	17.29	16.84	15.29	15.83	16.05	16.64	17.97	19.29	16.00	16.97
1984	12.50	12.89	14.17	15.08	15.53	13.45	13.21	13.86	16.13	16.14	15.58	15.29	14.49
1985	14.19	13.47	14.81	14.56	14.74	12.71	12.54	14.83	15.51	17.16	15.67	14.74	14.59
1986	14.36	12.94	13.90	15.11	14.92	15.00	13.29	14.54	15.86	17.31	17.72	15.96	15.08
1987	14.41	16.11	15.98	16.69	15.73	14.23	14.03	15.78	17.63	17.98	17.79	17.79	16.18
1988	14.82	15.86	14.72	15.05	15.57	14.75	14.83	16.96	16.86	17.66	18.51	15.64	15.93
1989	13.91	13.49	13.48	14.71	14.87	13.73	13.12	13.72	16.66	16.93	17.30	17.71	14.97
1990	14.96	15.73	16.04	16.51	16.40	13.25	13.78	14.68	16.80	17.09	17.29	15.97	15.71
1991	15.82	15.83	15.18	15.90	16.29	14.36	14.41	16.00	16.28	17.46	17.02	16.90	15.96
1992	15.65	15.91	16.93	17.54	17.72	15.08	14.63	14.25	16.95	16.98	17.33	16.84	16.31
1993	14.07	14.85	14.28	15.30	15.48	14.62	14.28	14.58	16.44	16.92	16.90	16.19	15.32
1994	14.51	14.18	14.76	15.33	15.99	14.46	14.79	15.73	16.81	17.96	17.58	16.82	15.75
1995	15.78	15.85	15.09	16.88	16.92	15.79	15.93	17.58	17.32	18.81	18.38	16.93	16.78
1996	14.71	14.84	15.73	16.00	16.05	14.78	14.87	15.12	17.32	18.63	17.44	16.56	16.01
1997	14.30	14.41	15.08	15.33	15.66	15.02	15.88	14.15	16.92	18.49	18.01	18.53	15.99
1998	17.24	17.25	17.78	18.27	17.93	15.80	16.26	16.67	18.52	18.68	18.14	17.58	17.51
1999	15.79	13.68	14.20	14.97	15.76	14.80	14.17	15.65	16.36	16.21	17.98	16.73	15.53
2000	13.57	13.40	14.54	16.01	16.43	14.12	13.54	14.91	17.40	16.14	18.63	16.34	15.42
2001	13.33	13.95	14.26	15.49	15.45	14.72	14.17	14.97	17.03	17.98	18.54	17.42	15.61
2002	16.56	14.22	15.16	15.34	15.60	14.92	12.27	14.49	16.03	16.76	17.58	16.99	15.50
2003	16.12	16.01	15.26	15.90	15.90	15.36	14.58	14.84	16.52	18.59	18.75	17.57	16.28
2004	14.76	15.34	16.28	16.45	16.59	14.29	13.35	14.17	16.18	17.76	18.53	17.36	15.92
2005	15.87	15.32	16.08	16.55	16.99	15.66	15.87	16.30	16.63	17.54	18.13	16.55	16.46
2006	14.49	15.30	15.18	15.92	16.26	15.10	15.35	15.43	17.09	18.09	17.45	17.57	16.11
2007	16.31	15.51	14.97	15.76	15.99	16.02	14.50	16.53	16.52	18.04	18.15	17.05	16.28
2008	13.93	14.86	15.05	16.35	16.18	15.37	15.44	16.27	17.71	17.72	18.85	16.32	16.17
2009	15.34	14.75	15.30	15.99	16.10	15.51	14.77	16.03	18.06	19.22	18.24	17.73	16.43
2010	15.95	16.40	17.14	17.53	16.95	16.33	16.27	17.39	18.30	18.52	18.99	16.32	17.17
2011	15.45	13.72	14.87	15.81	16.37	15.28	14.76	16.09	16.70	17.88	18.64	16.15	15.99
2012	14.39	13.57	14.88	14.79	15.72	14.48	14.90	15.88	17.29	18.23	18.32	15.43	15.66
2013	15.24	15.05	16.10	17.44	16.49	13.95	14.31	15.04	17.67	17.88	18.47	16.22	16.16
2014	15.08	16.40	16.10	16.50	16.28	16.41	14.86	15.06	15.98	17.44	18.31	17.82	16.35
2015	15.36	15.00	15.10	14.95	15.76	16.07	15.07	15.36	17.33	17.95	18.54	17.99	16.21
2016	18.46	16.70	18.26	17.08	17.36	15.44	15.42	16.05	18.02	17.77	18.61	17.63	17.24
2017	14.34	15.41	14.76	15.83	15.35	15.41	15.98	16.34	17.12	18.15	18.67	17.17	16.21
2018	14.81	15.30	15.33	16.20	16.51	13.84	13.72	14.60	17.78	17.40	18.89	18.09	16.04
2019	16.16	15.26	15.99	16.42	16.58	16.30	15.44	16.83	17.64	18.10	17.78	17.91	16.71
2020	15.70	15.40	16.00	16.66	16.85	16.56	16.50	17.22	17.65	17.38	19.53	16.83	16.86
Prom.	15.11	14.99	15.41	15.99	16.14	14.95	14.68	15.46	16.90	17.64	17.99	16.87	16.01

Estación A-1, Latitud: -15.176083, Longitud: -71.867149, Altitud: 4578 m.s.n.m.												Temperatura mínima (°C)	
Departamento: Arequipa			Provincia: Caylloma			Distrito: Caylloma							
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1981	-0.06	1.39	-0.22	-2.45	-5.06	-7.19	-6.71	-6.96	-6.37	-3.34	-2.16	0.18	-3.27
1982	0.44	1.02	0.86	-2.04	-5.77	-6.71	-6.41	-6.76	-4.85	-2.98	-1.50	-1.11	-3.01
1983	0.15	0.54	0.61	-0.96	-4.99	-6.55	-6.30	-4.86	-4.43	-4.29	-2.87	-0.57	-2.90
1984	-0.18	1.00	0.75	-1.21	-4.33	-6.35	-7.35	-7.55	-6.64	-2.60	-2.48	-0.60	-3.14
1985	-0.64	1.08	0.55	-0.71	-4.18	-6.68	-7.96	-6.39	-4.92	-4.22	-3.07	-0.60	-3.17
1986	1.08	0.86	0.46	-0.40	-5.81	-5.35	-7.34	-6.43	-4.98	-4.47	-2.52	0.16	-2.92
1987	1.46	0.67	-0.94	-1.90	-5.12	-6.75	-6.62	-6.42	-4.51	-2.86	-1.06	0.33	-2.83
1988	1.59	1.24	1.04	-0.12	-4.05	-6.61	-5.54	-5.04	-3.92	-3.60	-2.70	-0.42	-2.35
1989	0.49	0.86	0.12	-1.13	-3.74	-6.10	-7.09	-7.06	-4.87	-2.62	-3.95	-1.47	-3.07
1990	0.58	-0.16	-0.63	-1.67	-4.26	-6.10	-6.98	-6.30	-4.91	-1.95	-1.06	0.12	-2.79
1991	0.51	1.90	0.80	-1.00	-4.27	-6.79	-6.92	-5.71	-5.13	-2.84	-3.37	-1.46	-2.88
1992	-0.08	0.17	-0.97	-2.75	-4.24	-5.61	-7.26	-7.02	-5.27	-2.90	-3.06	-0.79	-3.32
1993	0.53	0.08	0.27	-0.76	-4.81	-7.04	-6.60	-6.55	-4.42	-2.25	-1.29	1.31	-2.64
1994	1.08	1.48	0.39	-0.34	-4.20	-6.28	-6.94	-6.38	-4.19	-3.65	-2.16	-0.05	-2.63
1995	0.52	0.46	0.78	-1.26	-4.11	-5.63	-5.64	-4.52	-3.33	-2.95	-1.97	-0.68	-2.38
1996	0.25	1.40	0.41	-0.08	-3.55	-6.26	-6.51	-5.52	-4.90	-2.80	-2.84	0.37	-2.51
1997	0.74	1.20	-0.56	-2.78	-4.89	-7.73	-5.89	-6.23	-2.91	-2.60	-1.79	0.76	-2.74
1998	2.42	2.61	1.56	-0.88	-4.82	-4.85	-5.77	-5.16	-4.32	-2.04	-2.44	-0.24	-2.02
1999	0.34	1.54	0.75	-0.62	-3.94	-6.25	-6.05	-5.96	-4.50	-2.23	-3.60	-0.18	-2.58
2000	0.57	0.93	0.48	-1.13	-3.87	-5.99	-6.80	-5.81	-4.65	-2.77	-3.77	-0.07	-2.75
2001	0.59	1.34	0.76	-1.15	-4.15	-5.10	-6.10	-5.89	-4.12	-2.30	-1.69	-0.13	-2.35
2002	0.27	1.87	1.02	-0.71	-3.71	-4.47	-6.15	-6.37	-3.96	-1.78	-1.22	0.95	-2.05
2003	1.29	1.52	0.94	-1.00	-3.78	-6.51	-6.05	-6.06	-5.12	-3.34	-2.46	0.26	-2.55
2004	0.59	0.98	0.58	-1.55	-5.30	-6.03	-6.46	-5.62	-3.81	-2.94	-2.04	0.34	-2.62
2005	0.21	1.94	1.05	-1.24	-4.74	-6.76	-5.64	-6.84	-4.61	-2.82	-2.24	0.28	-2.64
2006	0.76	1.54	1.32	-0.52	-5.44	-6.04	-7.36	-5.50	-5.29	-3.24	-1.21	-0.11	-2.62
2007	1.11	1.04	1.31	-0.19	-3.84	-5.17	-6.24	-6.05	-3.03	-2.87	-2.58	-0.61	-2.28
2008	1.22	0.77	-0.59	-3.12	-5.96	-6.25	-7.02	-7.00	-5.69	-2.08	-2.21	-0.23	-3.19
2009	0.34	1.40	0.16	-0.95	-4.49	-7.54	-5.96	-7.14	-4.19	-2.93	-0.90	0.48	-2.67
2010	1.35	2.20	1.35	-0.71	-3.60	-4.69	-6.98	-5.79	-4.25	-3.18	-3.78	-0.10	-2.37
2011	0.20	1.25	0.12	-0.92	-3.78	-5.89	-6.00	-5.47	-4.18	-4.12	-2.01	0.01	-2.59
2012	0.42	0.75	0.22	-0.52	-4.60	-6.42	-6.52	-6.31	-3.88	-2.25	-1.62	1.00	-2.49
2013	0.99	1.46	0.38	-2.87	-3.66	-4.54	-5.32	-5.94	-5.59	-2.60	-2.55	0.45	-2.50
2014	0.28	0.10	-0.20	-0.99	-4.76	-5.93	-5.60	-5.18	-2.69	-1.79	-2.35	0.20	-2.42
2015	0.41	1.14	0.67	-0.28	-3.69	-5.13	-6.29	-5.31	-3.78	-2.74	-1.72	0.03	-2.25
2016	0.16	2.20	0.66	-1.03	-4.96	-6.41	-5.82	-5.99	-5.13	-3.30	-4.06	-0.26	-2.84
2017	1.10	0.47	0.61	-1.14	-3.06	-5.75	-6.09	-6.72	-3.30	-3.37	-2.21	-0.22	-2.49
2018	0.40	1.22	0.76	-2.23	-5.30	-4.89	-5.19	-5.82	-5.87	-2.45	-1.82	-0.93	-2.70
2019	0.83	1.69	1.32	-0.35	-3.98	-5.13	-5.82	-5.94	-3.05	-2.63	-0.29	0.41	-1.94
2020	1.24	2.46	1.19	-1.00	-3.73	-5.26	-6.91	-5.64	-3.32	-1.89	-2.56	0.40	-2.10
Prom.	0.64	1.19	0.50	-1.17	-4.41	-6.02	-6.41	-6.08	-4.47	-2.86	-2.28	-0.07	-2.64

Estación A-2, Latitud: -15.228118, Longitud: -71.824619, Altitud: 4422 m.s.n.m.												Temperatura mínima (°C)	
Departamento: Arequipa			Provincia: Caylloma			Distrito: Caylloma							
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1981	0.55	1.80	0.47	-1.52	-4.50	-7.69	-7.36	-7.37	-6.91	-3.56	-2.21	0.08	-3.21
1982	1.07	1.44	1.57	-1.11	-5.48	-7.12	-6.95	-7.29	-5.19	-2.83	-1.02	-0.99	-2.85
1983	0.79	1.15	1.32	0.34	-4.12	-6.28	-6.65	-5.10	-4.54	-4.47	-3.20	-0.70	-2.64
1984	0.48	1.48	1.55	-0.07	-3.60	-6.40	-7.74	-7.97	-7.23	-2.46	-2.21	-0.56	-2.91
1985	-0.07	1.53	1.28	0.50	-3.39	-6.53	-8.49	-6.72	-5.17	-4.42	-3.05	-0.59	-2.96
1986	1.44	1.37	1.22	0.73	-5.35	-5.86	-8.08	-6.94	-5.33	-4.85	-2.66	0.17	-2.88
1987	2.03	0.97	-0.04	-0.77	-4.34	-7.01	-7.07	-6.93	-4.95	-2.83	-1.00	0.22	-2.66
1988	1.99	1.47	1.82	1.12	-3.22	-6.94	-6.18	-5.79	-4.22	-3.85	-2.94	-0.36	-2.27
1989	0.92	1.34	0.98	-0.01	-3.01	-6.22	-7.54	-7.46	-5.14	-2.79	-4.12	-1.54	-2.90
1990	1.01	0.14	-0.09	-0.67	-3.49	-6.06	-7.59	-7.01	-5.61	-2.03	-1.12	0.09	-2.72
1991	0.87	2.08	1.66	0.15	-3.63	-7.16	-7.52	-6.45	-5.51	-3.02	-3.54	-1.55	-2.83
1992	0.43	0.78	-0.14	-1.81	-3.62	-5.67	-7.71	-7.50	-5.88	-3.12	-3.19	-0.88	-3.20
1993	0.90	0.45	1.05	0.41	-3.92	-7.32	-7.03	-6.98	-4.84	-2.36	-1.15	1.28	-2.47
1994	1.55	1.92	1.08	0.90	-3.55	-6.67	-7.55	-6.99	-4.61	-3.79	-2.01	0.08	-2.50
1995	1.21	0.84	1.54	-0.47	-3.66	-6.18	-6.41	-5.39	-3.87	-3.42	-2.16	-0.99	-2.43
1996	0.74	1.81	1.03	1.06	-2.94	-6.65	-7.30	-5.92	-5.61	-3.19	-2.89	0.29	-2.48
1997	1.41	1.60	0.37	-1.71	-4.16	-7.55	-6.27	-6.25	-2.81	-2.56	-1.47	0.86	-2.40
1998	3.10	3.23	2.42	0.24	-4.34	-4.90	-6.31	-5.74	-4.89	-2.28	-2.51	-0.34	-1.89
1999	0.82	2.08	1.66	0.56	-3.21	-6.59	-6.62	-6.42	-4.93	-2.20	-3.89	-0.31	-2.44
2000	1.29	1.53	1.22	-0.20	-3.18	-6.19	-7.21	-6.26	-5.14	-2.93	-4.09	-0.29	-2.63
2001	1.14	1.80	1.61	-0.02	-3.43	-5.23	-6.68	-6.62	-4.57	-2.71	-2.03	-0.46	-2.29
2002	0.65	2.38	1.89	0.65	-2.91	-4.62	-6.57	-7.01	-4.41	-1.80	-1.31	0.81	-1.88
2003	1.84	2.03	1.79	0.08	-3.15	-7.06	-6.78	-6.61	-5.66	-3.80	-2.78	0.14	-2.52
2004	1.35	1.46	1.22	-0.39	-4.95	-6.56	-6.89	-6.16	-4.12	-3.17	-2.16	0.25	-2.53
2005	0.81	2.30	1.82	-0.22	-4.30	-7.45	-6.28	-7.76	-5.10	-2.93	-2.26	0.30	-2.62
2006	1.26	1.88	2.04	0.51	-5.00	-6.39	-8.09	-5.95	-5.73	-3.11	-1.00	-0.20	-2.51
2007	1.52	1.65	2.13	1.01	-3.04	-5.42	-6.81	-6.63	-3.27	-3.18	-2.96	-0.72	-2.17
2008	1.81	1.21	0.27	-2.14	-5.55	-6.41	-7.51	-7.59	-6.24	-2.12	-2.41	-0.08	-3.07
2009	0.86	1.88	0.94	-0.06	-3.92	-8.08	-6.37	-7.95	-4.67	-3.31	-0.79	0.48	-2.61
2010	2.05	2.67	2.03	0.26	-3.03	-4.91	-7.60	-6.44	-4.92	-3.37	-4.04	-0.13	-2.32
2011	0.66	1.89	1.11	0.07	-3.09	-6.07	-6.42	-5.96	-4.69	-4.30	-2.23	-0.13	-2.46
2012	0.97	1.34	1.00	0.84	-3.95	-6.50	-7.09	-7.05	-4.43	-2.42	-1.76	1.22	-2.33
2013	1.44	1.98	1.05	-2.05	-3.04	-4.91	-5.73	-6.39	-6.26	-2.86	-2.58	0.51	-2.42
2014	0.90	0.43	0.46	-0.02	-4.00	-6.05	-6.09	-5.52	-2.84	-2.01	-2.51	0.06	-2.28
2015	0.83	1.61	1.51	1.01	-2.94	-5.31	-6.74	-5.78	-4.03	-3.00	-1.82	-0.25	-2.10
2016	0.56	2.64	1.33	0.15	-4.47	-6.75	-6.19	-6.57	-5.61	-3.39	-4.27	-0.34	-2.76
2017	1.76	1.11	1.68	0.17	-2.04	-5.85	-6.66	-7.43	-3.62	-3.84	-2.46	-0.45	-2.33
2018	0.97	1.72	1.49	-1.36	-4.84	-4.96	-5.51	-6.20	-6.44	-2.41	-1.80	-1.13	-2.56
2019	1.36	2.25	2.12	0.90	-3.25	-5.63	-6.50	-6.89	-3.53	-2.99	-0.27	0.38	-1.87
2020	1.67	2.99	2.10	0.20	-2.94	-5.45	-7.74	-6.30	-3.68	-2.04	-3.07	0.24	-2.02
Prom.	1.17	1.66	1.29	-0.07	-3.76	-6.27	-6.95	-6.63	-4.91	-3.04	-2.37	-0.14	-2.52

Estación A-1, Latitud: -15.176083, Longitud: -71.867149, Altitud: 4578 m.s.n.m.												Temperatura media (°C)	
Departamento: Arequipa			Provincia: Caylloma			Distrito: Caylloma							
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1981	6.90	7.36	7.35	6.14	5.99	4.61	5.36	4.67	5.83	7.76	8.16	8.16	6.52
1982	7.03	7.44	7.97	6.44	5.31	4.67	5.33	5.48	6.97	7.82	7.75	7.76	6.66
1983	8.80	8.67	8.95	7.92	6.31	4.83	5.67	6.80	7.63	8.03	8.50	7.36	7.45
1984	5.79	6.63	7.41	6.67	5.98	4.19	3.93	4.46	6.28	8.02	6.98	7.13	6.12
1985	6.52	6.97	7.59	6.71	5.81	3.84	3.40	5.53	6.87	7.81	6.91	7.02	6.24
1986	7.38	6.46	7.04	7.20	5.17	5.61	4.10	5.45	7.06	7.71	8.08	7.97	6.60
1987	7.69	8.22	7.53	7.18	5.72	4.52	4.79	6.04	8.14	8.92	8.78	8.76	7.18
1988	7.90	8.25	7.89	7.25	6.18	4.79	5.70	7.33	7.98	8.31	8.15	7.27	7.25
1989	6.81	6.83	6.63	6.67	6.12	4.58	4.18	4.81	7.39	8.26	7.26	7.98	6.46
1990	7.52	7.58	7.64	7.24	6.43	4.32	4.44	5.62	7.54	8.80	8.56	7.93	6.96
1991	7.94	8.60	7.81	7.23	6.48	4.60	4.89	6.55	7.31	8.45	7.26	7.59	7.05
1992	7.69	7.80	7.88	7.19	7.12	5.39	4.65	5.02	7.34	8.25	7.59	7.98	6.99
1993	6.99	7.09	7.19	7.03	5.75	4.53	4.75	5.31	7.42	8.51	8.14	8.44	6.76
1994	7.44	7.48	7.51	7.29	6.37	4.85	4.97	6.08	8.01	8.38	8.11	8.25	7.06
1995	7.92	7.82	7.86	7.67	6.85	5.81	6.15	7.89	8.64	9.22	8.66	8.10	7.72
1996	7.09	7.87	7.95	7.78	6.74	5.08	5.34	6.21	7.88	9.12	7.87	8.38	7.27
1997	7.31	7.64	7.37	6.23	5.82	4.22	6.03	5.28	8.53	9.16	8.49	9.33	7.12
1998	9.69	9.74	9.56	8.52	7.05	6.11	6.25	7.04	8.67	9.61	8.36	8.49	8.25
1999	7.72	7.34	7.45	7.07	6.37	5.08	5.12	6.30	7.55	8.37	7.63	7.90	6.99
2000	6.71	6.77	7.31	7.09	6.66	4.78	4.40	5.89	7.85	8.10	7.89	8.12	6.80
2001	6.68	7.37	7.41	7.06	6.21	5.67	5.14	6.05	7.99	9.19	8.69	8.57	7.17
2002	8.21	7.77	8.00	7.16	6.42	5.94	4.17	5.53	7.63	8.79	8.56	8.81	7.24
2003	8.55	8.55	8.02	7.27	6.55	5.23	5.30	5.69	7.40	8.97	8.62	8.57	7.39
2004	7.54	7.86	8.40	7.27	6.11	5.02	4.44	5.66	7.79	8.49	8.52	8.45	7.13
2005	7.76	8.55	8.46	7.49	6.76	5.27	6.15	6.19	7.68	8.62	8.52	8.22	7.46
2006	7.40	8.08	8.10	7.48	5.89	5.27	5.17	6.28	7.46	8.69	8.49	8.44	7.22
2007	8.47	7.93	8.11	7.54	6.51	6.20	5.12	6.47	8.46	8.89	8.26	8.08	7.50
2008	7.26	7.40	7.07	6.30	5.60	5.29	5.34	5.98	7.55	9.03	8.68	7.97	6.95
2009	7.48	7.70	7.60	7.26	6.21	4.72	5.40	5.80	8.53	9.35	9.09	8.80	7.33
2010	8.45	9.17	9.21	8.21	7.14	6.45	5.60	7.10	8.52	8.91	7.89	7.85	7.87
2011	7.32	7.09	7.36	7.13	6.74	5.32	5.38	6.61	7.85	8.02	8.60	7.76	7.10
2012	7.12	6.84	7.54	6.89	5.97	4.65	5.24	6.11	8.31	9.15	8.62	8.02	7.04
2013	7.98	7.93	8.16	7.20	6.86	5.53	5.50	5.85	7.65	8.82	8.35	8.19	7.33
2014	7.34	7.89	7.71	7.59	6.05	5.75	5.56	6.23	8.23	9.10	8.35	8.68	7.37
2015	7.62	7.80	7.73	7.19	6.38	6.06	5.32	6.45	8.43	8.92	8.80	8.90	7.46
2016	9.09	9.32	9.30	7.89	6.63	5.11	5.76	6.30	7.92	8.50	7.76	8.34	7.66
2017	7.29	7.46	7.56	7.13	6.59	5.50	6.02	6.14	8.51	8.69	8.66	8.33	7.32
2018	7.30	8.07	7.99	6.69	6.00	5.24	5.32	5.69	7.59	8.72	8.82	8.39	7.15
2019	8.17	8.15	8.50	7.81	6.71	6.30	5.80	6.77	8.79	8.90	9.12	8.72	7.81
2020	8.18	8.64	8.41	7.63	7.00	6.30	5.83	7.08	8.75	9.12	8.89	8.33	7.84
Prom.	7.60	7.80	7.86	7.22	6.31	5.18	5.18	6.04	7.80	8.64	8.26	8.18	7.17

Estación A-2, Latitud: -15.228118, Longitud: -71.824619, Altitud: 4422 m.s.n.m.												Temperatura media (°C)	
Departamento: Arequipa			Provincia: Caylloma			Distrito: Caylloma							
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1981	7.44	7.84	7.72	6.75	5.74	3.65	3.98	3.05	3.91	6.42	7.82	8.41	6.05
1982	7.60	8.07	8.34	7.01	4.99	3.78	4.02	3.82	5.15	6.72	7.60	8.12	6.26
1983	9.32	9.06	9.47	8.81	6.36	4.50	4.59	5.48	6.05	6.75	8.04	7.65	7.16
1984	6.49	7.19	7.86	7.50	5.96	3.52	2.74	2.95	4.45	6.84	6.69	7.37	5.79
1985	7.06	7.50	8.05	7.53	5.68	3.09	2.02	4.06	5.17	6.37	6.31	7.07	5.82
1986	7.90	7.15	7.56	7.92	4.78	4.57	2.61	3.80	5.27	6.23	7.53	8.07	6.10
1987	8.22	8.54	7.97	7.96	5.69	3.61	3.48	4.43	6.34	7.58	8.39	9.01	6.76
1988	8.41	8.67	8.27	8.09	6.17	3.91	4.33	5.59	6.32	6.90	7.79	7.64	6.83
1989	7.42	7.41	7.23	7.35	5.93	3.76	2.79	3.13	5.76	7.07	6.59	8.09	6.03
1990	7.98	7.94	7.97	7.92	6.45	3.59	3.10	3.84	5.60	7.53	8.09	8.03	6.49
1991	8.35	8.96	8.42	8.03	6.33	3.60	3.45	4.78	5.38	7.22	6.74	7.68	6.56
1992	8.04	8.35	8.40	7.86	7.05	4.70	3.46	3.37	5.53	6.93	7.07	7.98	6.56
1993	7.49	7.65	7.67	7.86	5.78	3.65	3.62	3.80	5.80	7.28	7.88	8.74	6.42
1994	8.03	8.05	7.92	8.11	6.22	3.90	3.62	4.37	6.10	7.08	7.78	8.45	6.63
1995	8.49	8.34	8.31	8.21	6.63	4.80	4.76	6.10	6.73	7.69	8.11	7.97	7.17
1996	7.72	8.32	8.38	8.53	6.55	4.07	3.79	4.60	5.85	7.72	7.27	8.43	6.76
1997	7.86	8.00	7.72	6.81	5.75	3.74	4.80	3.95	7.06	7.96	8.27	9.69	6.80
1998	10.17	10.24	10.10	9.26	6.79	5.45	4.97	5.46	6.81	8.20	7.81	8.62	7.81
1999	8.30	7.88	7.93	7.77	6.28	4.11	3.77	4.62	5.71	7.01	7.04	8.21	6.55
2000	7.43	7.47	7.88	7.91	6.63	3.97	3.16	4.32	6.13	6.60	7.27	8.02	6.39
2001	7.24	7.88	7.94	7.73	6.01	4.74	3.75	4.18	6.23	7.63	8.26	8.48	6.66
2002	8.61	8.30	8.53	8.00	6.34	5.15	2.85	3.74	5.81	7.48	8.13	8.90	6.81
2003	8.98	9.02	8.52	7.99	6.38	4.15	3.90	4.12	5.43	7.39	7.98	8.85	6.88
2004	8.05	8.40	8.75	8.03	5.82	3.87	3.23	4.00	6.03	7.30	8.19	8.80	6.70
2005	8.34	8.81	8.95	8.16	6.34	4.10	4.79	4.27	5.76	7.30	7.94	8.43	6.92
2006	7.88	8.59	8.61	8.22	5.63	4.36	3.63	4.74	5.68	7.49	8.23	8.68	6.80
2007	8.92	8.58	8.55	8.39	6.48	5.30	3.85	4.95	6.63	7.43	7.60	8.16	7.06
2008	7.87	8.04	7.66	7.11	5.32	4.48	3.96	4.34	5.73	7.80	8.22	8.12	6.55
2009	8.10	8.32	8.12	7.97	6.09	3.71	4.20	4.04	6.69	7.95	8.72	9.10	6.91
2010	9.00	9.53	9.59	8.89	6.96	5.71	4.34	5.48	6.69	7.57	7.47	8.09	7.43
2011	8.06	7.81	7.99	7.94	6.64	4.61	4.17	5.07	6.01	6.79	8.21	8.01	6.77
2012	7.68	7.45	7.94	7.82	5.89	3.99	3.90	4.42	6.43	7.90	8.28	8.33	6.66
2013	8.34	8.51	8.57	7.70	6.72	4.52	4.29	4.32	5.70	7.51	7.95	8.37	6.87
2014	7.99	8.42	8.28	8.24	6.14	5.18	4.39	4.77	6.57	7.72	7.90	8.94	7.03
2015	8.09	8.31	8.31	7.98	6.41	5.38	4.17	4.79	6.65	7.48	8.36	8.87	7.06
2016	9.51	9.67	9.79	8.61	6.45	4.34	4.62	4.74	6.21	7.19	7.17	8.64	7.24
2017	8.05	8.26	8.22	8.00	6.65	4.78	4.66	4.45	6.75	7.15	8.10	8.36	6.94
2018	7.89	8.51	8.41	7.42	5.83	4.44	4.10	4.20	5.67	7.50	8.54	8.48	6.74
2019	8.76	8.75	9.05	8.66	6.66	5.34	4.47	4.97	7.06	7.55	8.75	9.15	7.42
2020	8.69	9.20	9.05	8.43	6.96	5.55	4.38	5.46	6.98	7.67	8.23	8.53	7.42
Prom.	8.14	8.32	8.35	7.96	6.19	4.34	3.87	4.41	6.00	7.30	7.81	8.36	6.75

Estación A-1, Latitud: -15.176083, Longitud: -71.867149, Altitud: 4578 m.s.n.m.											Precipitación total (mm)		
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1981	207.04	245.99	145.30	79.11	1.81	0.02	0.02	28.64	10.13	48.05	80.13	105.84	952.08
1982	172.31	129.21	188.10	60.33	0.09	0.19	0.00	4.68	66.72	94.47	113.34	56.75	886.19
1983	76.55	73.23	63.03	61.20	3.66	0.00	0.10	0.07	17.54	20.42	1.21	60.62	377.63
1984	267.52	236.49	200.77	46.30	3.01	5.44	0.88	16.36	1.27	58.92	146.33	134.06	1117.35
1985	32.81	243.45	138.84	98.52	22.33	20.39	0.00	1.15	14.49	0.10	50.03	198.04	820.15
1986	205.17	173.86	171.39	82.83	19.86	0.00	0.05	3.33	21.87	20.21	47.41	105.35	851.33
1987	228.67	139.32	74.56	52.74	3.62	0.02	0.22	1.40	1.08	40.94	44.32	79.70	666.59
1988	164.90	139.83	83.63	48.45	14.17	0.00	0.06	1.24	2.54	25.58	4.68	97.12	582.2
1989	193.14	183.90	218.49	76.48	10.99	0.55	0.01	1.86	0.67	7.16	39.75	72.60	805.6
1990	142.02	81.43	115.33	49.22	8.09	0.36	0.05	2.96	19.61	61.59	65.26	99.32	645.24
1991	101.85	115.37	173.88	55.77	12.01	0.17	0.09	1.30	4.63	47.41	49.00	72.28	633.76
1992	118.33	85.85	70.74	3.40	0.03	0.46	0.03	3.38	2.78	38.25	49.87	92.45	465.57
1993	192.82	77.21	123.30	70.93	13.23	0.00	0.00	1.30	21.16	60.14	63.26	151.58	774.93
1994	256.14	258.00	150.42	73.75	7.13	0.00	0.20	0.04	18.80	6.87	48.38	102.95	922.68
1995	133.74	98.52	146.24	56.78	2.84	0.09	0.10	1.54	20.00	30.91	55.76	84.75	631.27
1996	203.04	218.04	93.13	74.85	15.69	0.00	0.00	1.48	18.55	8.56	44.26	95.43	773.03
1997	171.82	188.34	83.86	59.53	12.12	0.00	0.03	2.51	22.50	36.02	50.84	87.68	715.25
1998	191.02	205.90	87.37	58.45	0.00	0.00	0.05	1.25	0.36	39.71	58.63	91.00	733.74
1999	147.30	259.48	262.39	73.83	12.69	0.00	0.01	0.07	21.29	65.52	48.20	100.46	991.24
2000	204.45	233.98	216.51	18.04	12.30	0.09	0.10	2.10	3.73	58.61	28.96	136.77	915.64
2001	263.94	239.83	205.68	72.29	14.99	0.02	0.35	1.46	19.23	11.60	6.90	77.75	914.04
2002	119.20	261.39	185.26	73.10	13.33	0.02	0.26	0.04	20.49	59.25	63.43	112.60	908.37
2003	165.22	187.01	207.99	59.75	9.13	0.07	0.00	1.69	18.51	20.94	49.77	95.71	815.79
2004	183.20	216.37	151.33	64.00	2.43	0.14	0.28	2.30	20.14	9.43	10.27	94.88	754.77
2005	149.83	157.45	140.71	75.76	0.11	0.00	0.05	1.29	18.10	46.61	48.95	129.84	768.7
2006	162.79	216.97	204.45	75.25	4.31	0.12	0.20	2.40	20.94	54.89	63.79	100.35	906.46
2007	162.08	202.45	247.73	77.05	13.42	0.00	0.11	0.05	22.13	44.92	54.74	102.42	927.1
2008	211.53	190.02	145.72	2.41	1.34	0.00	0.00	1.29	0.38	47.04	10.19	130.33	740.25
2009	168.40	206.60	137.92	62.63	7.06	0.00	0.21	0.05	21.23	44.14	63.38	94.93	806.55
2010	223.61	193.32	141.45	67.28	4.72	0.00	0.06	0.05	4.02	54.62	9.17	143.07	841.37
2011	199.34	260.41	184.14	76.75	15.24	0.00	0.10	2.07	17.19	11.09	46.46	132.90	945.69
2012	163.79	261.47	213.75	78.55	6.15	0.05	0.04	0.05	25.80	46.42	48.94	157.90	1002.91
2013	157.07	198.63	187.84	9.32	13.67	0.16	0.05	1.76	0.27	55.61	50.94	97.01	772.33
2014	157.13	181.65	170.29	76.56	5.93	0.00	0.00	2.05	40.45	52.90	46.07	98.63	831.66
2015	196.24	200.38	184.80	77.19	12.28	0.17	0.31	1.97	17.15	23.92	49.42	83.56	847.39
2016	87.18	185.35	101.18	65.91	5.39	0.26	0.13	1.94	3.02	46.53	46.81	96.78	640.48
2017	170.82	170.46	181.16	64.96	1.73	0.01	0.09	0.09	21.82	50.72	55.74	101.44	819.04
2018	213.93	181.00	142.61	61.90	3.10	0.25	0.13	1.24	8.92	57.24	46.65	89.86	806.83
2019	169.12	198.52	191.34	72.98	1.60	0.36	0.08	0.09	12.15	47.94	56.25	136.29	886.72
2020	93.83	232.04	186.38	60.69	15.37	0.03	0.00	0.06	12.70	14.49	12.67	13.42	641.68
Prom.	170.72	188.22	157.98	61.87	8.17	0.74	0.11	2.47	15.36	39.24	48.25	102.86	795.99

Estación A-2, Latitud: -15.228118, Longitud: -71.824619, Altitud: 4422 m.s.n.m.												Precipitación total (mm)	
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1981	167.72	168.12	69.67	51.48	0.79	0.09	0.37	21.52	6.33	16.41	26.53	75.79	604.82
1982	113.45	70.56	110.69	20.62	0.00	0.19	0.20	4.15	42.62	77.25	72.15	19.83	531.71
1983	32.96	43.60	46.76	38.95	3.00	0.46	0.35	0.34	18.28	10.63	1.22	30.15	226.70
1984	174.61	188.22	234.13	20.61	1.54	4.39	0.80	5.80	0.55	71.20	91.64	83.42	876.91
1985	18.84	172.65	118.55	56.14	6.31	8.76	0.24	1.12	7.27	1.38	34.58	111.59	537.43
1986	164.94	151.55	172.89	69.15	4.40	0.09	0.41	8.87	9.40	7.96	13.22	102.08	704.96
1987	206.22	50.71	26.13	13.55	0.82	0.56	6.74	2.25	0.85	32.20	11.75	19.35	371.13
1988	216.56	80.06	95.42	46.59	5.86	0.14	0.32	0.74	1.87	7.48	1.92	60.53	517.49
1989	154.87	143.82	184.36	48.29	4.81	1.35	0.33	2.59	0.42	5.22	12.78	10.71	569.55
1990	99.20	29.94	67.43	20.58	4.00	6.16	0.27	4.95	4.96	36.13	65.99	80.08	419.69
1991	92.29	70.90	133.39	21.01	3.42	4.22	0.65	0.88	2.77	17.38	31.52	22.78	401.21
1992	58.27	25.73	16.58	1.73	0.00	1.05	0.67	8.33	1.36	20.41	11.78	58.75	204.66
1993	153.77	43.83	92.79	40.68	3.88	0.34	0.31	6.23	10.14	46.30	33.20	80.21	511.68
1994	231.10	196.76	101.72	39.27	3.33	0.28	0.44	0.26	3.85	4.32	13.24	63.30	657.87
1995	119.59	42.45	181.89	15.42	1.63	0.12	0.32	1.27	11.91	11.49	33.46	46.77	466.32
1996	157.43	154.27	95.03	53.60	5.99	0.20	0.40	3.23	5.87	6.34	28.65	64.56	575.57
1997	142.12	155.52	99.16	25.48	4.71	0.08	0.11	14.37	27.59	12.24	18.43	92.58	592.39
1998	207.24	116.25	92.24	18.29	0.00	0.45	0.20	0.82	0.58	13.45	39.97	85.09	574.58
1999	128.39	218.05	240.38	49.80	3.02	0.11	0.27	0.26	21.74	63.54	11.01	71.00	807.57
2000	213.08	159.18	173.24	13.79	6.51	1.39	0.65	2.82	3.74	63.65	9.42	86.85	734.32
2001	227.26	196.08	186.99	68.81	6.81	0.57	2.54	3.06	8.25	11.34	3.44	34.24	749.39
2002	97.68	192.34	168.80	57.50	5.50	1.27	10.00	0.31	8.76	34.67	53.23	76.08	706.14
2003	119.29	119.01	167.78	28.35	3.88	1.08	0.42	2.40	7.39	7.96	14.17	60.50	532.23
2004	169.48	142.38	106.67	35.72	0.55	0.63	6.80	5.28	8.41	6.43	3.52	45.41	531.28
2005	111.98	117.64	105.75	30.46	0.00	0.14	0.20	1.12	12.20	14.91	14.66	96.26	505.32
2006	177.23	148.47	209.95	31.52	1.11	0.51	0.43	1.75	12.91	43.58	34.11	44.89	706.46
2007	148.93	126.22	186.15	37.19	4.35	0.13	0.91	0.25	7.84	14.77	31.64	58.85	617.23
2008	205.56	109.73	92.56	1.72	0.58	0.18	0.21	1.41	0.41	25.48	5.63	75.91	519.38
2009	115.02	145.87	107.31	44.58	2.32	0.15	3.22	0.34	8.61	12.91	25.71	35.68	501.72
2010	177.74	112.95	88.42	33.02	3.08	0.23	0.38	0.27	2.56	27.91	6.43	76.05	529.04
2011	185.96	189.40	115.08	66.10	6.26	0.13	1.67	2.25	5.38	7.57	20.85	95.57	696.22
2012	176.21	215.98	152.94	71.15	2.56	0.91	0.64	0.32	25.82	32.95	10.68	140.68	830.84
2013	140.03	142.01	137.72	5.68	9.58	4.65	1.47	5.96	0.22	31.41	12.33	75.99	567.05
2014	142.60	69.83	121.01	49.81	2.04	0.09	1.78	5.96	38.41	29.74	13.49	31.41	506.17
2015	150.38	159.90	167.48	53.10	3.18	0.27	4.43	6.55	8.92	25.92	23.22	27.63	630.98
2016	46.45	166.34	60.41	61.22	2.78	3.18	2.32	1.74	1.92	28.28	10.93	57.30	442.87
2017	212.98	104.06	179.27	39.07	5.40	0.46	1.38	0.39	13.37	24.34	21.89	82.26	684.87
2018	183.85	105.83	140.88	41.63	2.28	6.35	7.13	3.66	2.63	25.48	14.17	20.68	554.57
2019	163.11	163.82	131.60	25.21	3.28	0.89	1.05	0.44	7.53	35.32	34.67	52.19	619.11
2020	123.99	205.64	153.37	41.89	5.69	0.12	0.00	0.16	9.86	34.49	8.39	40.16	623.76
Prom.	148.21	130.39	128.31	37.22	3.38	1.31	1.53	3.36	9.34	25.01	23.14	62.33	573.53

Anexo 7: Datos de parámetros de agua superficial

Estación E-1

Coordenadas UTM, WGS84, Zona 19Sur (Este: 191902, Norte: 8320179), Altitud: 4578 m.s.n.m.
Departamento: Arequipa Provincia: Caylloma Distrito: Caylloma

Año	Mes	Día	Hora de muestreo	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH (unidades pH)	Conductividad (uS/cm)	Caudal (m3/día)	Fuente de Información ^(b)
2015	1	13	16:50	11.6	6.48	7.58	79.4	47943	Informe de ensayo 1107/2015 y cadena de custodia
2015	2	8	11:35	13.5	6.46	7.16	73.5	193795	Informe de ensayo 3939/2015 y cadena de custodia
2015	3	3	11:21	11.8	6.1	7.01	60.8	30251	Informe de ensayo 6461/2015 y cadena de custodia
2015	4	10	14:40	14.3	6.19	7.83	62.4	525	Informe de ensayo 10813/2015 y cadena de custodia
2015	5	8	11:38	12	6.66	7.94	61.5	11660	Informe de ensayo 14319/2015 y cadena de custodia
2015	6	1	12:22	12.1	6.20	7.62	62.3	7443	Informe de ensayo 16934/2015 y cadena de custodia
2015	7	9	14:20	9	6.46	7.90	57.7	19124	Informe de ensayo 21947/2015 y cadena de custodia
2015	8	6	12:00	9.5	5.78	8.06	69.1	2754	Informe de ensayo 25688/2015 y cadena de custodia
2015	9	1	10:00	9.5	7.16	7.76	79.3	3265.92	Informe de ensayo 29264/2015 y cadena de custodia
2015	10	7	11:20	17.2	6.84	7.94	91.4	3055.32	Informe de ensayo 33986/2015 y cadena de custodia
2015	11	5	16:00	16	6.23	9	85.4	1334.88	Informe de ensayo 37463/2015 y cadena de custodia
2015	12	1	16:30	10.6	5.96	8.48	97.1	2232.576	Informe de ensayo 41257/2015 y cadena de custodia
2016	1	7	11:06	14.3	6.48	8.52	90.5	20736.00	Informe de ensayo 387/2016 y cadena de custodia
2016	2	11	13:20	13.5	6.14	7.47	84.1	192898.8	Informe de ensayo 4924/2016 y cadena de custodia
2016	3	1	12:50	17.9	5.76	7.58	73.3	28531.44	Informe de ensayo 7462/2016 y cadena de custodia
2016	4	2	11:20	12.8	6.55	7.8	76.0	14137.00	Informe de ensayo 11809/2016 y cadena de custodia
2016	5	6	11:50	13.4	6.76	8.14	72.2	15428.88	Informe de ensayo 16080/2016 y cadena de custodia
2016	6	2	16:40	7	7.27	8.05	71.0	5417.28	Informe de ensayo 19129/2016 y cadena de custodia
2016	7	6	08:45	0.5	9.09	7.77	109.5	5897.124	Informe de ensayo 23851/2016 y cadena de custodia
2016	8	4	14:40	13.3	6.27	8.05	78.4	4561.92	Informe de ensayo 27832/2016 y cadena de custodia
2016	9	1	14:50	15.7	5.94	8.12	76.3	2417.04	Informe de ensayo 31338/2016 y cadena de custodia
2016	10	13	14:15	21.6	5.6	8.24	93.9	1663.20	Informe de ensayo 37532/2016 y cadena de custodia
2016	11	4	13:16	13.7	6.96	8.72	106.8	1581.12	Informe de ensayo 40041/2016 y cadena de custodia
2016	12	1	11:30	18.6	6.1	8.12	86.5	2138.4	Informe de ensayo 44627/2016 y cadena de custodia
2017	1	11	14:05	16.7	5.71	7.38	79.3	93247.2	Informe de ensayo 324/2017 y cadena de custodia
2017	2	5	14:20	17.9	5.56	7.81	75.0	17301.6	Informe de ensayo 4398/2017 y cadena de custodia
2017	3	3	14:50	9.4	6.35	7.02	87.2	37329.12	Informe de ensayo 8156/2017 y cadena de custodia
2017	4	4	14:00	14.6	5.9	7.82	64.6	16178.40	Informe de ensayo 13684/2017 y cadena de custodia
2017	5	23	08:30	5.9	6.89	7.37	65.4	14774.4	Informe de ensayo 21226/2017 y cadena de custodia
2017	6	1	15:00	12.4	6.68	7.92	70.6	9212.40	Informe de ensayo 22976/2017 y cadena de custodia
2017	7	8	14:00	2.9	8.08	7.31	71.2	12744	Informe de ensayo 28923/2017 y cadena de custodia
2017	8	5	11:00	7.6	7.3	7.77	70.5	10929.6	Informe de ensayo 33472/2017 y cadena de custodia
2017	9	1	12:00	15.4	6.30	8.13	82.7	2667.6	Informe de ensayo 38573/2017 y cadena de custodia
2017	10	11	14:40	11.6	6.5	8.27	92.2	1668.6	Informe de ensayo 46705/2017 y cadena de custodia
2017	11	4	10:00	14.4	7.14	8.17	96.2	7344	Informe de ensayo 50737/2017 y cadena de custodia
2017	12	1	13:30	12.9	5.7	8.1	88.3	2447.28	Informe de ensayo 55846/2017 y cadena de custodia
2018	1	19	08:00	6.2	7.6	7.25	95.4	25866.00	Informe de ensayo 2366/2018 y cadena de custodia
2018	2	9	08:20	6.3	7.55	7.65	96.2	53071.2	Informe de ensayo 6670/2018 y cadena de custodia
2018	3	1	12:40	10.3	6.68	7.71	64.5	129448.80	Informe de ensayo 9741/2018 y cadena de custodia
2018	4	13	08:30	6.5	7.84	7.72	74.6	20844.00	Informe de ensayo 18125/2018 y cadena de custodia
2018	5	7	09:00	7.8	7.39	7.4	60.5	12128.40	Informe de ensayo 22663/2018 y cadena de custodia
2018	6	1	12:25	7.4	7.56	7.92	55.8	9201.6	Informe de ensayo 28359/2018 y cadena de custodia
2018	7	17	09:00	1.1	8.61	7.49	86.5	4406.40	Informe de ensayo 38418/2018 y cadena de custodia
2018	8	9	09:00	9.5	7.04	7.55	61.3	2371.68	Informe de ensayo 43180/2018 y cadena de custodia
2018	9	1	11:20	12.1	6.66	7.86	63.7	4032.72	Informe de ensayo 47968/2018 y cadena de custodia
2018	10	9	09:40	10.1	7.27	7.84	86.0	2917.08	Informe de ensayo 2-01884/18 y cadena de custodia
2018	11	3	07:20	1.7	8.24	7.6	118.0	6752.16	Informe de ensayo 2-02043/18 y cadena de custodia
2018	12	2	07:40	4.2	8.2	7.67	96.2	2185.92	Informe de ensayo 2-02237/18 y cadena de custodia
2019	1	9	07:30	4.7	8.5	7.39	85.6	14056.2	Informe de ensayo 2-00078/19 y cadena de custodia
2019	2	28	10:20	10.1	6.88	7.49	48.0	57526.85 ^(a)	Informe de ensayo 2-00380/19 y cadena de custodia
2019	3	2	06:45	7.5	7.85	7.38	44.8	57576.96	Informe de ensayo 2-00419/19 y cadena de custodia
2019	4	10	09:00	4.1	6.44	7.56	62.0	56386.80	Informe de ensayo 2-00633/19 y cadena de custodia
2019	5	4	09:30	9.0	7.07	7.71	61.2	49582.80	Informe de ensayo 2-00863/19 y cadena de custodia
2019	6	2	08:30	1.9	8.71	7.66	59.3	26082.00	Informe de ensayo 2-01016/19 y cadena de custodia
2019	7	12	11:00	7.7	7.48	7.7	55.2	12106.80	Informe de ensayo 2-01403/19 y cadena de custodia
2019	8	4	09:35	6.5	7.83	7.36	74.4	8456.40	Informe de ensayo 2-01521/19 y cadena de custodia
2019	8	31	10:35	6.5	6.17	7.19	79.2	4707.00	Informe de ensayo 2-01684/19 y cadena de custodia
2019	10	10	09:30	9.4	7.45	7.79	81.7	4707.00	Informe de ensayo 2-02733/19 y cadena de custodia
2019	11	4	09:30	15.4	5.95	8.1	71.3	4428.00	Informe de ensayo 2-03288/19 y cadena de custodia
2019	12	3	09:00	8.1	7.21	7.9	111.0	3430.00	Informe de ensayo 2-03353/19 y cadena de custodia

(a) Dato presente solo en la cadena de custodia.
(b) Datos proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas.

Estación E-9

Coordenadas UTM, WGS84, Zona 19Sur (Este: 192990, Norte: 8316287), Altitud: 4451 m.s.n.m.
Departamento: Arequipa Provincia: Caylloma Distrito: Caylloma

Año	Mes	Día	Hora de muestreo	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH (unidades pH)	Conductividad (uS/cm)	Caudal (m3/día)	Fuente de Información ^(b)
2015	1	13	10:15	10.1	7.82	7.78	233.0	70654	Informe de ensayo 1109/2015 y cadena de custodia
2015	2	8	13:00	12.2	6.5	7.57	209.0	352987	Informe de ensayo 3941/2015 y cadena de custodia
2015	3	3	14:38	16	6.27	7.01	222.0	90893	Informe de ensayo 6461/2015 y cadena de custodia
2015	4	10	09:15	7	7.57	7.92	287.0	973.1	Informe de ensayo 10814/2015 y cadena de custodia
2015	5	8	09:15	8.6	7.42	8.03	338.0	46678	Informe de ensayo 14320/2015 y cadena de custodia
2015	6	1	09:21	7	7.02	8.01	345.0	46678	Informe de ensayo 16935/2015 y cadena de custodia
2015	7	9	15:50	10.8	7	7.95	397.0	40349	Informe de ensayo 21950/2015 y cadena de custodia
2015	8	6	09:38	6.4	5.41	8.05	509.0	11902	Informe de ensayo 25691/2015 y cadena de custodia
2015	9	1	10:48	9.2	7.18	7.8	542.0	10452.24	Informe de ensayo 29263/2015 y cadena de custodia
2015	10	7	10:35	13.6	6.82	8.28	489.0	12355.2	Informe de ensayo 33985/2015 y cadena de custodia
2015	11	5	12:30	17.1	6.33	8.39	482.0	10394.784	Informe de ensayo 37464/2015 y cadena de custodia
2015	12	1	14:25	16.3	5.93	8.14	483.0	11983.68	Informe de ensayo 41258/2015 y cadena de custodia
2016	1	7	08:56	11.4	7.95	8.43	450.0	20352.60	Informe de ensayo 389/2016 y cadena de custodia
2016	2	11	10:30	8.2	7.24	7.57	198.1	230353.2	Informe de ensayo 4926/2016 y cadena de custodia
2016	3	1	10:02	12.6	6.93	7.7	230.0	61041.60	Informe de ensayo 7460/2016 y cadena de custodia
2016	4	1	09:15	9.2	7.1	7.67	295.0	63634.00	Informe de ensayo 11302/2016 y cadena de custodia
2016	5	6	10:20	10.6	7.1	8.01	366.0	45554.40	Informe de ensayo 16082/2016 y cadena de custodia
2016	6	2	15:45	11.7	6.92	8.19	382.0	22330.08	Informe de ensayo 19130/2016 y cadena de custodia
2016	7	6	11:50	7.5	7.81	8.45	399.0	36447.84	Informe de ensayo 23852/2016 y cadena de custodia
2016	8	4	09:45	7.3	7.84	7.95	678.0	16809.12	Informe de ensayo 27833/2016 y cadena de custodia
2016	9	1	11:10	13.7	6.31	7.98	617.0	11592.72	Informe de ensayo 31339/2016 y cadena de custodia
2016	10	13	09:20	11.9	6.9	7.93	539.0	9687.60	Informe de ensayo 37531/2016 y cadena de custodia
2016	11	4	10:09	14.9	6.75	8.07	521.0	13554	Informe de ensayo 40042/2016 y cadena de custodia
2016	12	1	09:06	13.4	7.12	8.19	465.0	12998.88	Informe de ensayo 44628/2016 y cadena de custodia
2017	1	11	10:45	10.9	6.73	7.52	213.0	123973.2	Informe de ensayo 325/2017 y cadena de custodia
2017	2	5	10:10	13.5	6.81	7.79	319.0	37352.016	Informe de ensayo 4399/2017 y cadena de custodia
2017	3	3	09:51	8.7	7.13	7.79	265.0	65796.624	Informe de ensayo 8157/2017 y cadena de custodia
2017	4	4	10:10	8.8	7.09	7.96	260.0	38124.00	Informe de ensayo 13671/2017 y cadena de custodia
2017	5	23	14:45	10.6	6.81	7.84	420.0	19396.8	Informe de ensayo 21227/2017 y cadena de custodia
2017	6	1	12:35	10.8	7.02	7.92	222.0	45900.00	Informe de ensayo 22954/2017 y cadena de custodia
2017	7	8	12:00	7.9	7.36	7.71	499.0	24775.2	Informe de ensayo 28924/2017 y cadena de custodia
2017	8	5	10:00	9.1	7.68	8.09	501.0	22107.6	Informe de ensayo 33473/2017 y cadena de custodia
2017	9	1	09:12	9.0	8.51	8.27	539.0	17820.00	Informe de ensayo 38566/2017 y cadena de custodia
2017	10	11	08:20	9.5	6.47	7.81	324.0	22075.2	Informe de ensayo 46707/2017 y cadena de custodia
2017	11	4	15:30	14.7	6.45	7.97	537.0	10272.96	Informe de ensayo 54950/2017 y cadena de custodia
2017	12	1	10:20	12.9	7.23	7.56	531.0	11642.4	Informe de ensayo 55847/2017 y cadena de custodia
2018	1	19	13:50	12	6.36	7.75	202.0	51332.40	Informe de ensayo 2367/2018 y cadena de custodia
2018	2	9	14:40	11.5	6.55	7.77	235.0	106239.6	Informe de ensayo 6671/2018 y cadena de custodia
2018	3	1	09:30	7.5	7.36	7.76	244.0	193665.60	Informe de ensayo 9735/2018 y cadena de custodia
2018	4	13	11:30	12	6.47	8.03	423.0	62272.80	Informe de ensayo 18126/2018 y cadena de custodia
2018	5	7	10:25	12.2	6.34	7.91	389.0	69228.00	Informe de ensayo 22670/2018 y cadena de custodia
2018	6	1	09:10	6.2	7.71	7.58	495.0	13236.48	Informe de ensayo 28361/2018 y cadena de custodia
2018	7	17	12:30	12	6.71	7.62	374.0	30762.72	Informe de ensayo 38419/2018 y cadena de custodia
2018	8	9	11:30	15.6	6.52	7.72	348.0	24336.72	Informe de ensayo 43183/2018 y cadena de custodia
2018	9	1	09:40	10.2	7.41	7.78	32.7	25272.00	Informe de ensayo 47967/2018 y cadena de custodia
2018	10	9	15:30	13.6	6.31	8.16	331.0	36417.6	Informe de ensayo 2-01890/18 y cadena de custodia
2018	11	3	16:30	14.2	6.18	8.04	268.0	41065.92	Informe de ensayo 2-02049/18 y cadena de custodia
2018	12	2	17:15	14.5	6.16	8.18	452.0	12744	Informe de ensayo 2-02244/18 y cadena de custodia
2019	1	9	14:15	17.2	6.21	8.31	395.0	13651.2	Informe de ensayo 2-00084/19 y cadena de custodia
2019	2	28	11:50	14.1	6.34	7.57	239.0	84249.94 ^(a)	Informe de ensayo 2-00381/19 y cadena de custodia
2019	3	2	10:40	10.2	6.65	7.62	188.6	85363.20	Informe de ensayo 2-00425/19 y cadena de custodia
2019	4	10	16:00	9.5	5.63	7.68	295.0	81302.40	Informe de ensayo 2-00639/19 y cadena de custodia
2019	5	4	16:00	9.7	6.64	7.9	350.0	73440	Informe de ensayo 2-00869/19 y cadena de custodia
2019	6	2	15:50	12.1	6.48	8.23	344.0	52596	Informe de ensayo 2-01022/19 y cadena de custodia
2019	7	12	17:00	7.9	6.87	7.89	341.0	46159.20	Informe de ensayo 2-01397/19 y cadena de custodia
2019	8	4	15:00	9.8	6.39	8.09	535.0	26611.20	Informe de ensayo 2-01527/19 y cadena de custodia
2019	8	31	16:40	13.6	6.25	7.69	479.0	24710	Informe de ensayo 2-01689/19 y cadena de custodia
2019	10	10	16:00	9.9	6.74	7.96	373.0	18533	Informe de ensayo 2-02739/19 y cadena de custodia
2019	11	4	16:15	10.7	6.46	7.72	307.0	26654	Informe de ensayo 2-03285/19 y cadena de custodia
2019	12	3	16:30	13.9	5.9	8.06	458	26827	Informe de ensayo 2-03359/19 y cadena de custodia

(a) Dato presente solo en la cadena de custodia.

(b) Datos proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas.

Estación E-11

Coordenadas UTM, WGS84, Zona 19Sur (Este: 196550, Norte: 8314477), Altitud: 4422 m.s.n.m.
Departamento: Arequipa Provincia: Caylloma Distrito: Caylloma

Año	Mes	Día	Hora de muestreo	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH (unidades pH)	Conductividad (uS/cm)	Caudal (m3/día)	Fuente de Información ^(a)
2015	1	13	09:00	8.6	7.66	7.91	238.0	82220.00	Informe de ensayo 1115/2015 y cadena de custodia
2015	2	8	14:45	12.5	6.55	7.85	253.0	282852.00	Informe de ensayo 3943/2015 y cadena de custodia
2015	3	3	15:26	14.2	6.29	7.58	253.0	113702.00	Informe de ensayo 6461/2015 y cadena de custodia
2015	4	10	08:00	6.4	7.67	7.99	284.0	1278.00	Informe de ensayo 10818/2015 y cadena de custodia
2015	5	8	08:00	7.3	7.63	8.17	324.0	47423.00	Informe de ensayo 14322/2015 y cadena de custodia
2015	6	1	08:00	5.3	7.10	8.40	349.0	38880.00	Informe de ensayo 16939/2015 y cadena de custodia
2015	7	9	16:50	7.5	7.25	8.10	455.0	45344.00	Informe de ensayo 21951/2015 y cadena de custodia
2015	8	6	08:00	4.2	4.29	8.42	458.0	15476.00	Informe de ensayo 25692/2015 y cadena de custodia
2015	9	1	11:20	11.1	6.95	8.08	478.0	27628.56	Informe de ensayo 29262/2015 y cadena de custodia
2015	10	7	09:20	9.8	6.98	8.27	457.0	22906.80	Informe de ensayo 33983/2015 y cadena de custodia
2015	11	5	11:33	13.7	6.76	8.34	413.0	16624.44	Informe de ensayo 37465/2015 y cadena de custodia
2015	12	1	13:50	13.4	6.28	8.36	426.0	16053.12	Informe de ensayo 41259/2015 y cadena de custodia
2016	1	7	08:00	9.0	7.04	7.97	469.0	26883.90	Informe de ensayo 390/2016 y cadena de custodia
2016	2	11	09:30	8.2	7.39	7.58	220.0	419696.64	Informe de ensayo 4927/2016 y cadena de custodia
2016	3	1	08:54	10.1	6.95	7.73	273.0	89100.00	Informe de ensayo 7458/2016 y cadena de custodia
2016	4	1	08:00	8.3	7.25	7.82	305.0	48967.00	Informe de ensayo 11300/2016 y cadena de custodia
2016	5	6	08:40	6.5	7.25	8.01	341.0	46310.40	Informe de ensayo 16083/2016 y cadena de custodia
2016	6	2	14:50	10.9	7.12	8.28	351.0	56073.60	Informe de ensayo 19131/2016 y cadena de custodia
2016	7	6	14:00	8.7	7.21	8.69	370.0	24494.40	Informe de ensayo 23853/2016 y cadena de custodia
2016	8	4	08:20	4.9	7.26	7.85	547.0	16502.40	Informe de ensayo 27834/2016 y cadena de custodia
2016	9	1	10:20	9.2	7.18	7.96	533.0	12908.16	Informe de ensayo 31340/2016 y cadena de custodia
2016	10	13	07:50	9.1	7.3	8.06	448.0	10141.20	Informe de ensayo 37531/2016 y cadena de custodia
2016	11	4	08:41	9.6	7.01	7.99	516.0	16927.92	Informe de ensayo 40043/2016 y cadena de custodia
2016	12	1	07:30	9.0	6.99	7.99	452.0	19759.68	Informe de ensayo 44630/2016 y cadena de custodia
2017	1	11	08:45	6.8	7.33	7.76	293.0	125256.24	Informe de ensayo 326/2017 y cadena de custodia
2017	2	5	09:23	13.3	6.93	7.81	333.0	59464.80	Informe de ensayo 4400/2017 y cadena de custodia
2017	3	3	08:30	7.9	7.58	7.71	272.0	88398.00	Informe de ensayo 8158/2017 y cadena de custodia
2017	4	3	09:30	8.6	7.32	7.90	260.0	83030.40	Informe de ensayo 13392/2017 y cadena de custodia
2017	5	23	16:13	9.8	6.76	7.83	343.0	59965.92	Informe de ensayo 21228/2017 y cadena de custodia
2017	6	1	11:00	4.7	7.83	7.87	364.0	32065.20	Informe de ensayo 22955/2017 y cadena de custodia
2017	7	8	10:30	2.6	7.77	7.61	509.0	22302.00	Informe de ensayo 28925/2017 y cadena de custodia
2017	8	5	08:00	5.3	7.69	8.20	439.0	23181.12	Informe de ensayo 33474/2017 y cadena de custodia
2017	9	1	08:00	7.2	7.20	7.99	458.0	18728.28	Informe de ensayo 38575/2017 y cadena de custodia
2017	10	12	11:50	11.3	7.69	8.28	345.0	23181.12	Informe de ensayo 46728/2017 y cadena de custodia
2017	11	4	16:40	13.4	6.33	8.38	419.0	17586.72	Informe de ensayo 54952/2017 y cadena de custodia
2017	12	1	09:15	8.8	7.6	8.04	437.0	12180.24	Informe de ensayo 55848/2017 y cadena de custodia
2018	1	19	14:40	11.9	6.34	7.87	227.0	56754.00	Informe de ensayo 2368/2018 y cadena de custodia
2018	2	9	15:30	10.1	6.81	8.04	240.0	108144.72	Informe de ensayo 6672/2018 y cadena de custodia
2018	3	1	08:40	6.9	7.29	7.71	259.0	201063.60	Informe de ensayo 9733/2018 y cadena de custodia
2018	4	13	13:40	10.6	6.8	8.0	394.0	68590.80	Informe de ensayo 18127/2018 y cadena de custodia
2018	5	7	11:45	10.9	6.67	8.07	355.0	71604.00	Informe de ensayo 22665/2018 y cadena de custodia
2018	6	1	07:00	5.1	7.92	7.55	385.0	31475.52	Informe de ensayo 28363/2018 y cadena de custodia
2018	7	17	17:30	11.6	6.82	7.71	342.0	45640.80	Informe de ensayo 38420/2018 y cadena de custodia
2018	8	9	13:00	15.8	6.75	8.21	337.0	28123.20	Informe de ensayo 43184/2018 y cadena de custodia
2018	9	1	08:00	5.5	7.65	7.67	310.0	26827.20	Informe de ensayo 47955/2018 y cadena de custodia
2018	10	9	17:10	13.6	6.29	8.26	307.0	40847.76	Informe de ensayo 2-01892/18 y cadena de custodia
2018	11	3	17:50	13.4	5.85	8.14	313.0	48081.60	Informe de ensayo 2-02051/18 y cadena de custodia
2018	12	2	15:00	13.4	6.44	8.44	469.0	14575.68	Informe de ensayo 2-02245/18 y cadena de custodia
2019	1	9	12:50	16.1	6.86	8.27	431.0	14303.52	Informe de ensayo 2-00082/19 y cadena de custodia
2019	2	2	19:30	8.9	6.38	7.66	230.0	164073.60	Informe de ensayo 2-00200/19 y cadena de custodia
2019	3	2	11:50	11.5	6.67	7.86	211.0	93895.20	Informe de ensayo 2-00427/19 y cadena de custodia
2019	4	10	17:40	9.9	5.42	7.84	293.0	87264.00	Informe de ensayo 2-00641/19 y cadena de custodia
2019	5	4	17:30	9.0	6.83	7.86	324.0	74908.80	Informe de ensayo 2-00871/19 y cadena de custodia
2019 ^(a)	5	25	10:45	9.7	7.34	7.96	349.0	63261.00	Informe de ensayo 2-00934/19 y cadena de custodia
2019	7	12	18:30	8.6	6.69	7.97	328.0	48427.20	Informe de ensayo 2-01395/19 y cadena de custodia
2019	8	4	17:00	10.3	6.79	8.19	365.0	28458.00	Informe de ensayo 2-01528/19 y cadena de custodia
2019 ^(b)	8	31	18:10	9.9	6.28	8.06	452.0	27389.00	Informe de ensayo 2-01691/19 y cadena de custodia
2019	10	10	17:45	12.5	6.70	7.91	334.6	19634.00	Informe de ensayo 2-02741/19 y cadena de custodia
2019	11	4	18:20	11.1	6.43	8.02	368.0	27659.00	Informe de ensayo 2-03287/19 y cadena de custodia
2019	12	3	18:30	10.8	6.29	7.95	408.0	27961.00	Informe de ensayo 2-03361/19 y cadena de custodia

(a) Datos proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas.

Estación E-16

Coordenadas UTM, WGS84, Zona 19Sur (Este: 195813, Norte: 8314576), Altitud: 4430 m.s.n.m.
Departamento: Arequipa Provincia: Caylloma Distrito: Caylloma

Año	Mes	Día	Hora de muestreo	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH (unidades pH)	Conductividad (uS/cm)	Caudal (m3/día)	Fuente de Información ^(a)
2015	1	13	09:50	8.7	9.35	8.51	261.0	77849.00	Informe de ensayo 1114/2015 y cadena de custodia
2015	2	8	13:46	12.3	6.49	7.64	235.0	237622.00	Informe de ensayo 3942/2015 y cadena de custodia
2015	3	3	15:08	14.6	6.21	7.4	239.0	114216.00	Informe de ensayo 6461/2015 y cadena de custodia
2015	4	10	08:30	6.5	7.59	7.92	290.0	1048.00	Informe de ensayo 10817/2015 y cadena de custodia
2015	5	8	08:40	7.7	8.03	8.19	331.0	40424.00	Informe de ensayo 14321/2015 y cadena de custodia
2015	6	1	09:00	4.8	7.15	8.35	350.0	34155.00	Informe de ensayo 16938/2015 y cadena de custodia
2015	7	9	16:05	10.9	7.04	8.55	483.0	42487.00	Informe de ensayo 21952/2015 y cadena de custodia
2015	8	6	09:10	1.8	5.4	8.37	476.0	13295.00	Informe de ensayo 25693/2015 y cadena de custodia
2015	9	1	11:00	11.8	7.48	8.18	536.0	11561.4	Informe de ensayo 29261/2015 y cadena de custodia
2015	10	7	09:52	10.4	8.03	8.52	487.0	12840.34	Informe de ensayo 33984/2015 y cadena de custodia
2015	11	5	12:20	14.9	7.38	8.44	494.0	12027.096	Informe de ensayo 37467/2015 y cadena de custodia
2015	12	1	14:22	13	5.85	8.66	462.0	13193.712	Informe de ensayo 41260/2015 y cadena de custodia
2016	1	7	08:31	9.8	7.44	8.16	447.0	20736.00	Informe de ensayo 391/2016 y cadena de custodia
2016	2	11	10:00	7.1	7.34	7.64	209.0	231526.08	Informe de ensayo 4928/2016 y cadena de custodia
2016	3	1	09:31	11	6.85	7.64	249.0	83501.28	Informe de ensayo 7459/2016 y cadena de custodia
2016	4	1	08:50	8.1	7.15	7.69	312.1	54205.00	Informe de ensayo 11301/2016 y cadena de custodia
2016	5	6	09:40	9	7.15	7.8	353.0	45932.40	Informe de ensayo 16084/2016 y cadena de custodia
2016	6	2	15:50	12.6	7.24	8.32	391.0	38572.20	Informe de ensayo 19128/2016 y cadena de custodia
2016	7	6	14:35	8.3	8.48	8.84	379.0	23194.08	Informe de ensayo 23854/2016 y cadena de custodia
2016	8	-	-	-	-	-	-	-	(b)
2016	9	-	-	-	-	-	-	-	(b)
2016	10	13	08:30	9.3	7.89	8.2	556.0	9028.80	Informe de ensayo 37531/2016 y cadena de custodia
2016	11	4	09:41	12.6	7.39	7.97	529.0	9428.4	Informe de ensayo 40045/2016 y cadena de custodia
2016	12	1	08:35	11.2	7.27	8.09	482.0	13883.4	Informe de ensayo 44629/2016 y cadena de custodia
2017	1	11	09:30	9	6.97	7.6	270.0	124647.984	Informe de ensayo 327/2017 y cadena de custodia
2017	2	5	09:37	11	6.89	7.85	338.0	42474.24	Informe de ensayo 4401/2017 y cadena de custodia
2017	3	3	09:20	8.1	7.38	7.77	270.0	71051.04	Informe de ensayo 8159/2017 y cadena de custodia
2017	4	3	09:47	9.2	7.27	7.93	271.0	44498.16	Informe de ensayo 13393/2017 y cadena de custodia
2017	5	23	15:30	10.7	6.83	7.89	394.0	21049.2	Informe de ensayo 21229/2017 y cadena de custodia
2017	6	1	12:05	7	7.71	7.86	412.0	22507.20	Informe de ensayo 22957/2017 y cadena de custodia
2017	7	8	11:15	1.9	7.98	7.6	497.0	10011.60	Informe de ensayo 28926/2017 y cadena de custodia
2017	8	5	09:30	4.5	7.73	8.00	498.0	22572	Informe de ensayo 33475/2017 y cadena de custodia
2017	9	1	08:41	6.1	7.42	8.11	550.0	18581.4	Informe de ensayo 38578/2017 y cadena de custodia
2017	10	12	12:15	12.8	7.16	8.3	370.0	22096.8	Informe de ensayo 46729/2017 y cadena de custodia
2017	11	4	16:00	13.8	6.97	8.41	504.0	11054.88	Informe de ensayo 54951/2017 y cadena de custodia
2017	12	1	09:50	12.2	8.21	7.85	544.0	8823.6	Informe de ensayo 55849/2017 y cadena de custodia
2018	1	19	14:15	13.2	6.31	7.82	211.0	54194.40	Informe de ensayo 2369/2018 y cadena de custodia
2018	2	9	15:00	10.5	6.61	7.87	234.0	95860.8	Informe de ensayo 6673/2018 y cadena de custodia
2018	3	1	09:00	6.9	7.28	7.78	267.0	198525.60	Informe de ensayo 9734/2018 y cadena de custodia
2018	4	13	12:00	11.5	6.7	8.2	402.0	66990.24	Informe de ensayo 18128/2018 y cadena de custodia
2018	5	7	11:20	13.1	6.42	8.03	396.0	70167.60	Informe de ensayo 22673/2018 y cadena de custodia
2018	6	1	08:30	1.5	8.33	7.68	476.0	23565.6	Informe de ensayo 28362/2018 y cadena de custodia
2018	7	17	14:00	11.9	6.79	7.79	371.0	43308.00	Informe de ensayo 38421/2018 y cadena de custodia
2018	8	9	12:00	15.8	6.74	8.26	355.0	26870.40	Informe de ensayo 43185/2018 y cadena de custodia
2018	9	1	08:30	5.9	7.5	7.83	331.0	25587.36	Informe de ensayo 47957/2018 y cadena de custodia
2018	10	9	16:20	15.3	6.17	8.29	318.0	37152	Informe de ensayo 2-01891/18 y cadena de custodia
2018	11	3	17:00	14.8	5.79	8.17	320.0	41847.60	Informe de ensayo 2-02050/18 y cadena de custodia
2018	12	2	16:30	15	6.27	8.59	567.0	12808.8	Informe de ensayo 2-02243/18 y cadena de custodia
2019	1	9	13:40	15.9	6.94	8.34	436.0	15012	Informe de ensayo 2-00083/19 y cadena de custodia
2019	2	2	18:30	10	6.29	7.45	218.0	149040.00	Informe de ensayo 2-00199/19 y cadena de custodia
2019	3	2	11:10	10.8	6.64	7.57	205.0	89791.20	Informe de ensayo 2-00426/19 y cadena de custodia
2019	4	10	16:30	10.2	5.26	7.86	331.0	84715.20	Informe de ensayo 2-00640/19 y cadena de custodia
2019	5	4	16:30	9.4	6.67	7.91	347.0	74476.80	Informe de ensayo 2-00870/19 y cadena de custodia
2019	5	25	09:25	6	7.54	7.92	360.0	52128.53	Informe de ensayo 2-00935/19 y cadena de custodia
2019	7	12	17:30	9.5	6.54	7.95	383.0	47346.12	Informe de ensayo 2-01396/19 y cadena de custodia
2019	8	4	15:35	10.2	6.71	8.22	473.0	27105.84	Informe de ensayo 2-01529/19 y cadena de custodia
2019	8	31	17:10	11.2	6.28	8.16	494.0	25147.00	Informe de ensayo 2-01690/19 y cadena de custodia
2019	10	10	16:30	9.9	6.74	7.96	373	18533.00	Informe de ensayo 2-02740/19 y cadena de custodia
2019	11	4	17:00	11.2	6.39	8.1	344.0	27043.00	Informe de ensayo 2-03286/19 y cadena de custodia
2019	12	3	17:30	13.5	5.9	8.14	479.0	27292.00	Informe de ensayo 2-03360/19 y cadena de custodia

(a) Datos proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas.

(b) No hay información disponible.

Anexo 8: Análisis de tendencia usando el producto TREND

TEMPERATURA MÁXIMA

ESTACIÓN A-1

Latitud: -15.176083, Longitud: -71.867149, Altitud: 4578 m.s.n.m.

Departamento: Arequipa

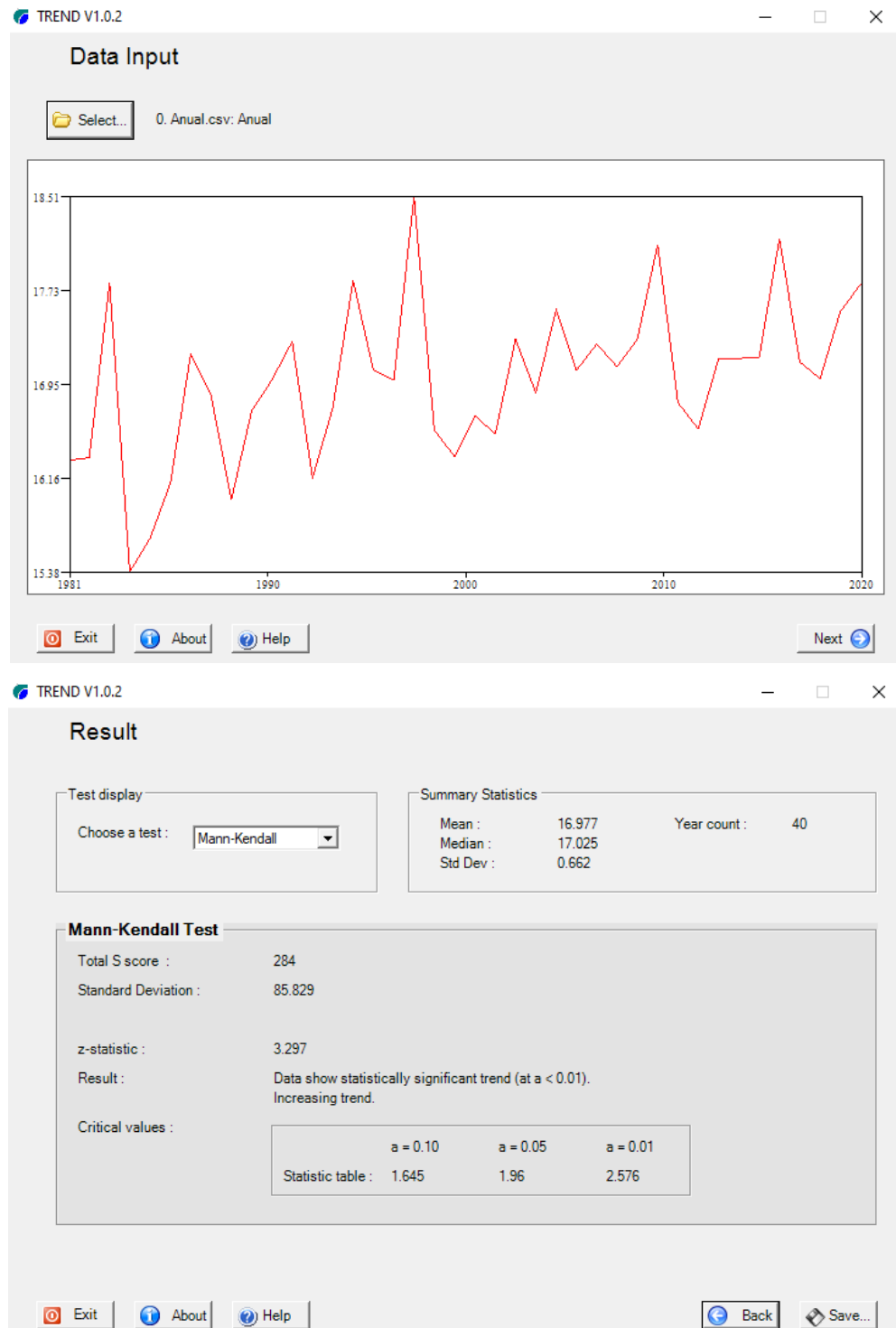
Provincia: Caylloma

Distrito: Caylloma

Temperatura
máxima (°C)

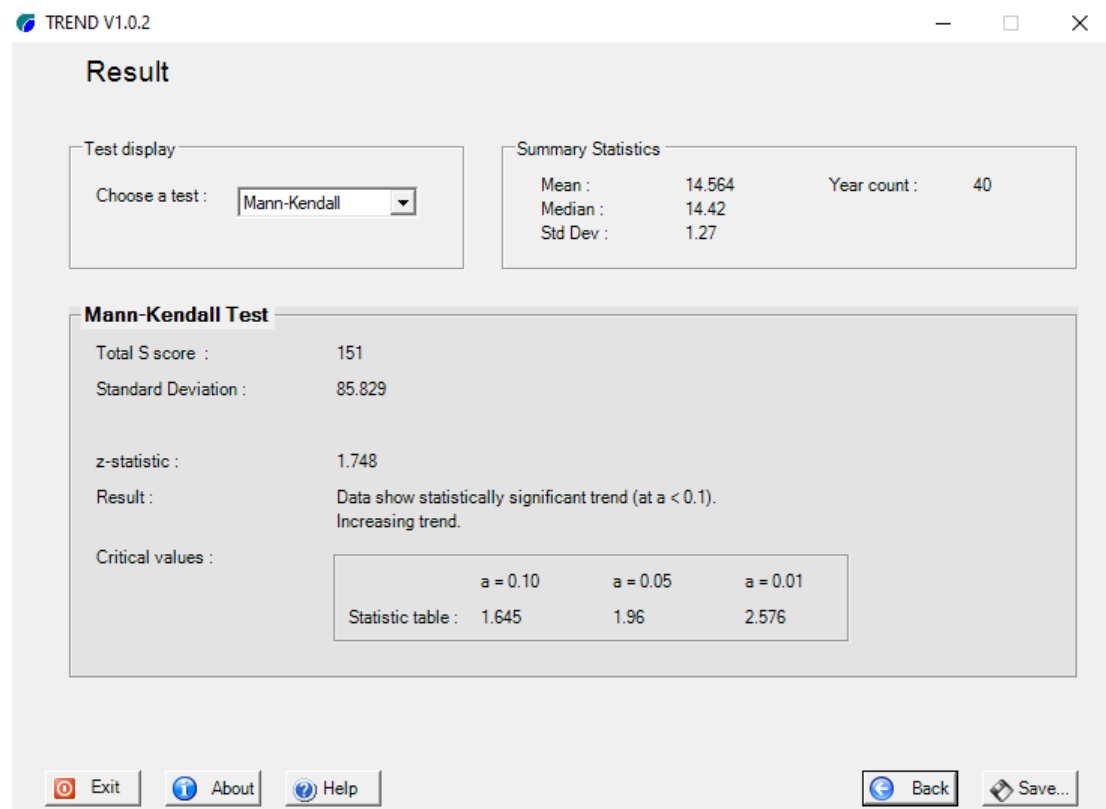
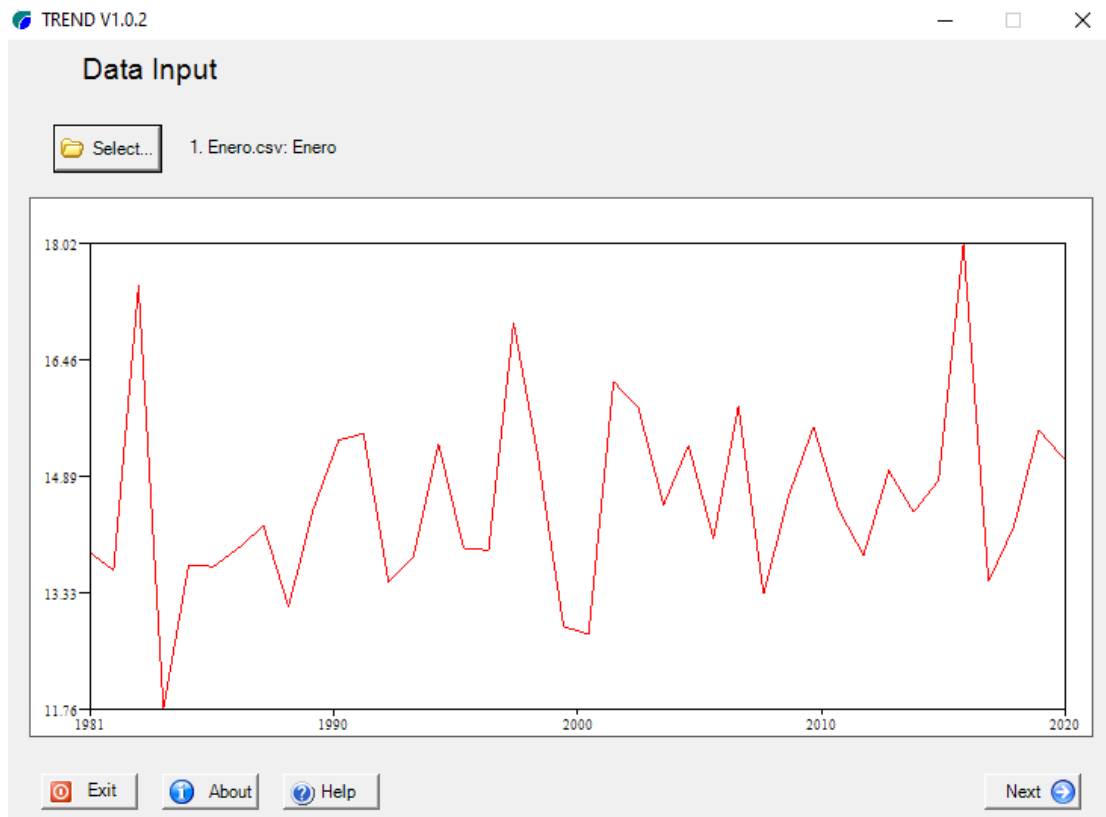
Periodo 1981-2020

Periodo anual

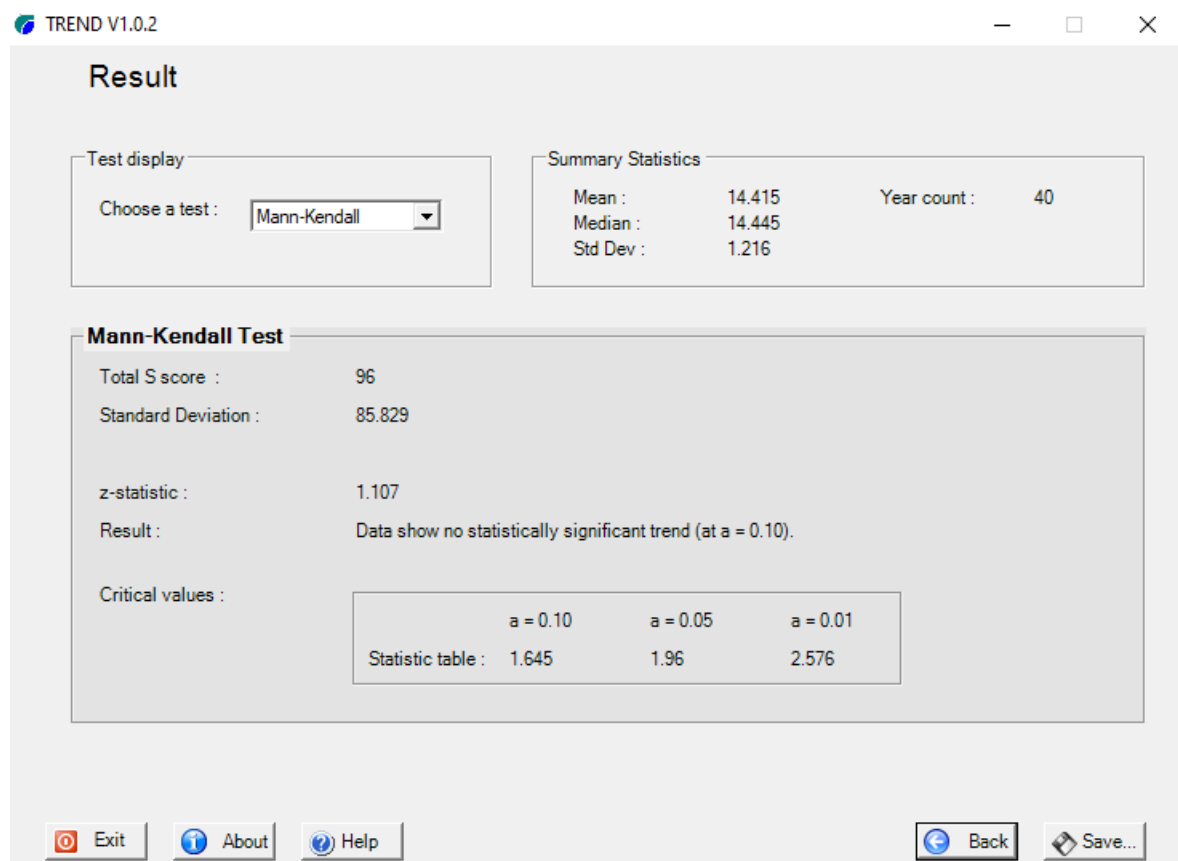
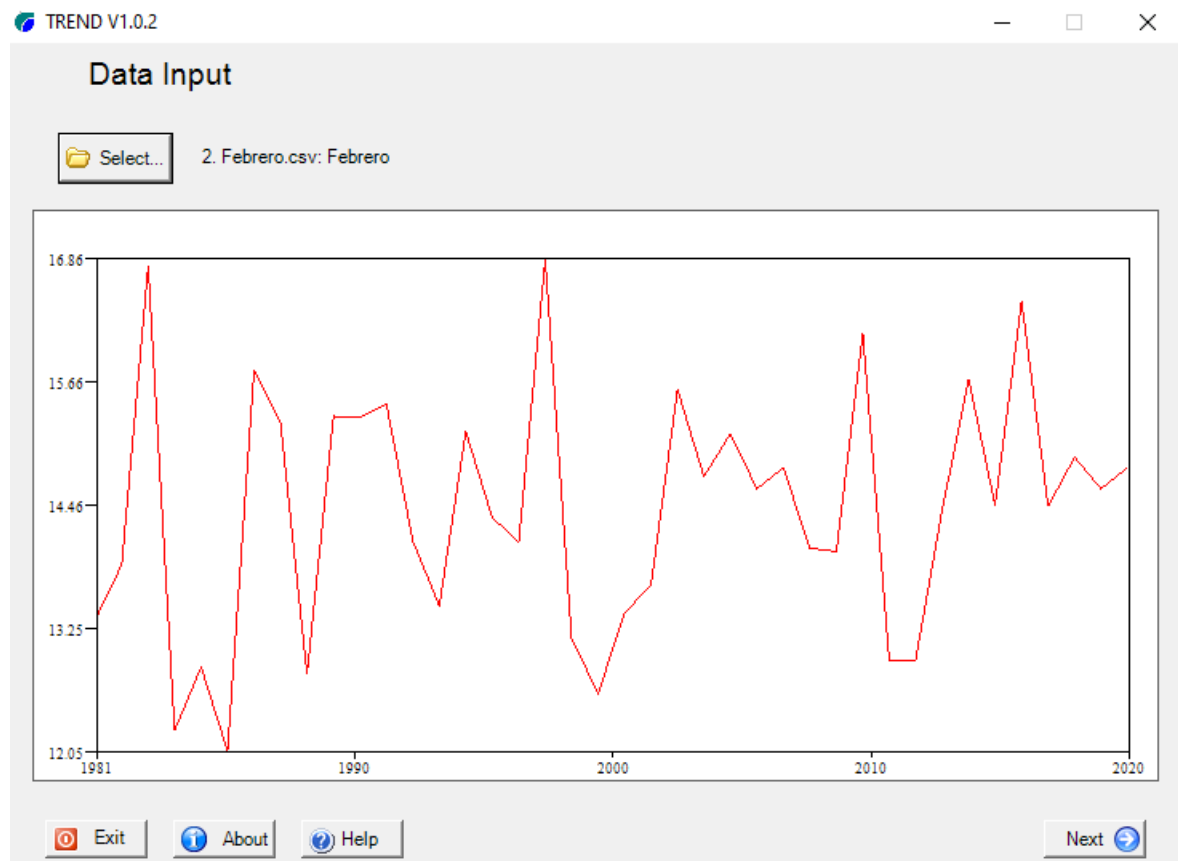


Periodo mensual

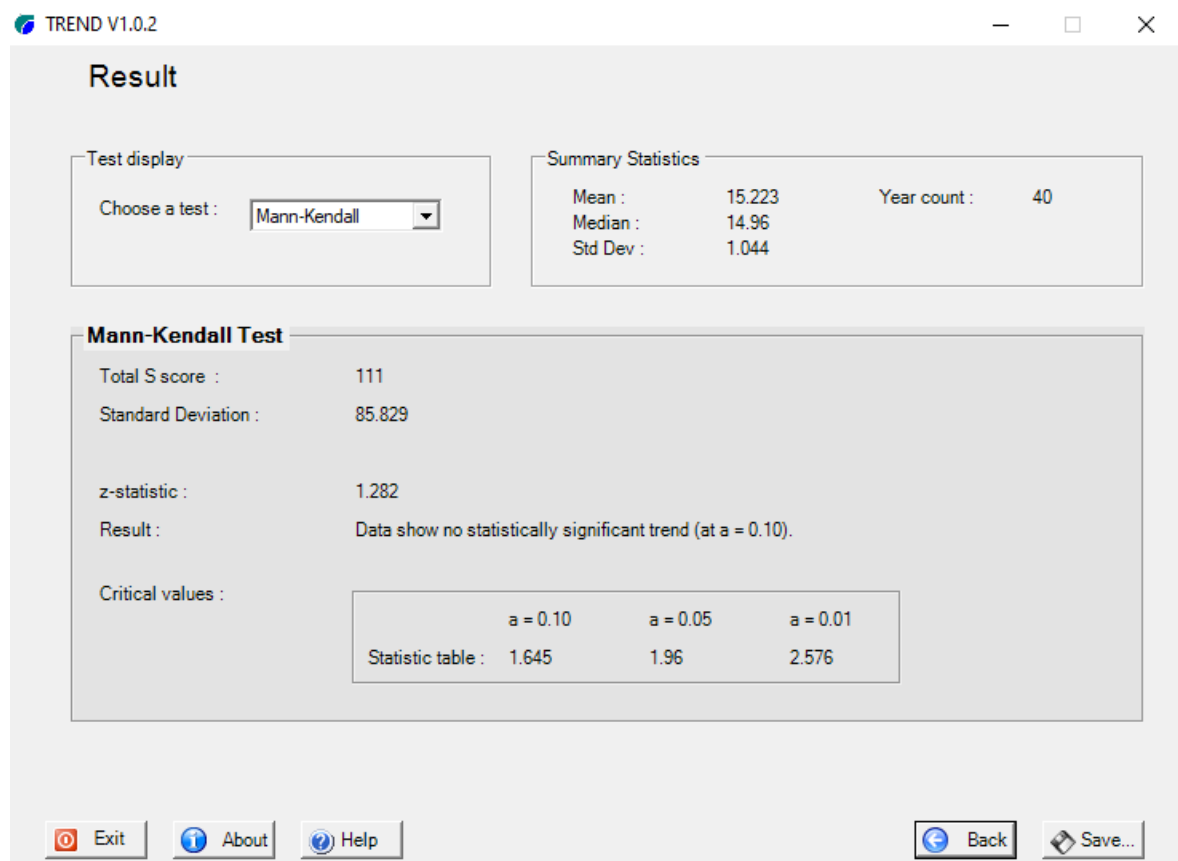
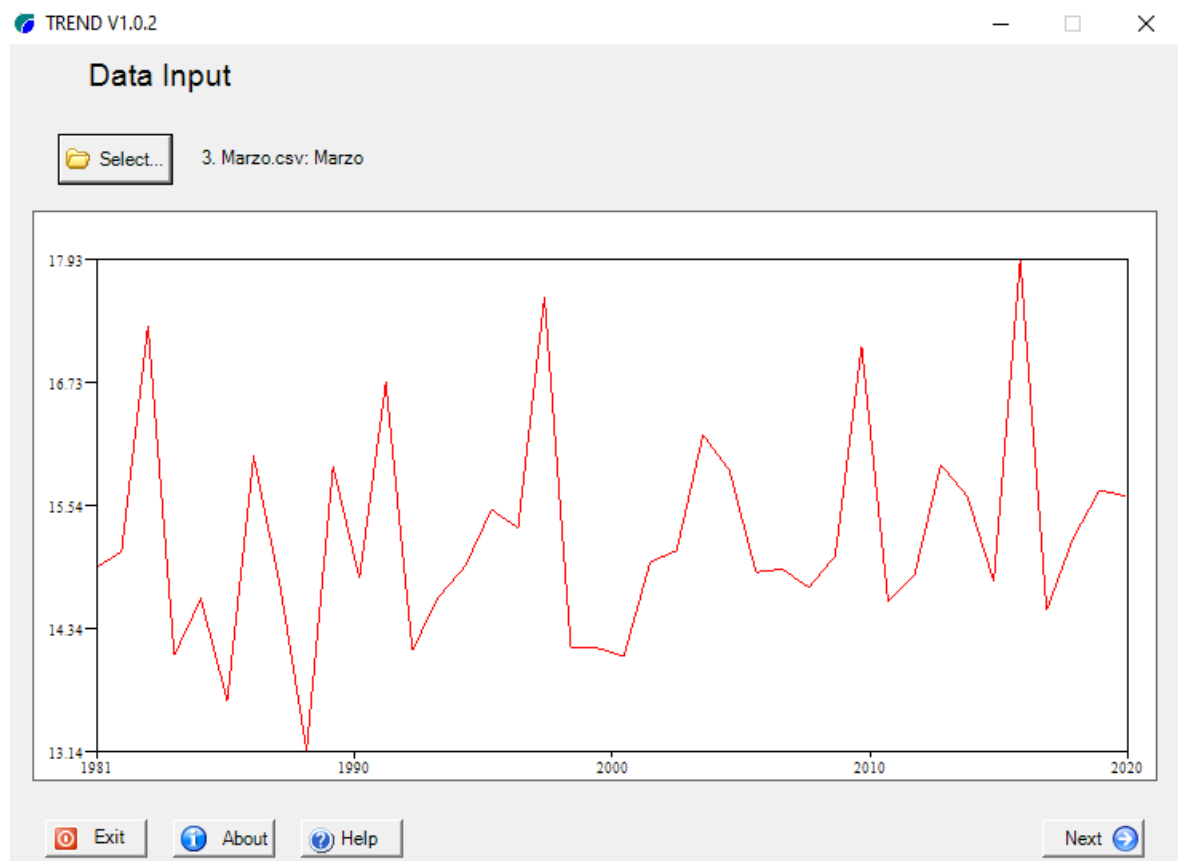
Enero



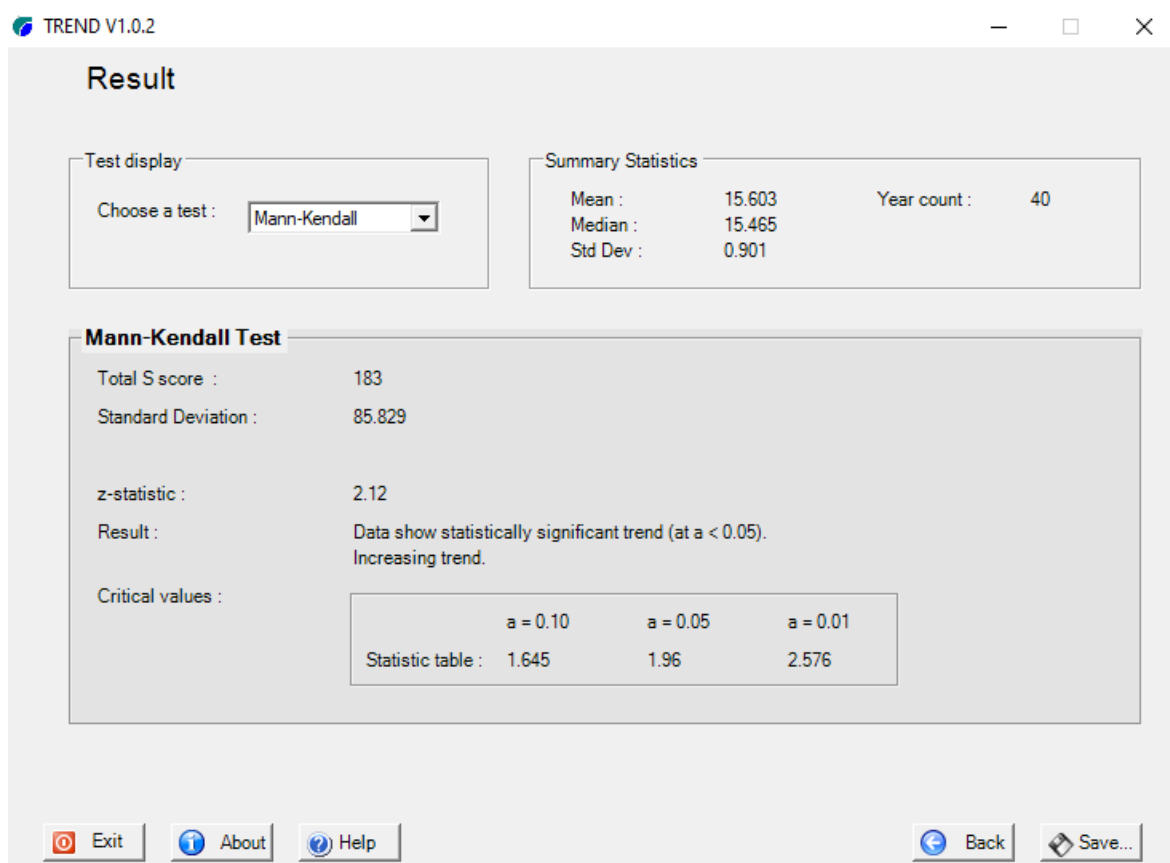
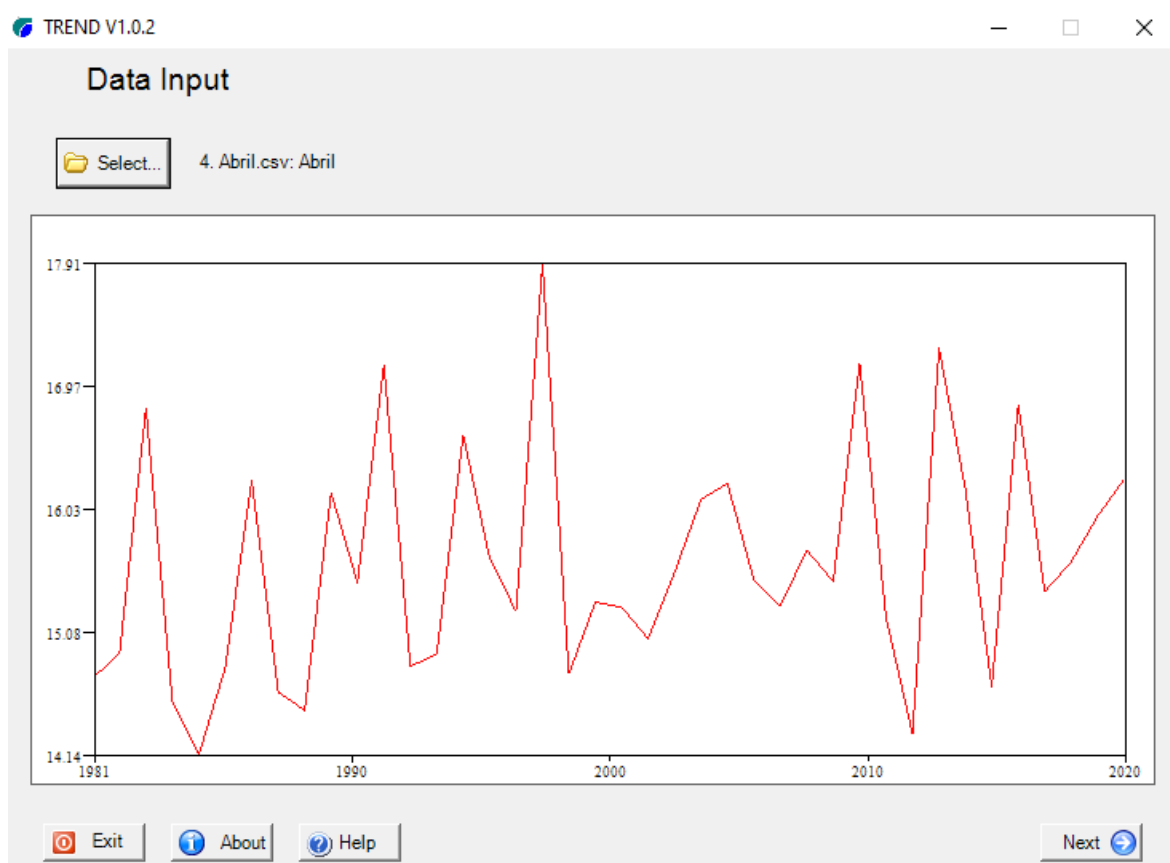
Febrero



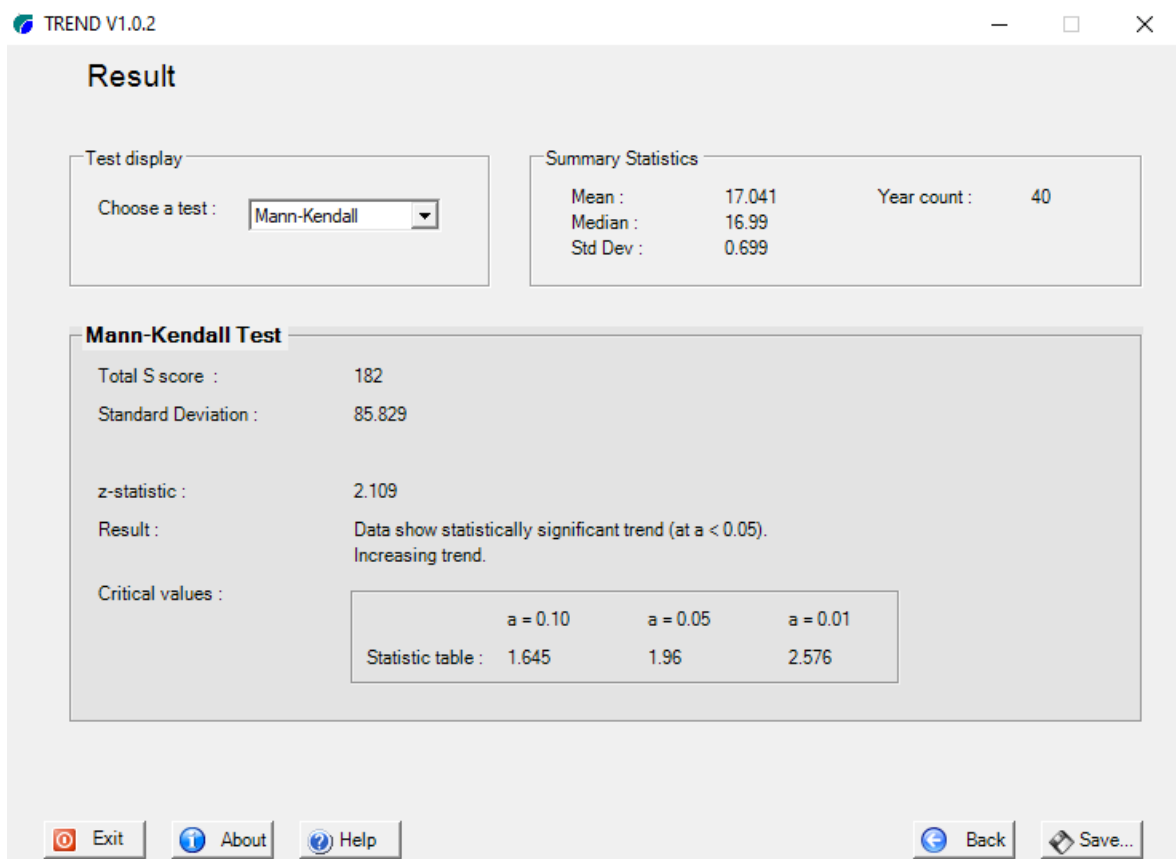
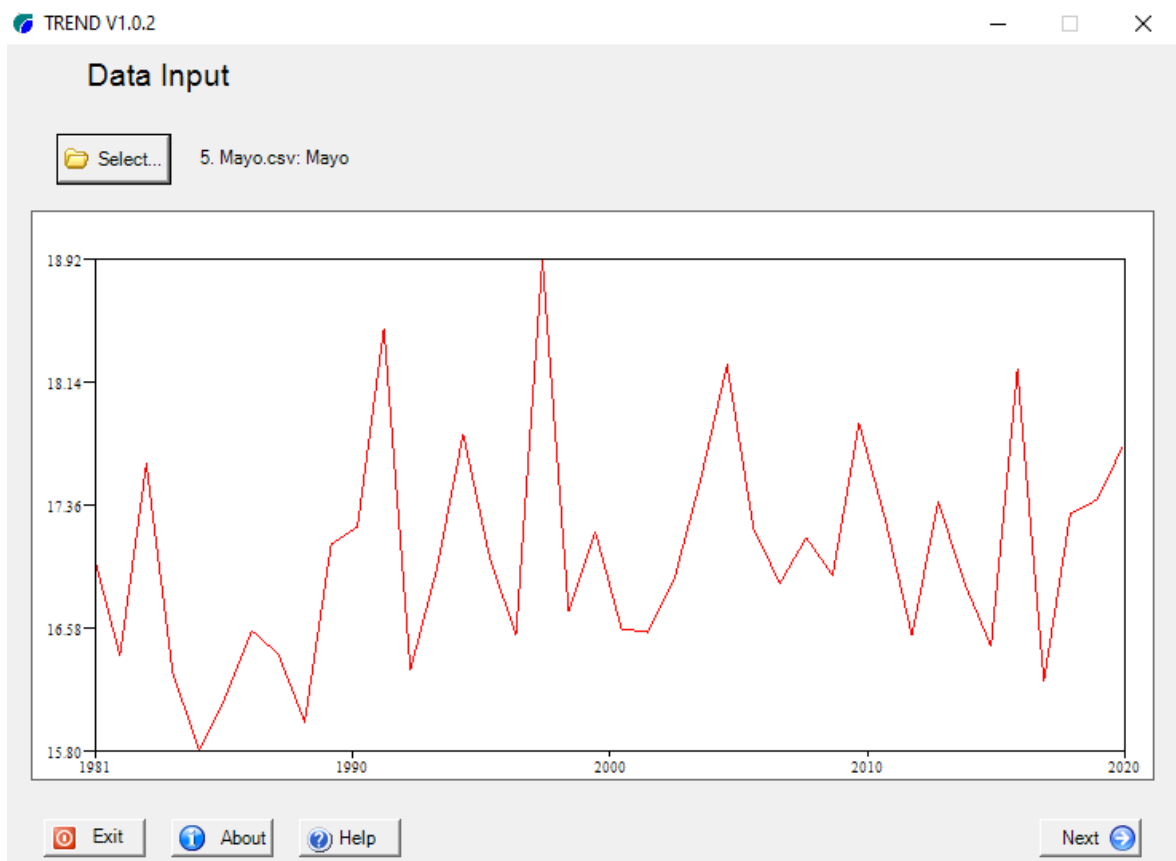
Marzo



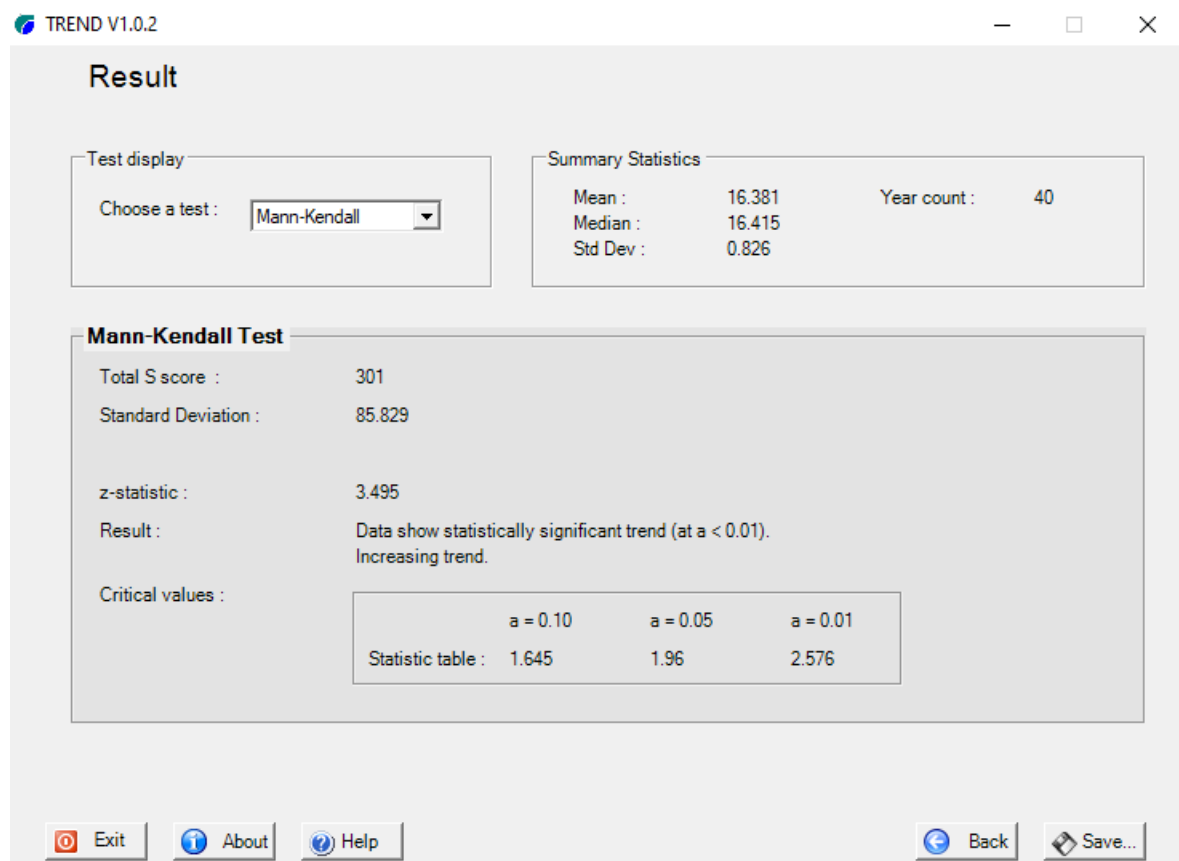
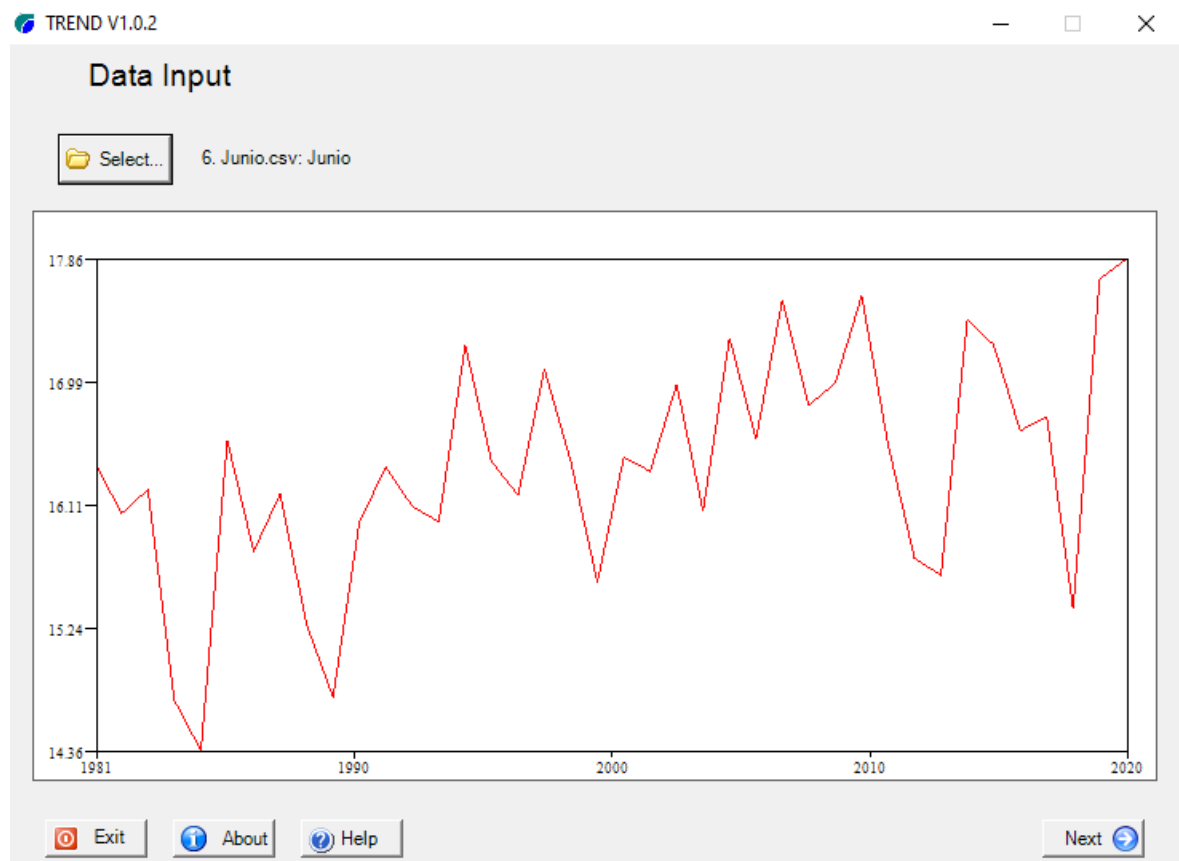
Abril



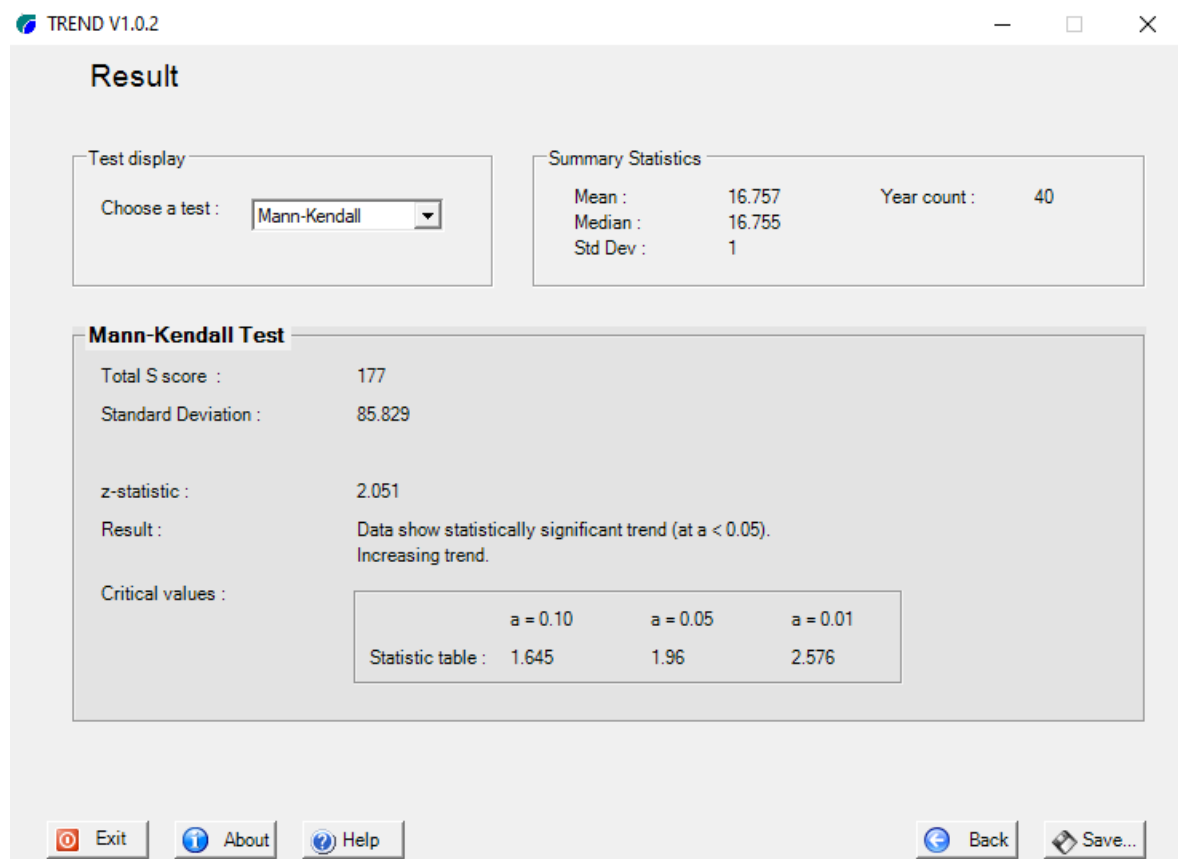
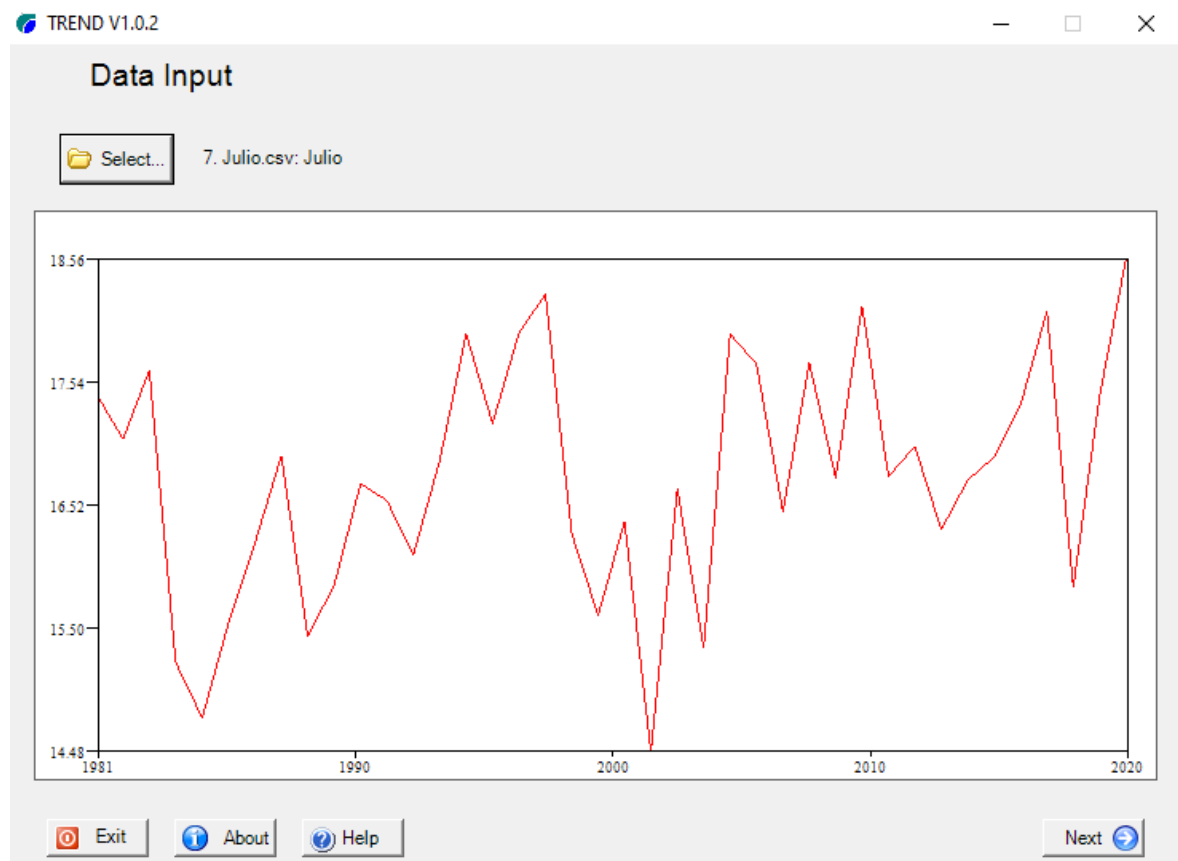
Mayo



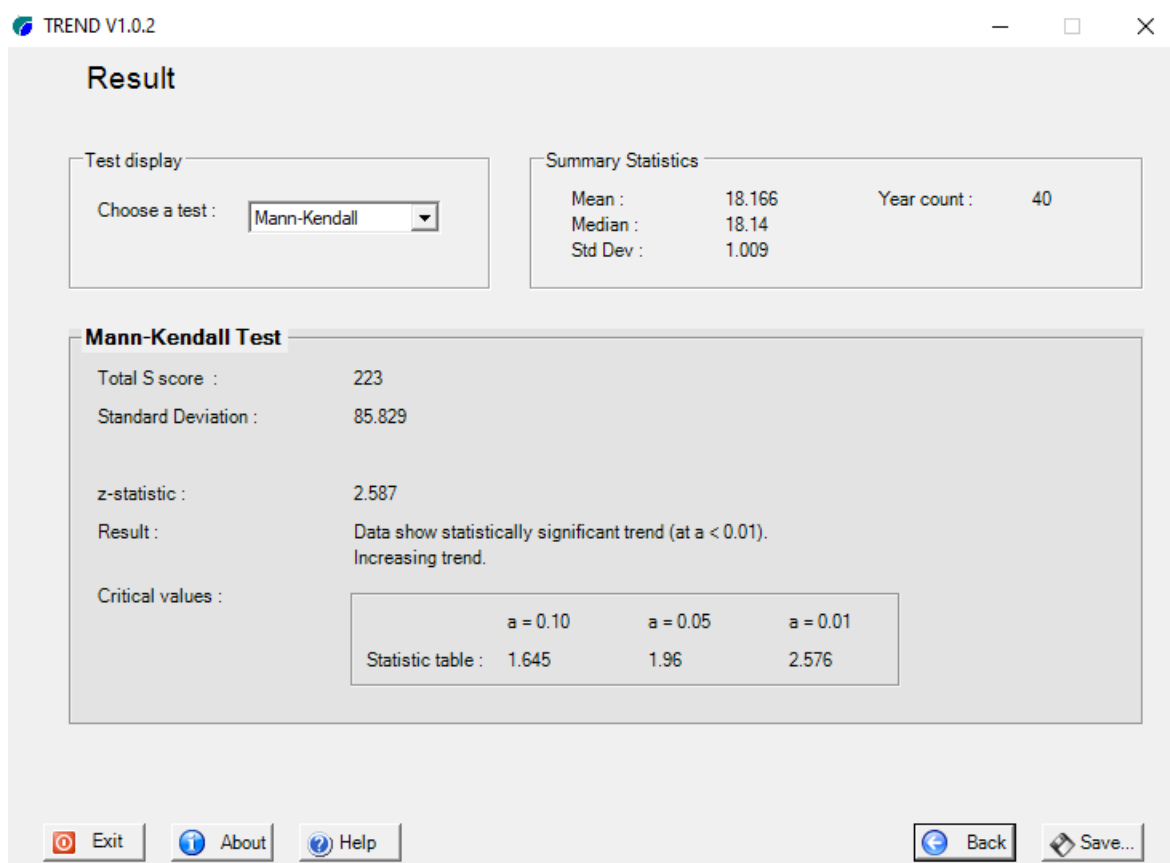
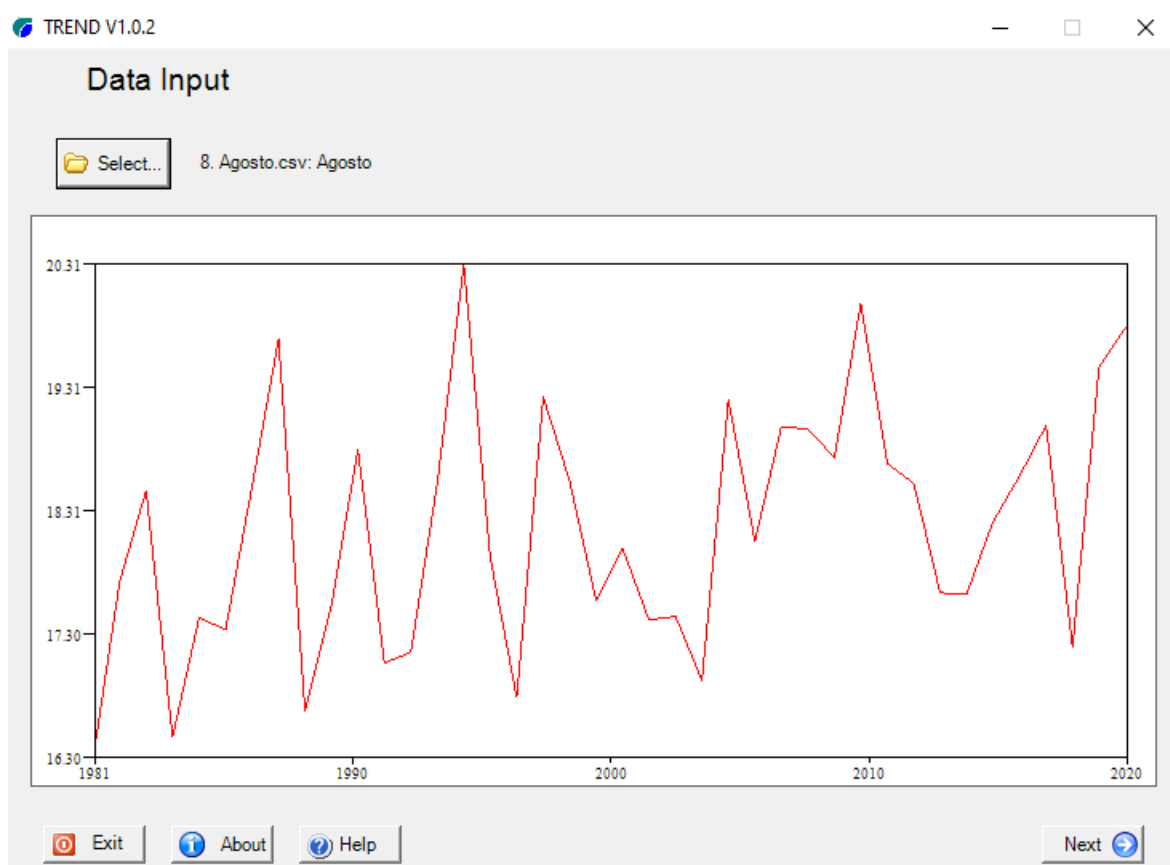
Junio



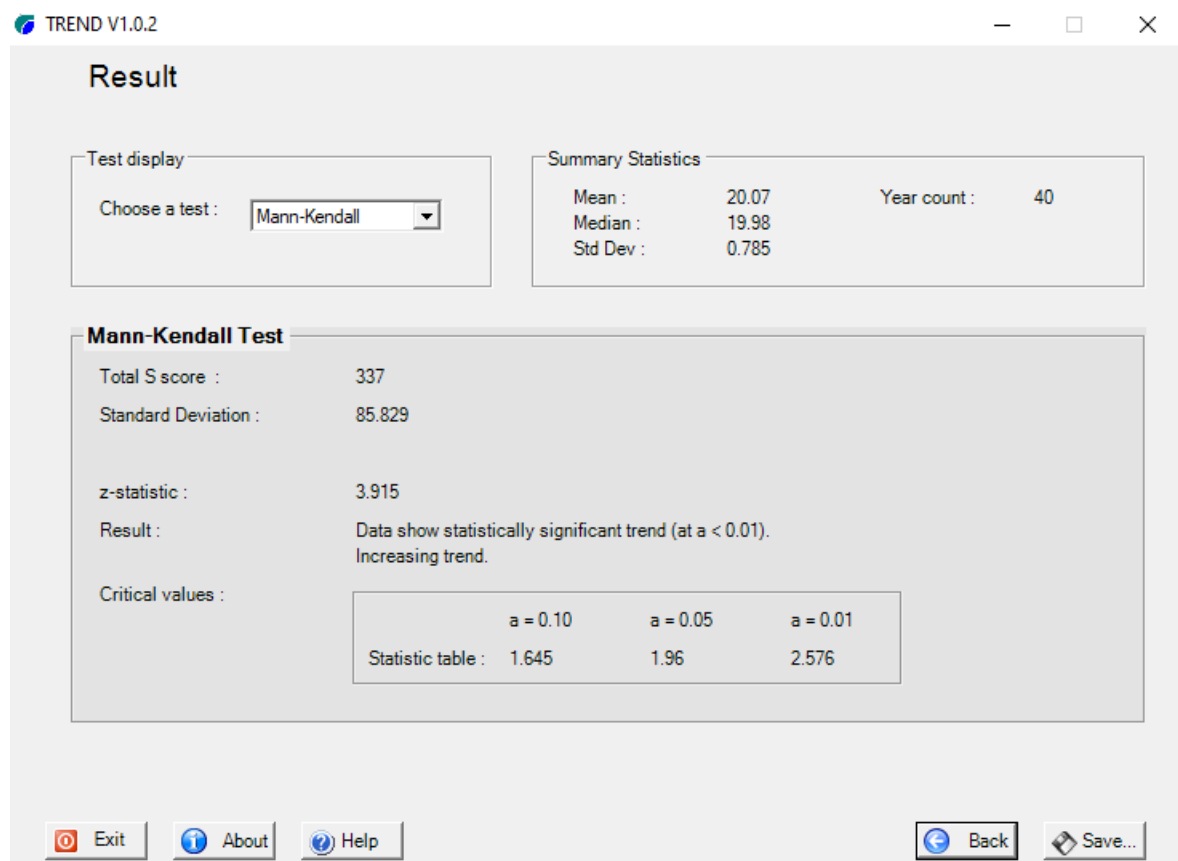
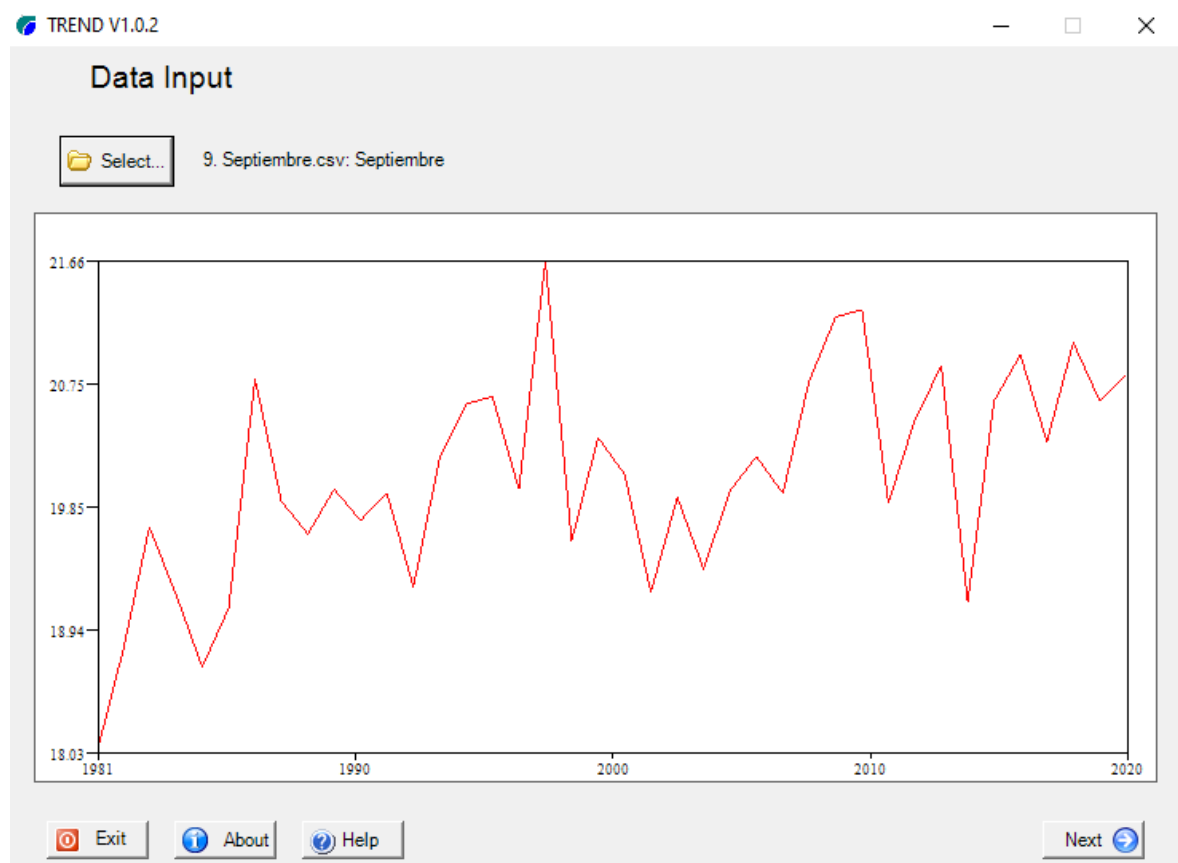
Julio



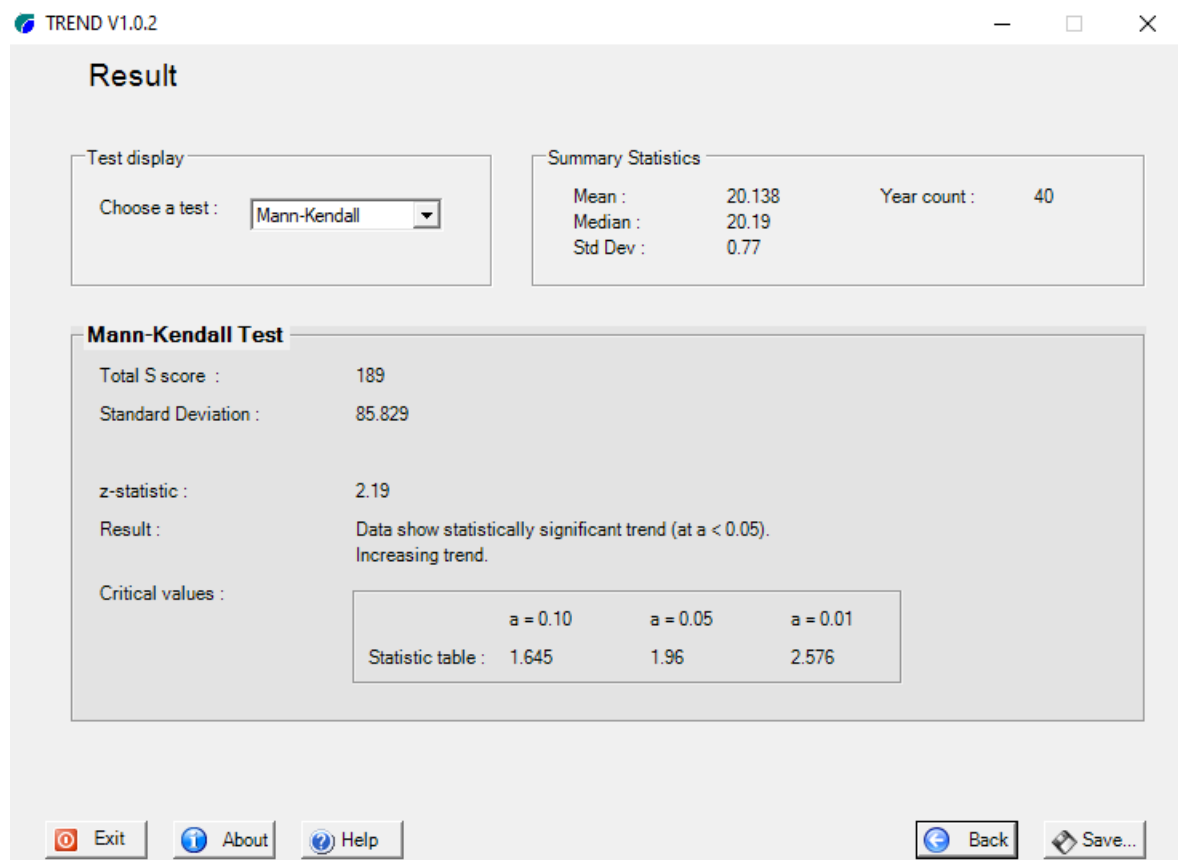
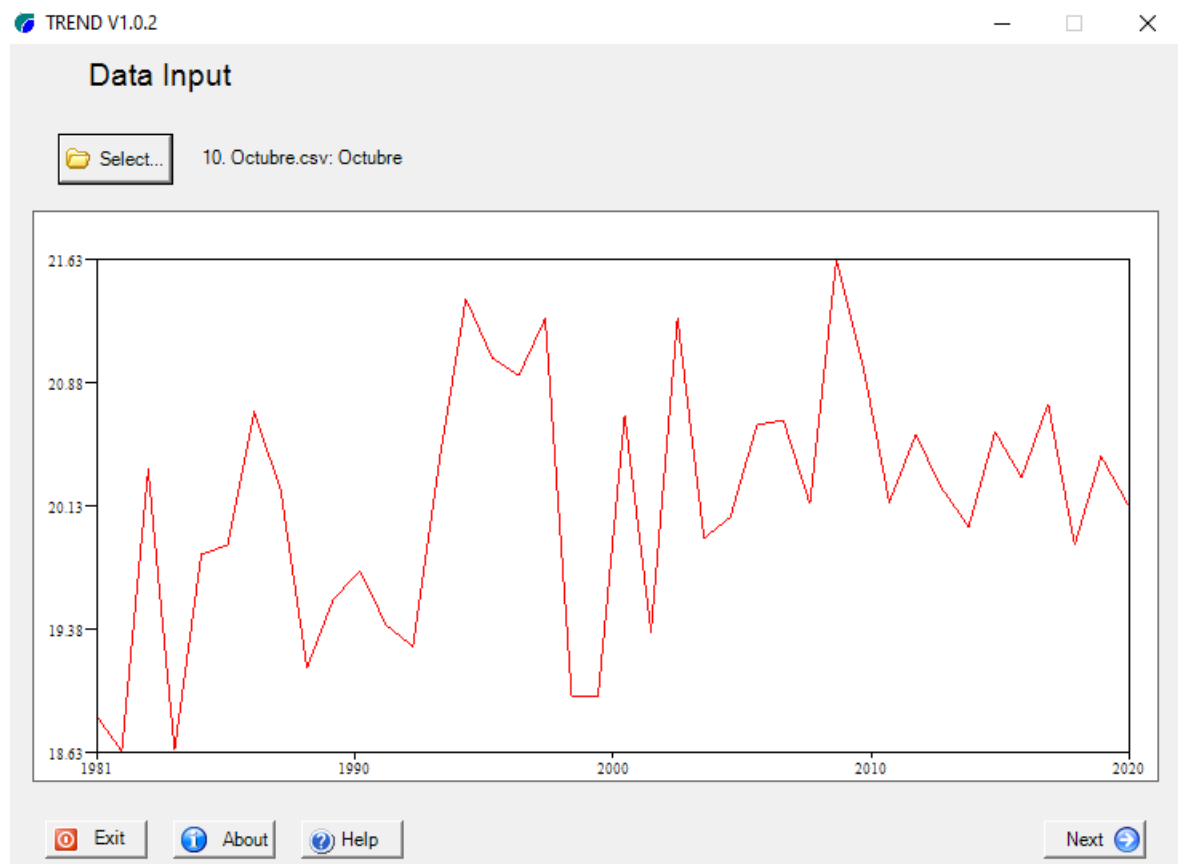
Agosto



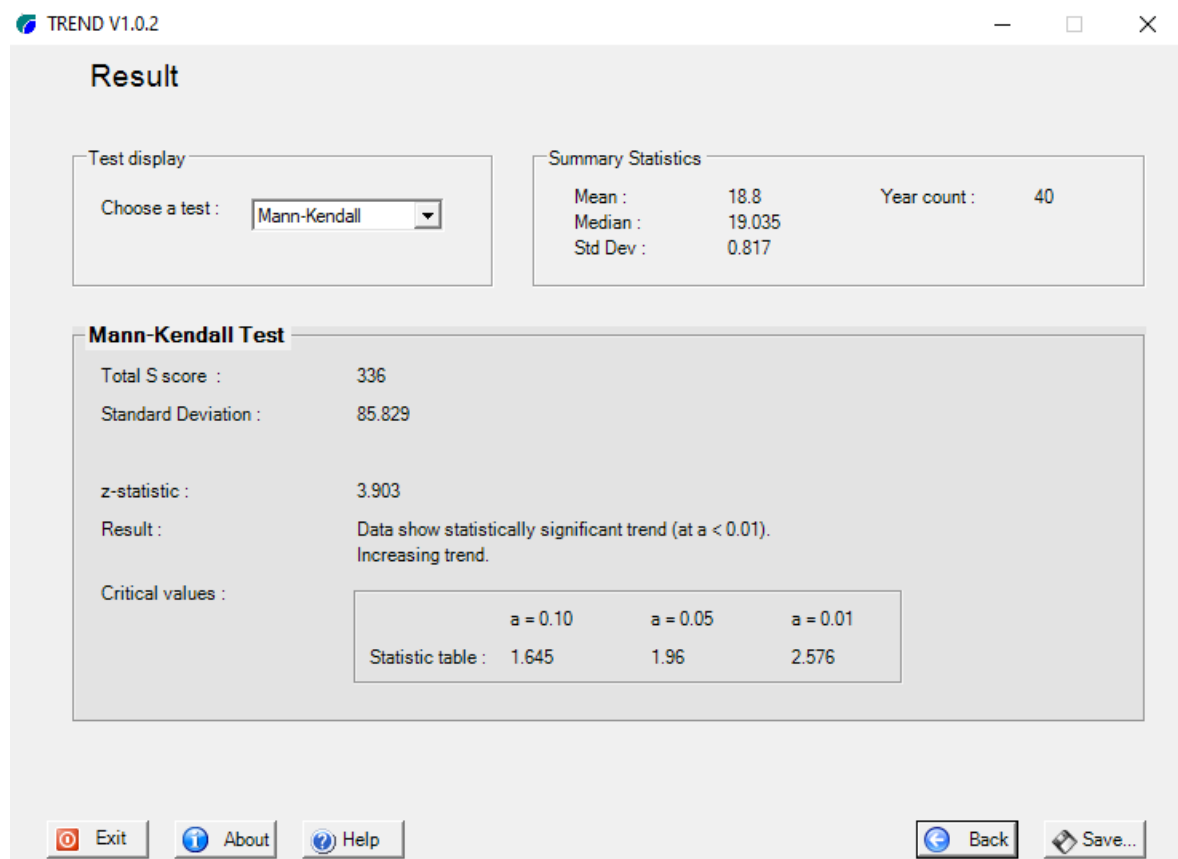
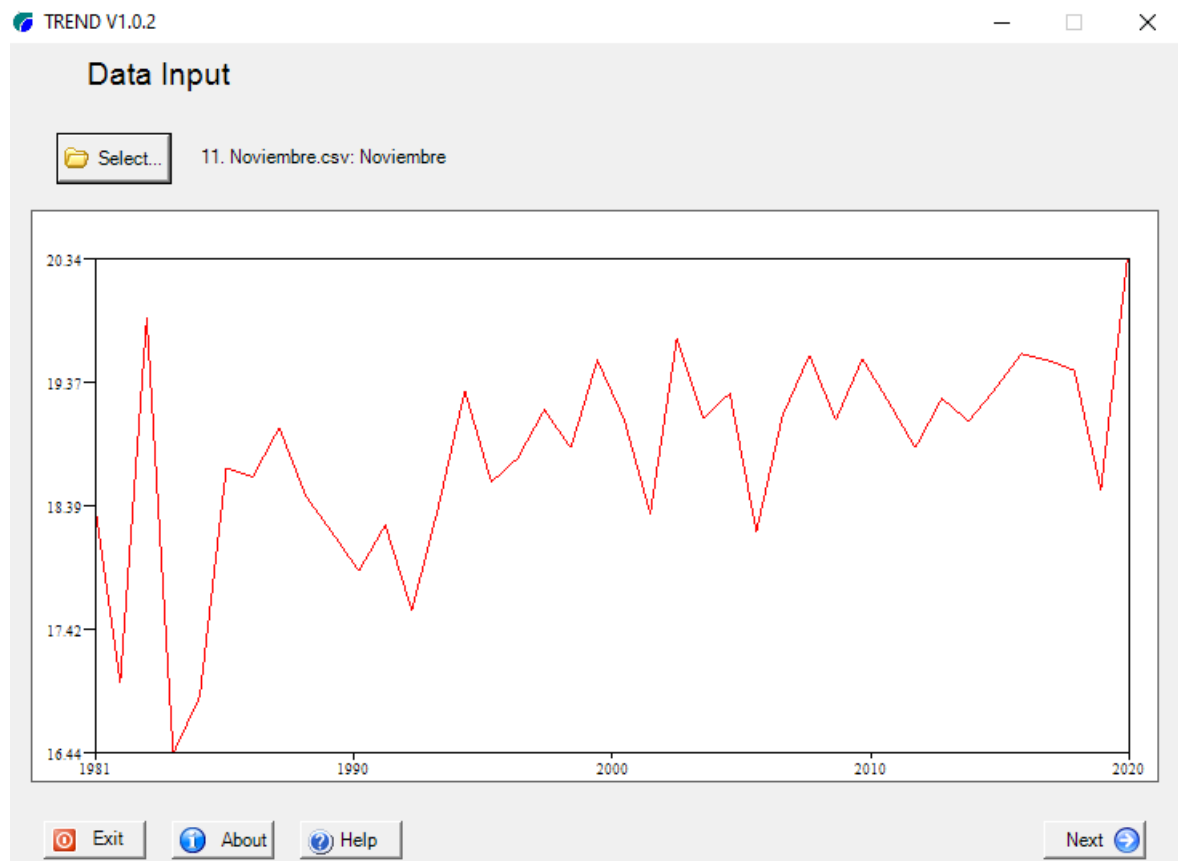
Septiembre



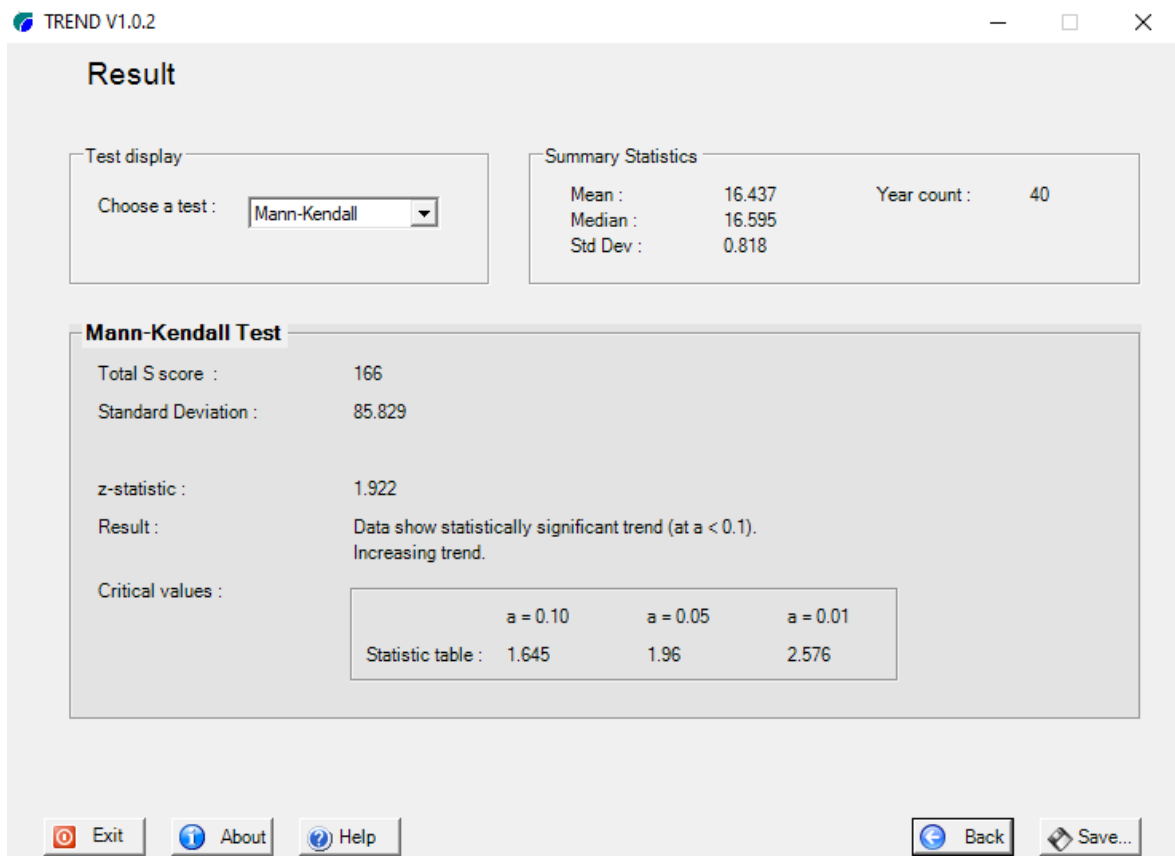
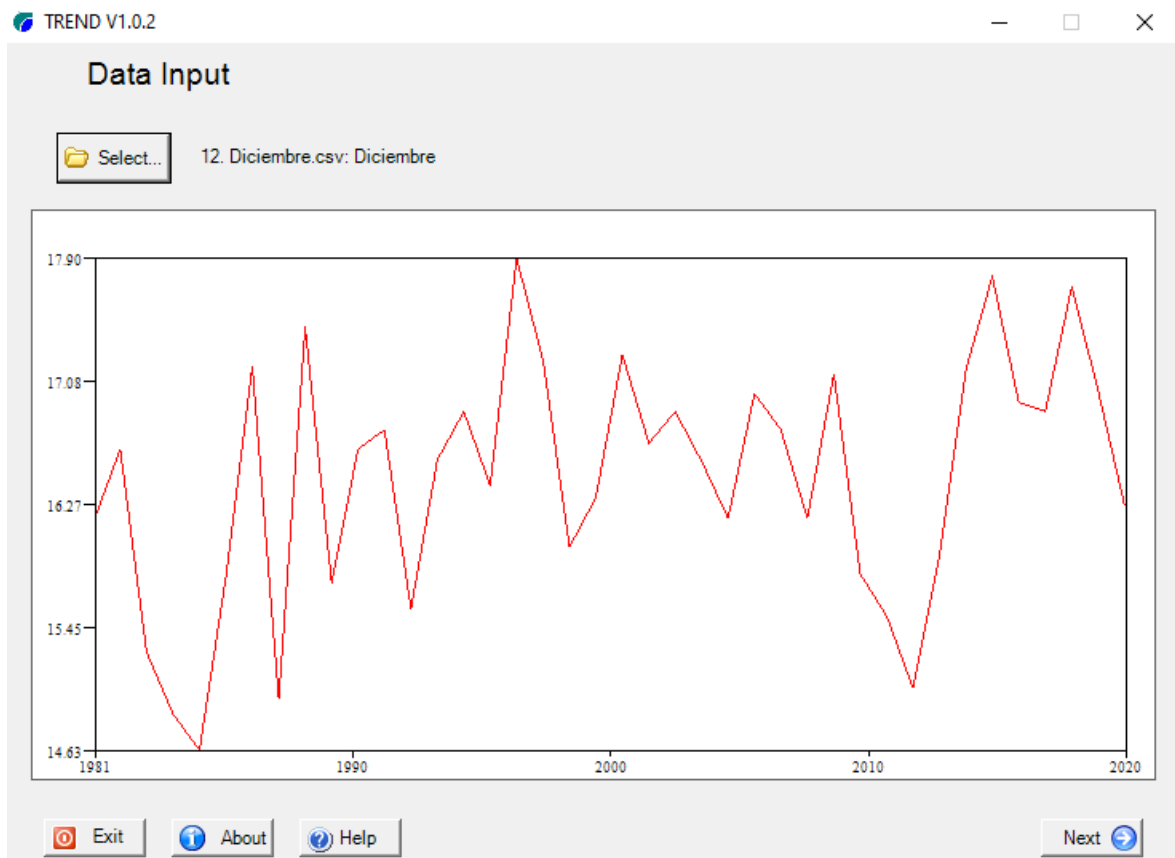
Octubre



Noviembre

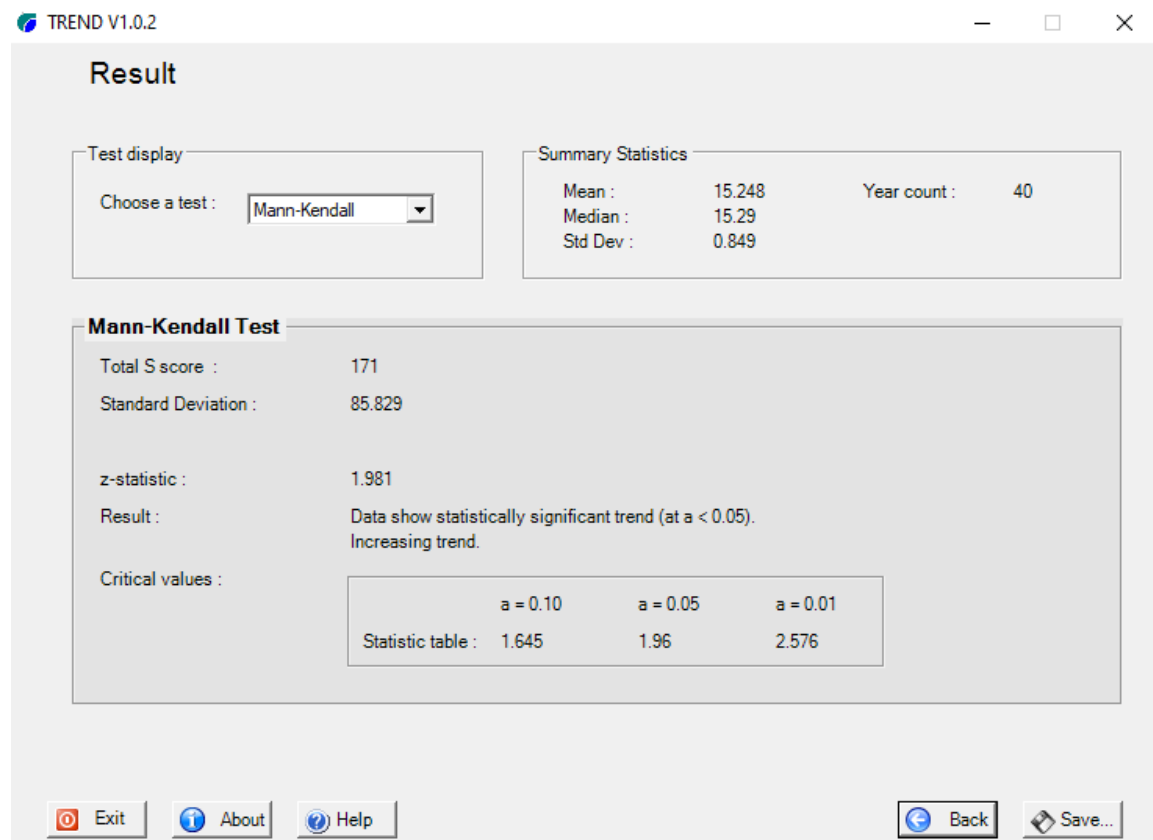
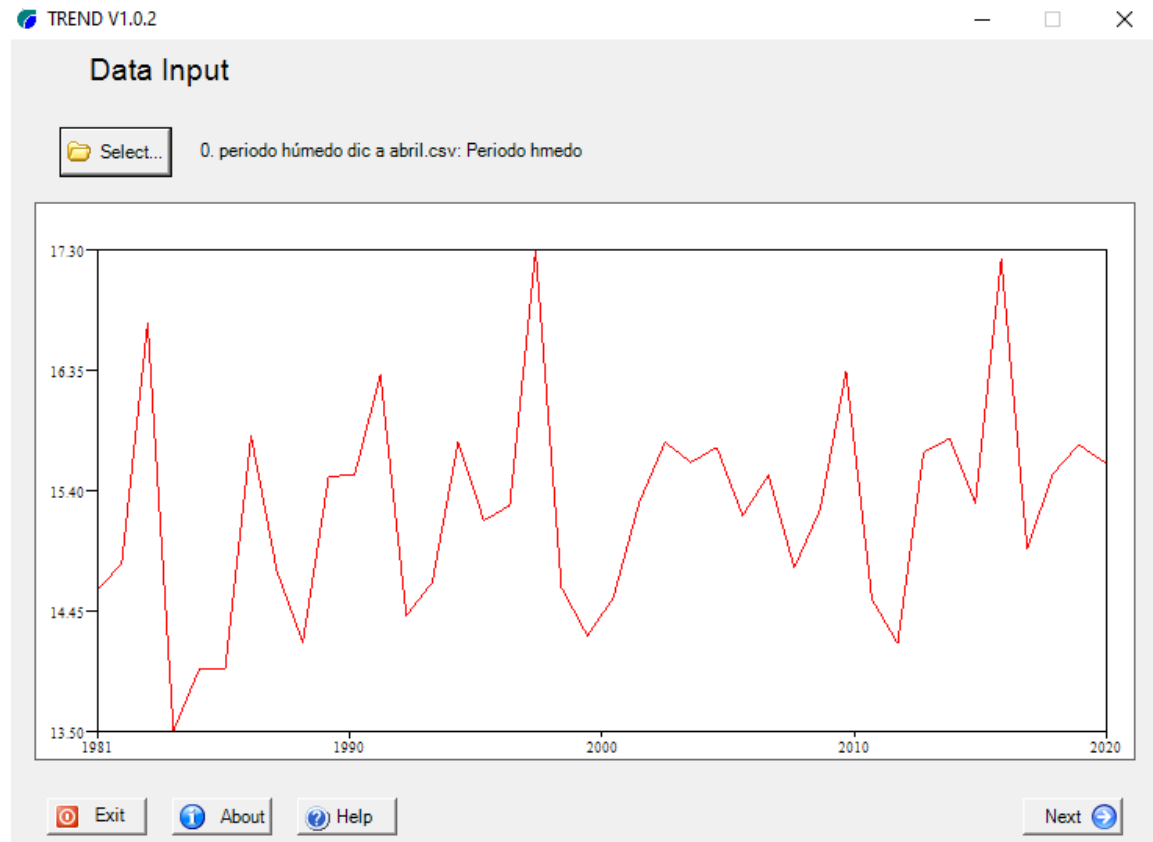


Diciembre

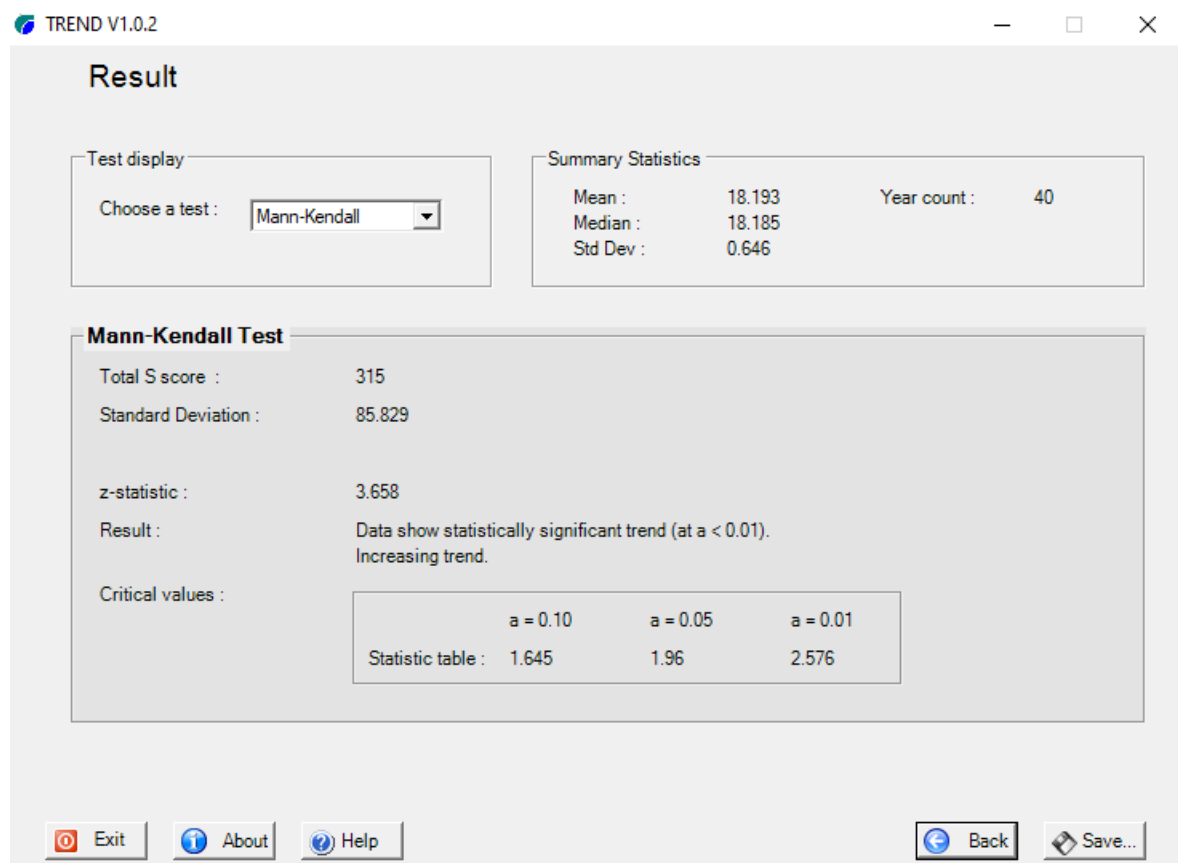
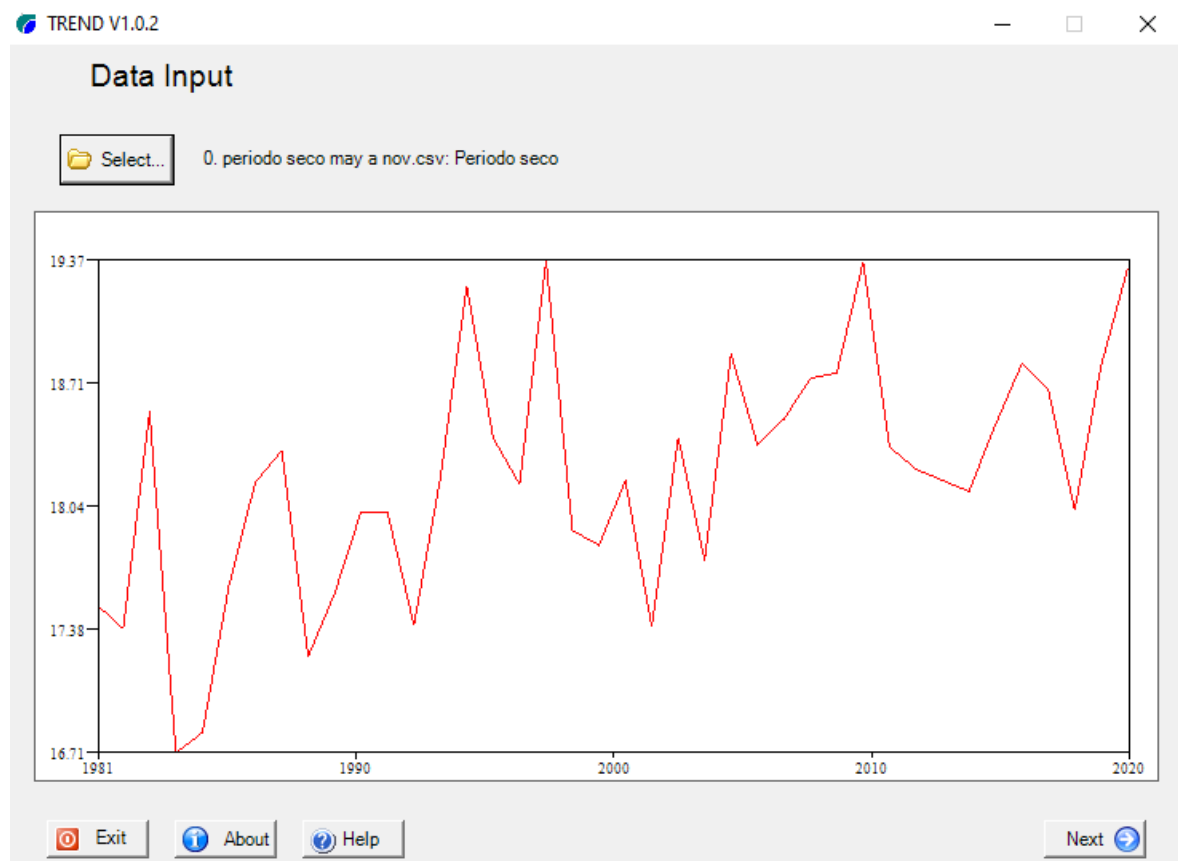


Periodo estacional

Periodo húmedo



Periodo seco



ESTACIÓN A-2

Latitud: -15.228118, Longitud: -71.824619, Altitud: 4422 m.s.n.m.

Departamento: Arequipa

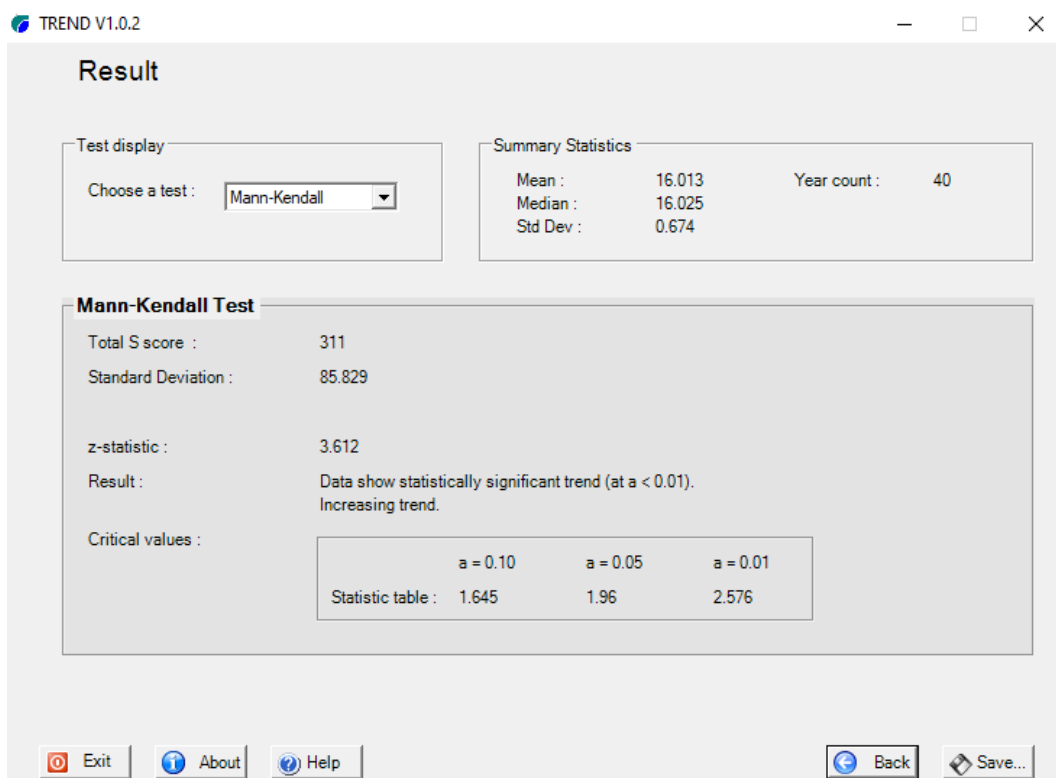
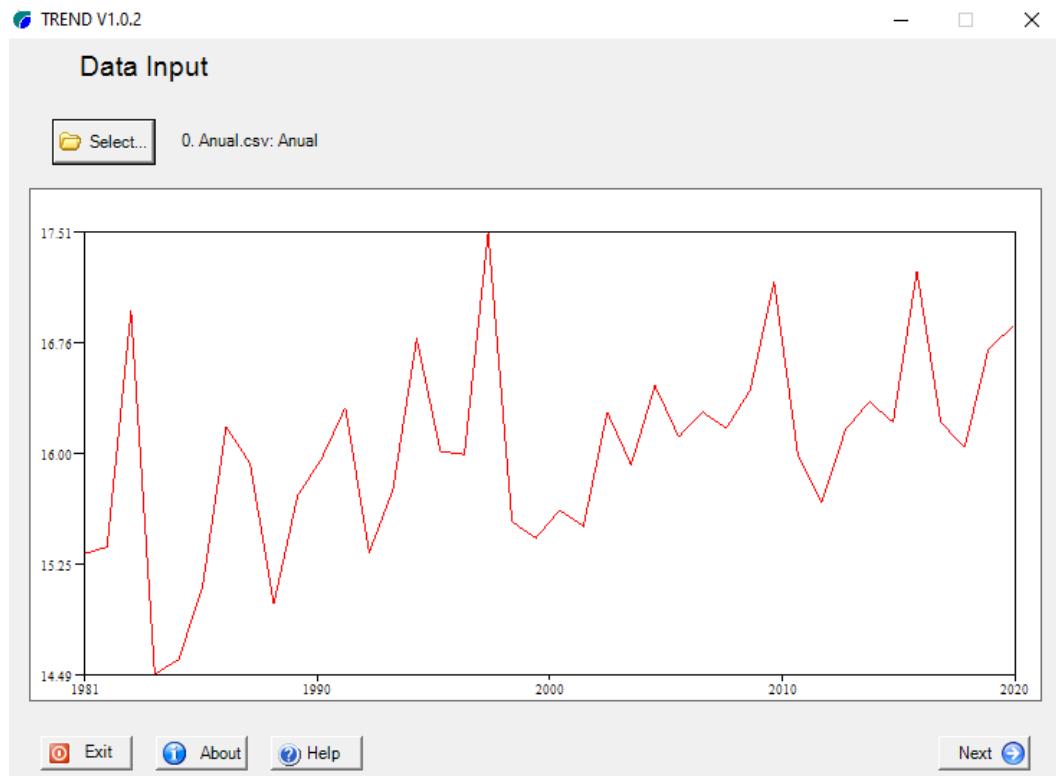
Provincia: Caylloma

Distrito: Caylloma

Temperatura
máxima (°C)

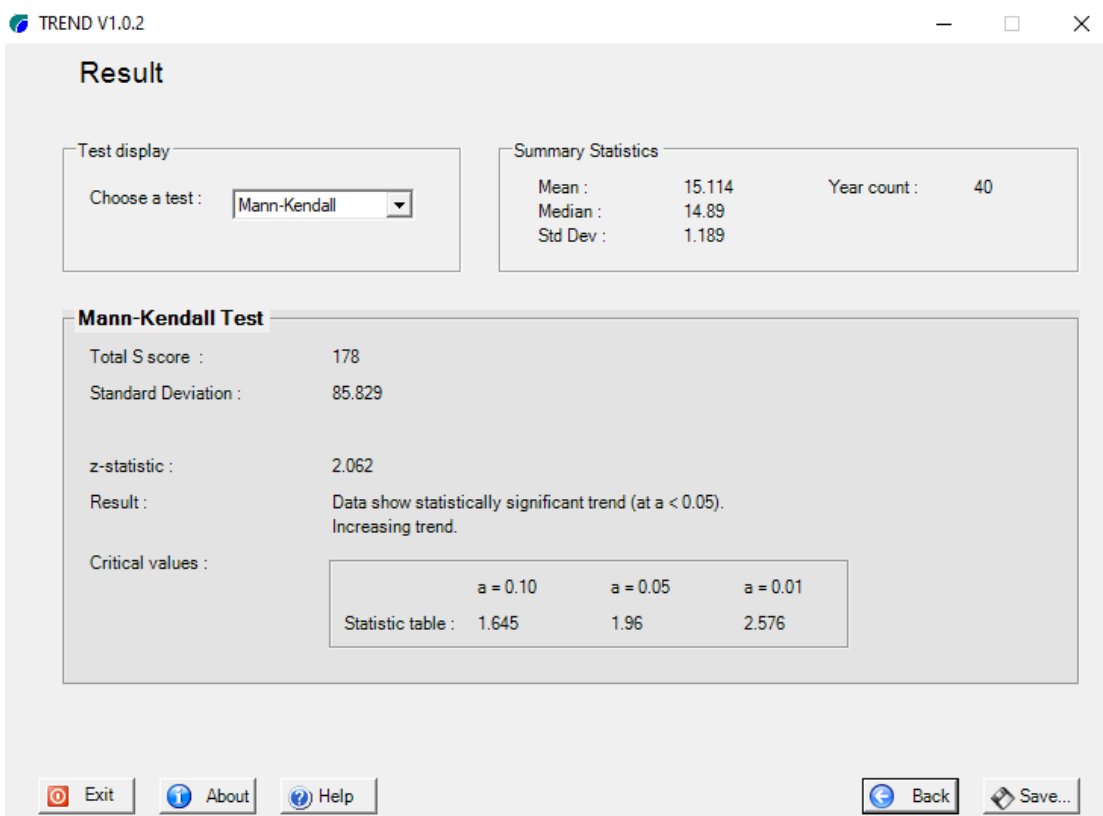
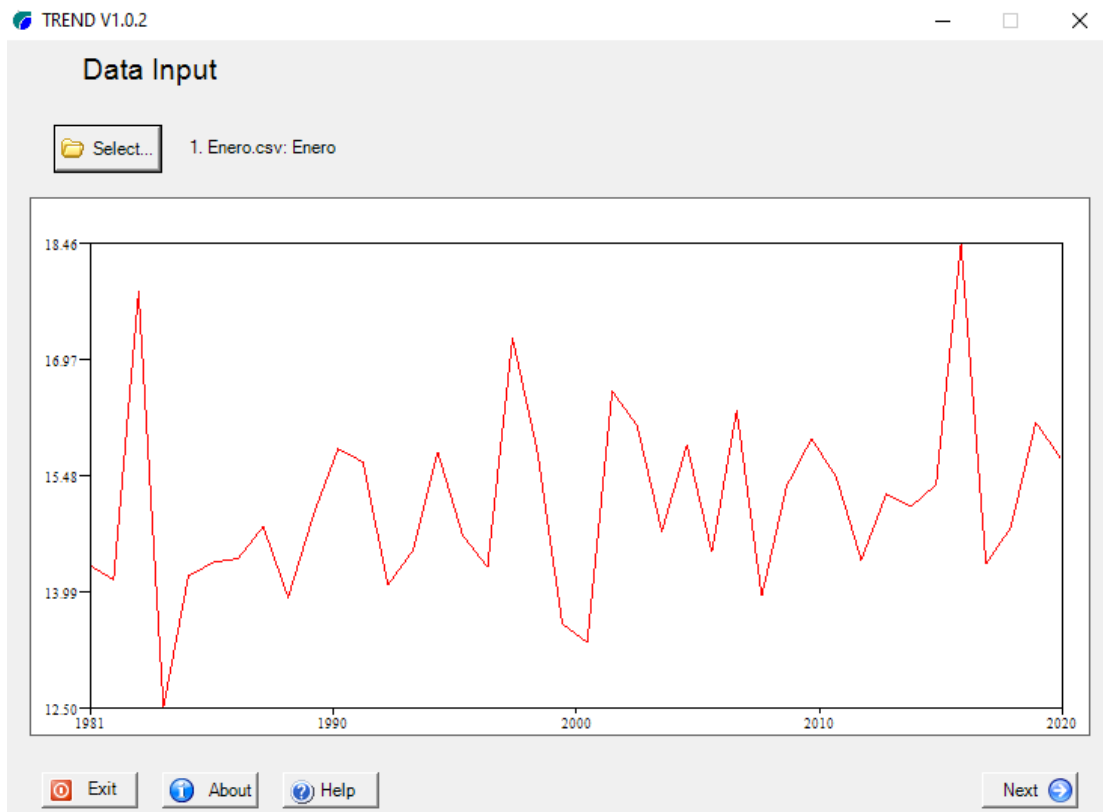
Periodo 1981-2020

Periodo anual

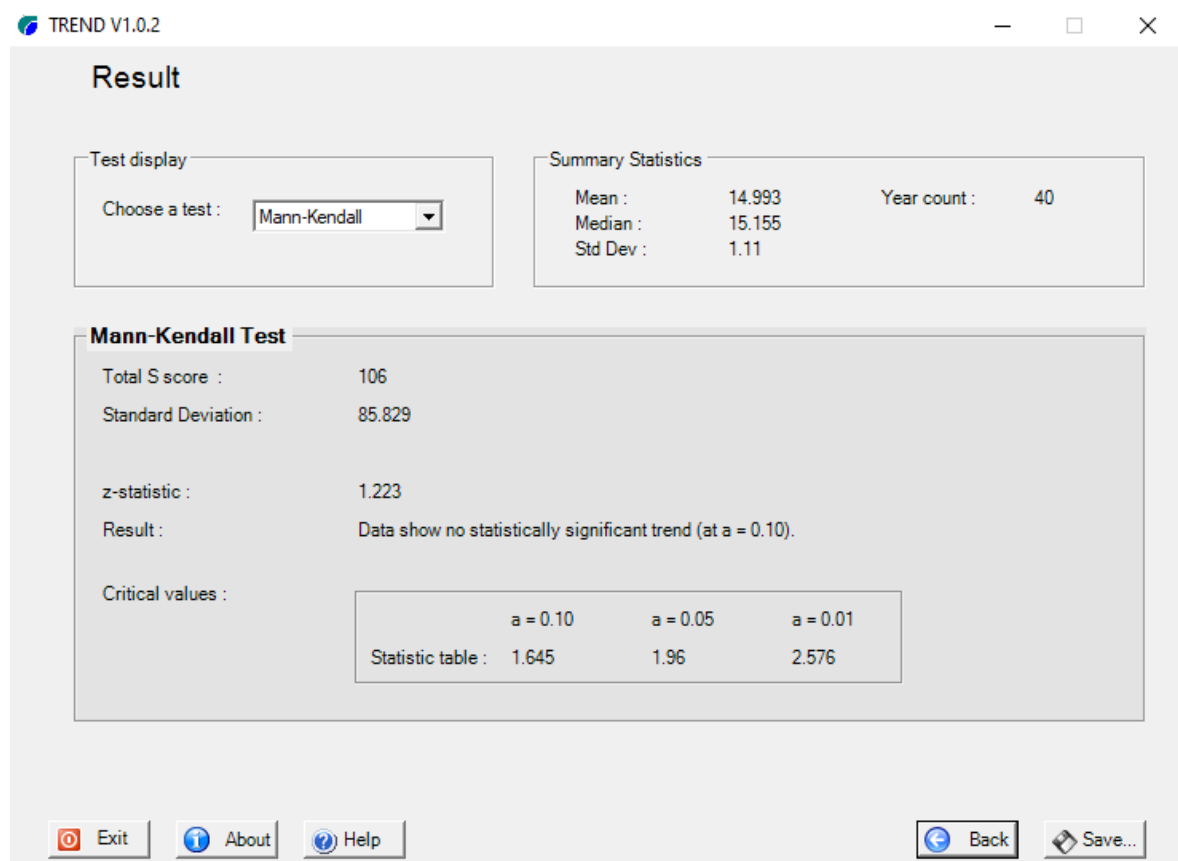
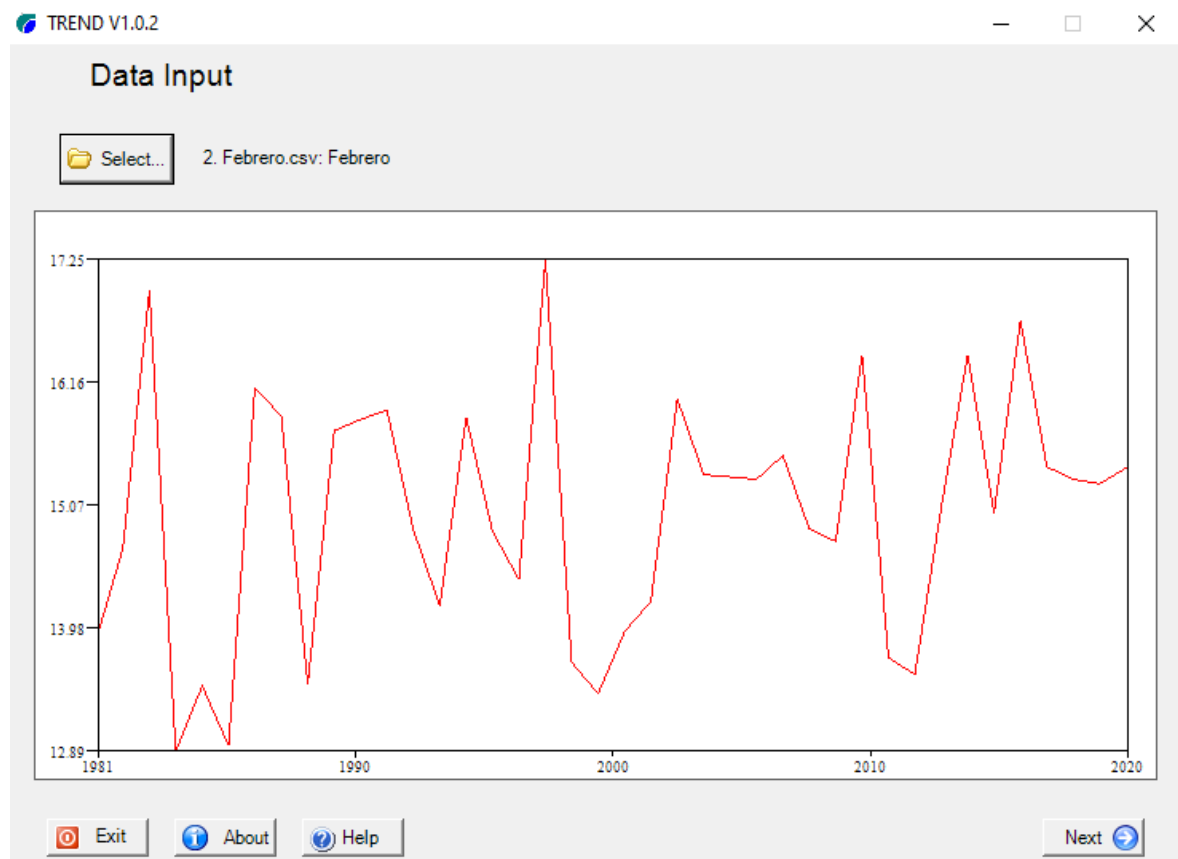


Periodo mensual

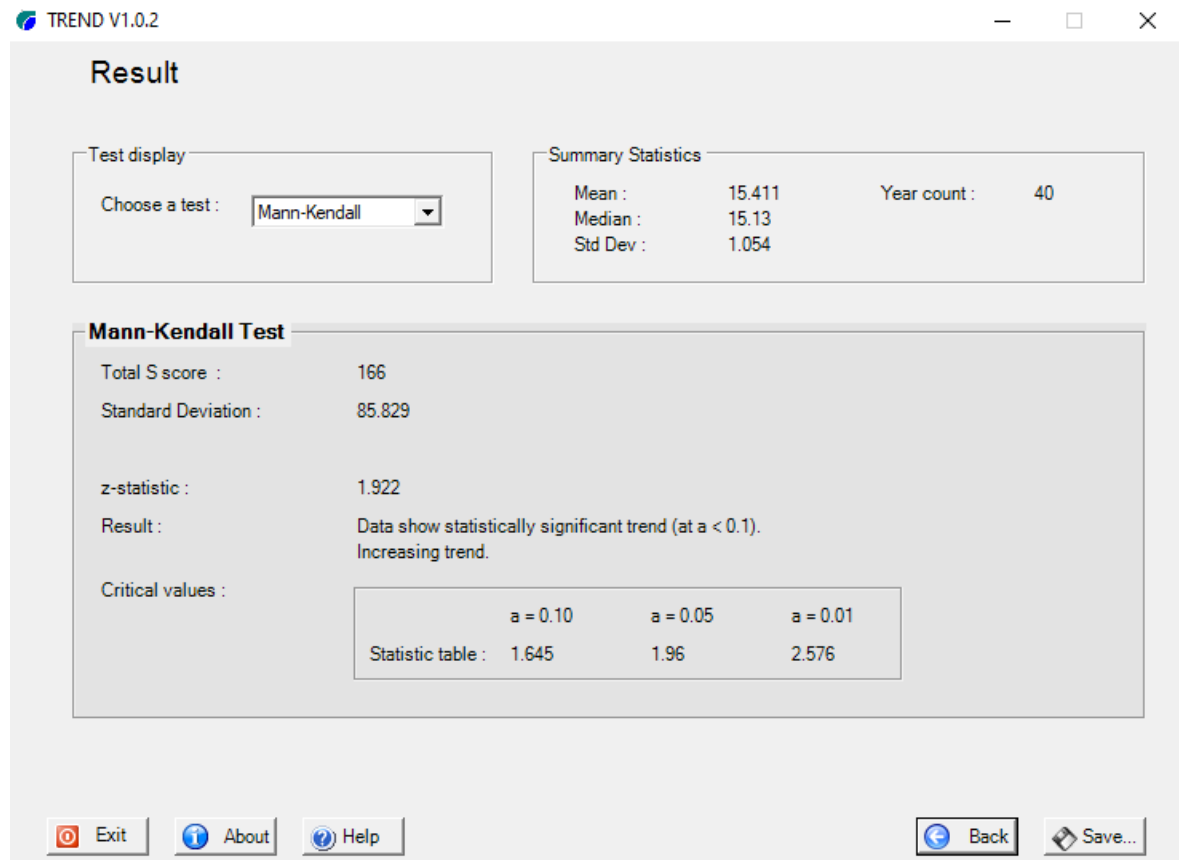
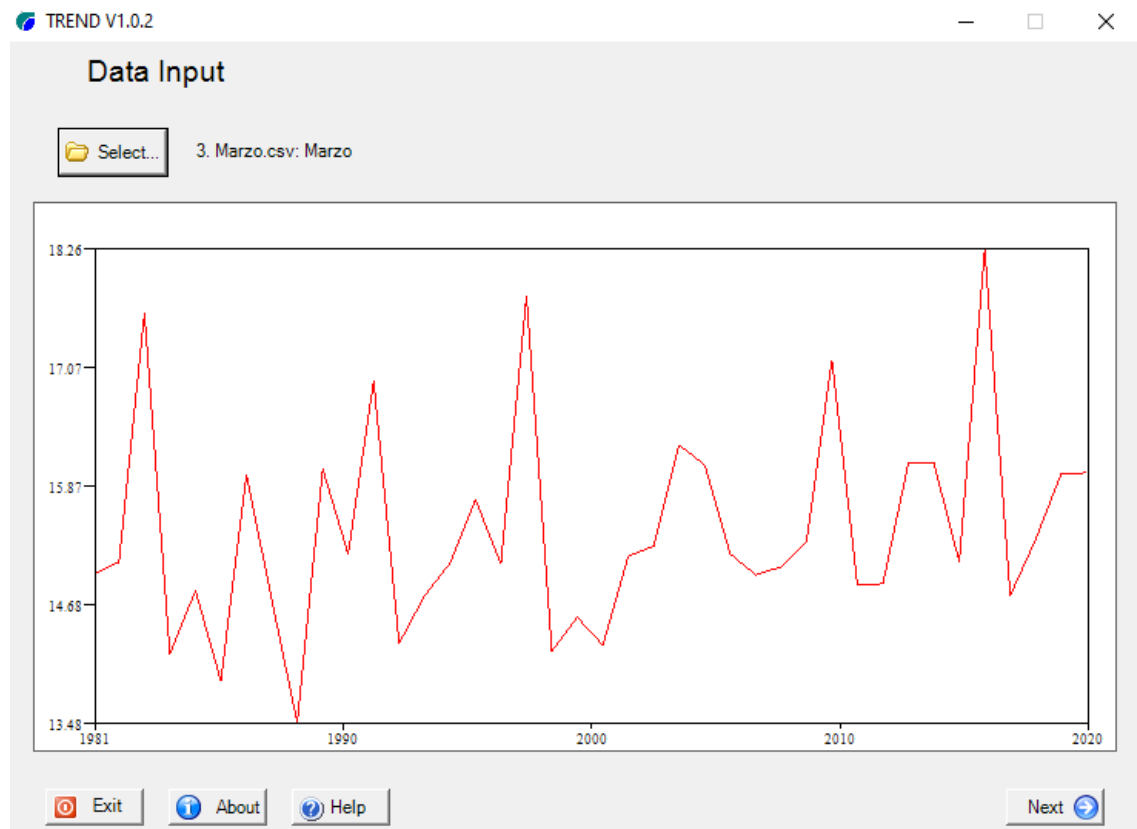
Enero



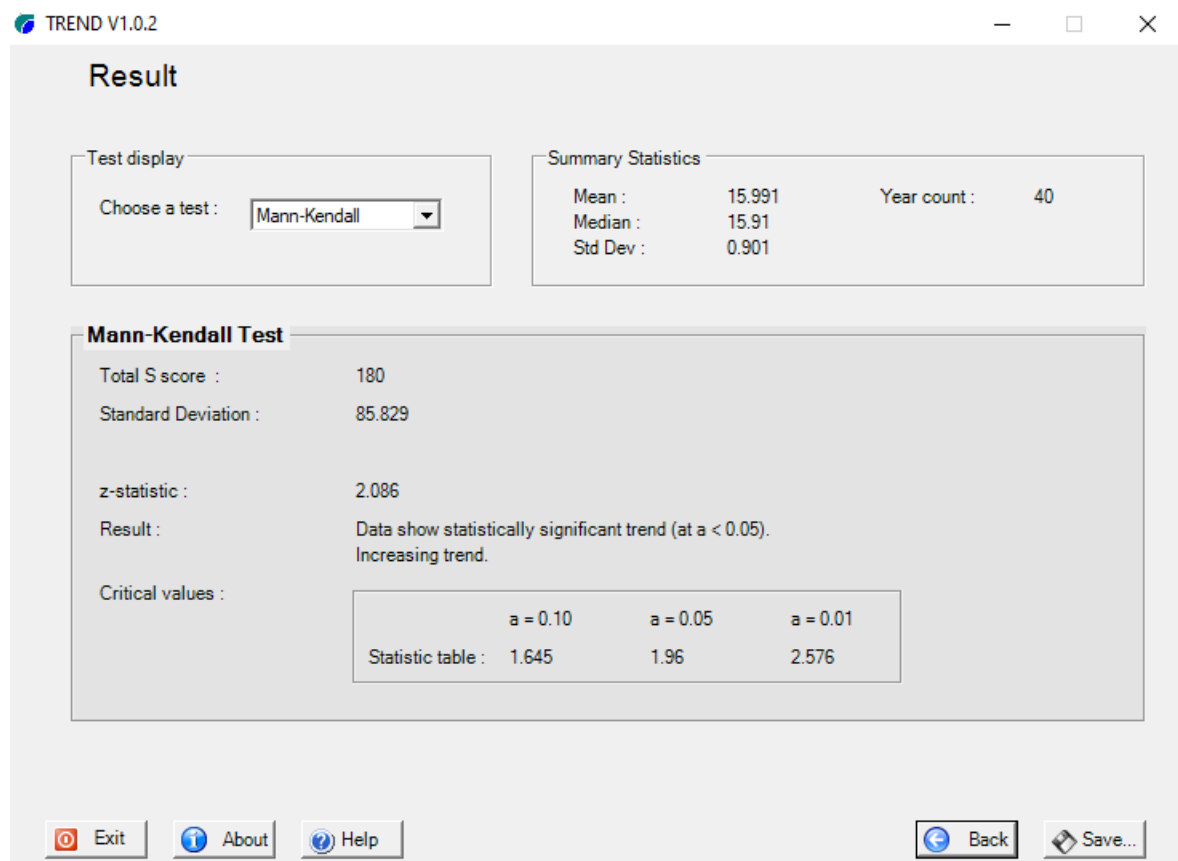
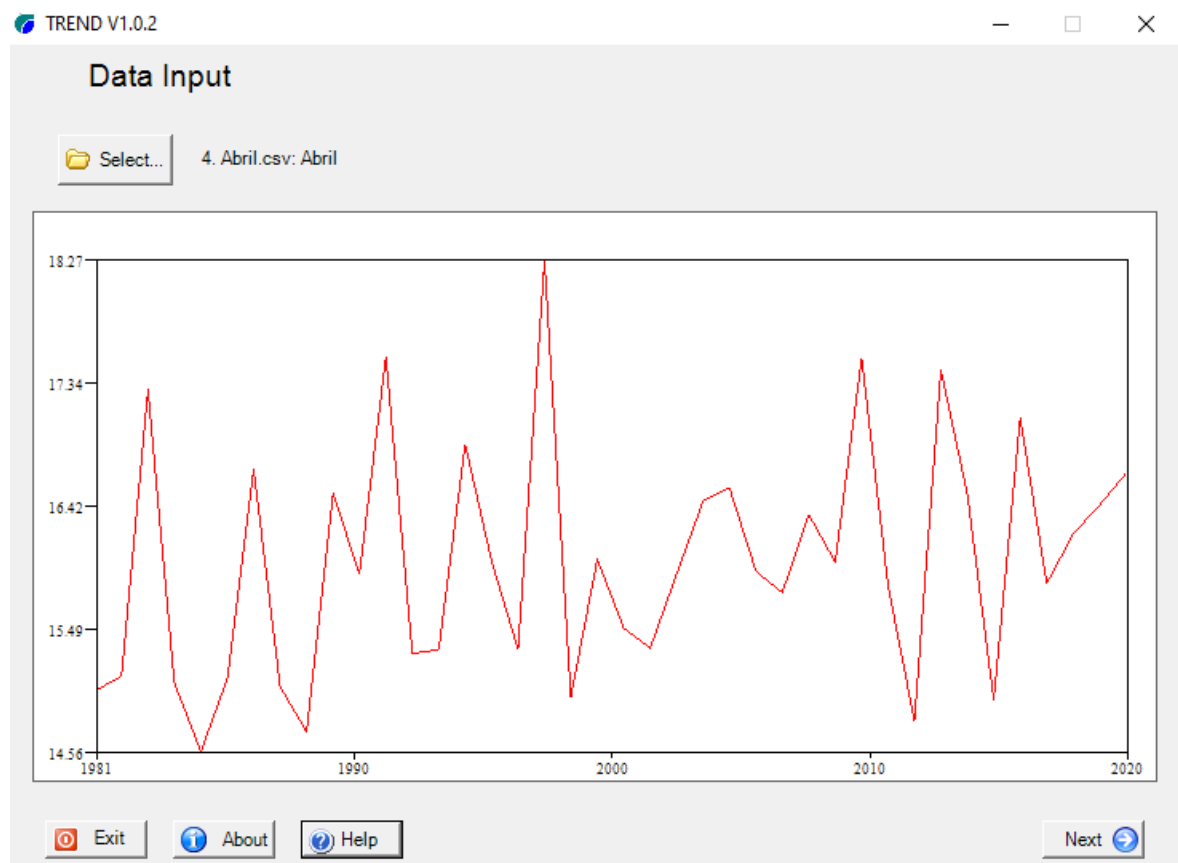
Febrero



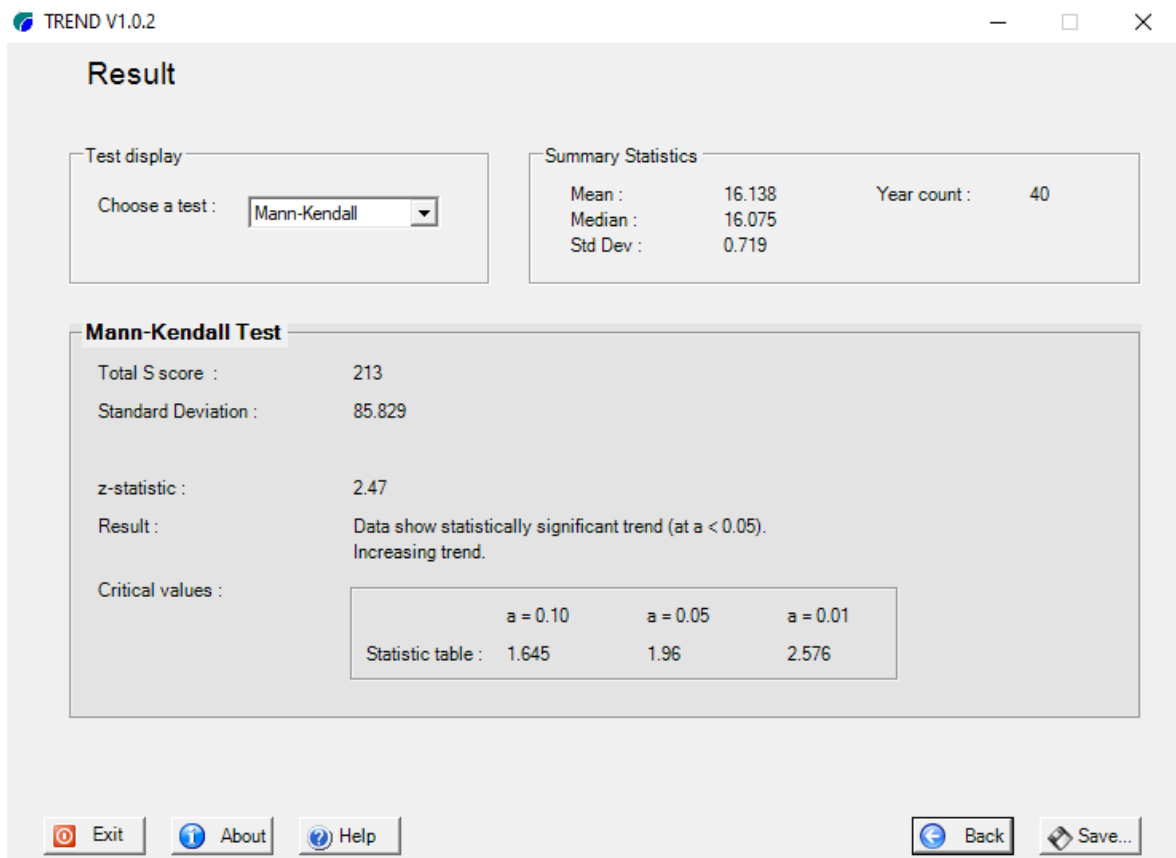
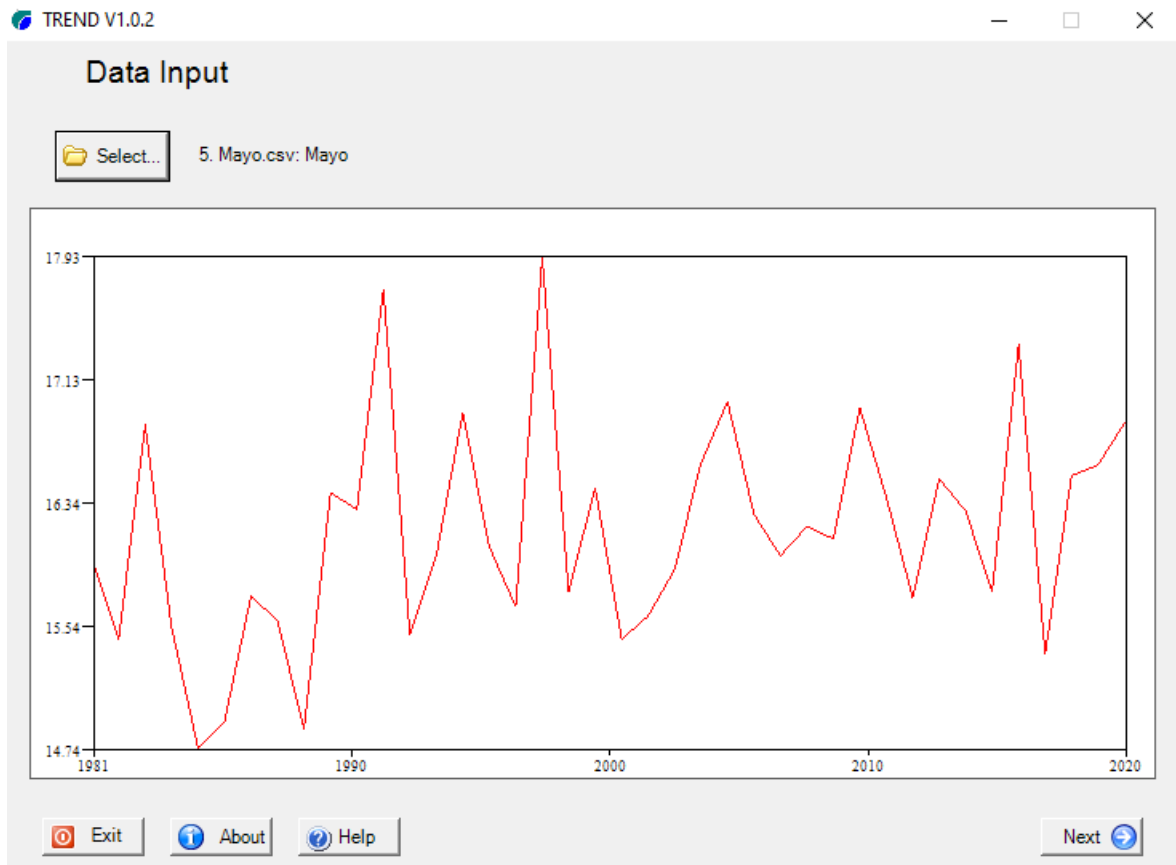
Marzo



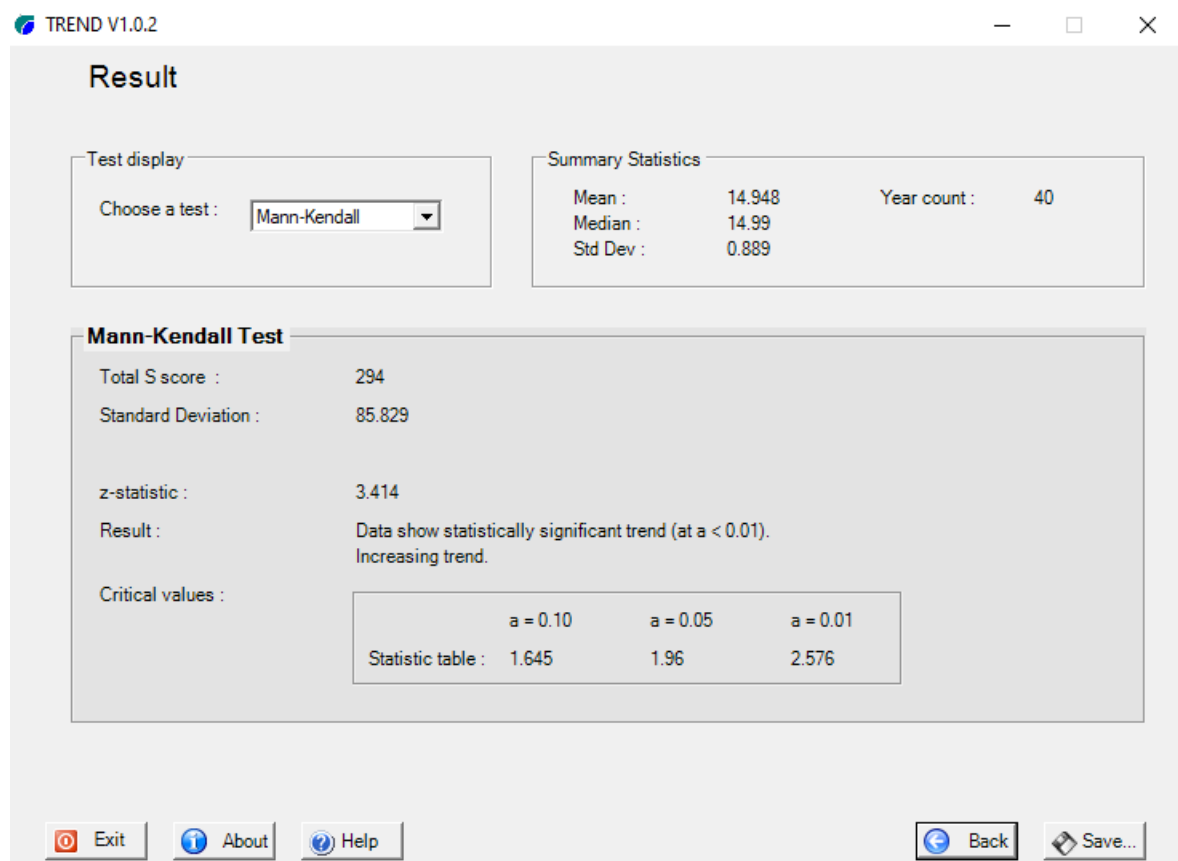
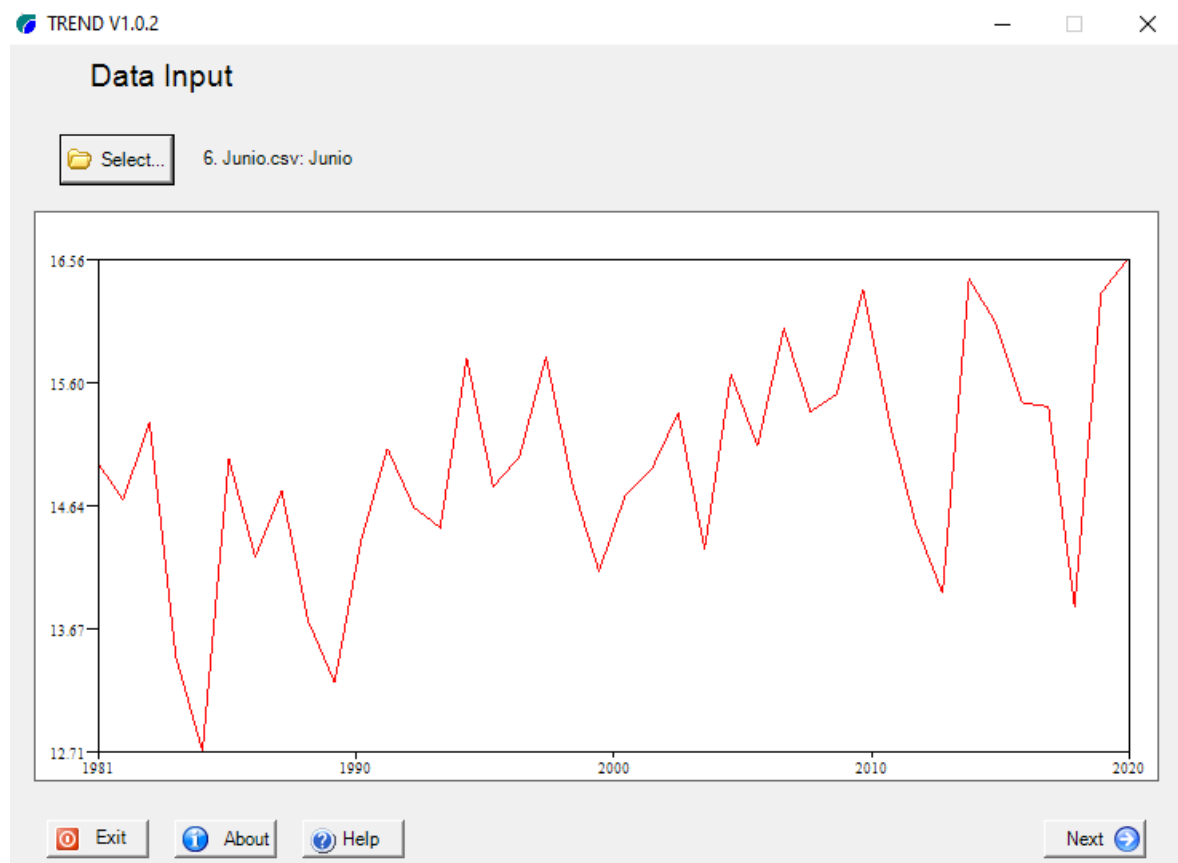
Abril



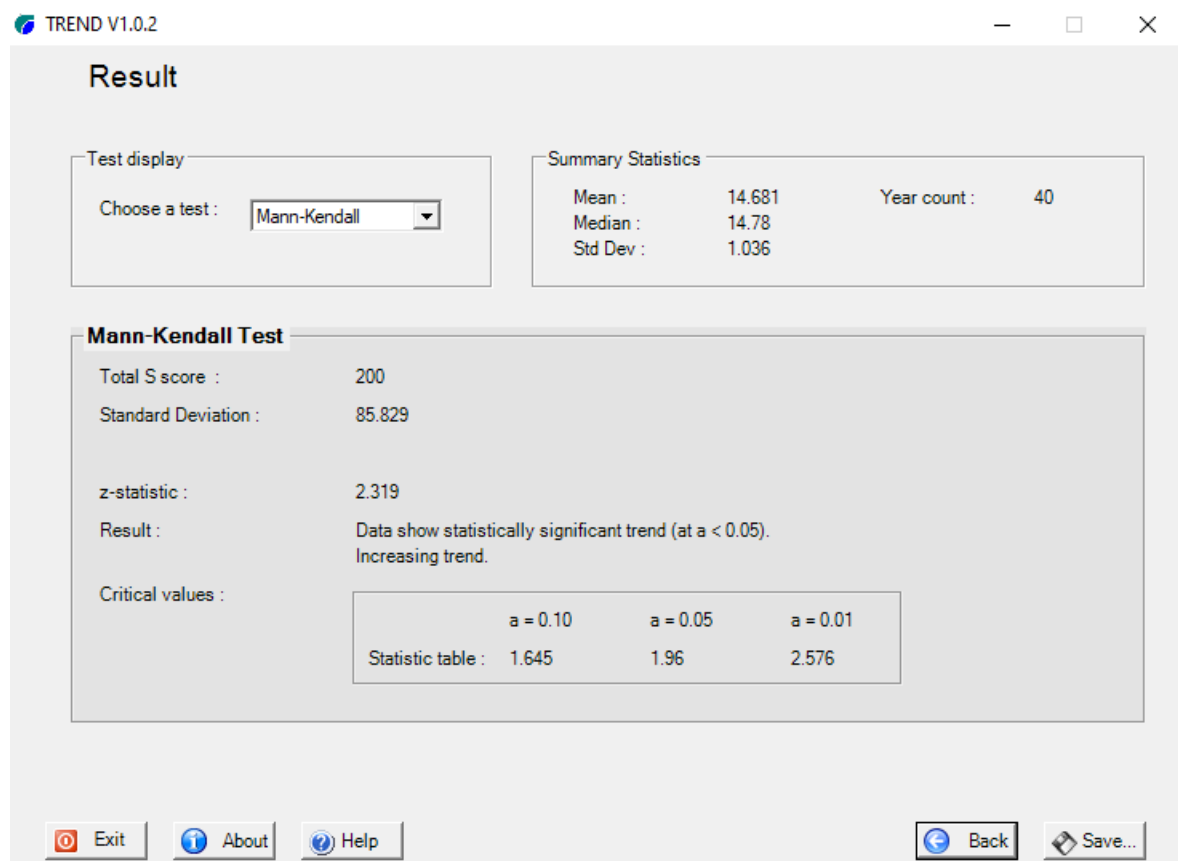
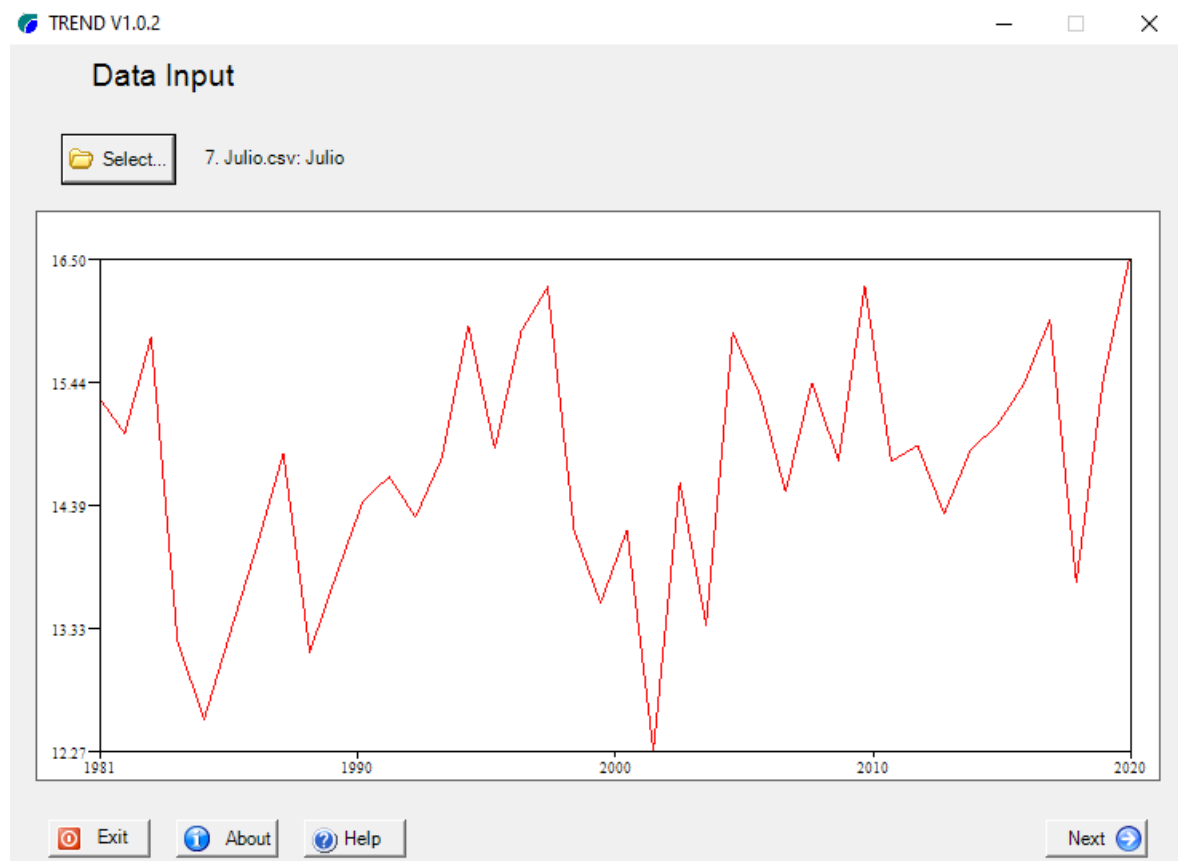
Mayo



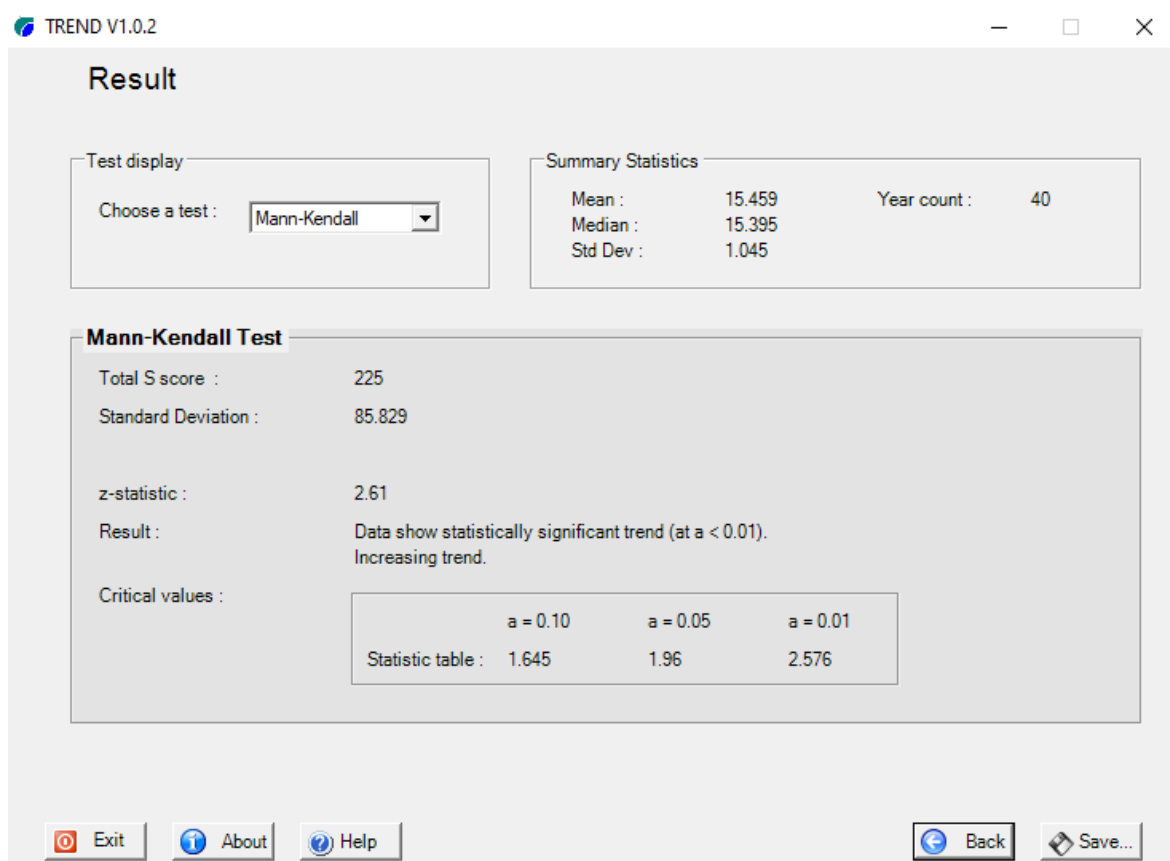
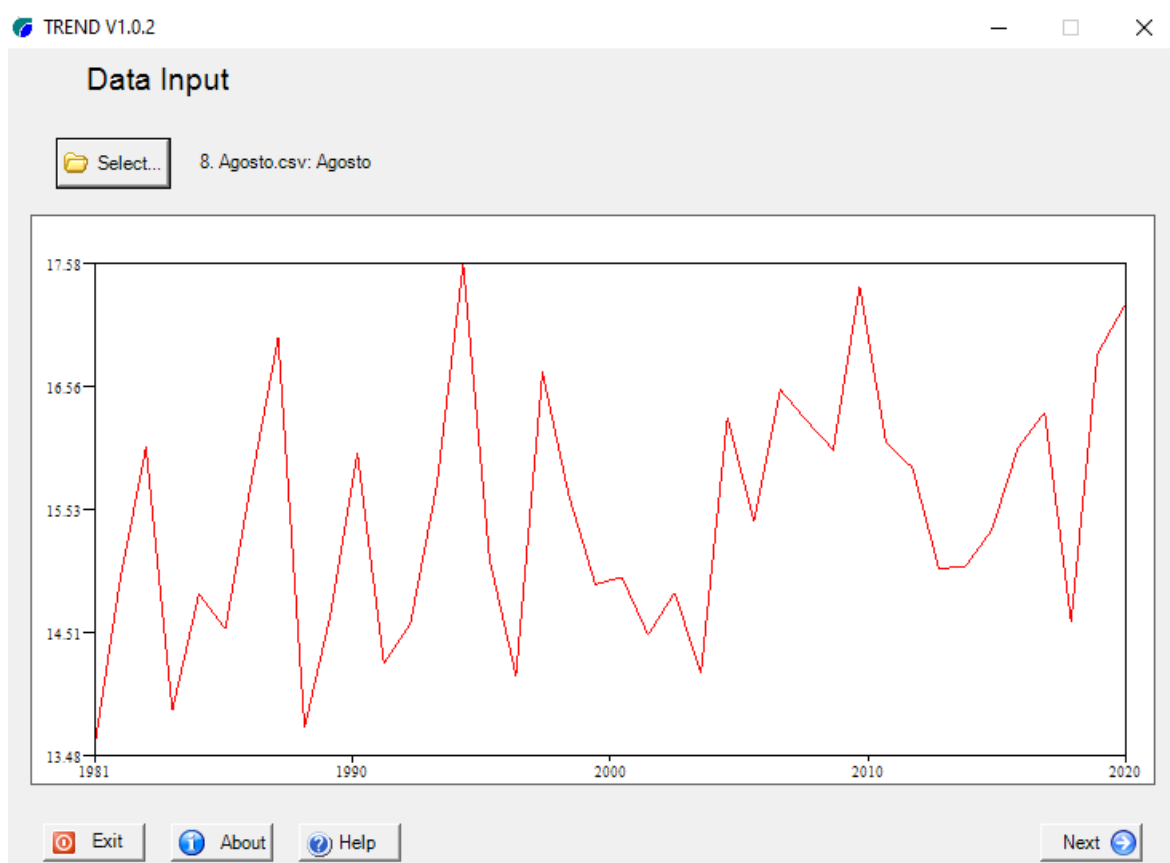
Junio



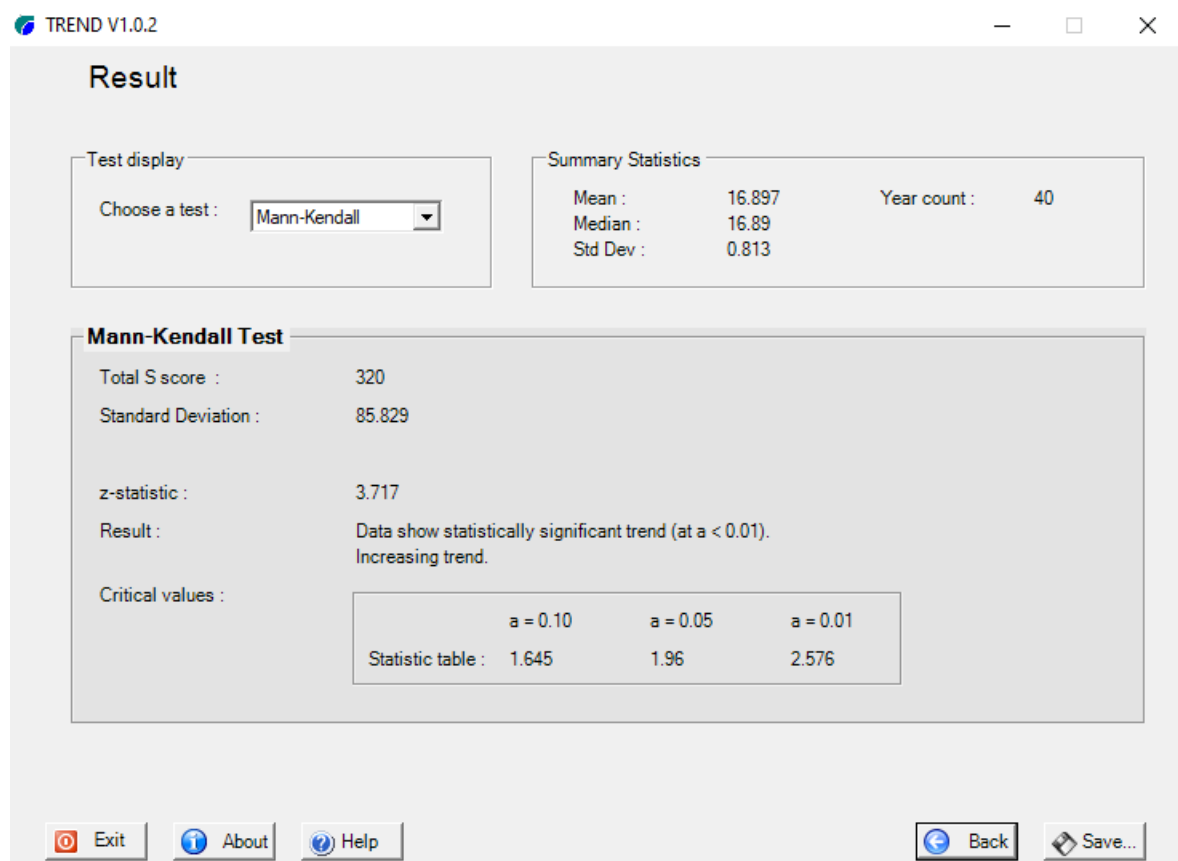
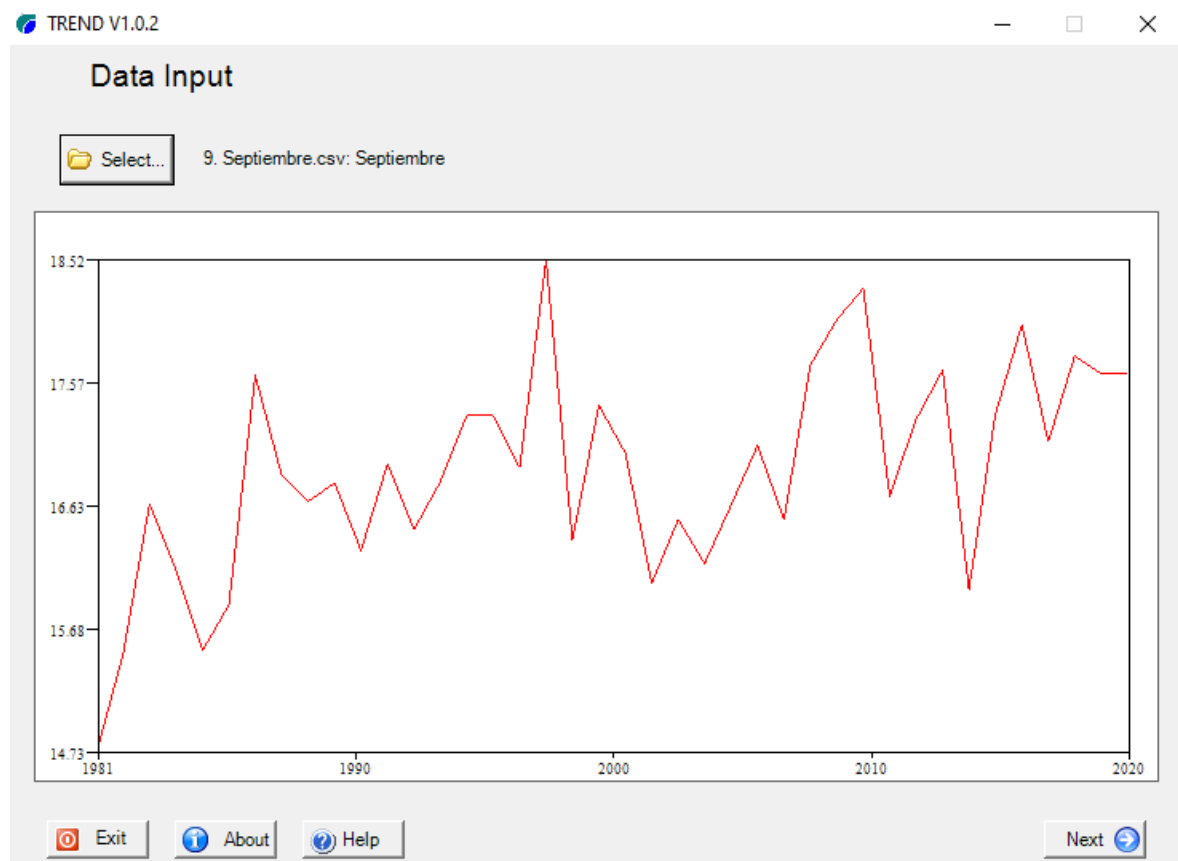
Julio



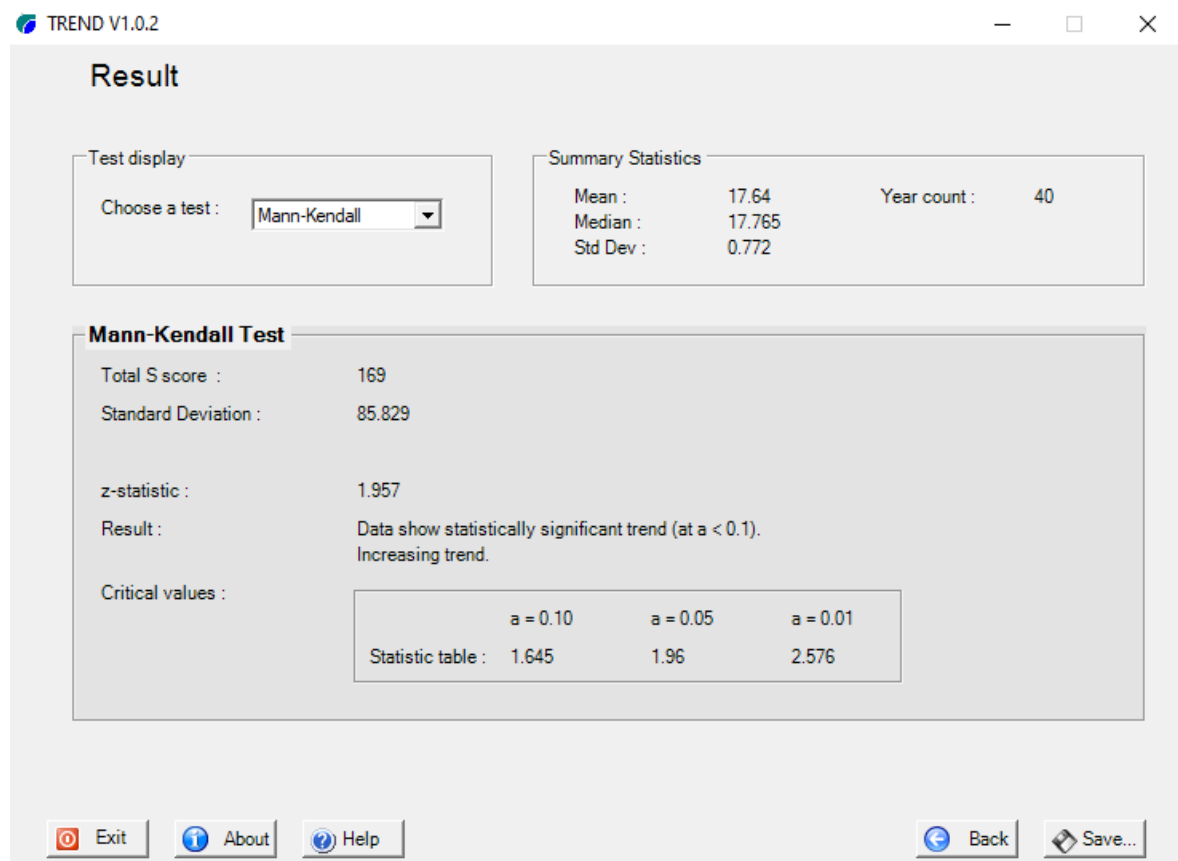
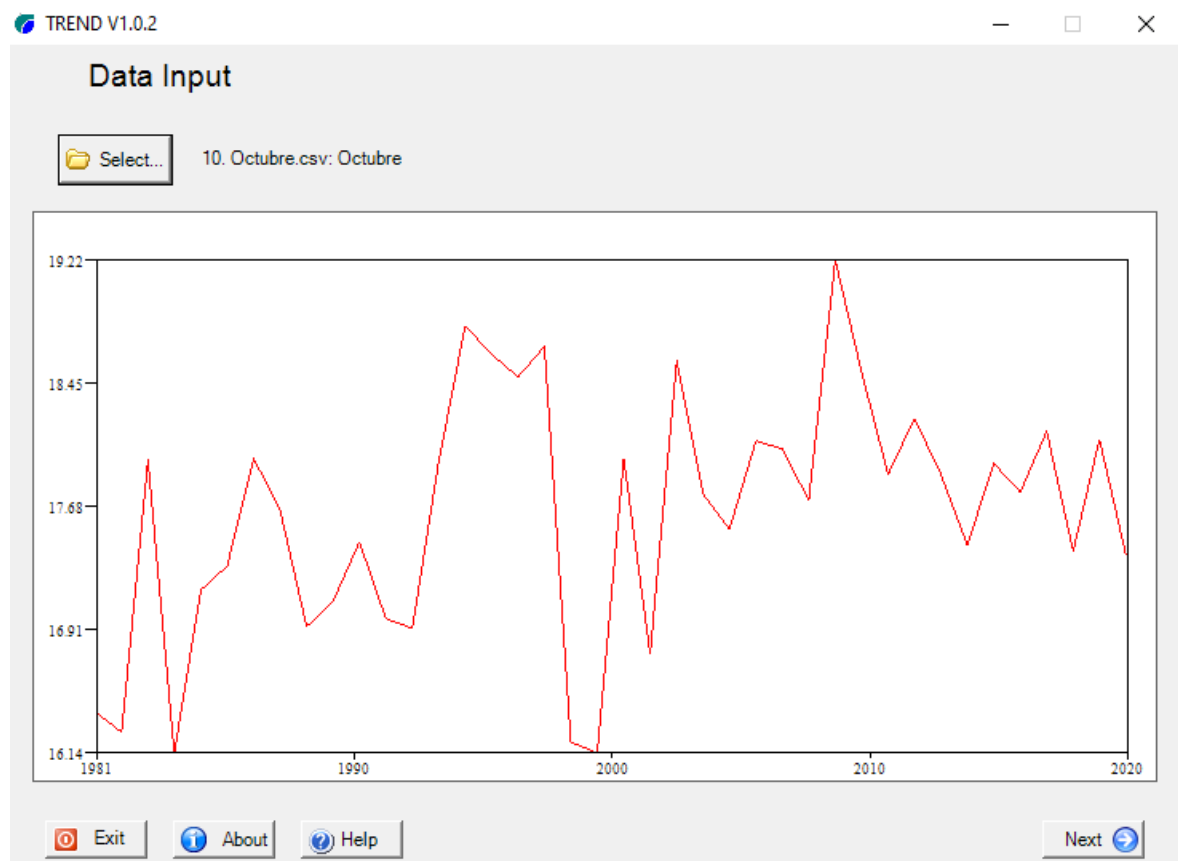
Agosto



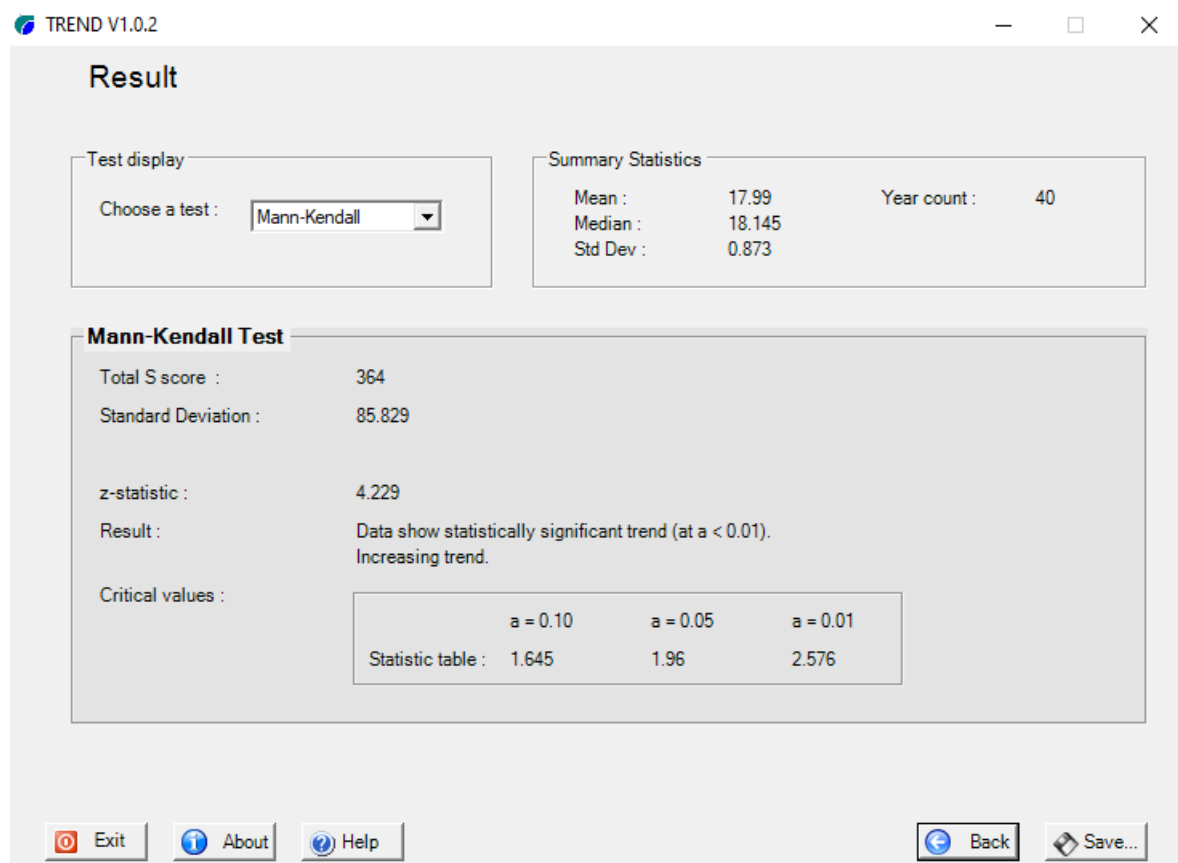
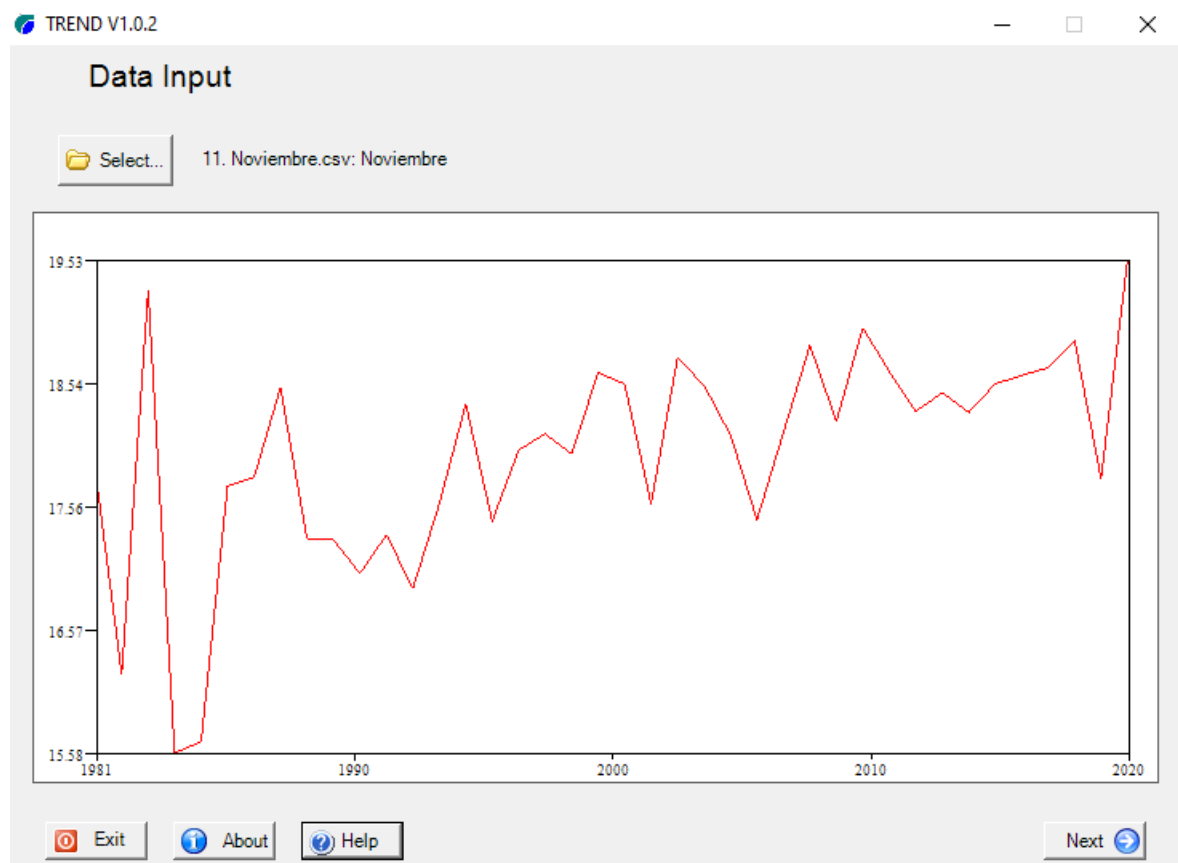
Septiembre



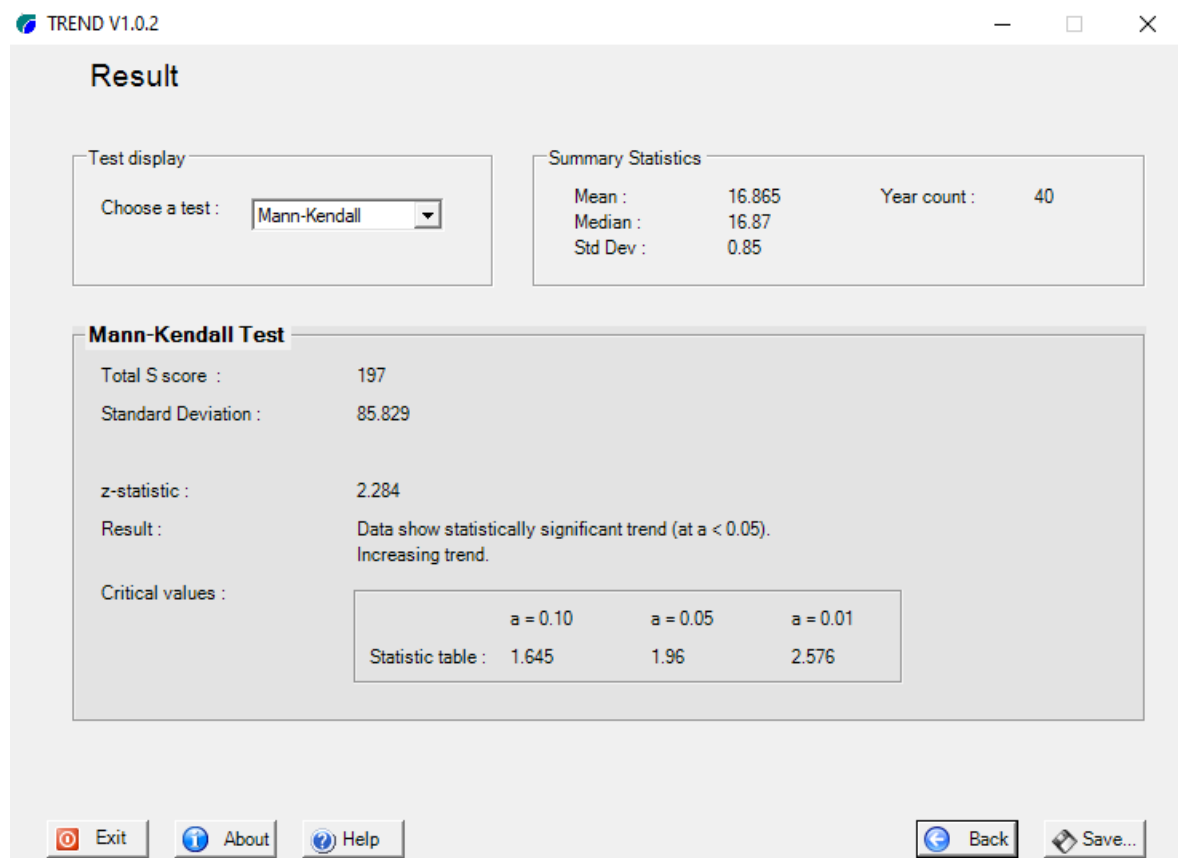
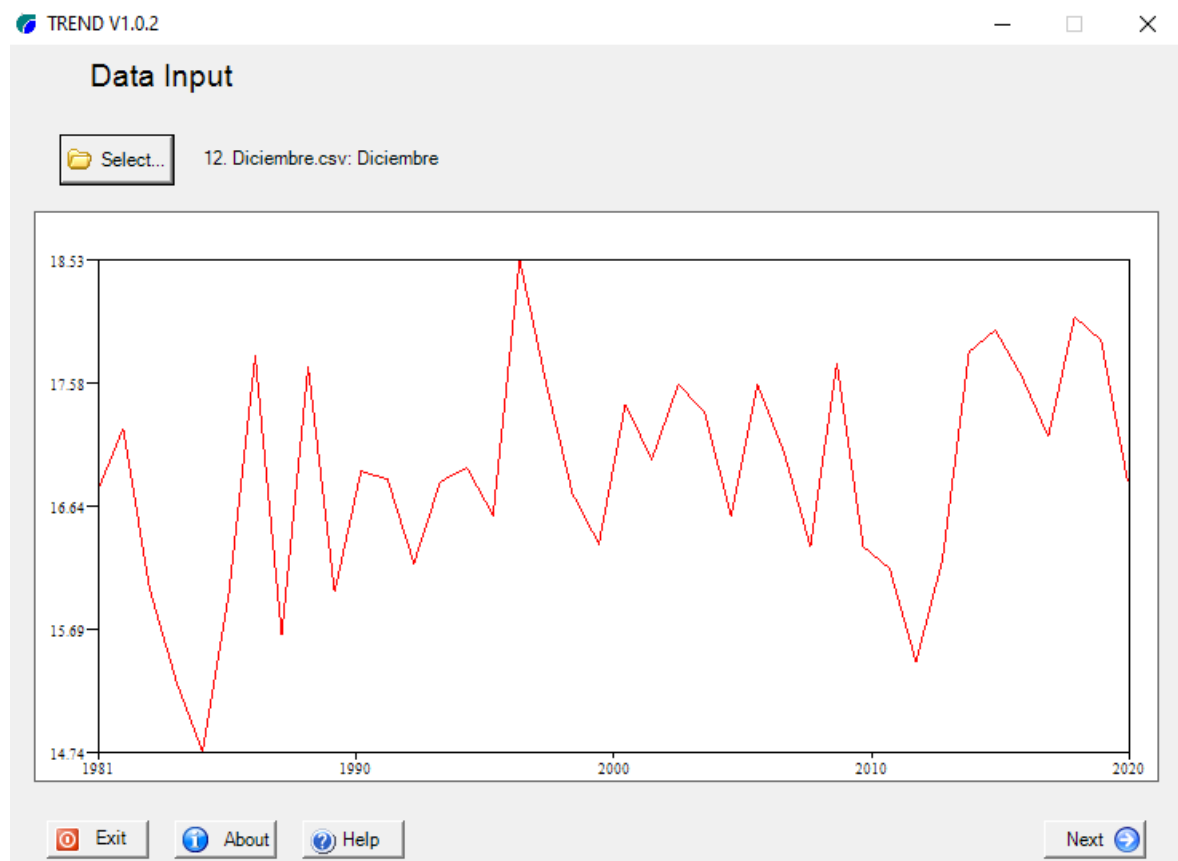
Octubre



Noviembre

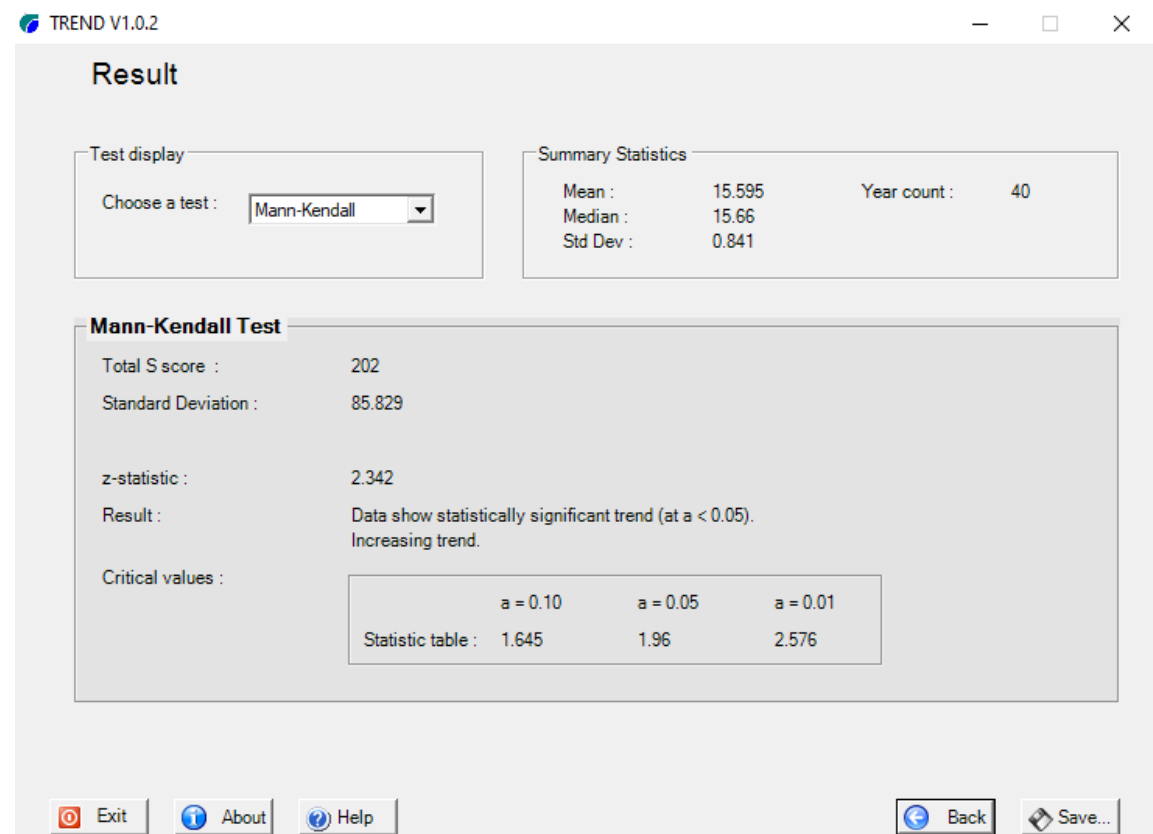
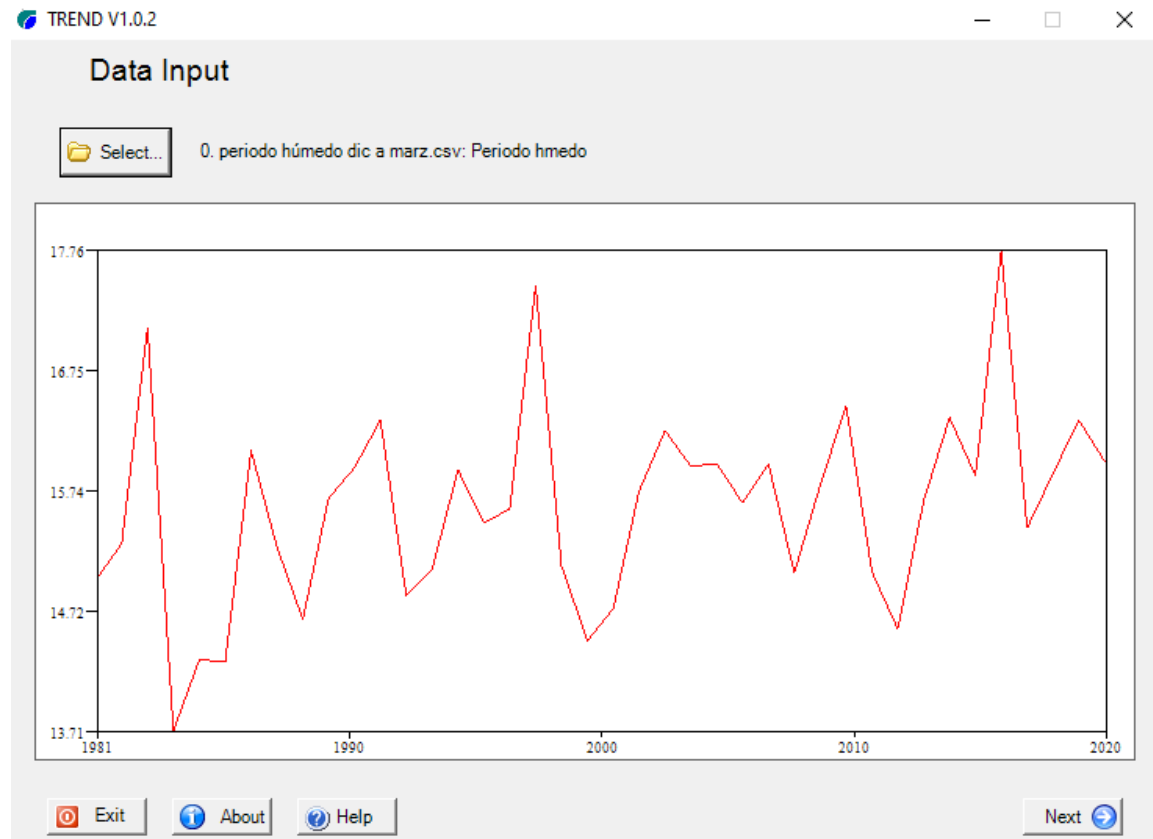


Diciembre

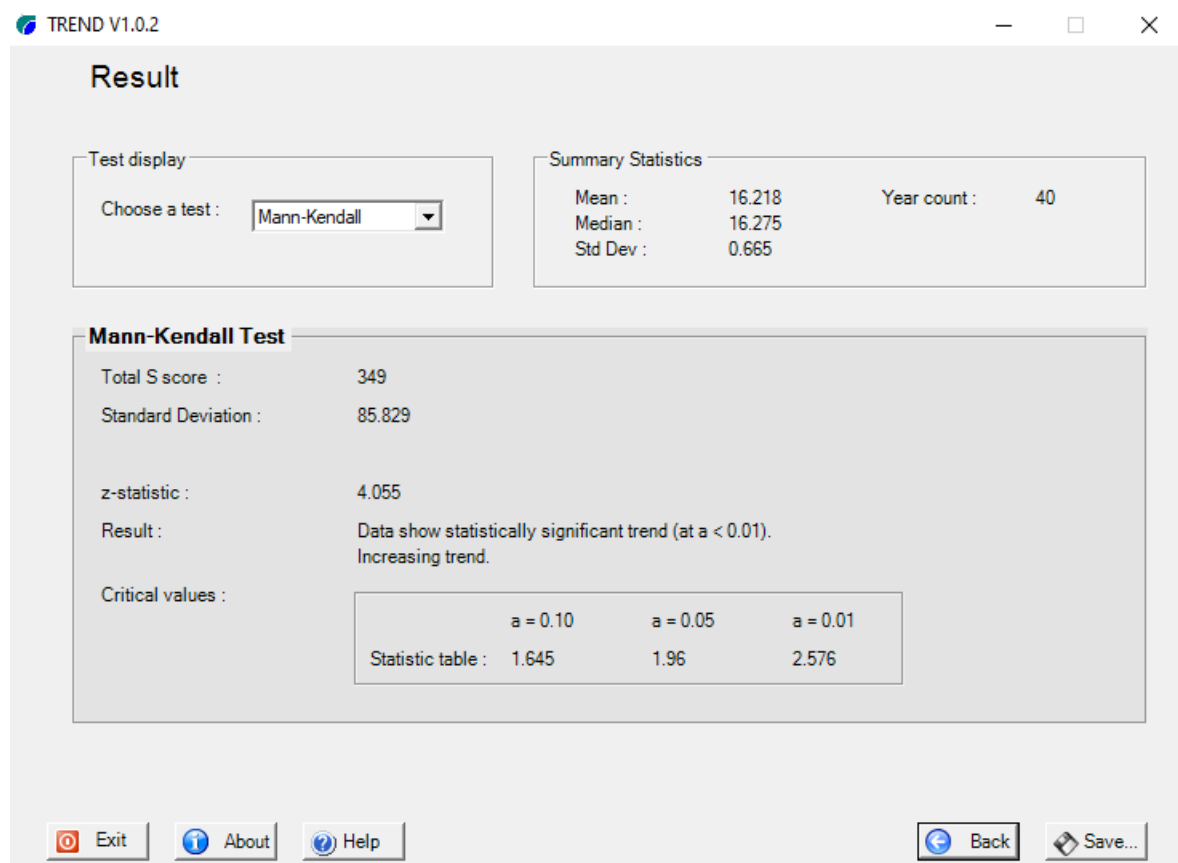
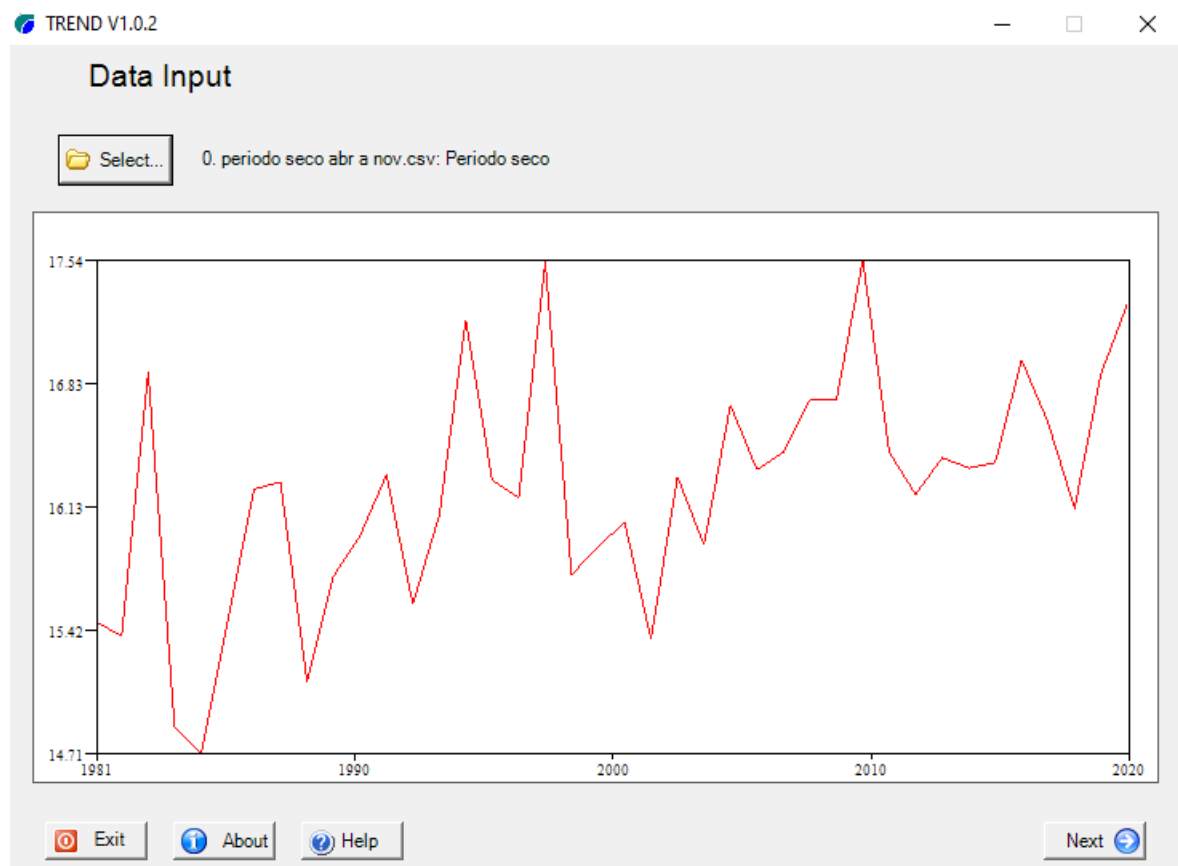


Periodo estacional

Periodo húmedo



Periodo seco



TEMPERATURA MÍNIMA

ESTACIÓN A-1

Latitud: -15.176083, Longitud: -71.867149, Altitud: 4578 m.s.n.m.

Departamento: Arequipa

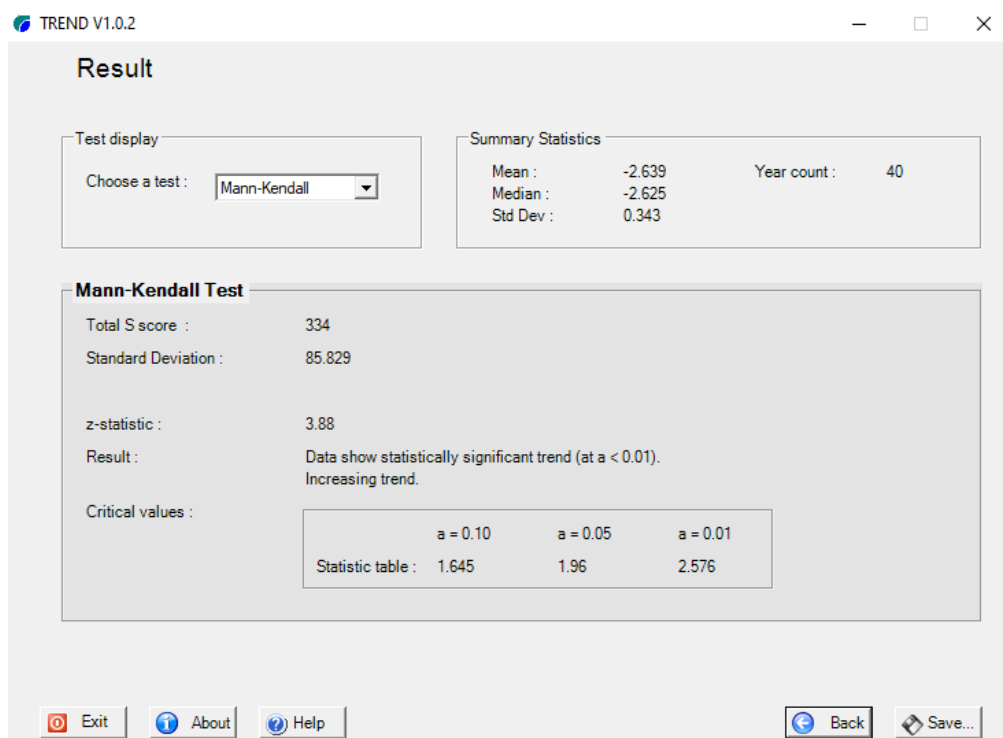
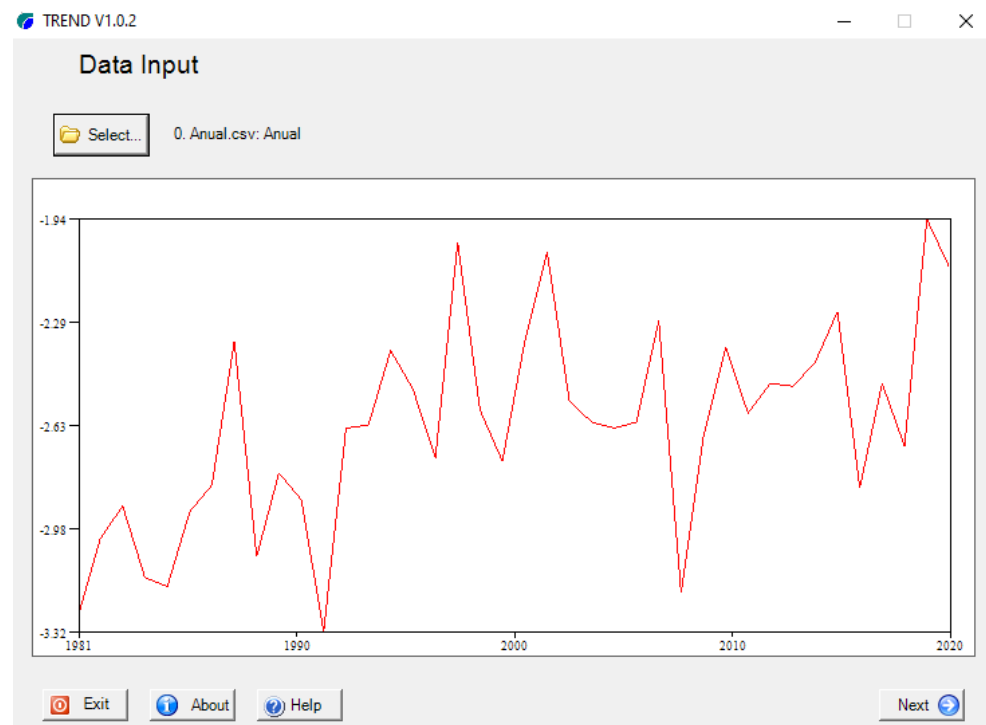
Provincia: Caylloma

Distrito: Caylloma

Temperatura
mínima (°C)

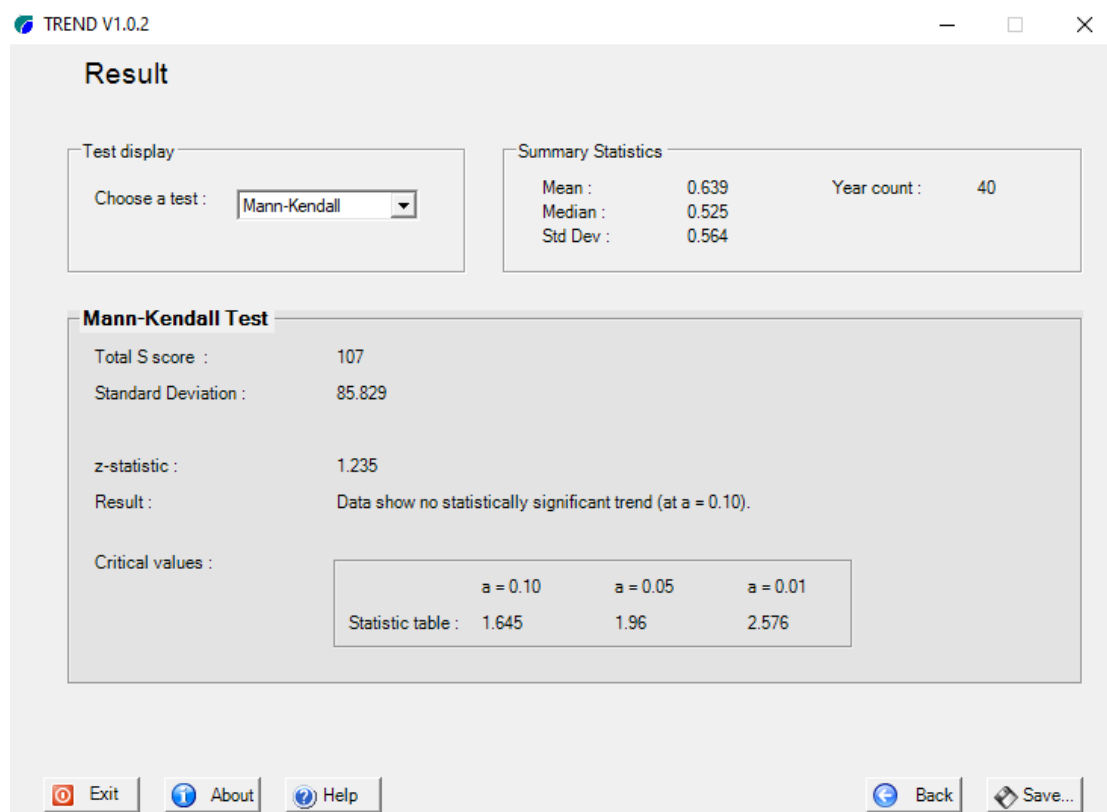
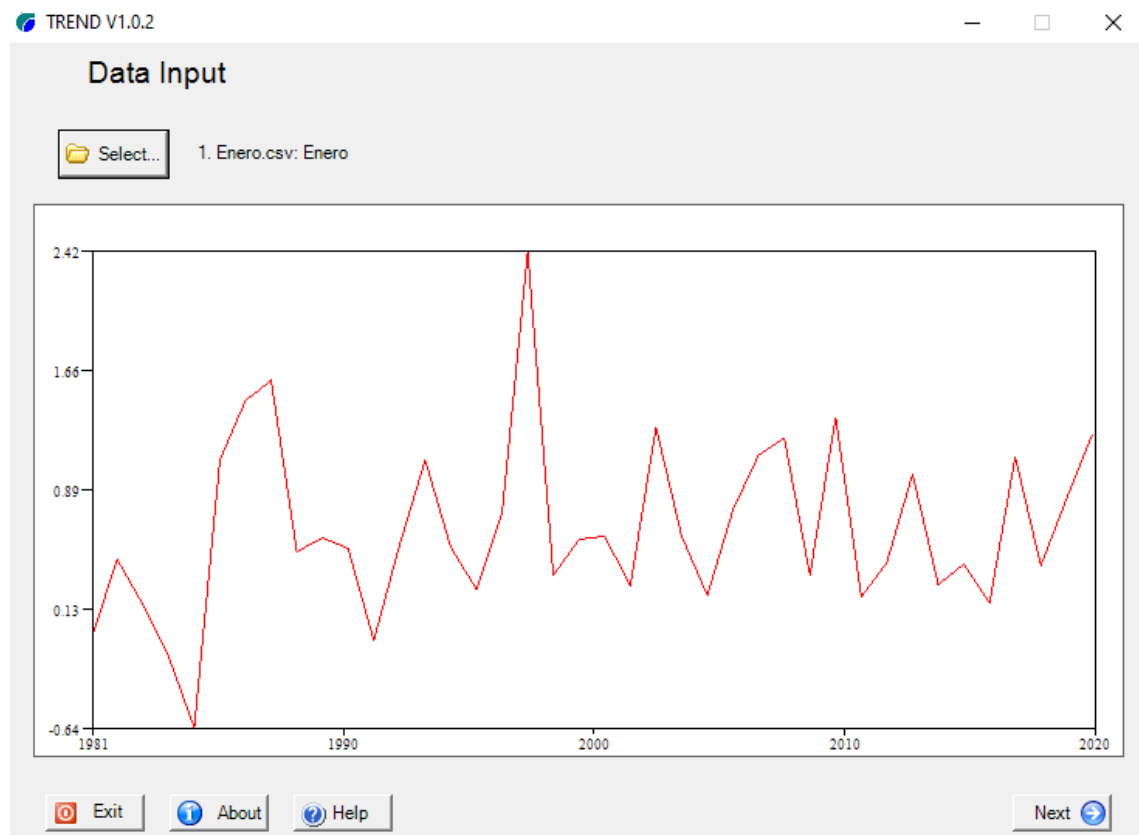
Periodo 1981-2020

Periodo anual

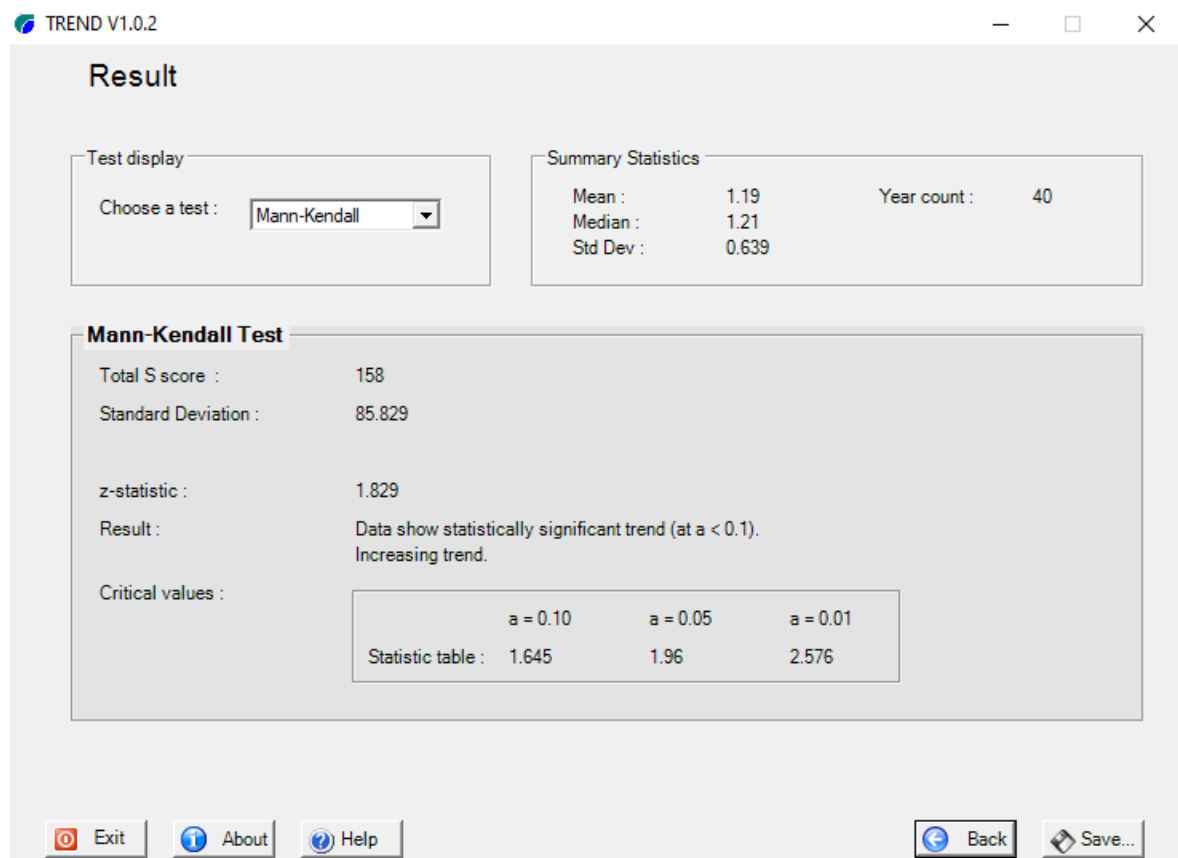
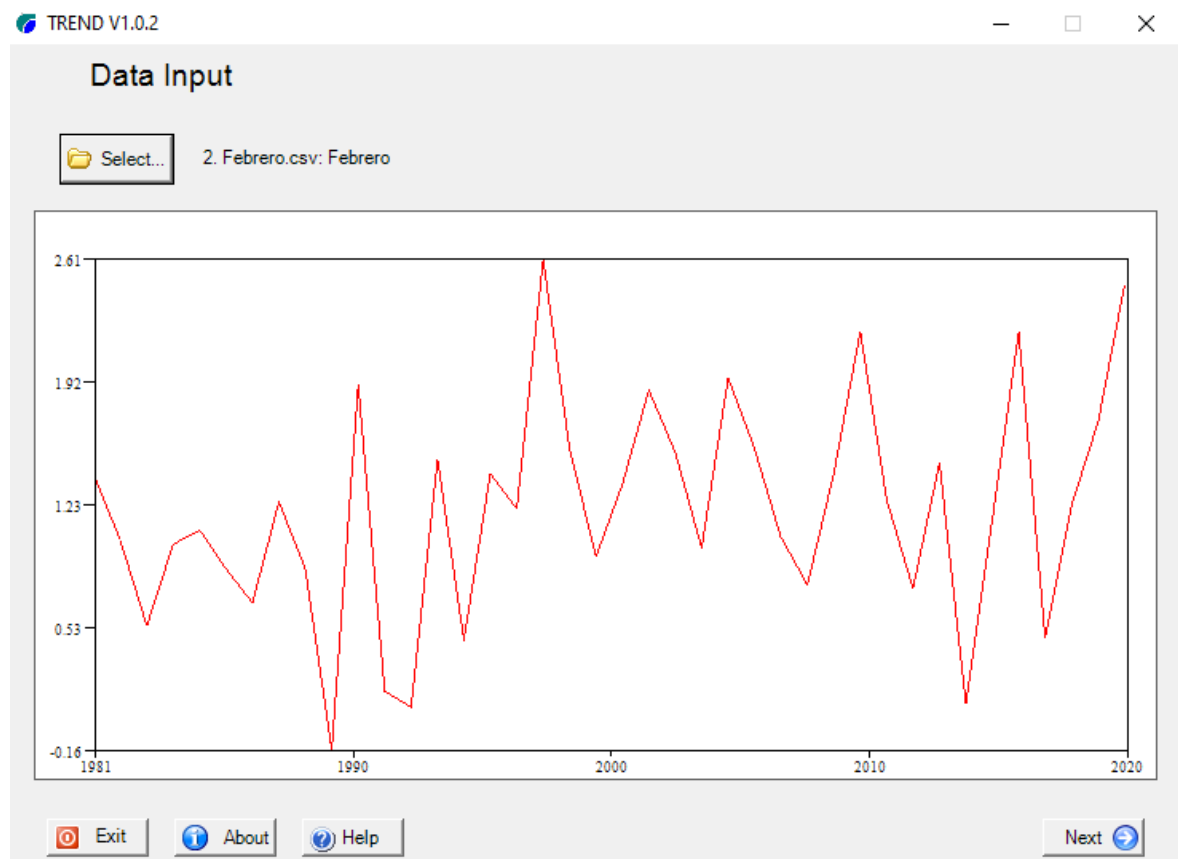


Periodo mensual

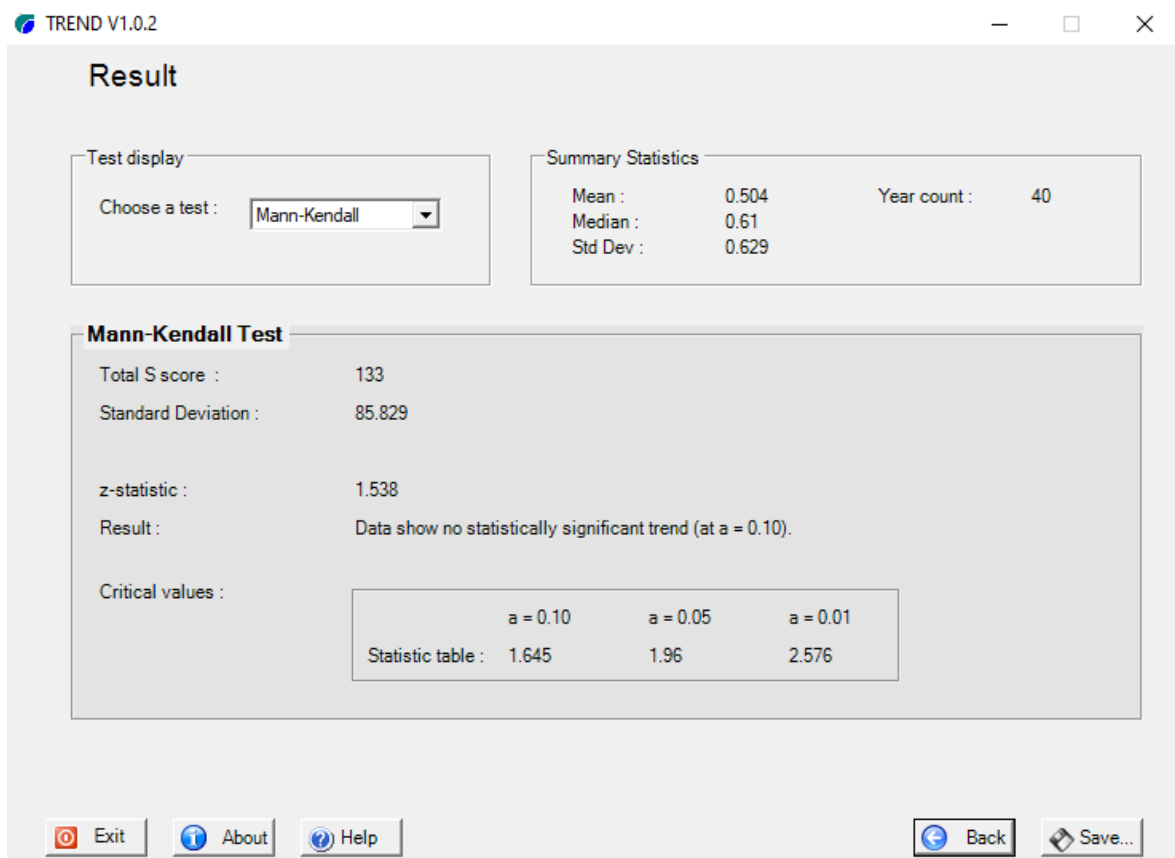
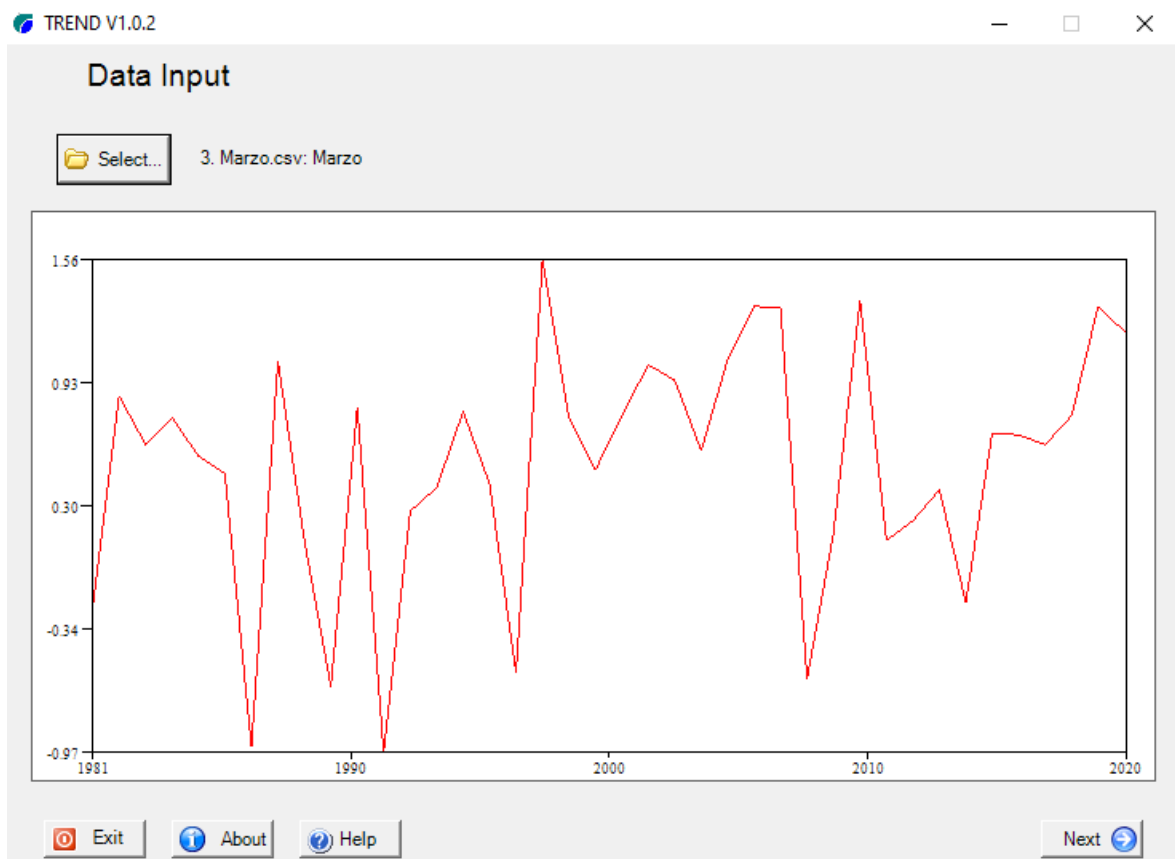
Enero



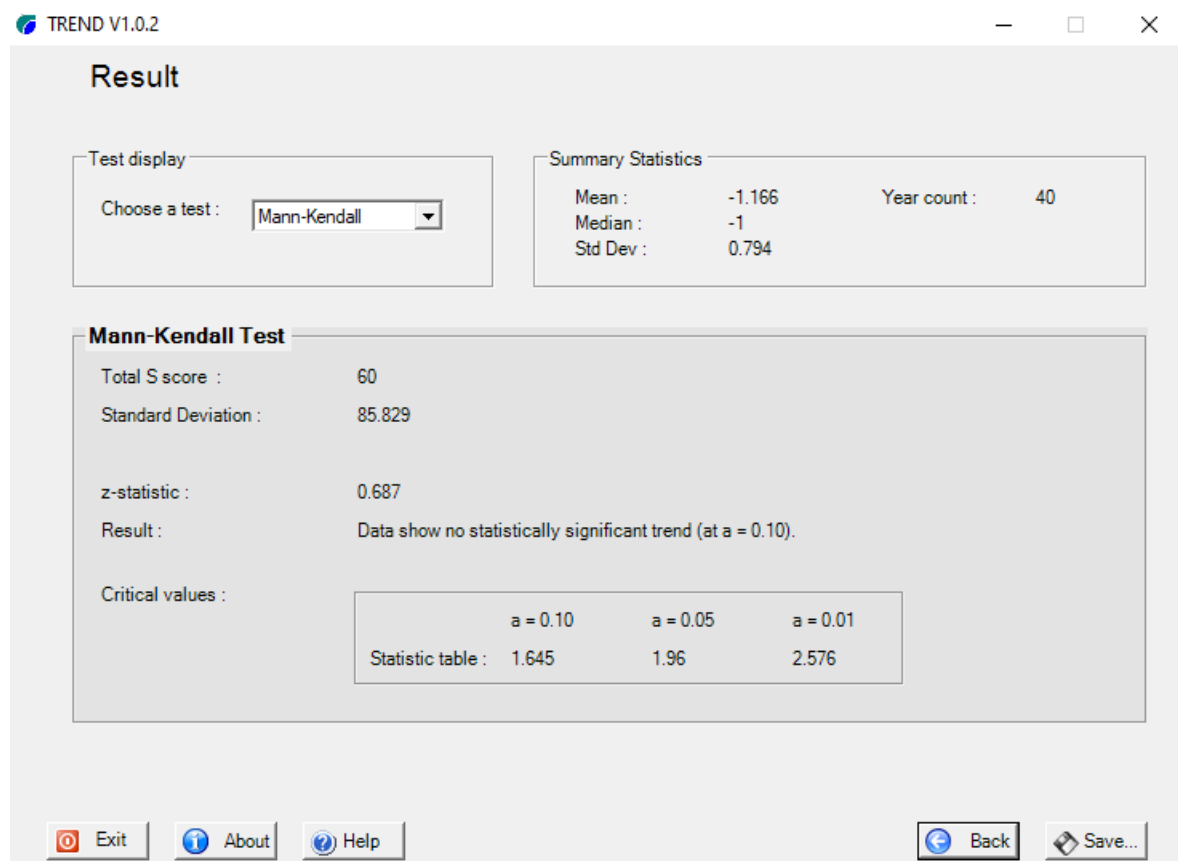
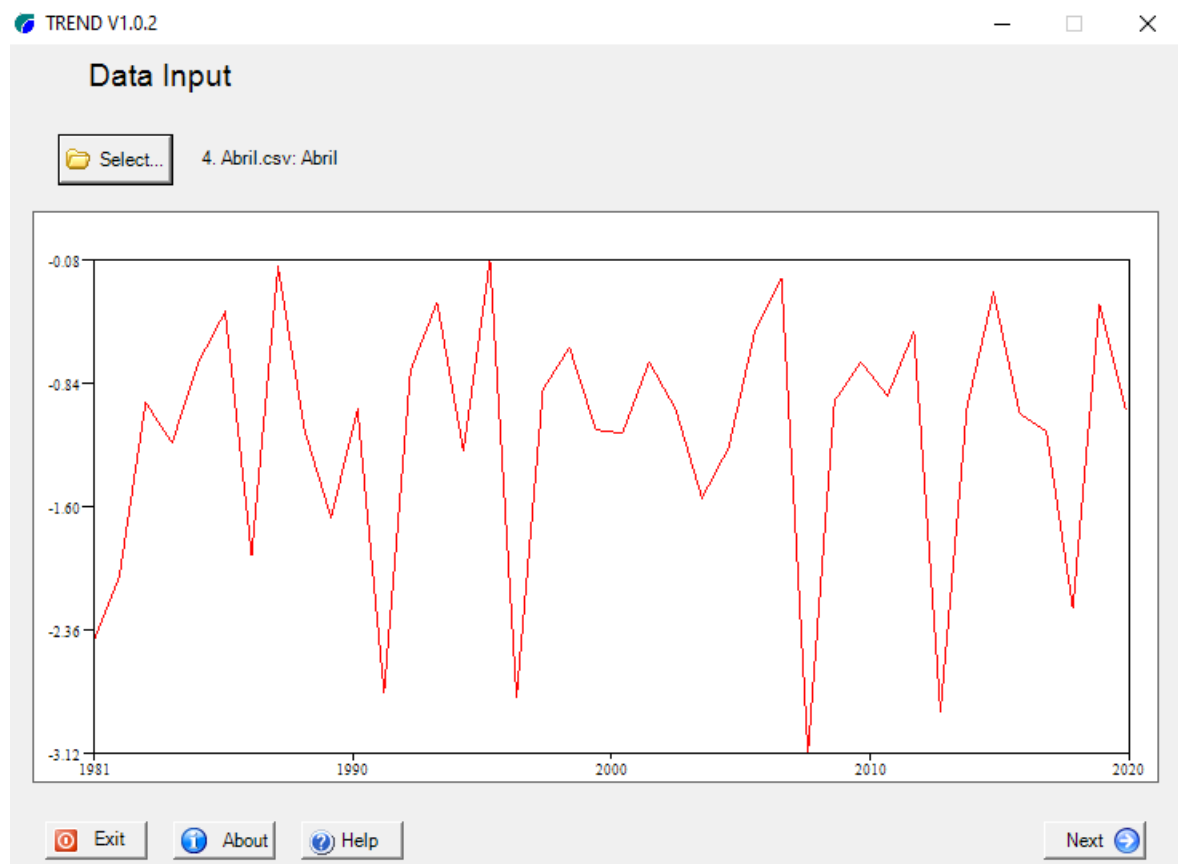
Febrero



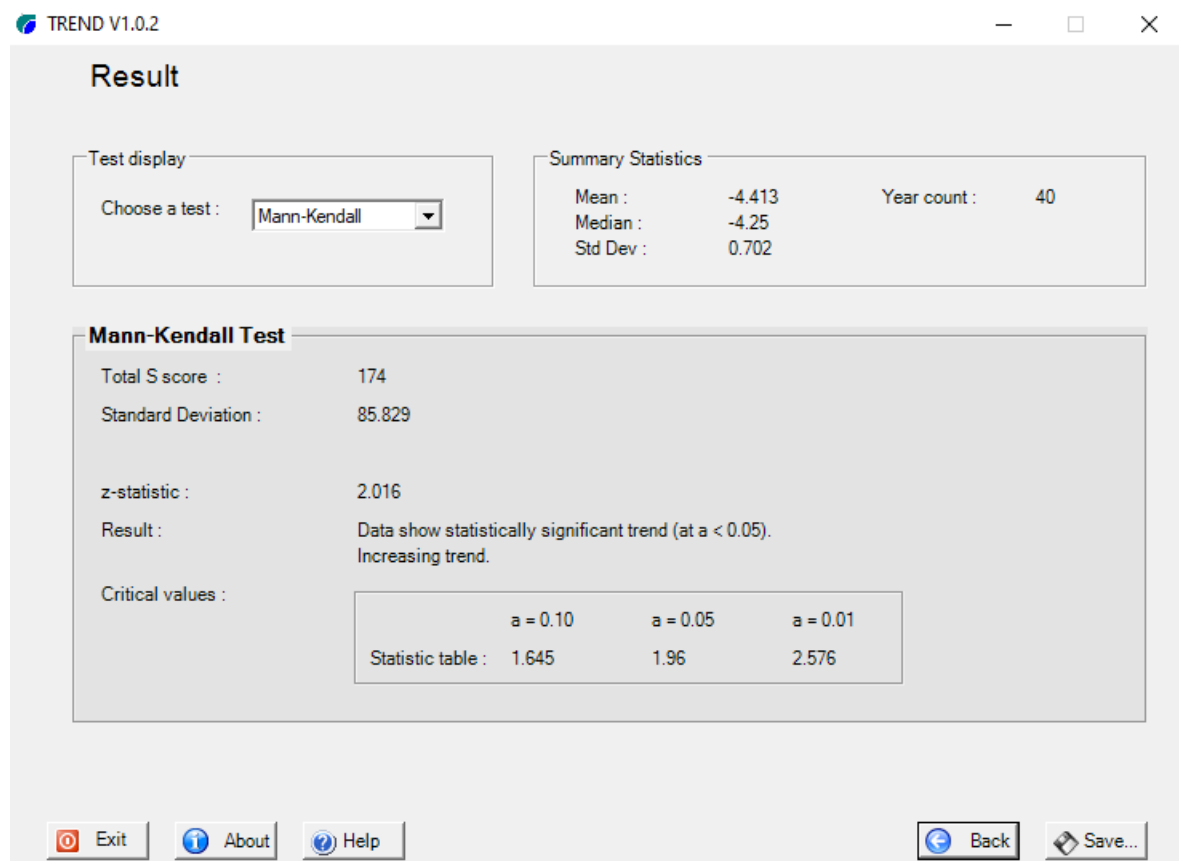
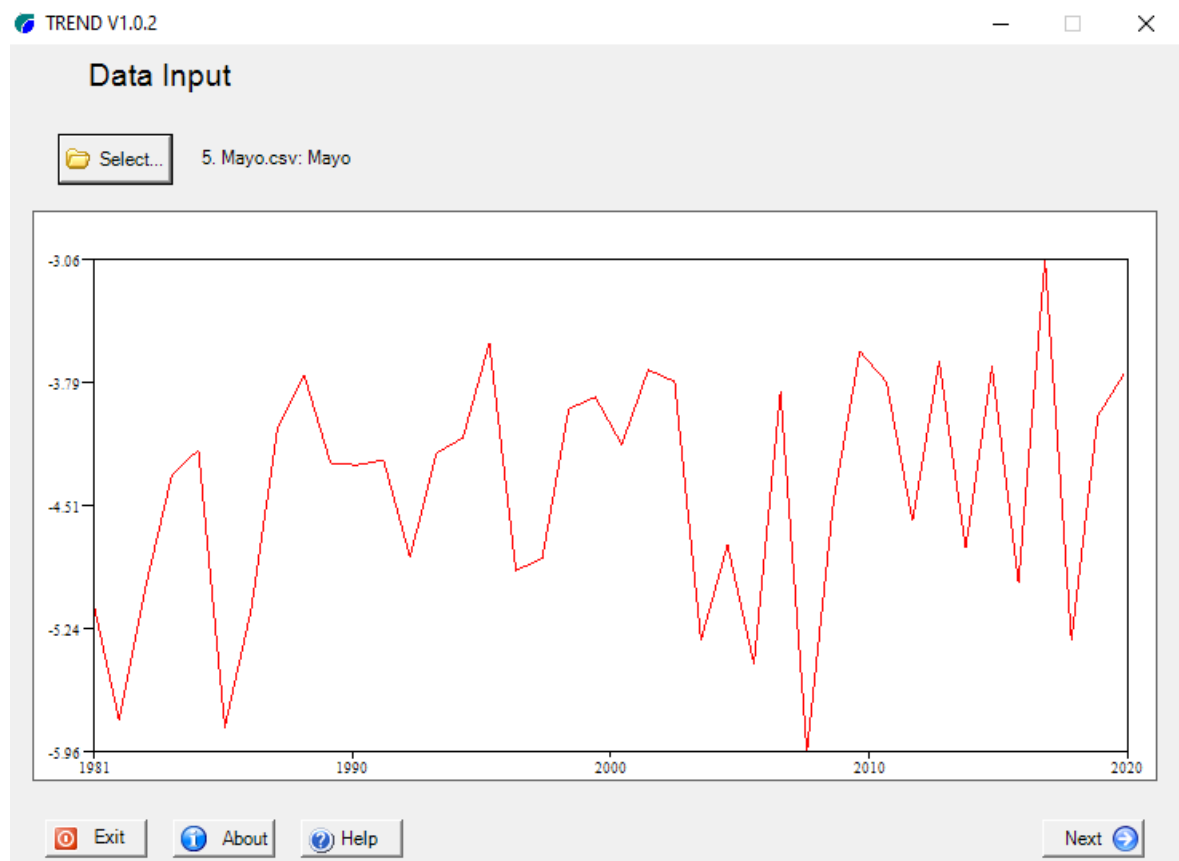
Marzo



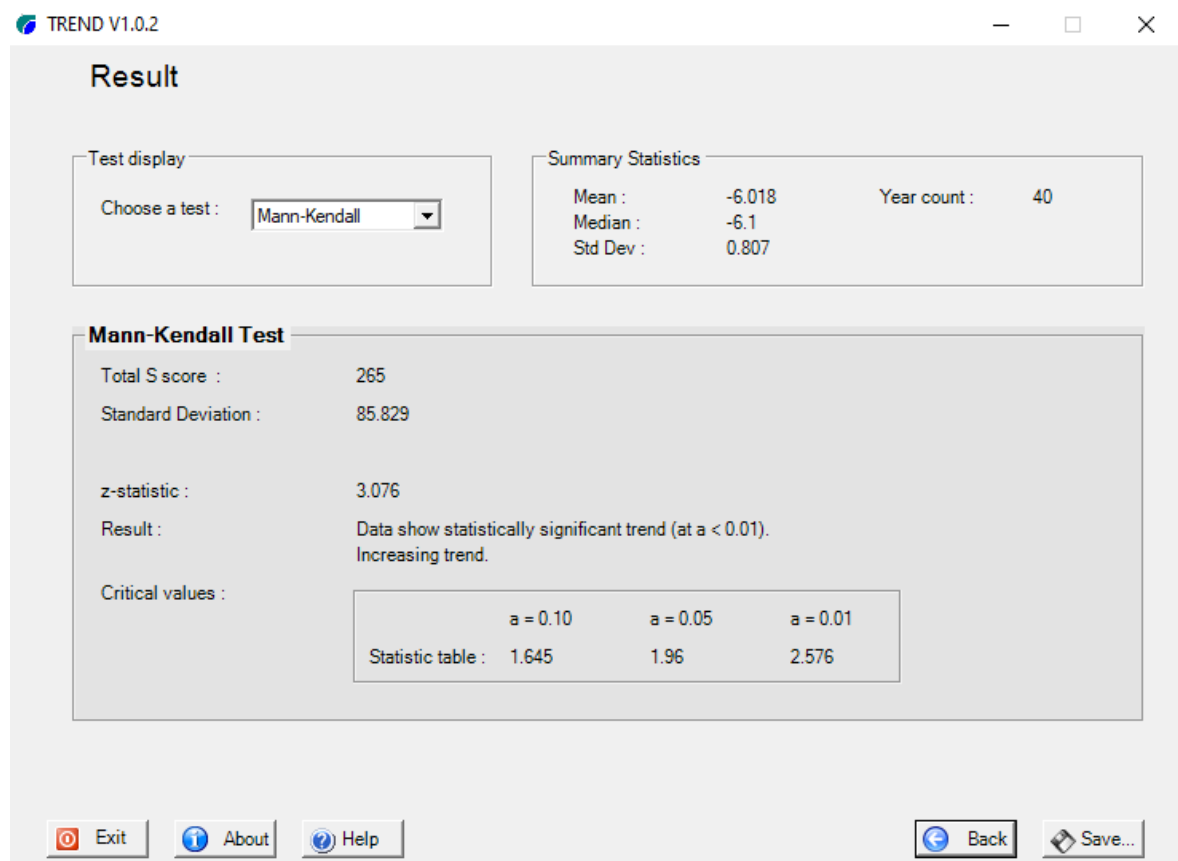
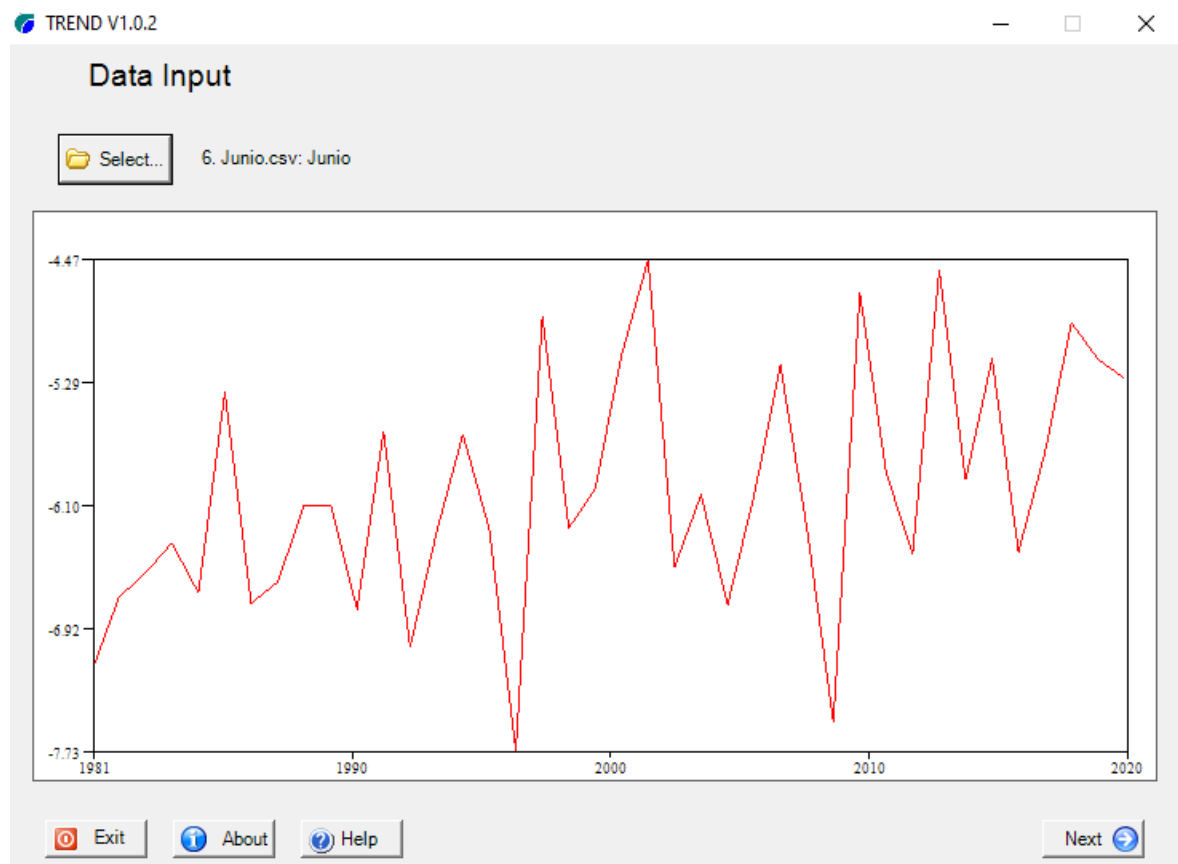
Abril



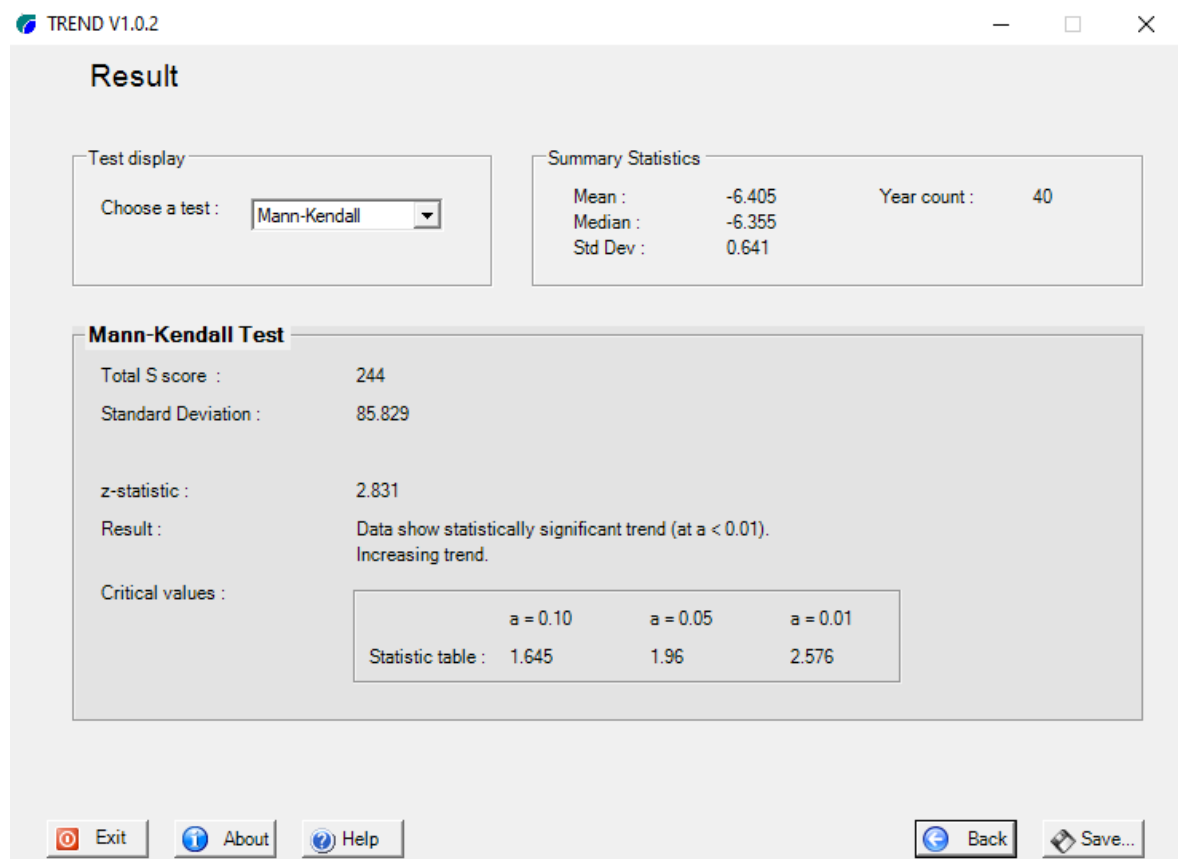
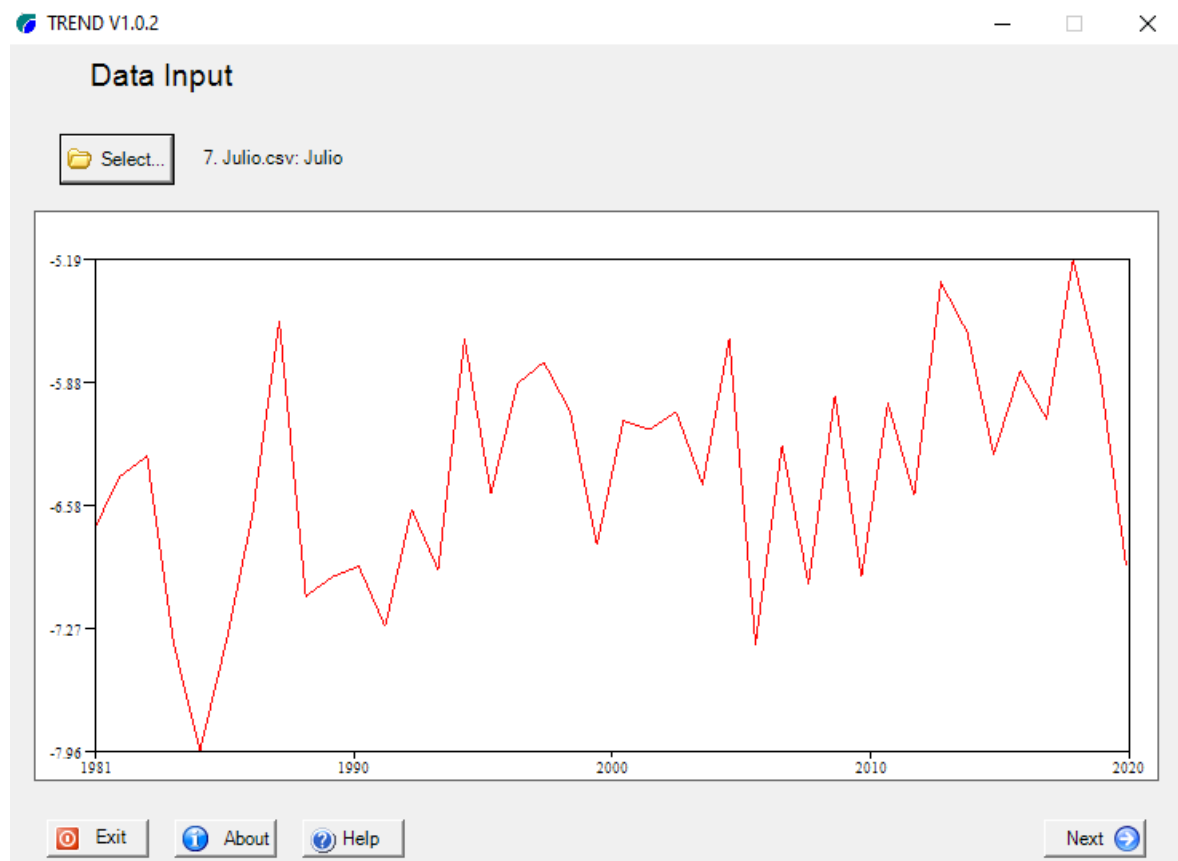
Mayo



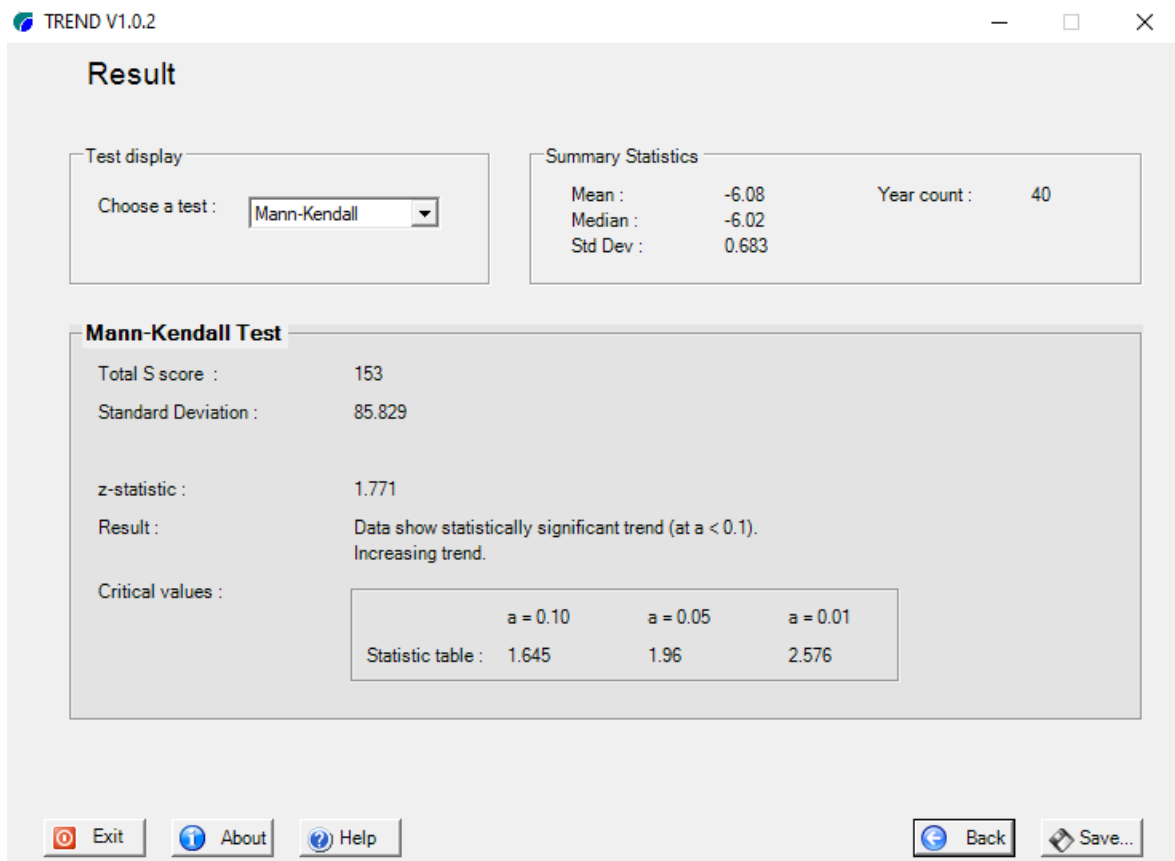
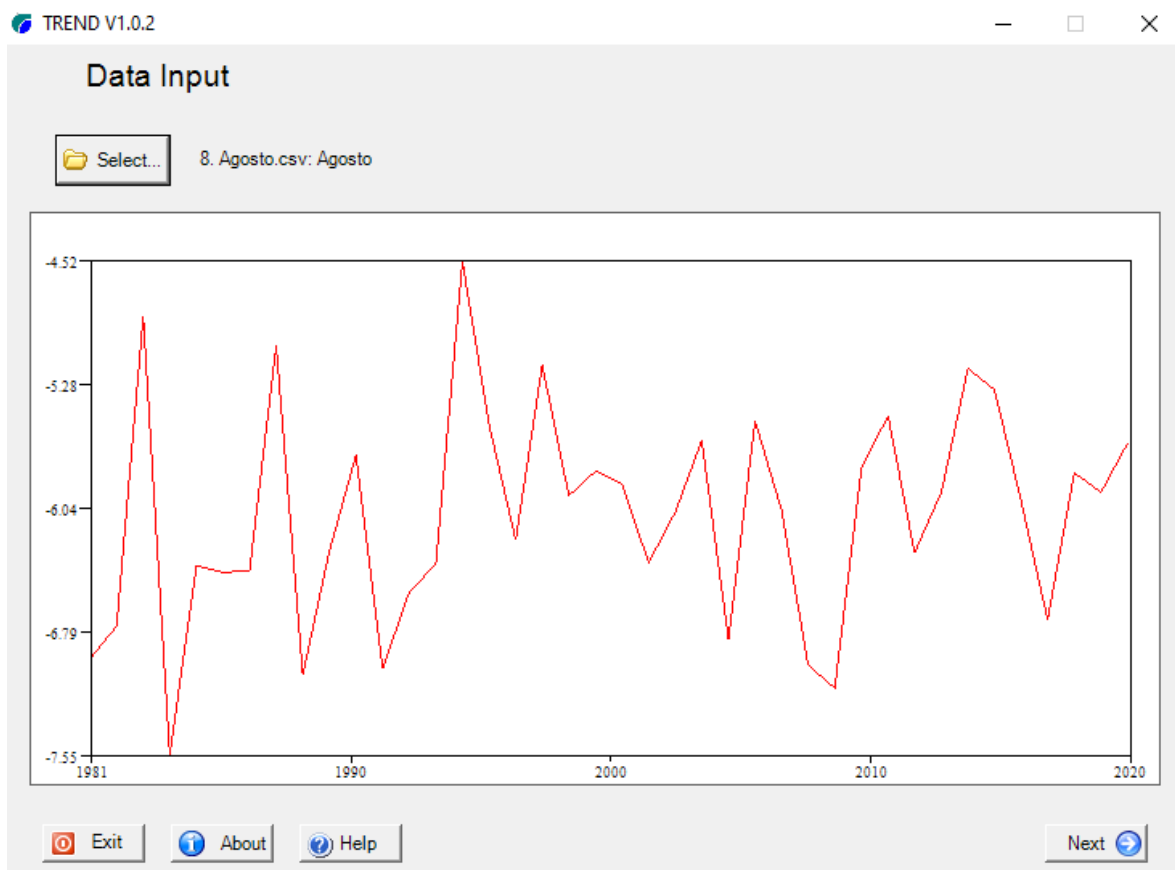
Junio



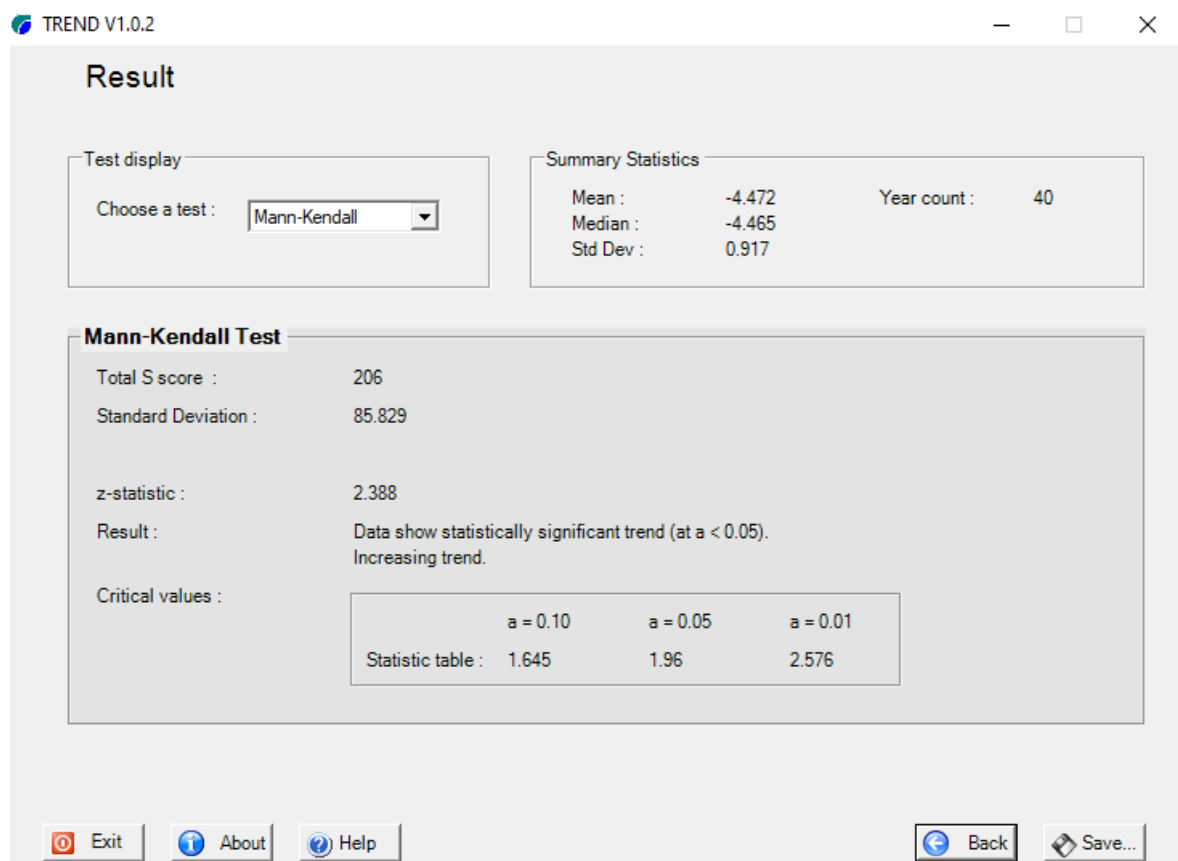
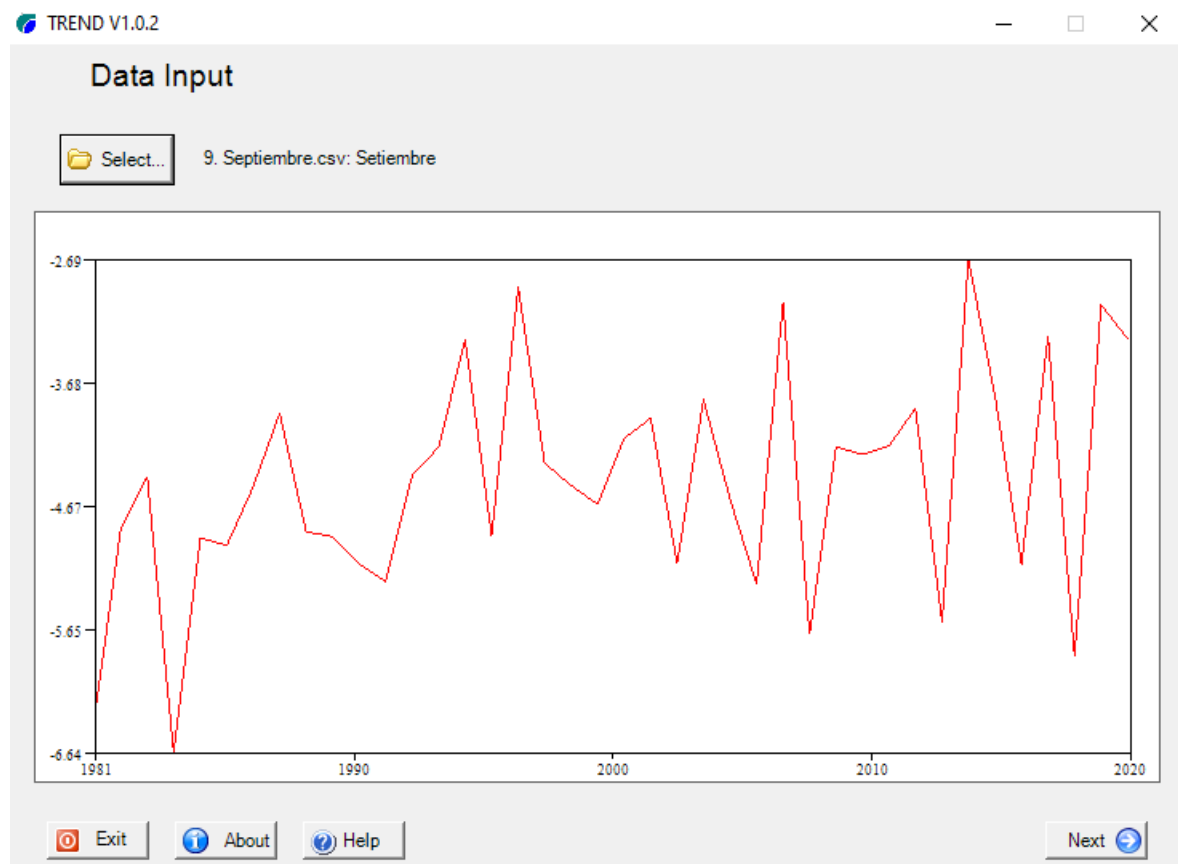
Julio



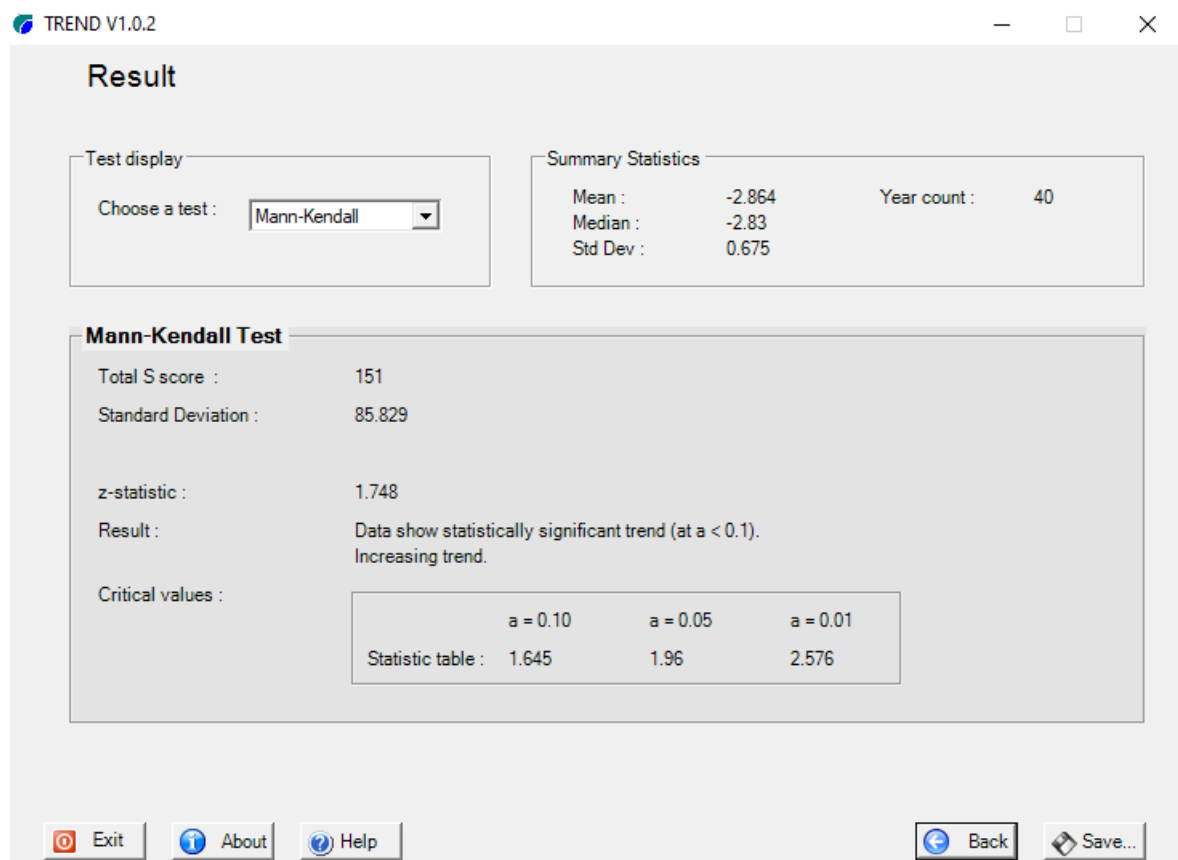
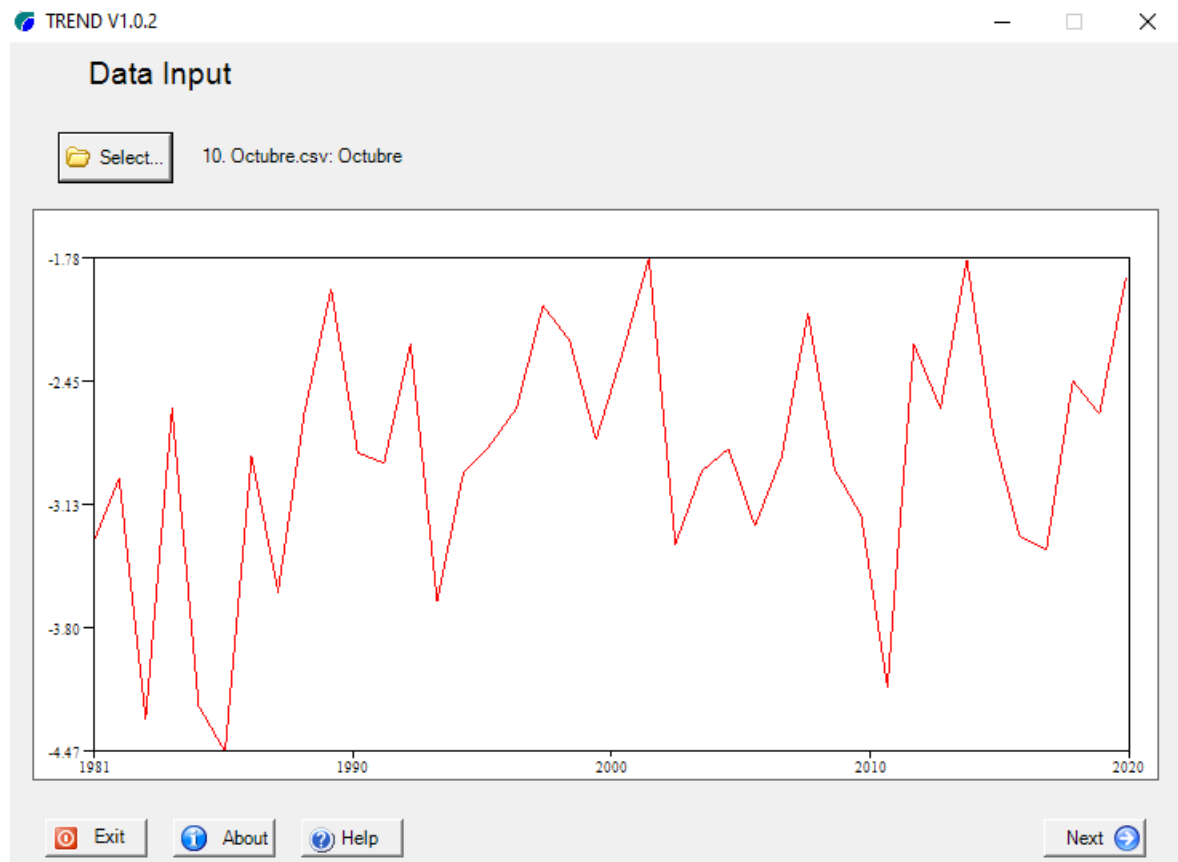
Agosto



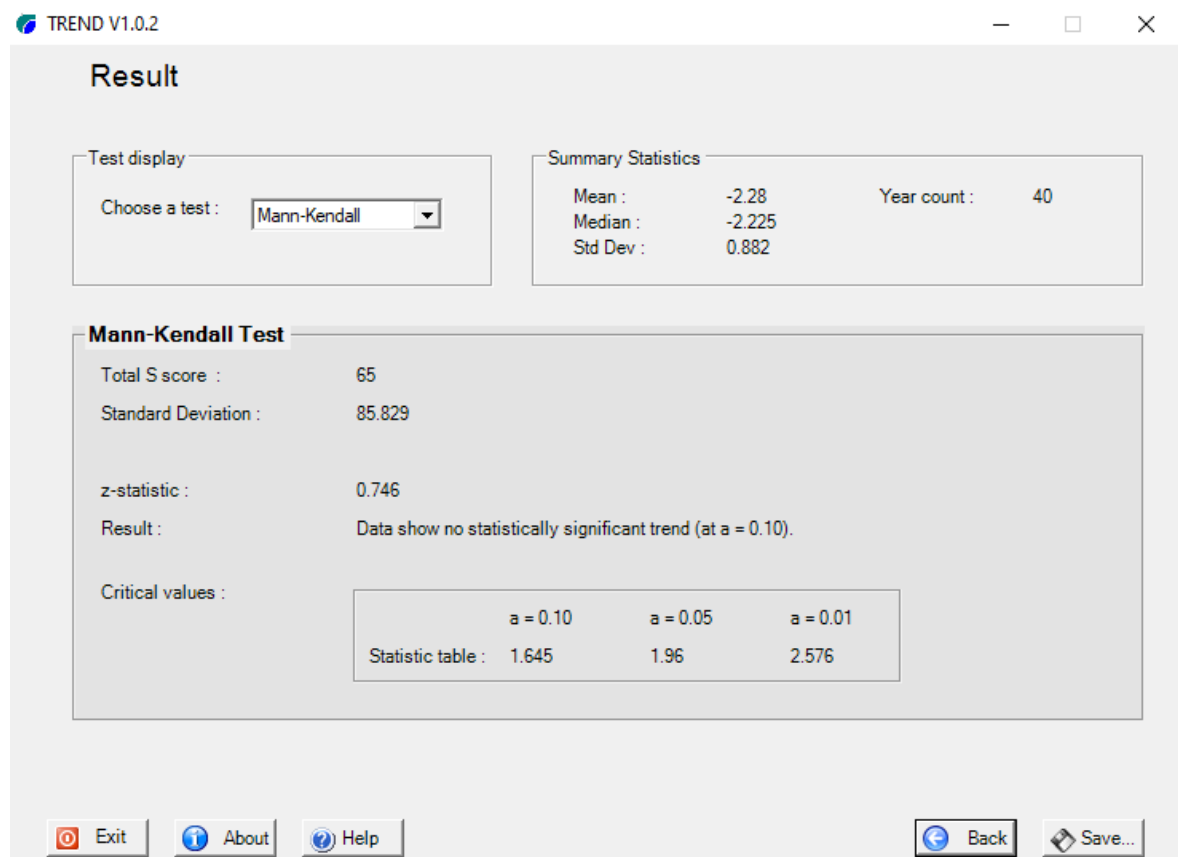
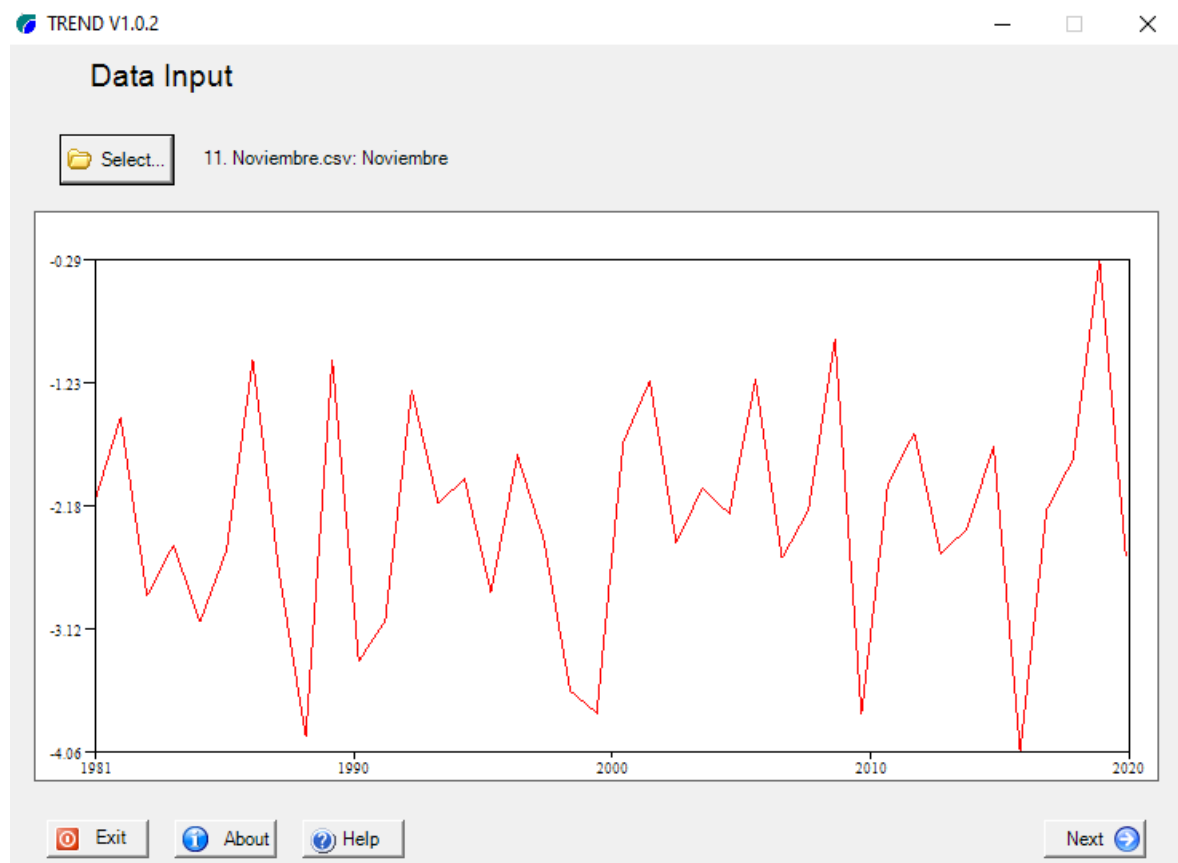
Septiembre



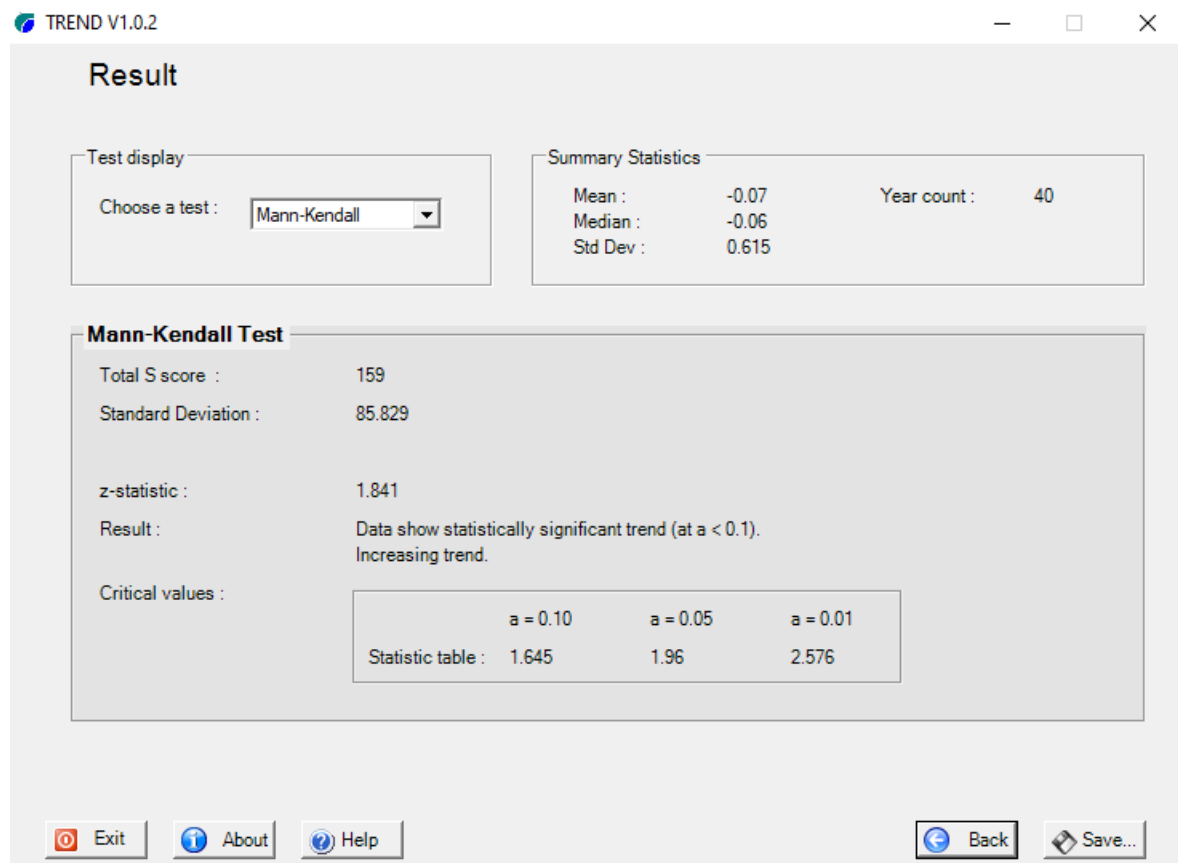
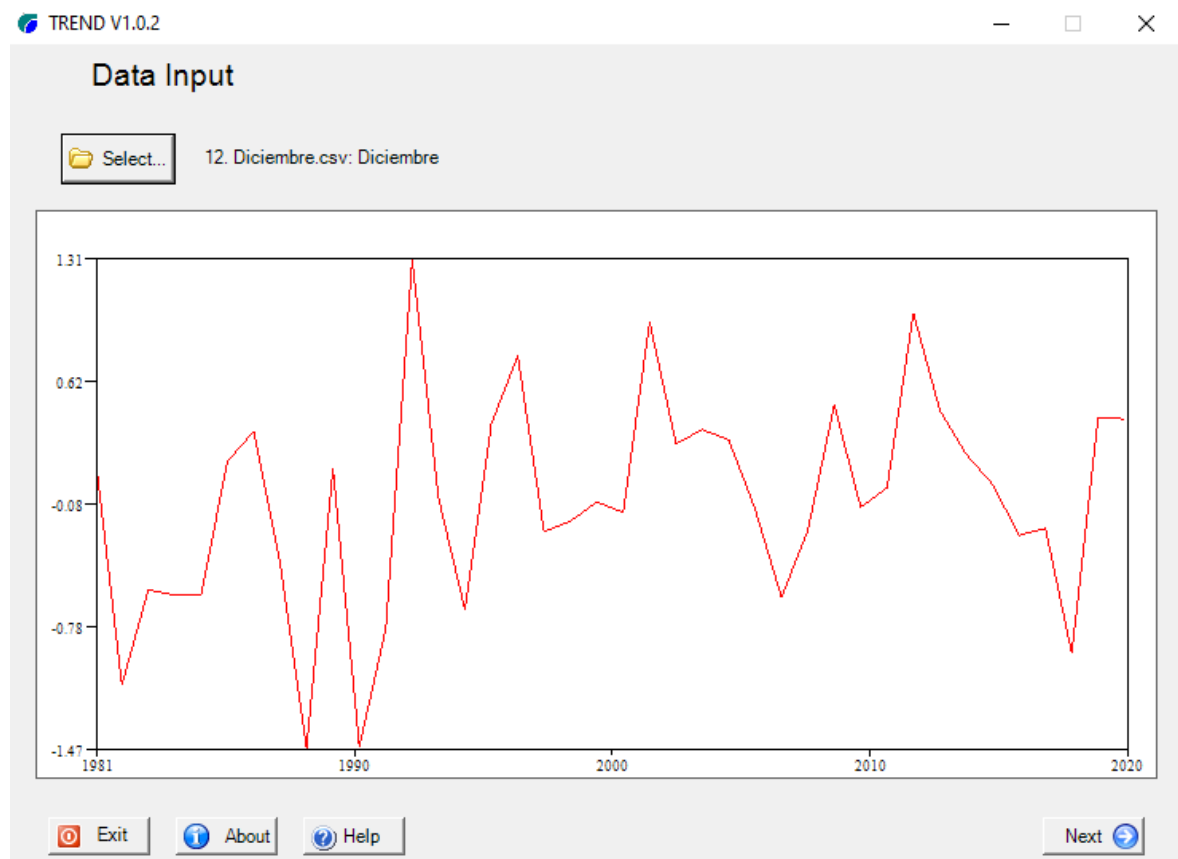
Octubre



Noviembre

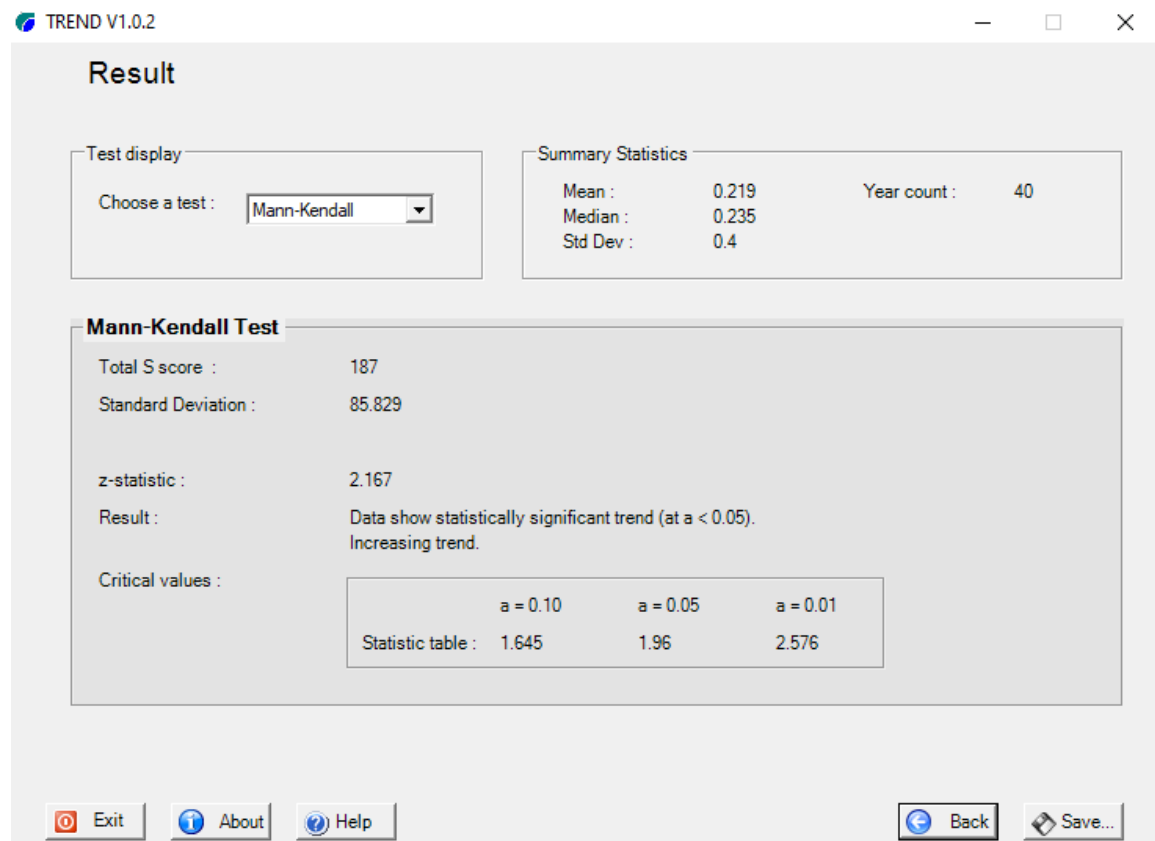
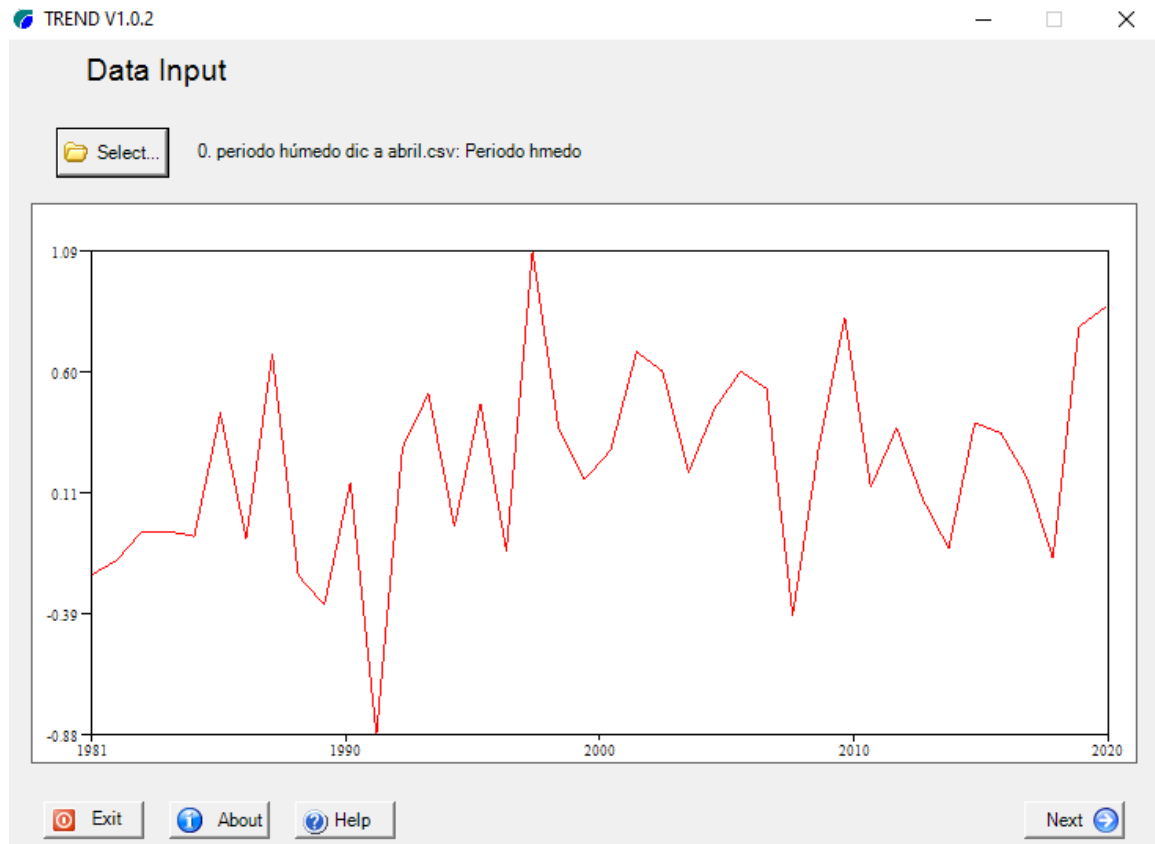


Diciembre

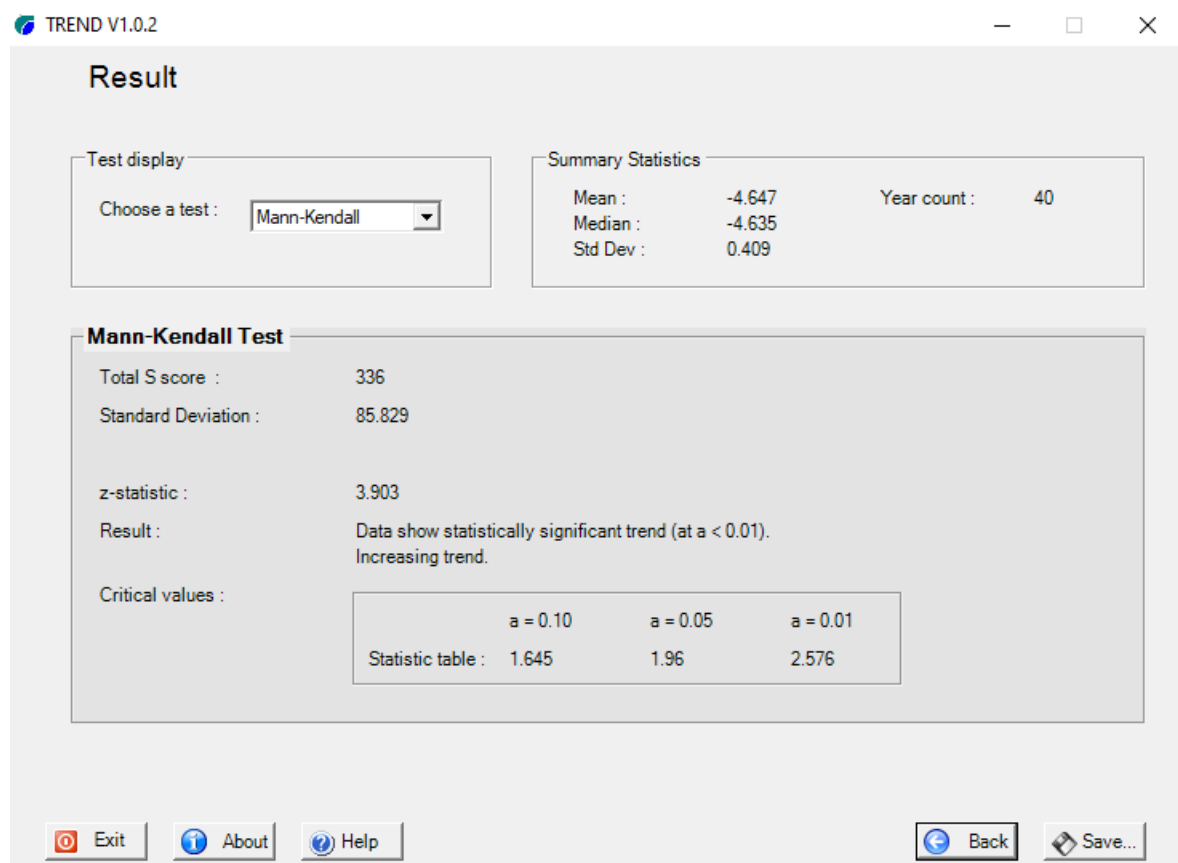
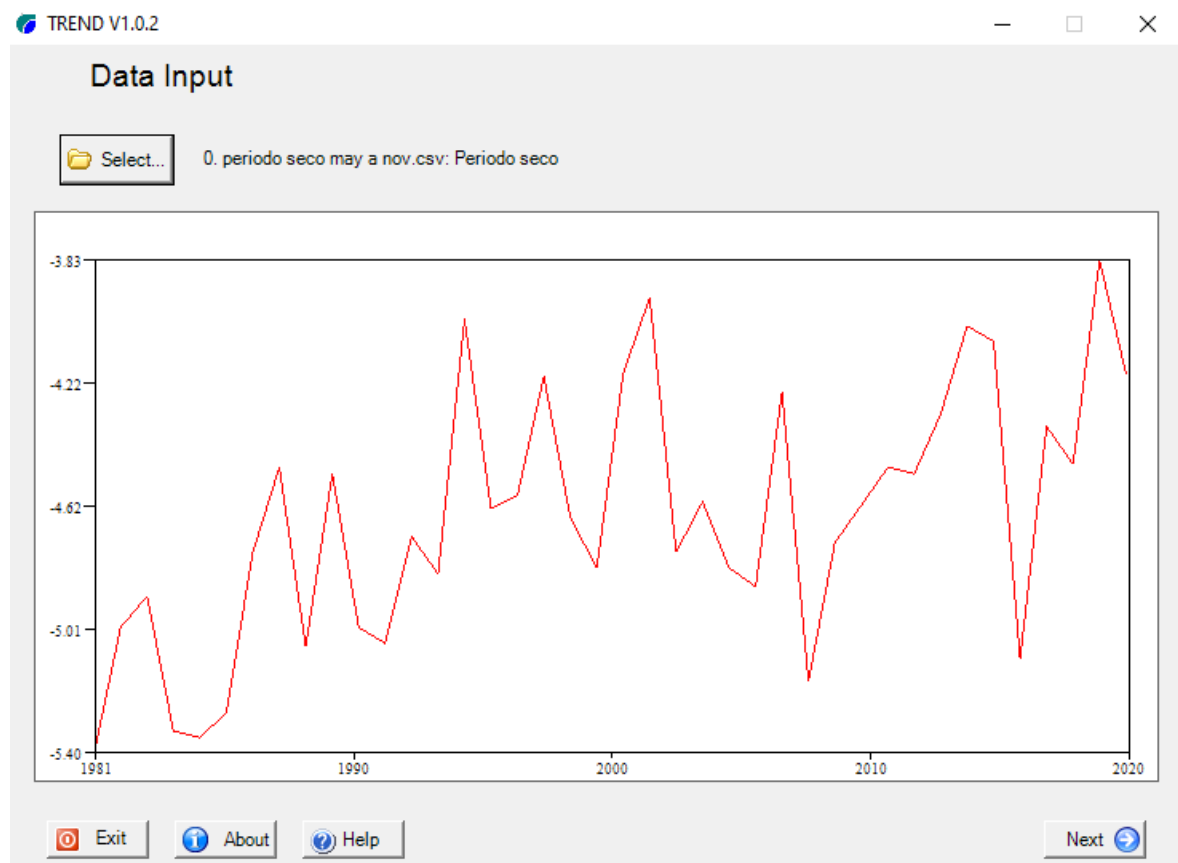


Periodo estacional

Periodo húmedo



Periodo seco



ESTACIÓN A-2

Latitud: -15.228118, Longitud: -71.824619, Altitud: 4422 m.s.n.m.

Departamento: Arequipa

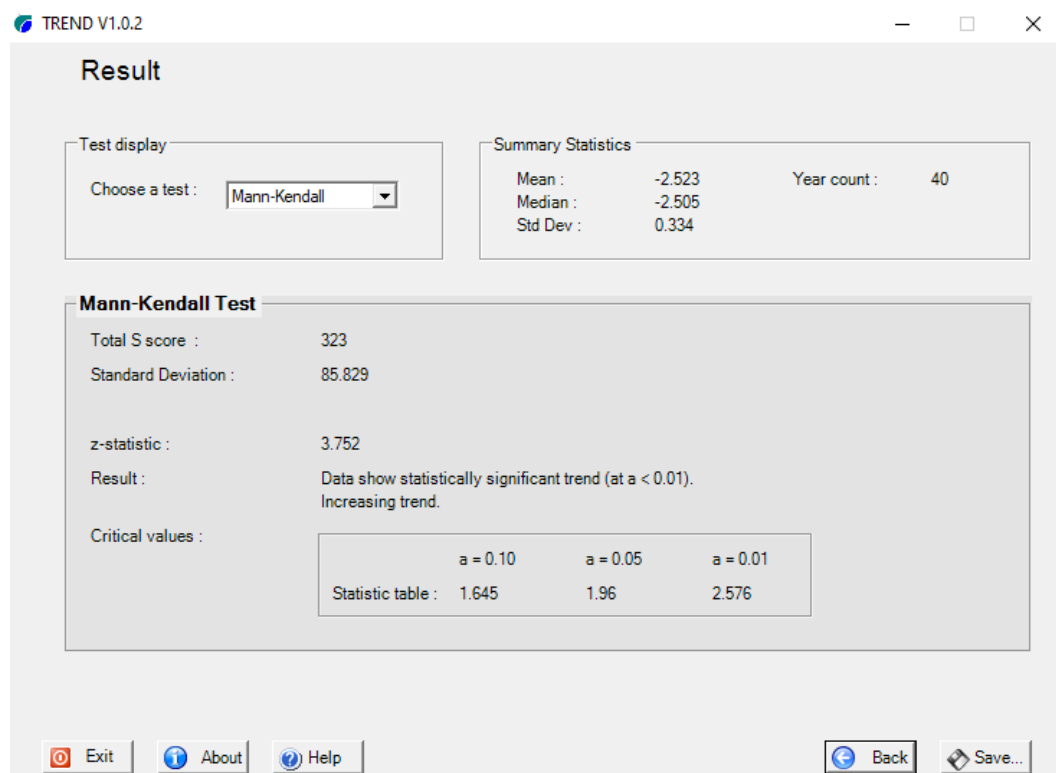
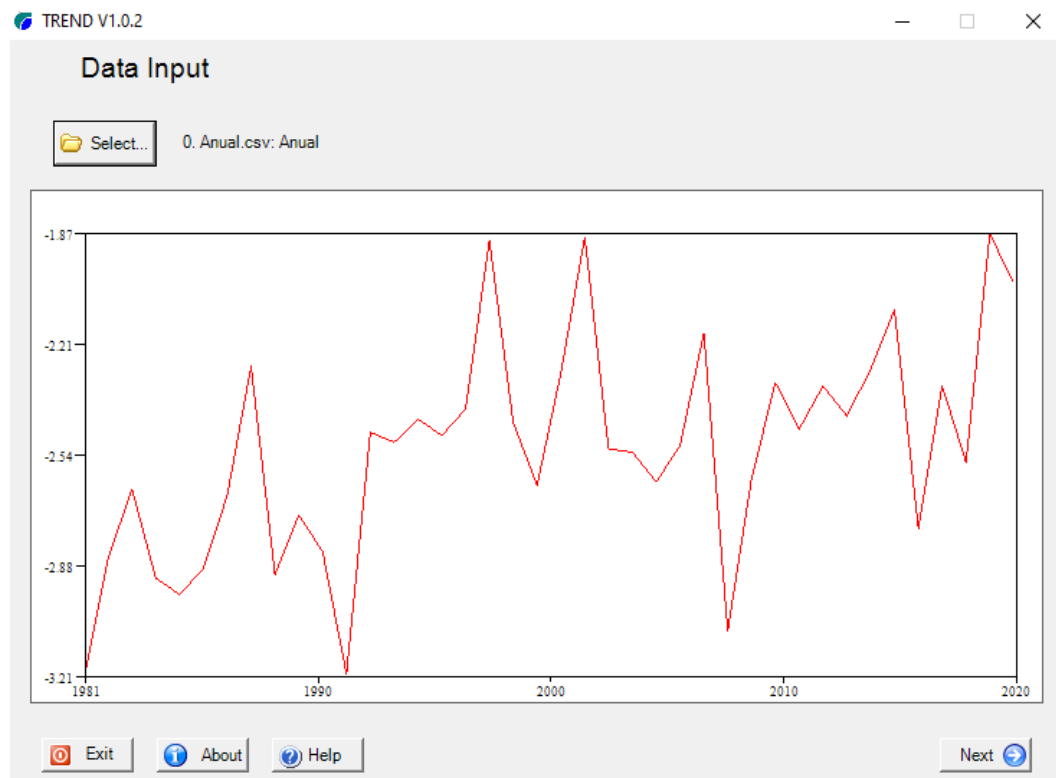
Provincia: Caylloma

Distrito: Caylloma

Temperatura
mínima (°C)

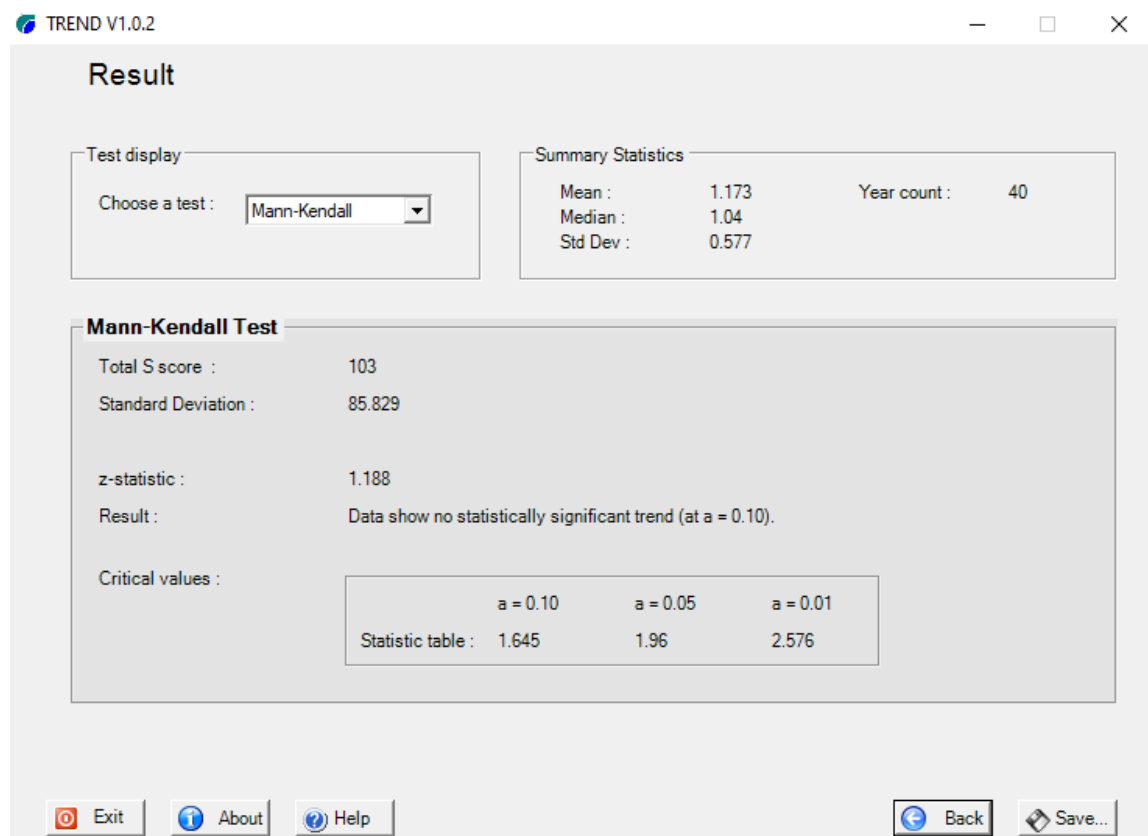
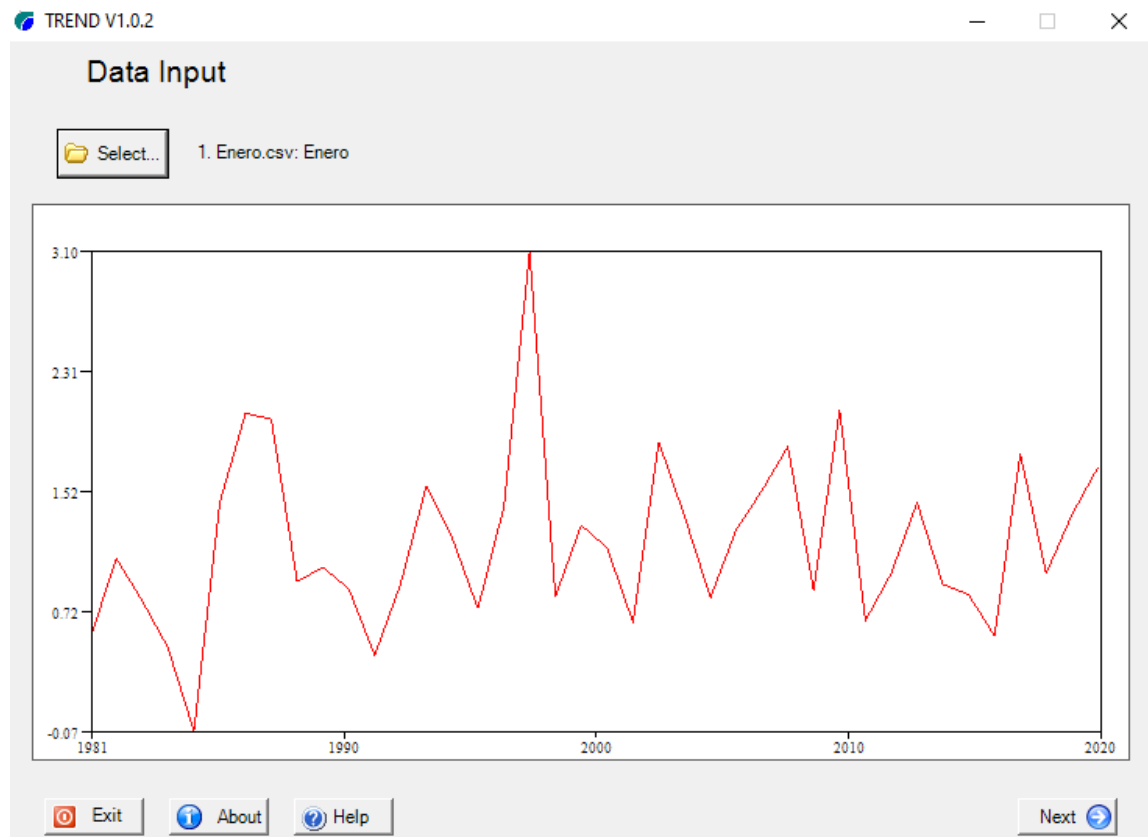
Periodo 1981-2020

Periodo anual

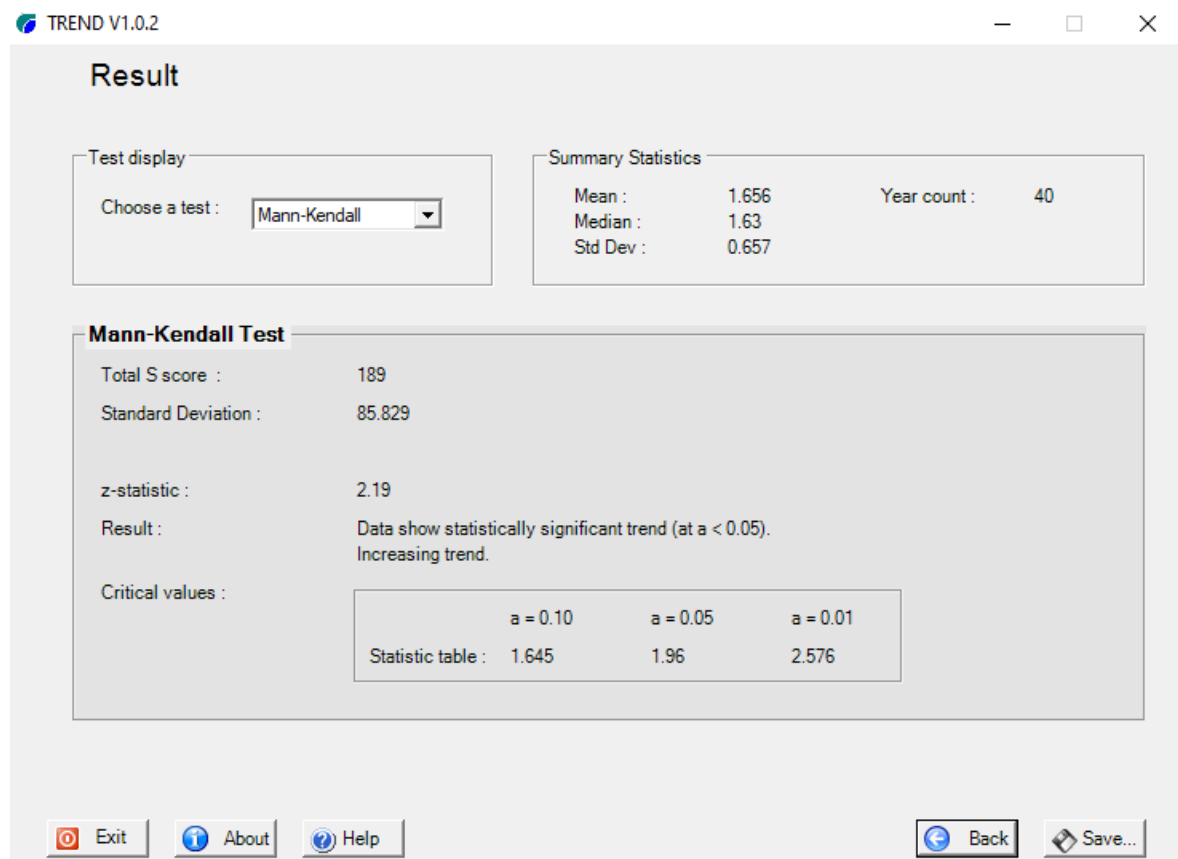
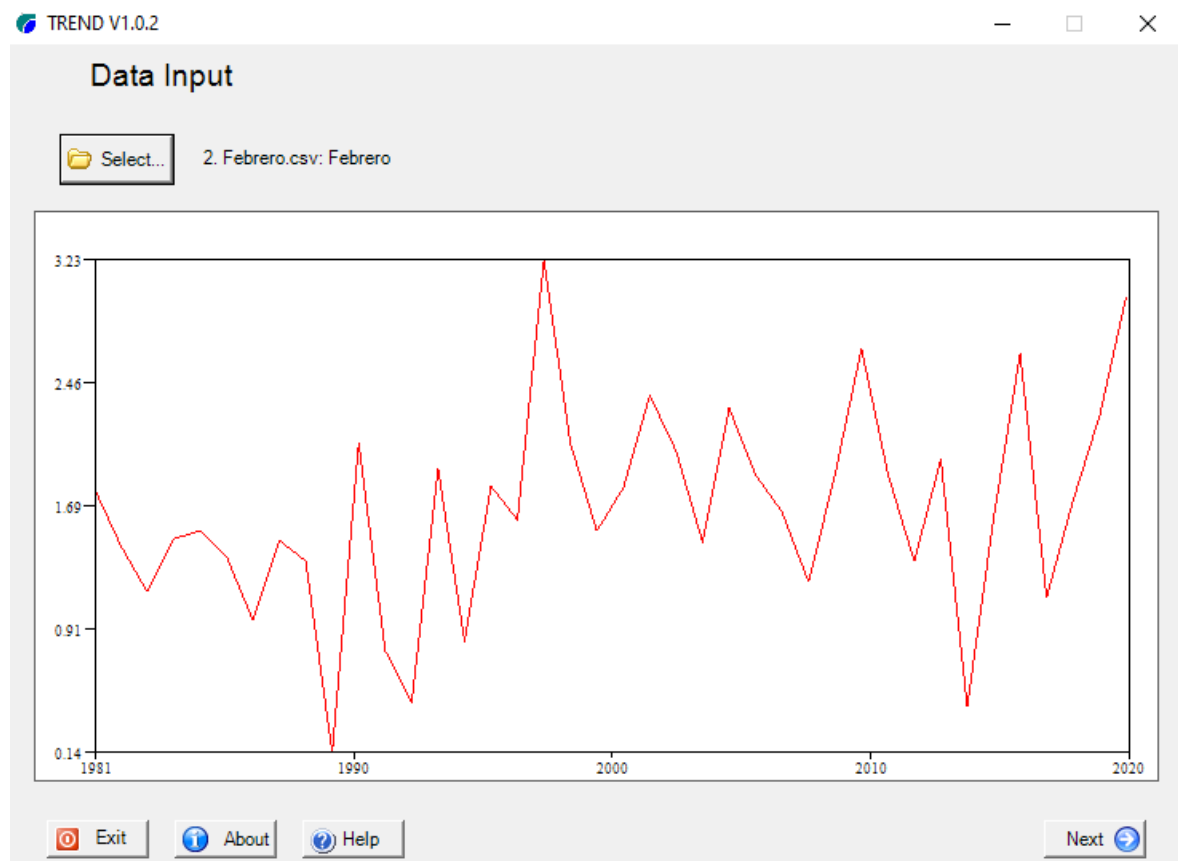


Periodo mensual

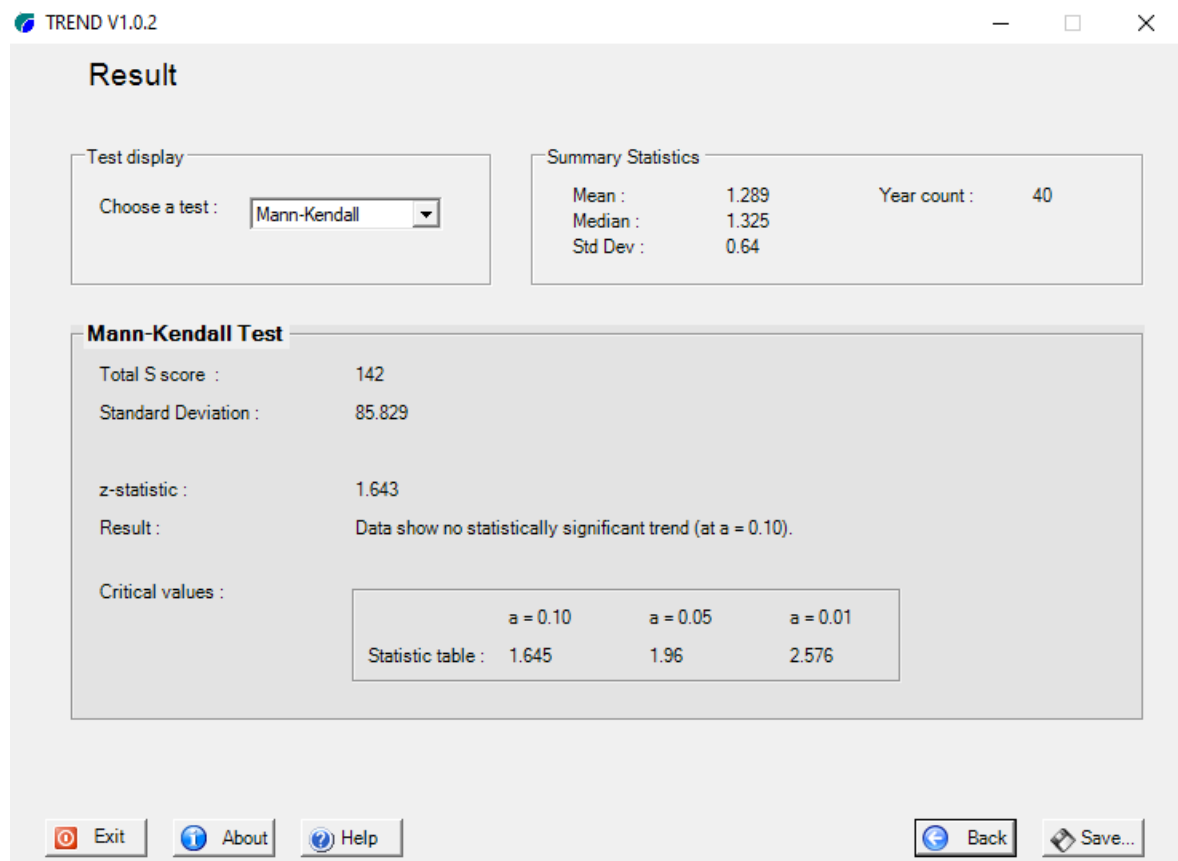
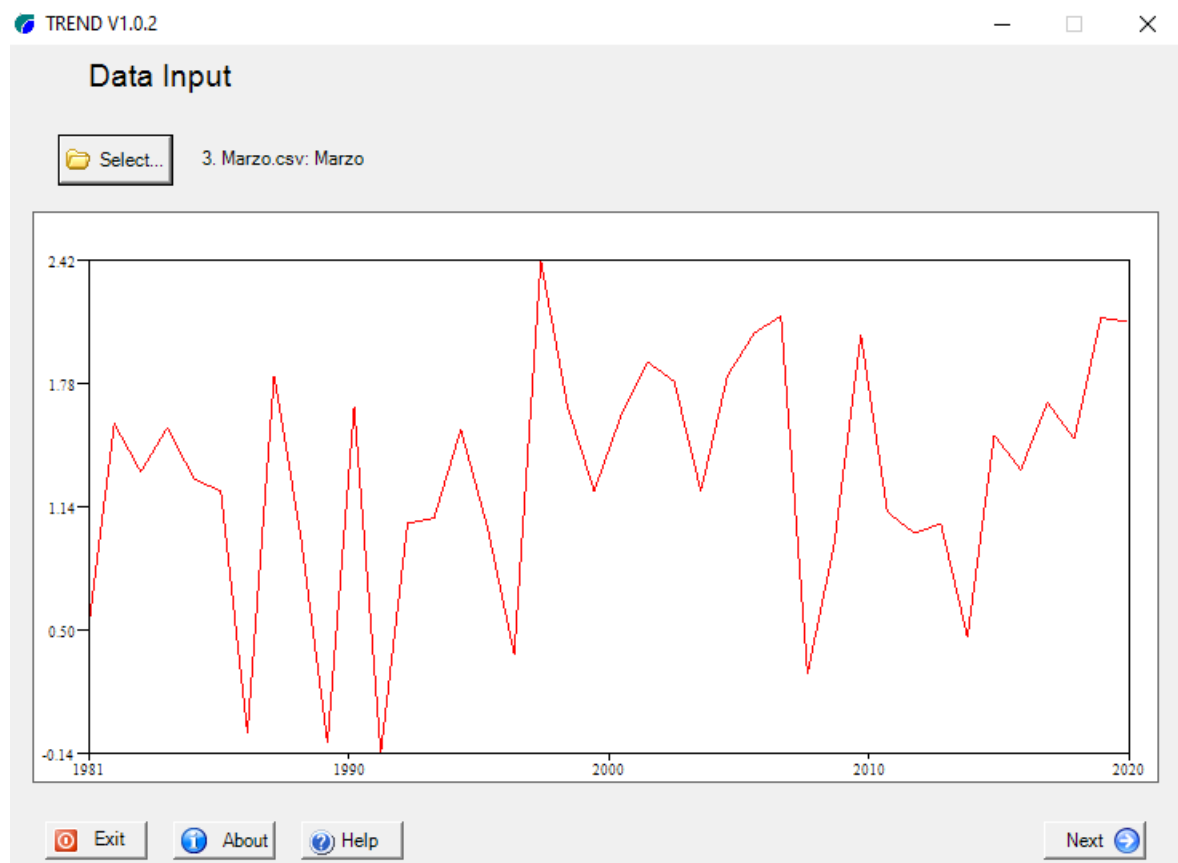
Enero



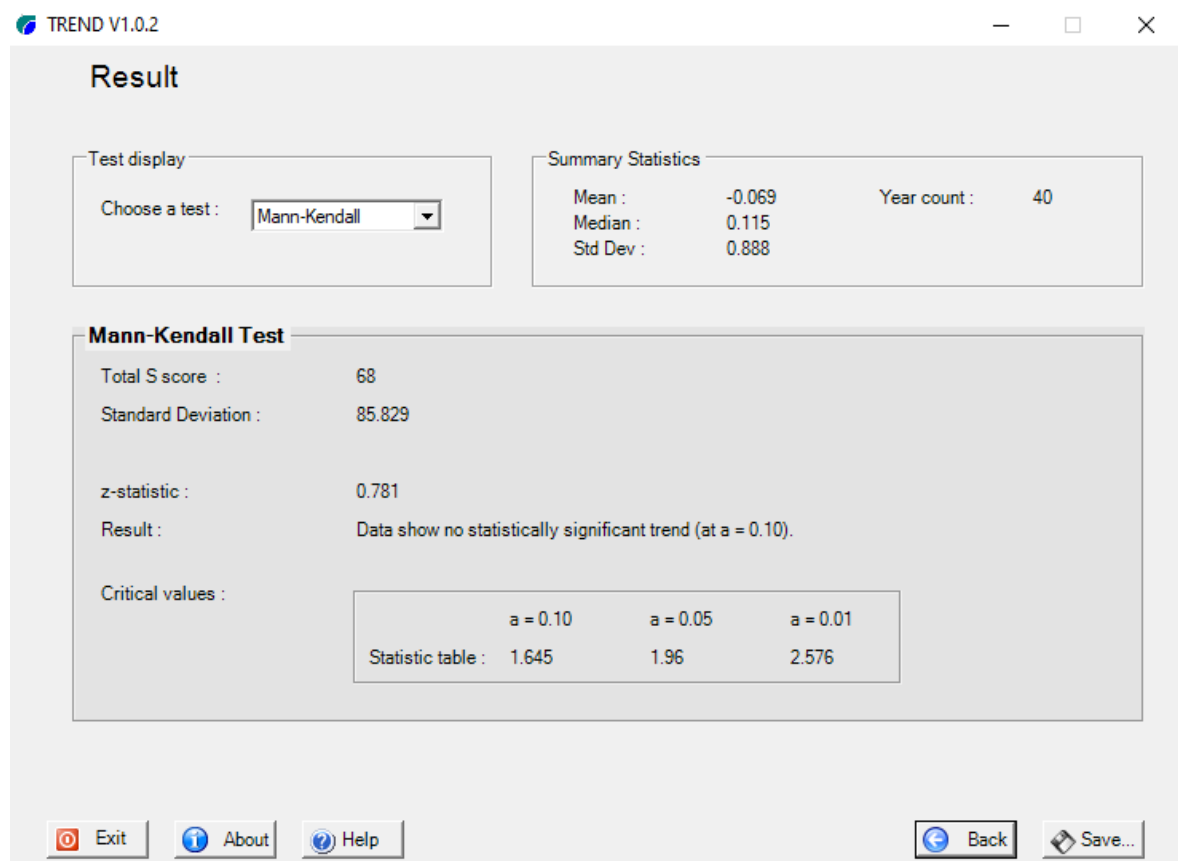
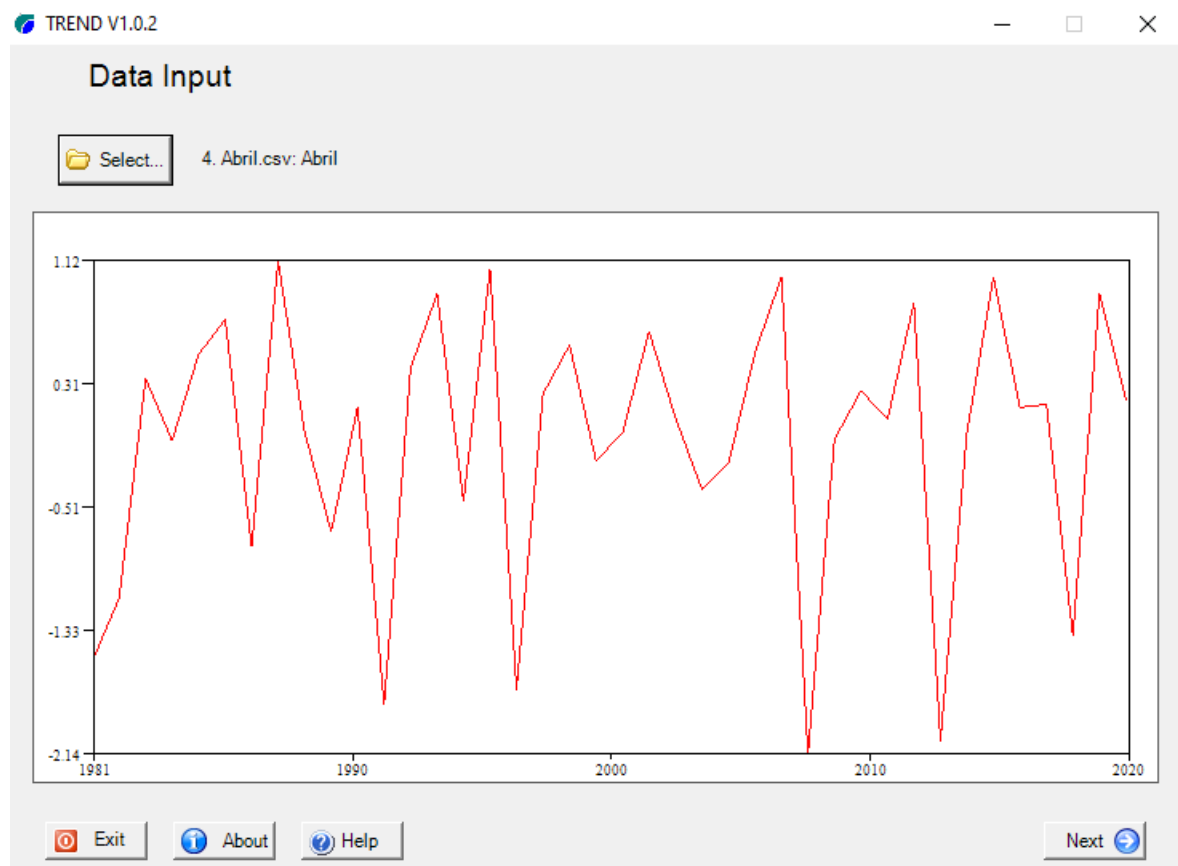
Febrero



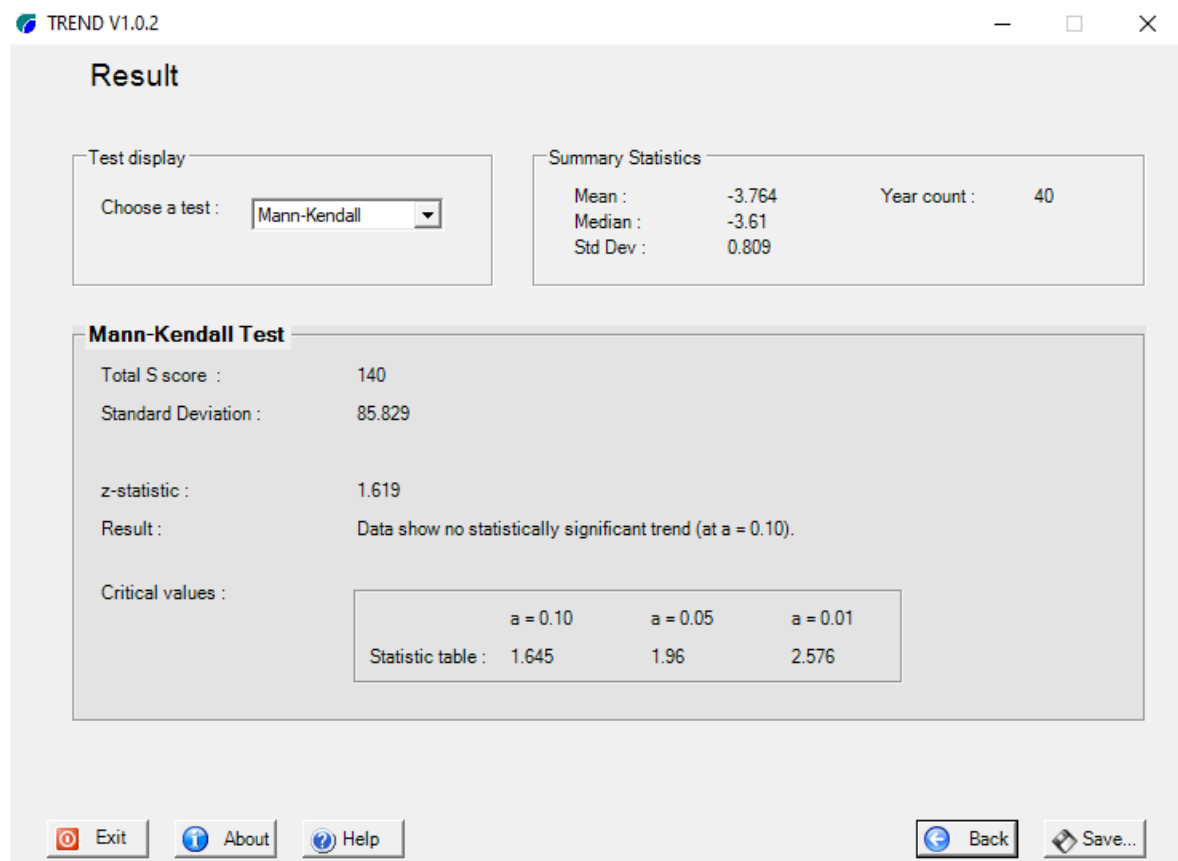
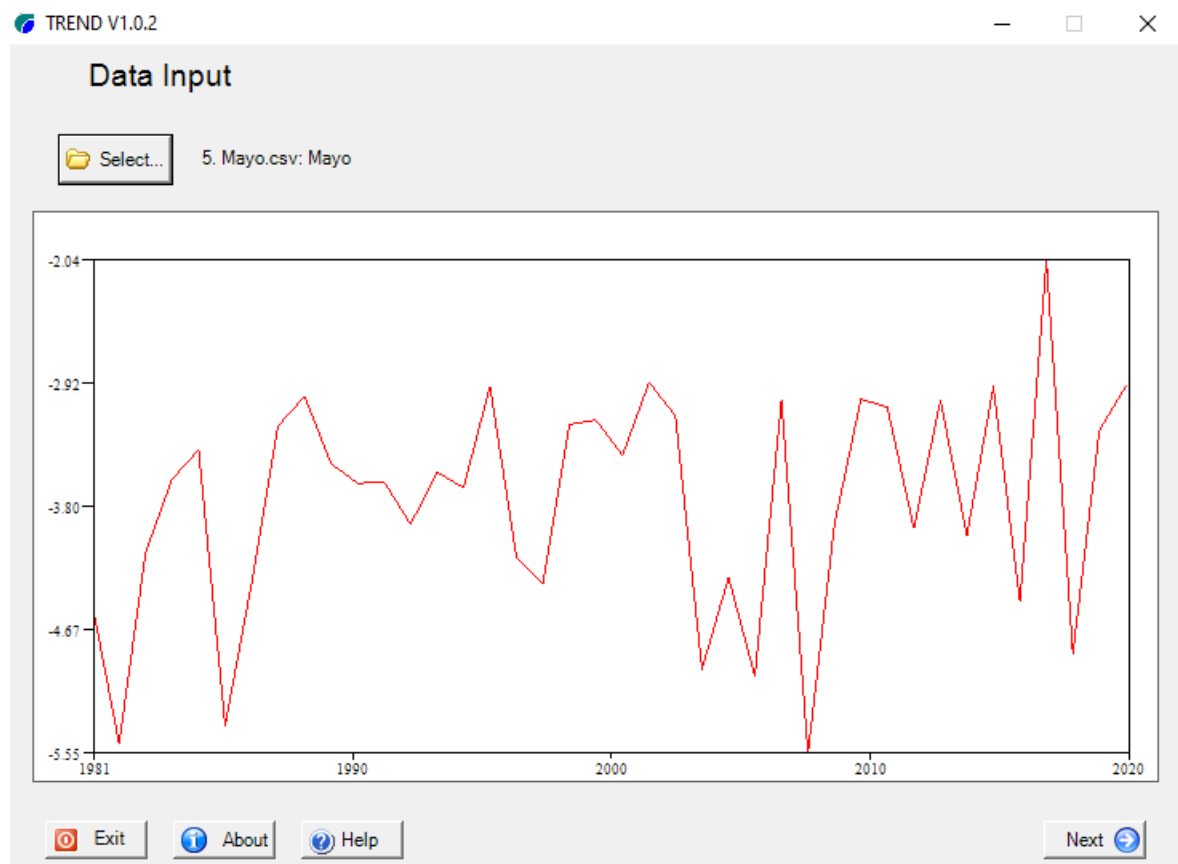
Marzo



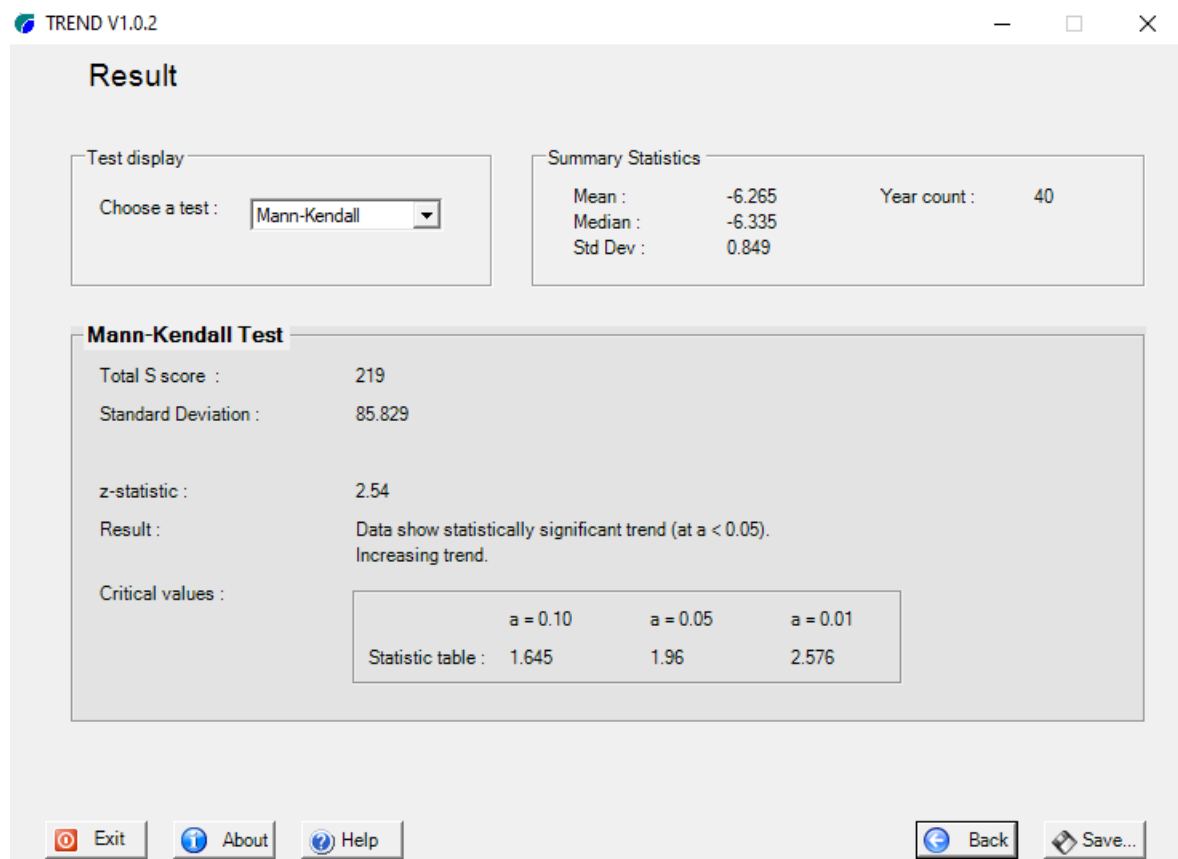
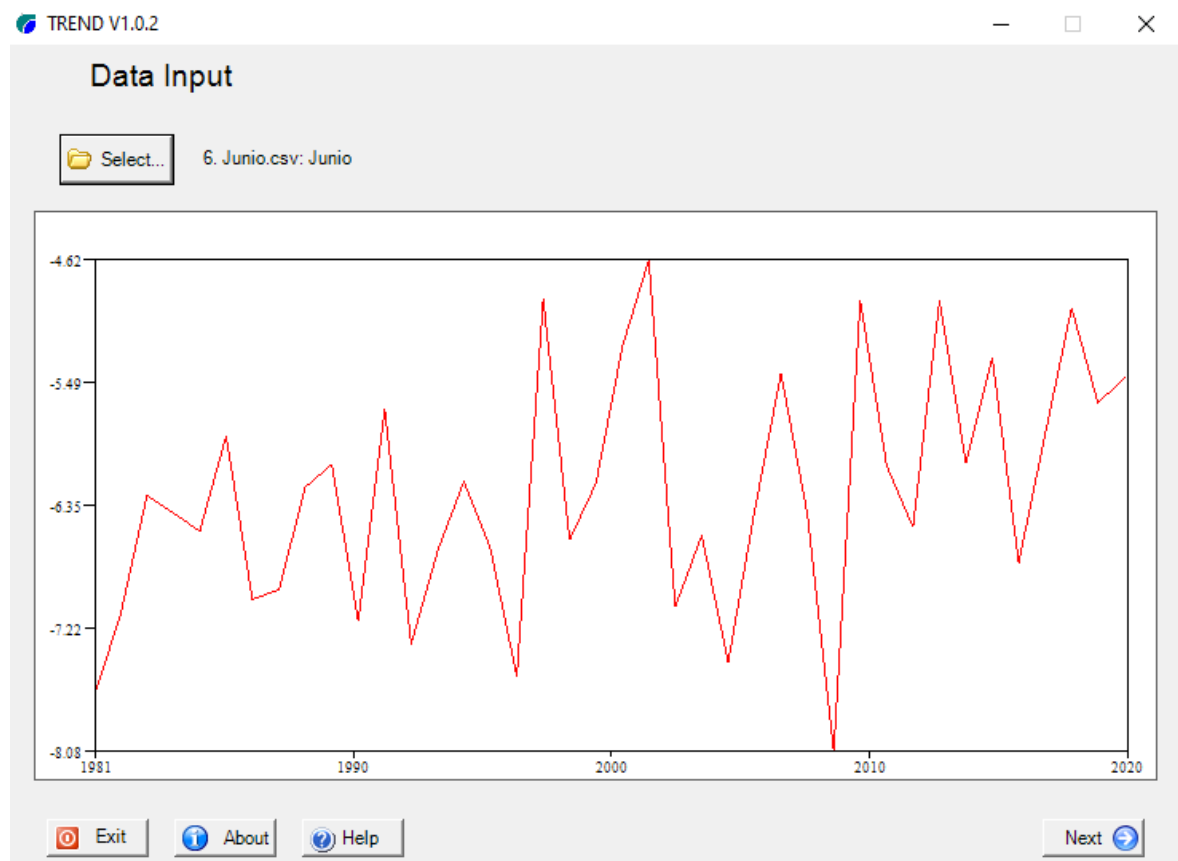
Abril



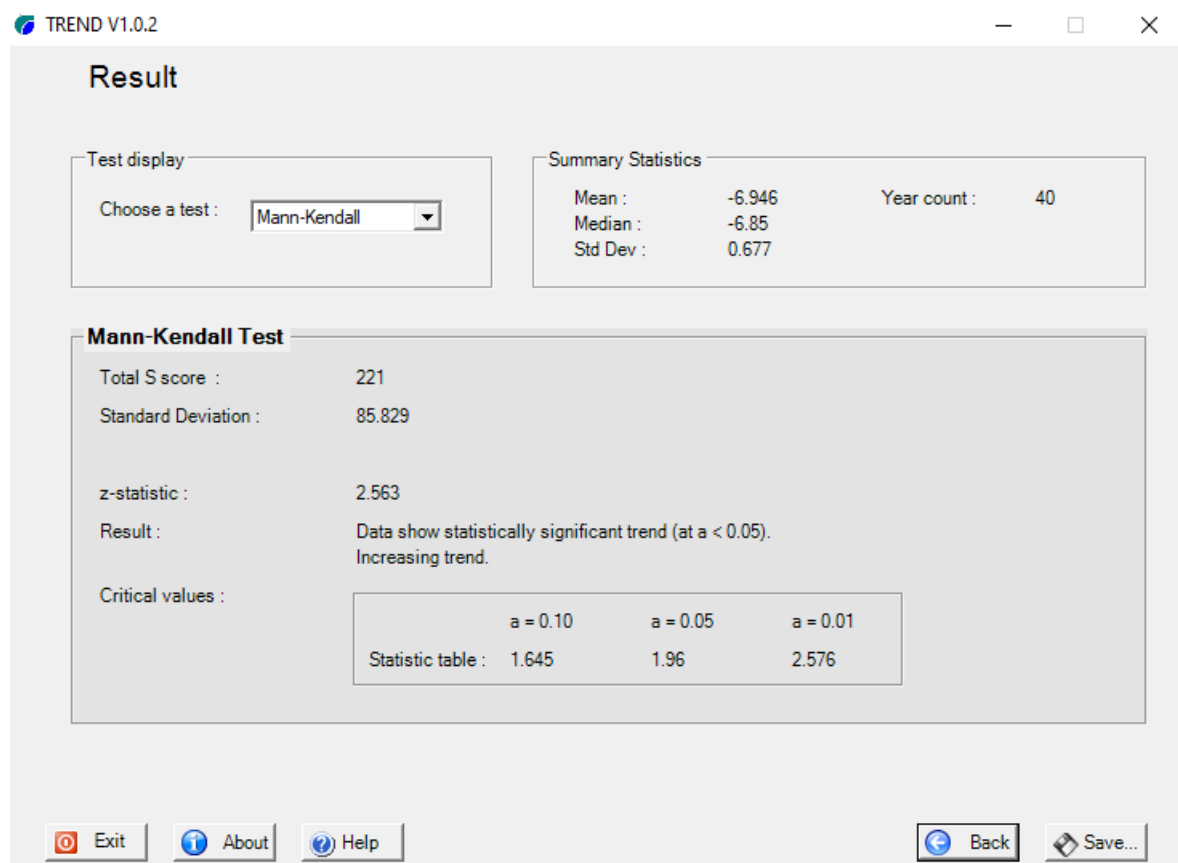
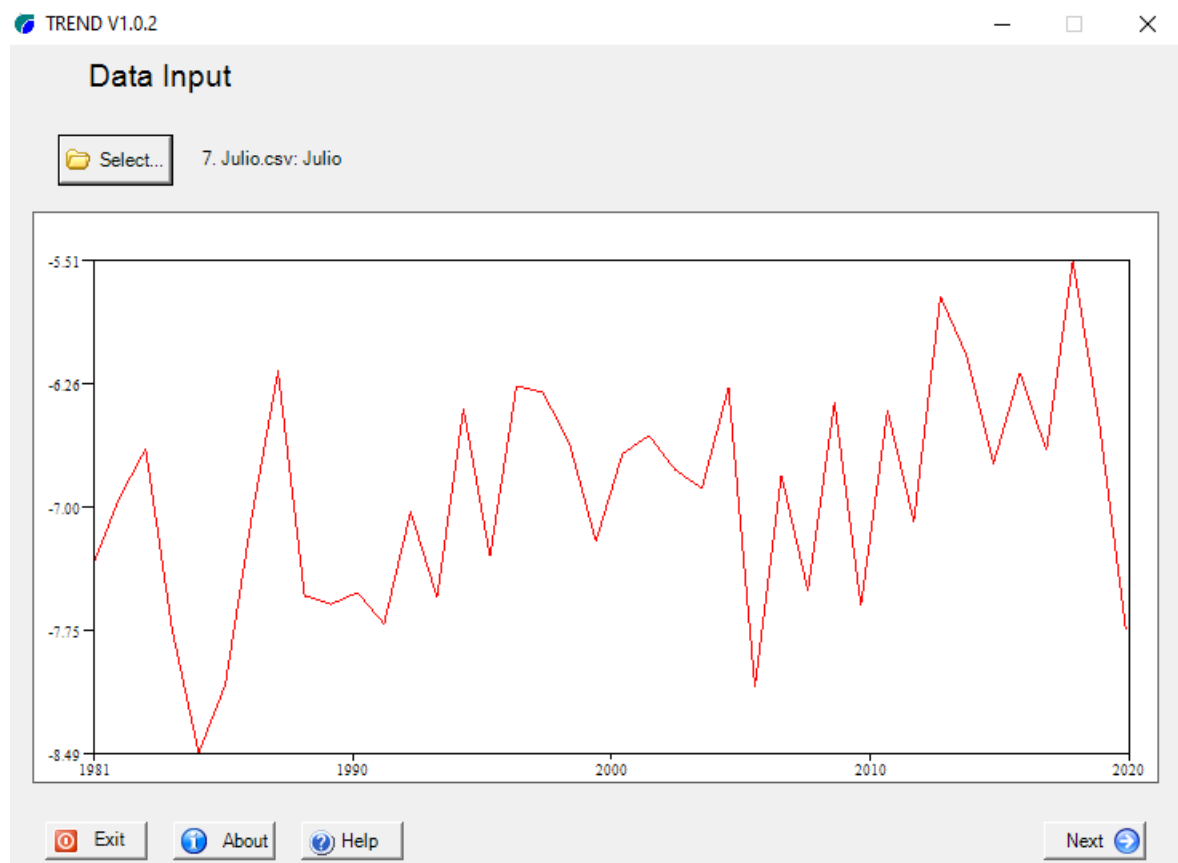
Mayo



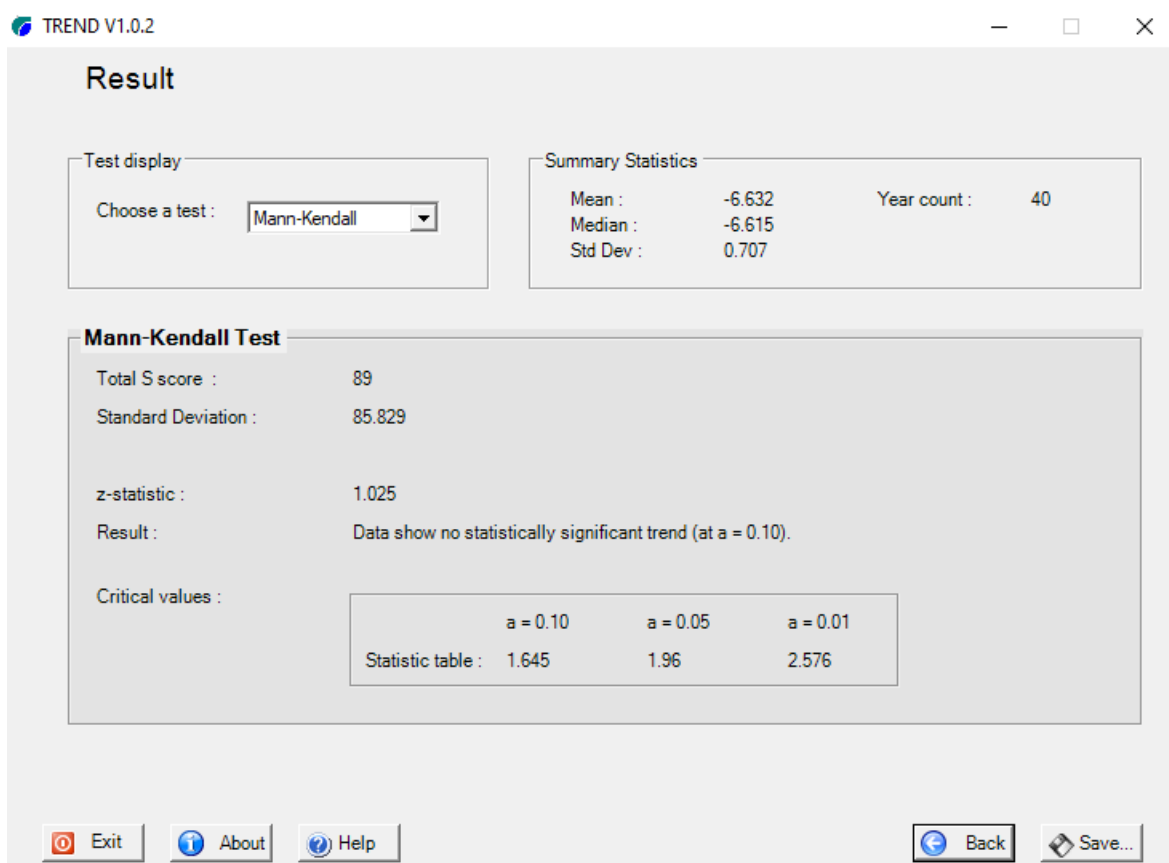
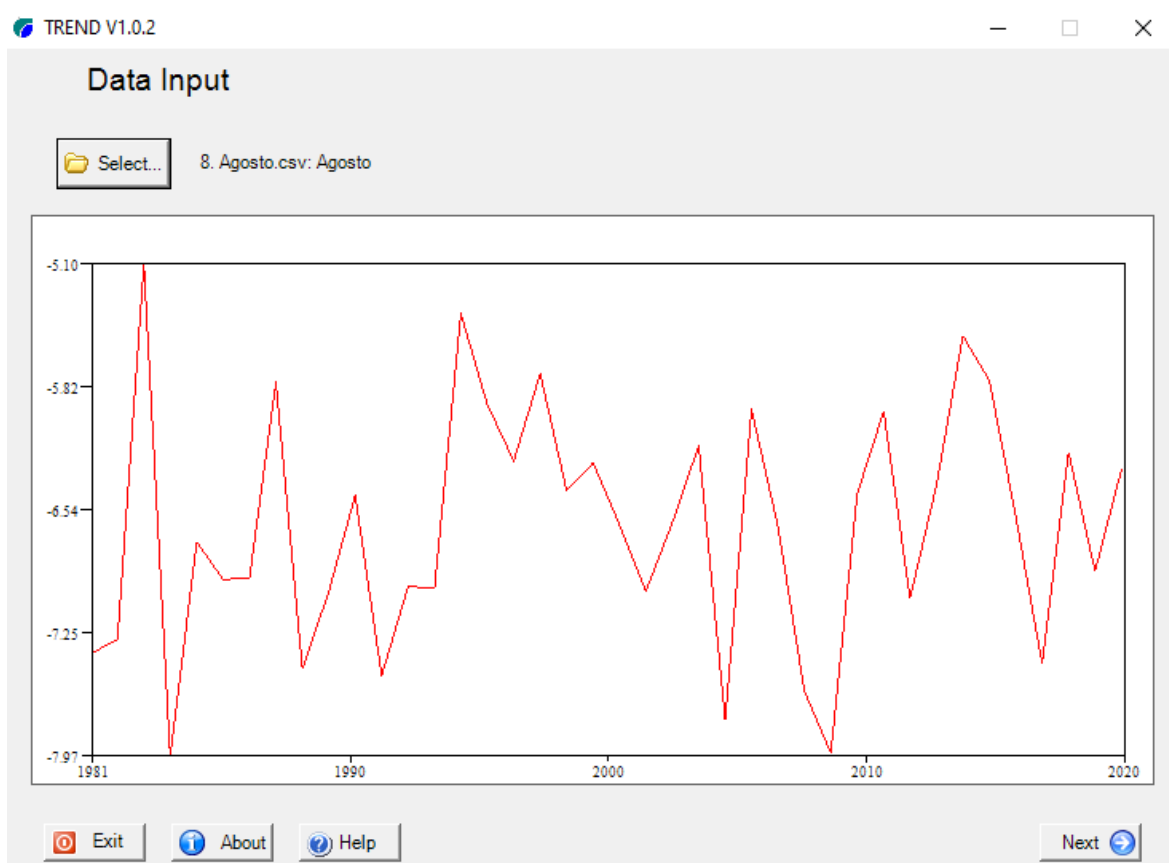
Junio



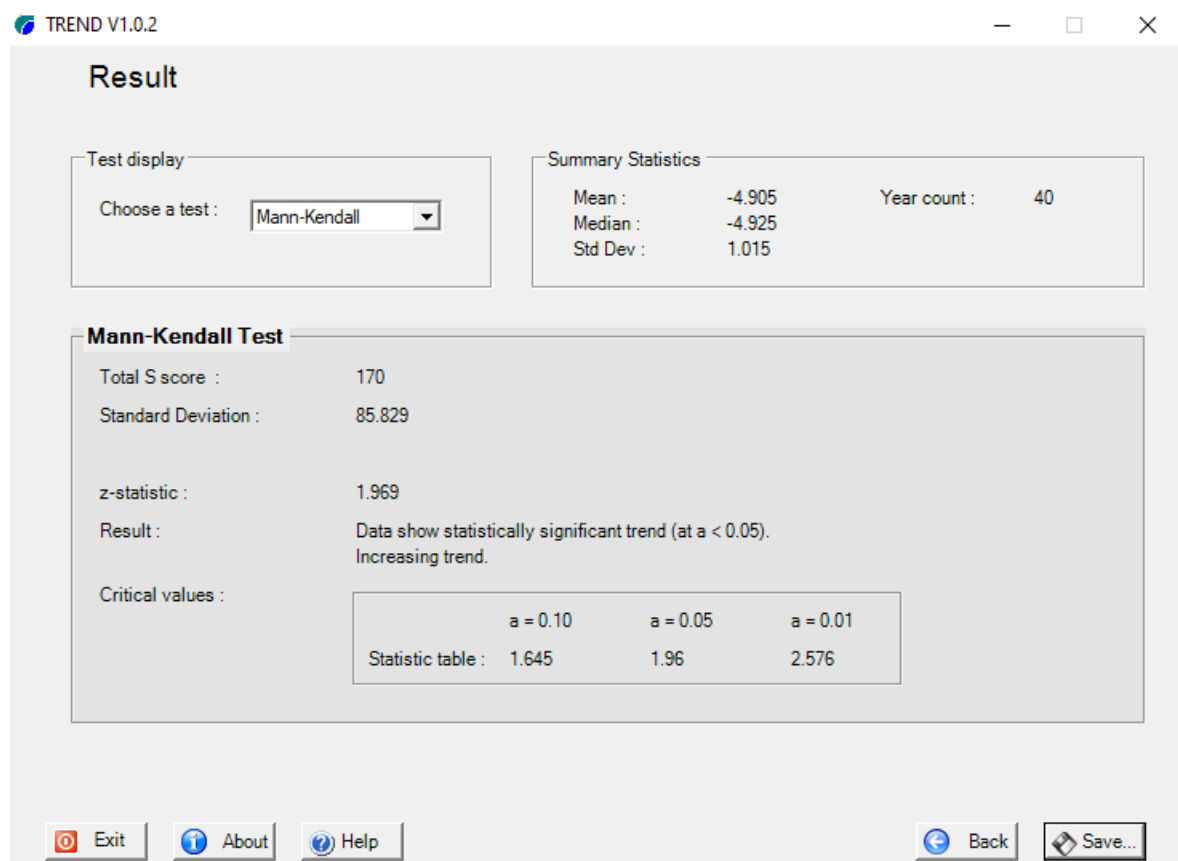
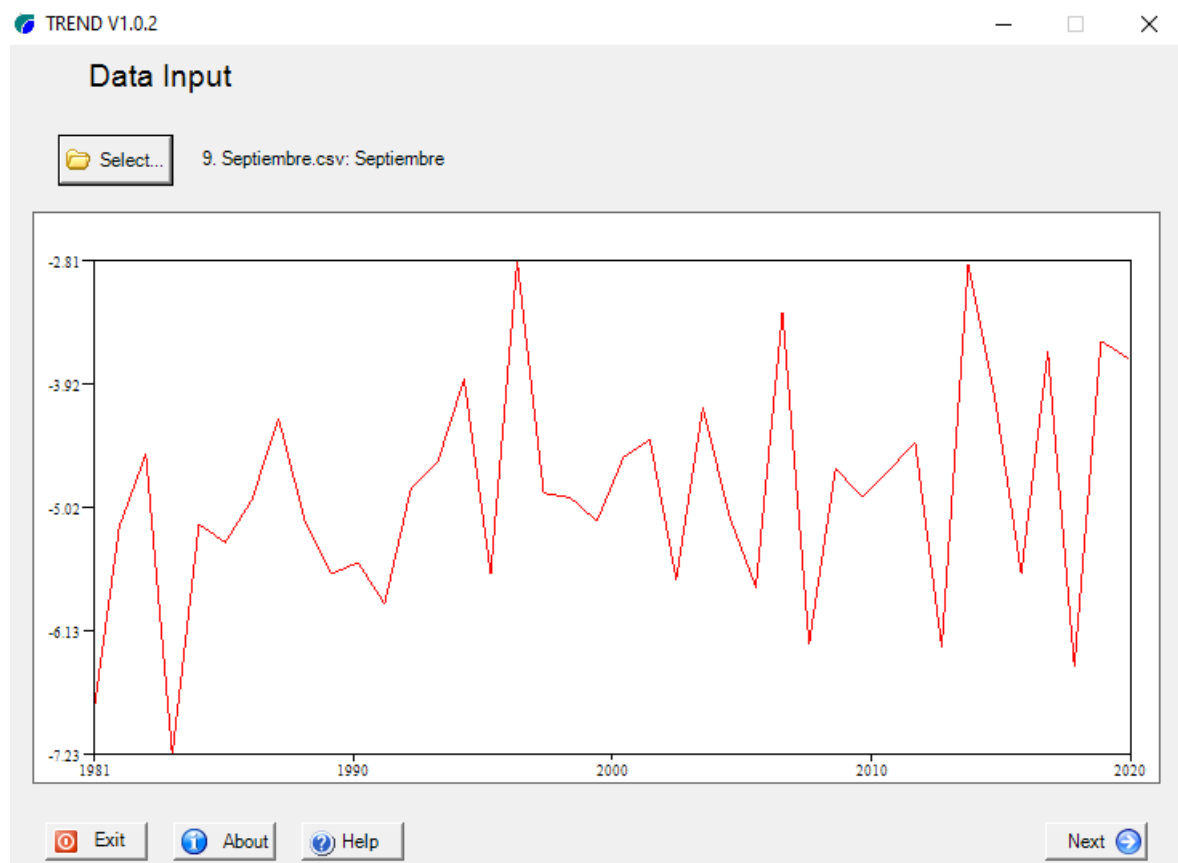
Julio



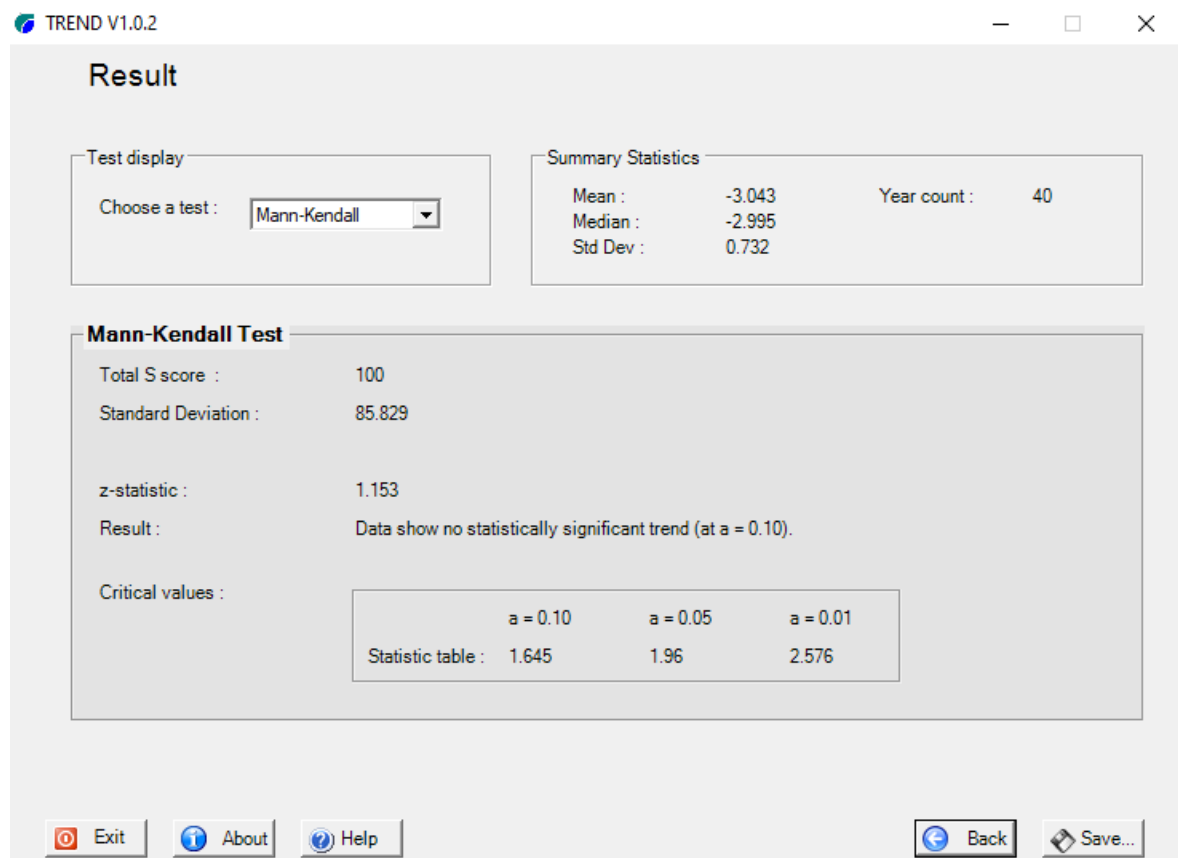
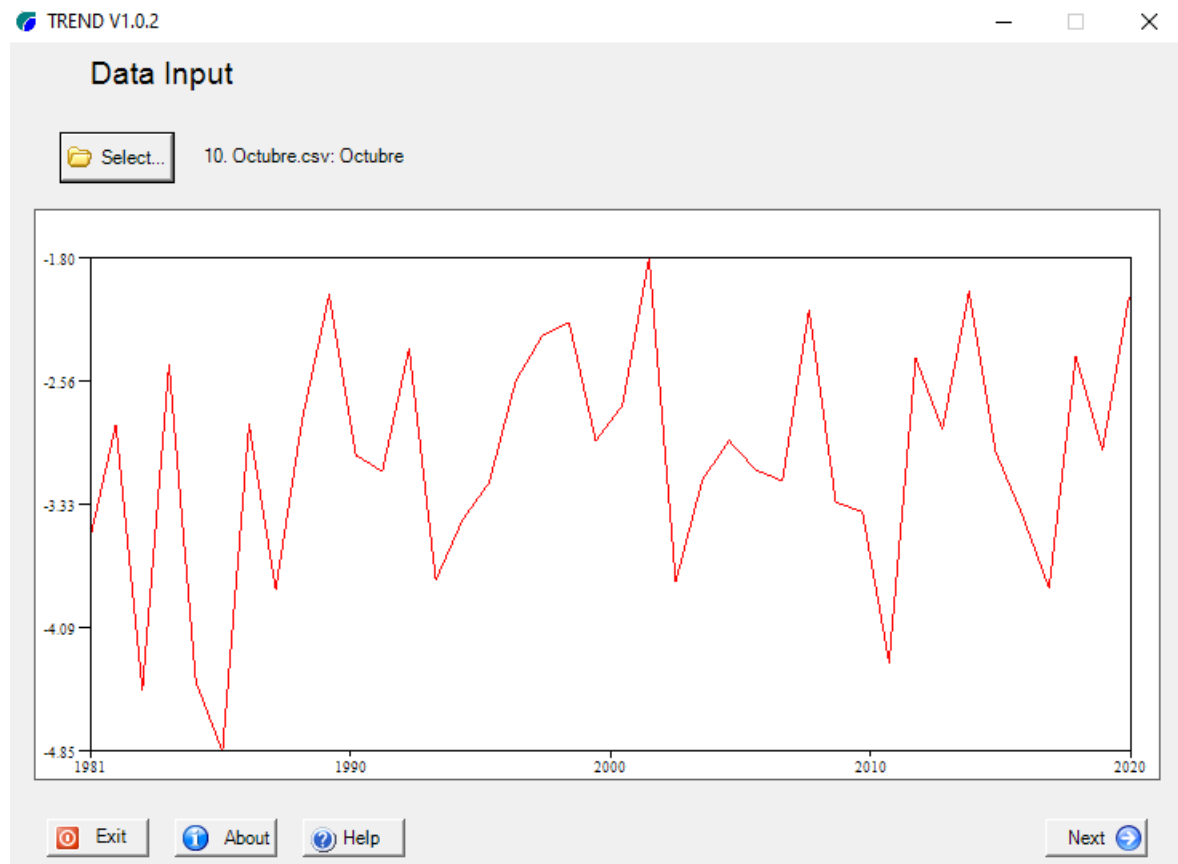
Agosto



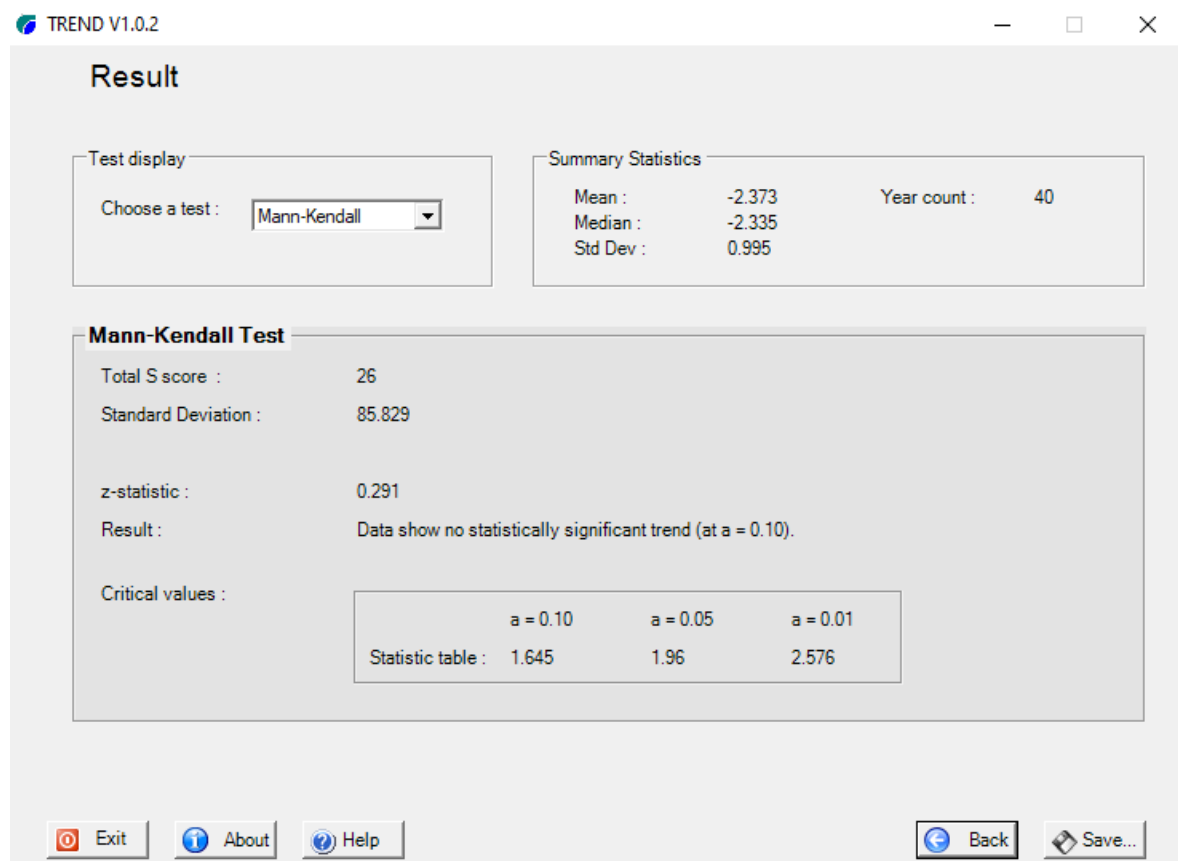
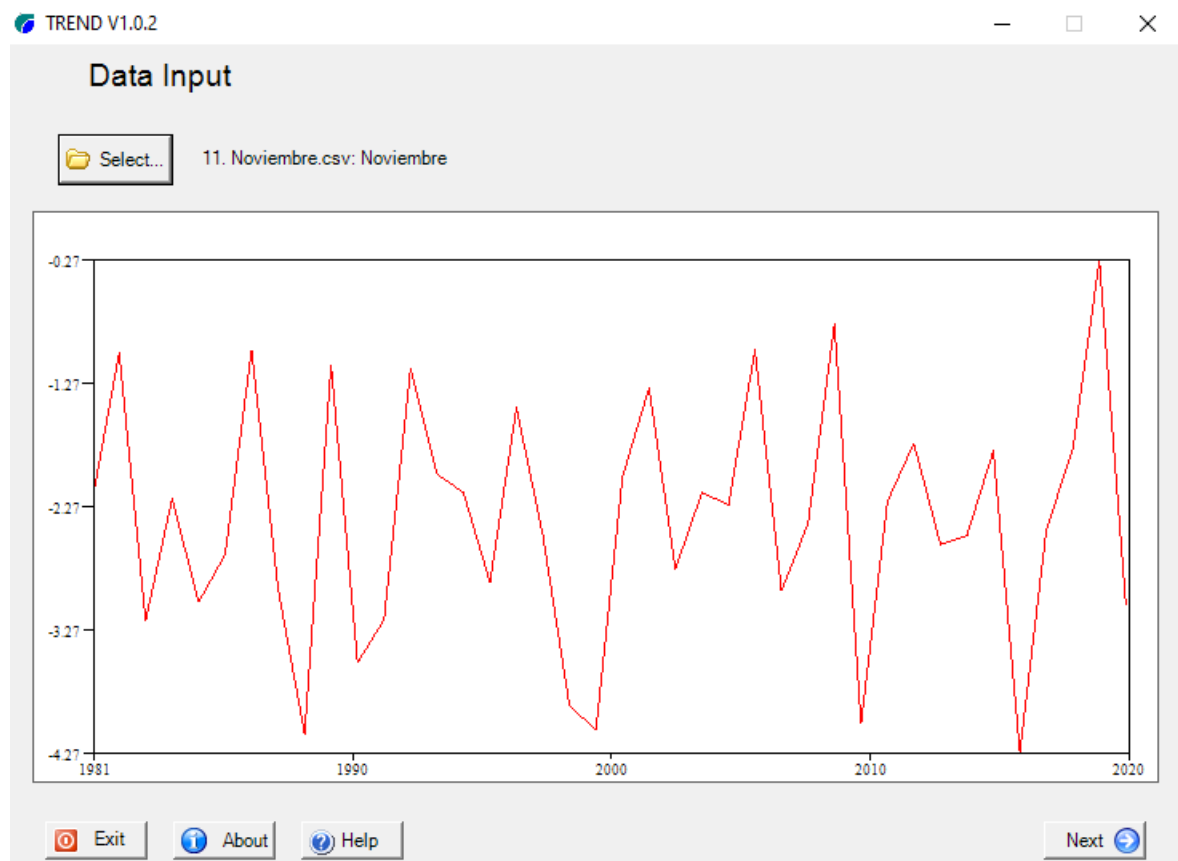
Septiembre



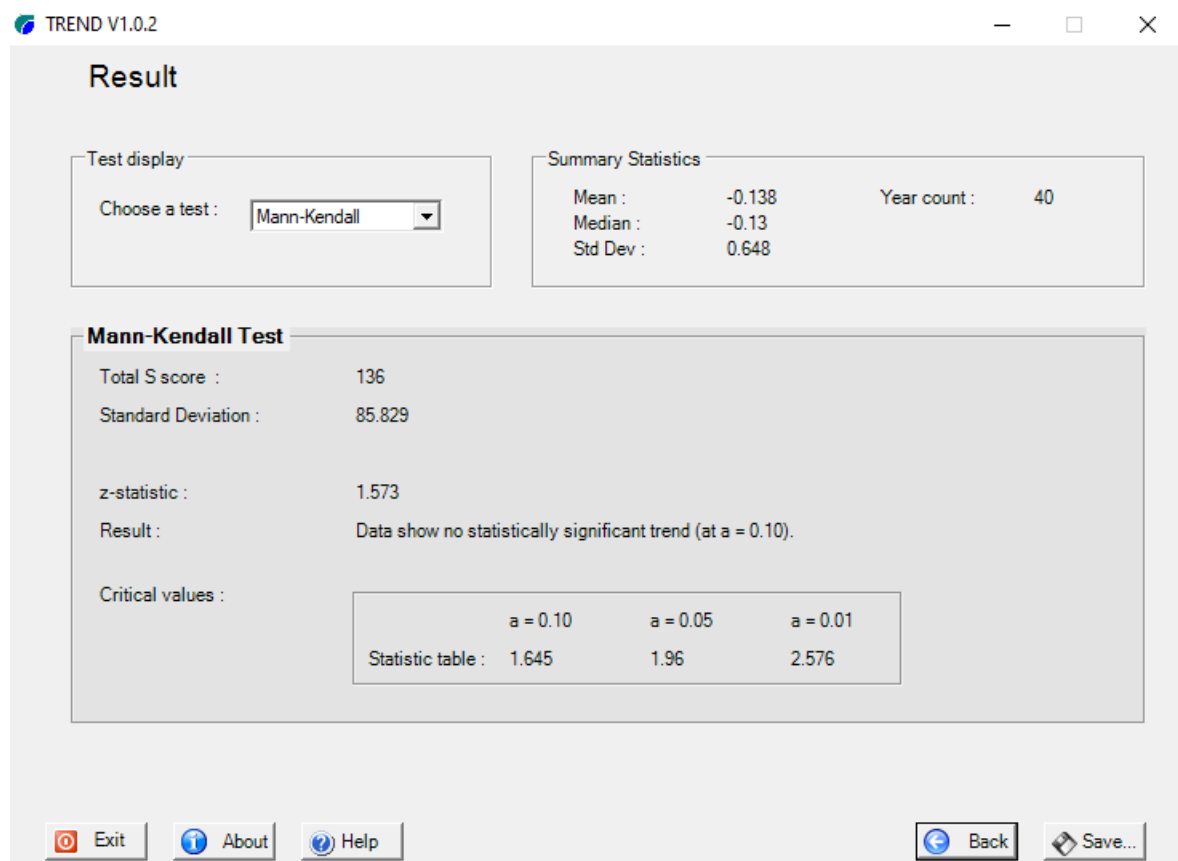
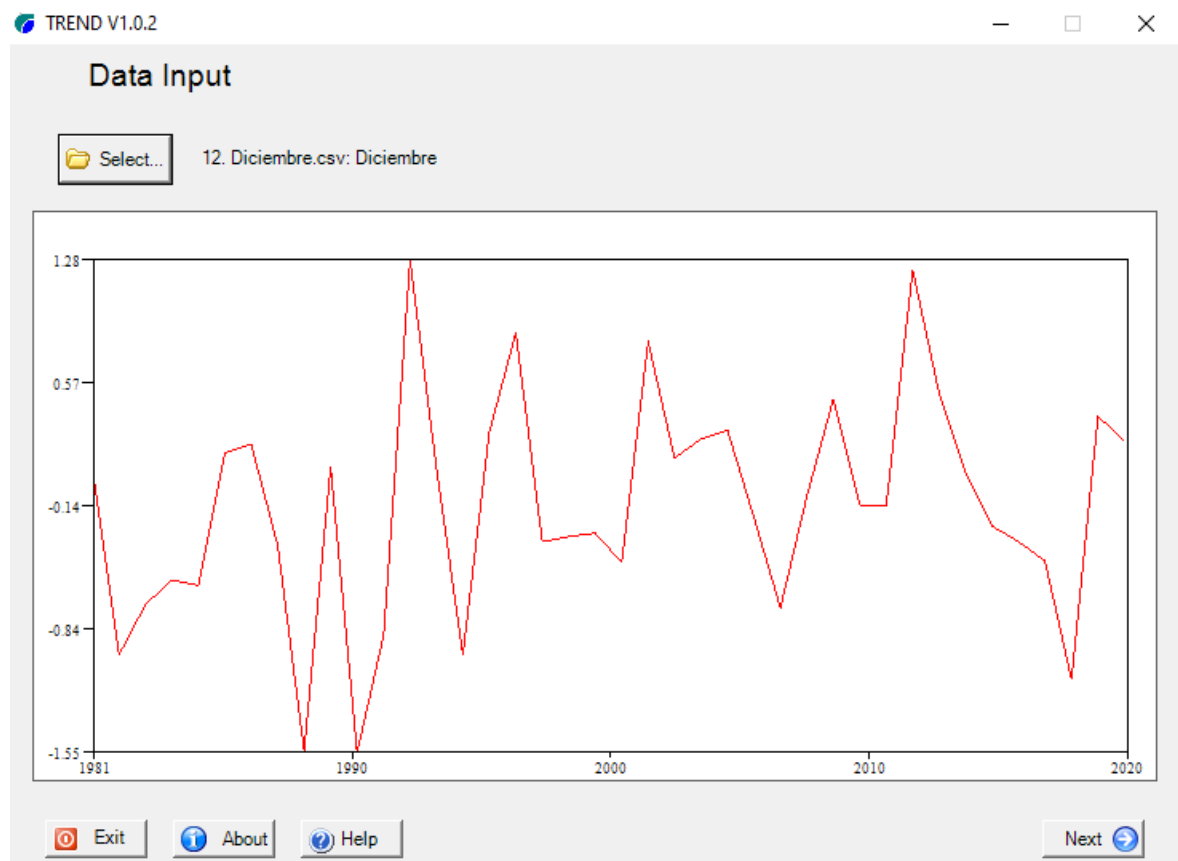
Octubre



Noviembre

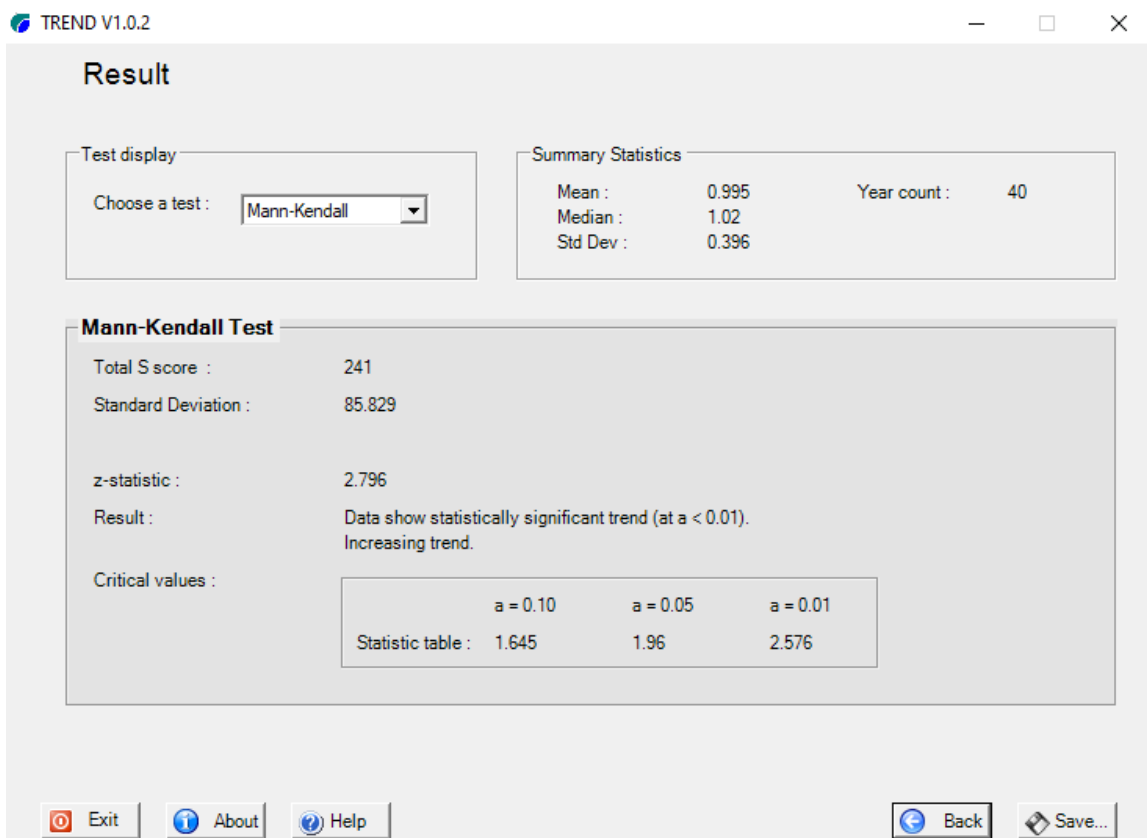
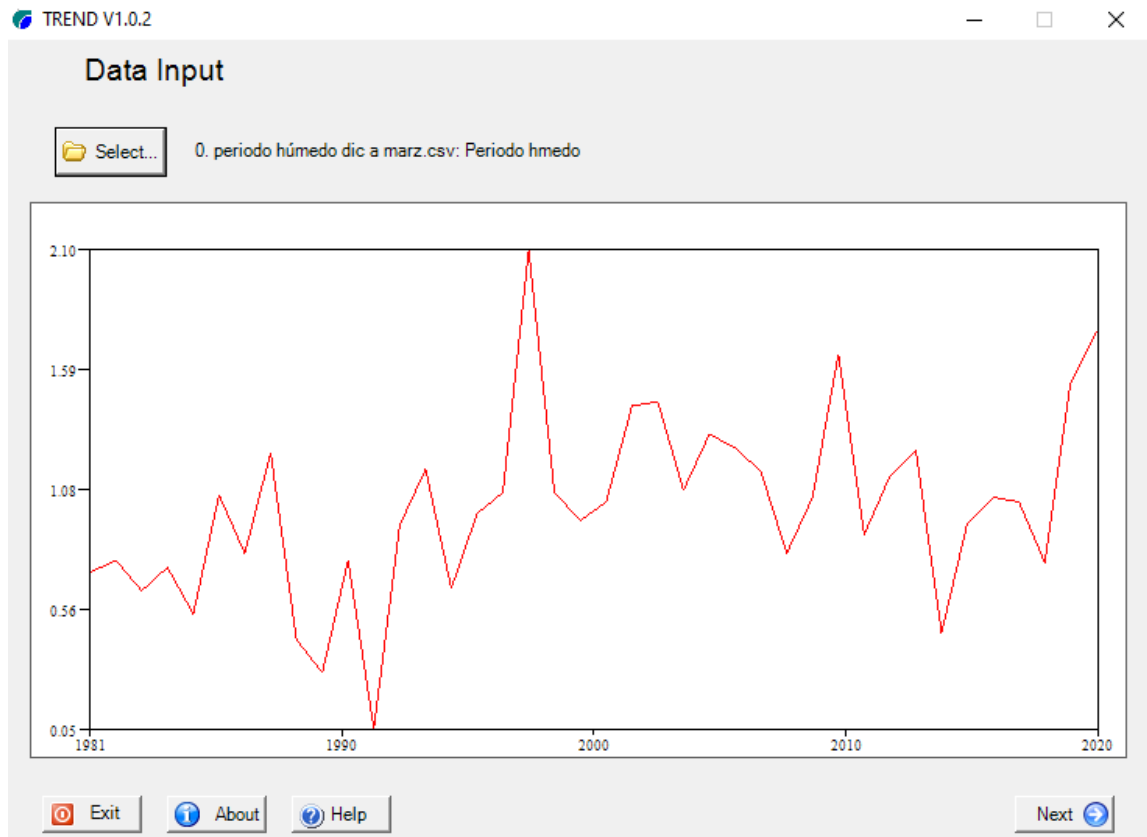


Diciembre

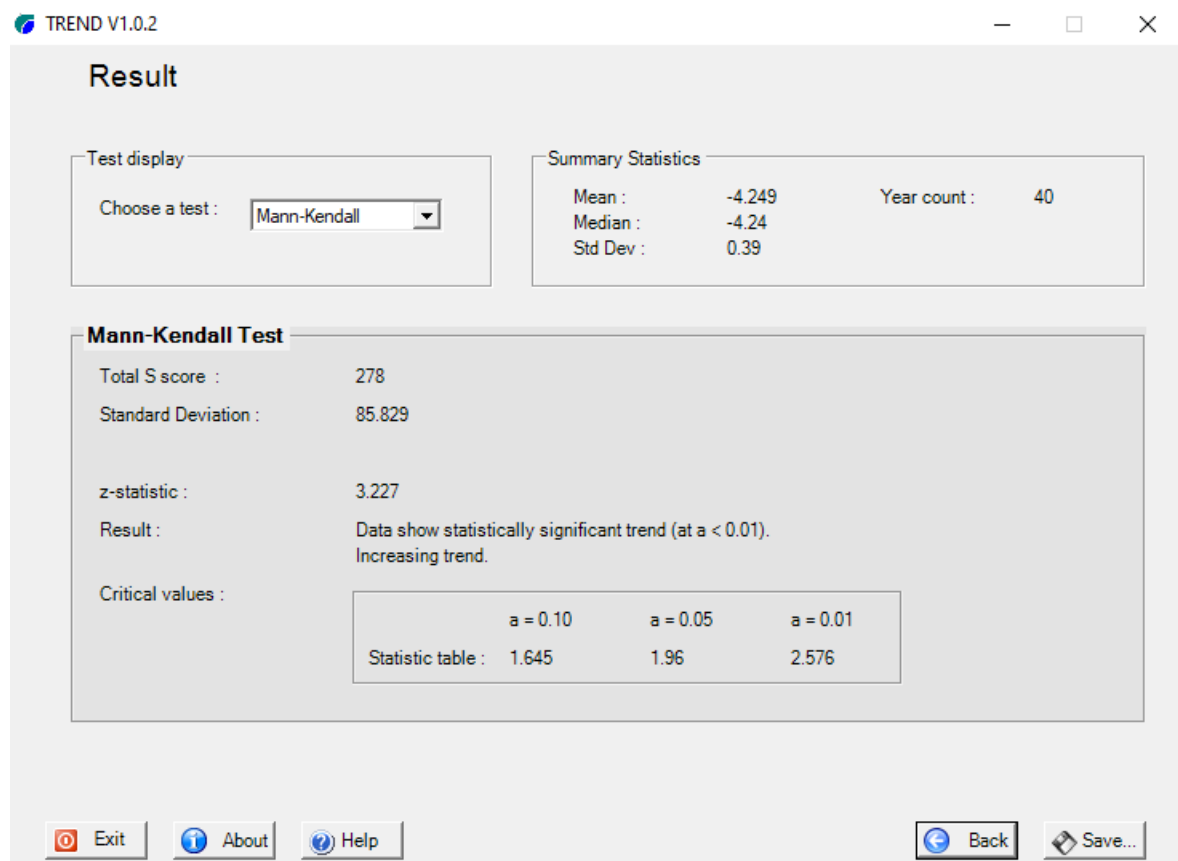
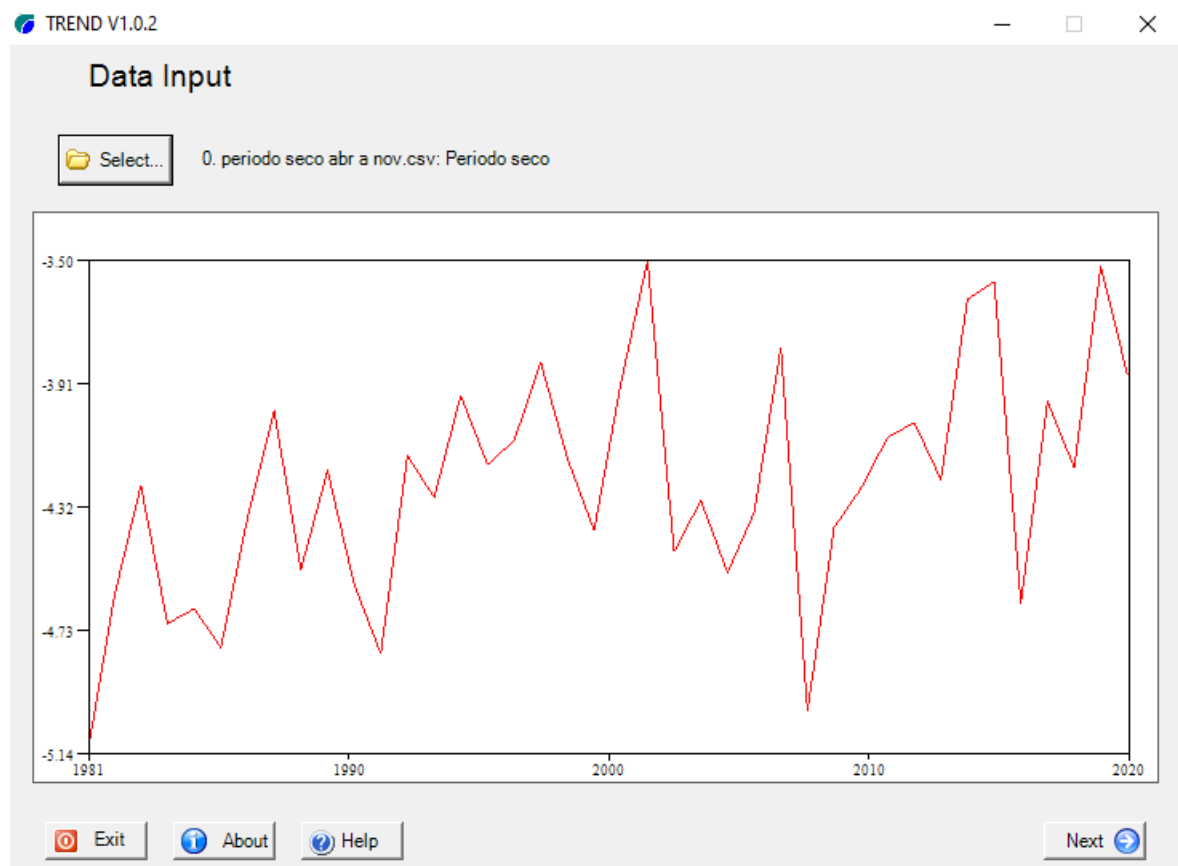


Periodo estacional

Periodo húmedo



Periodo seco



TEMPERATURA MEDIA

ESTACIÓN A-1

Latitud: -15.176083, Longitud: -71.867149, Altitud: 4578 m.s.n.m.

Departamento: Arequipa

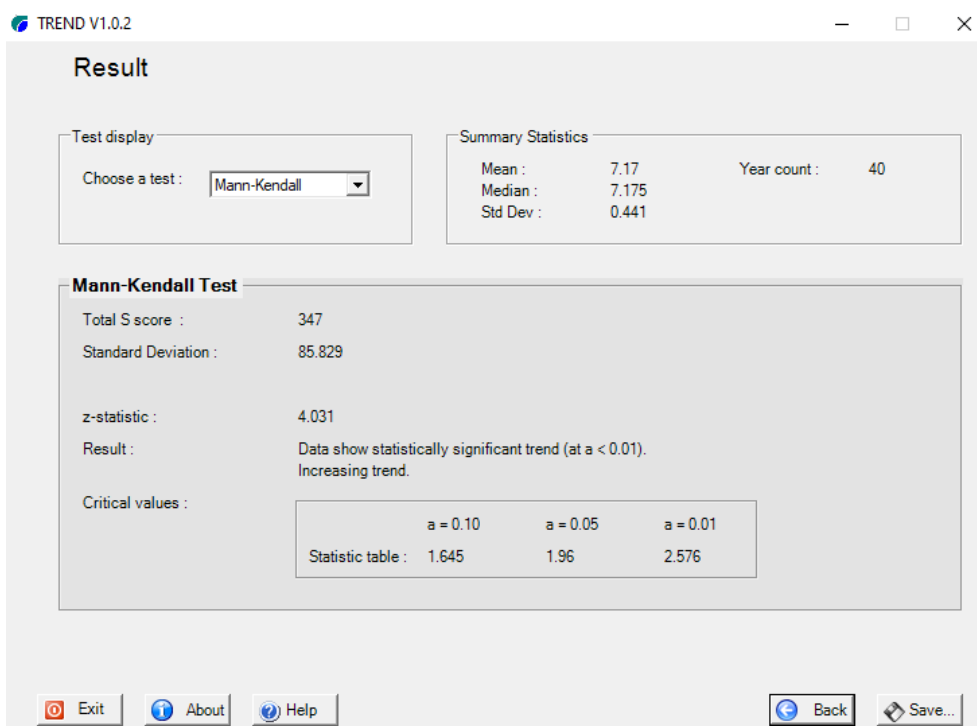
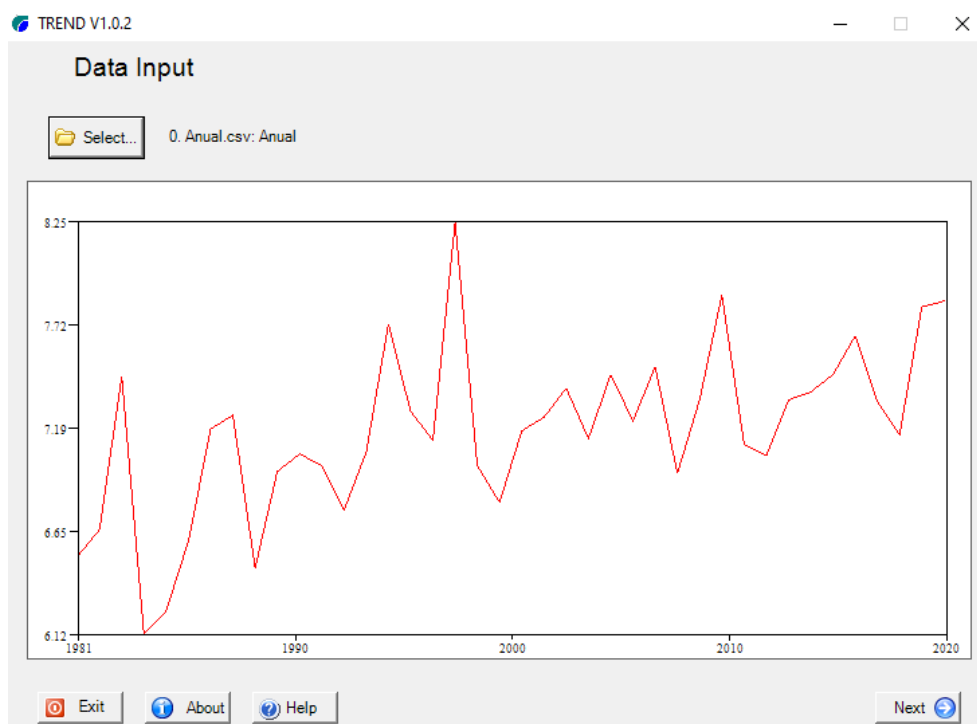
Provincia: Caylloma

Distrito: Caylloma

Temperatura
media (°C)

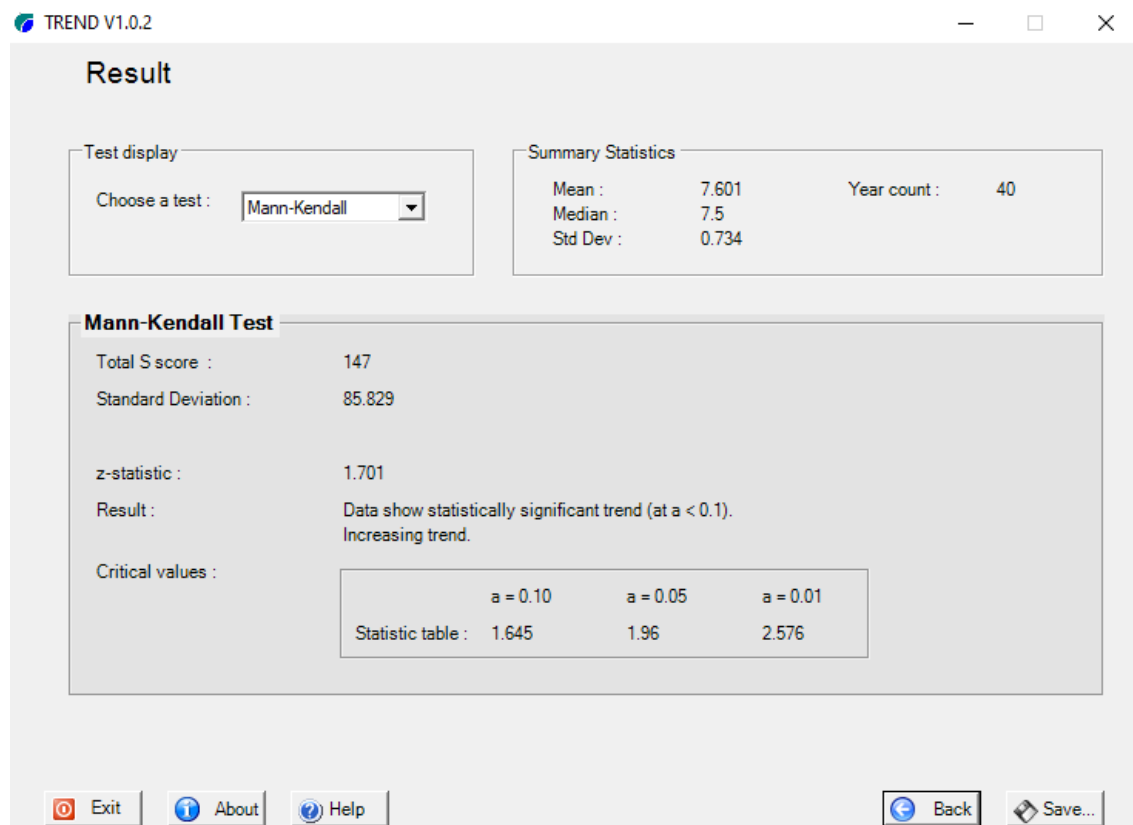
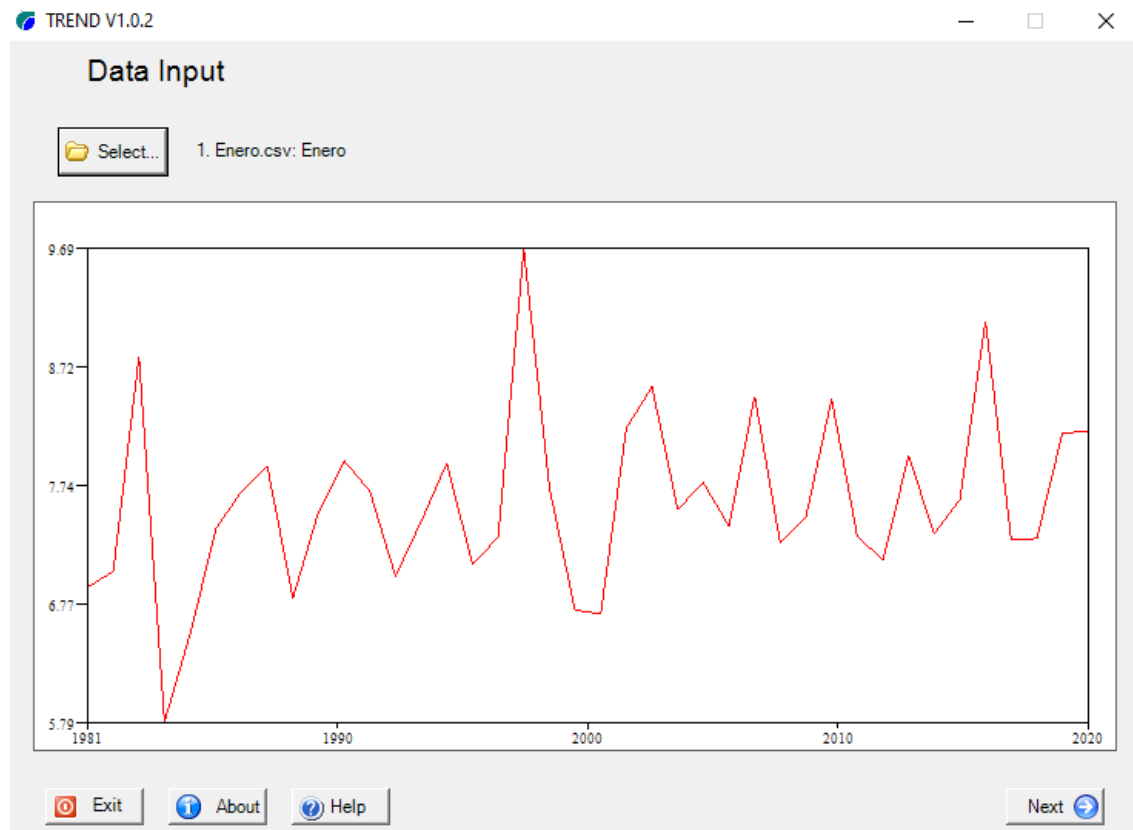
Periodo 1981-2020

Periodo anual

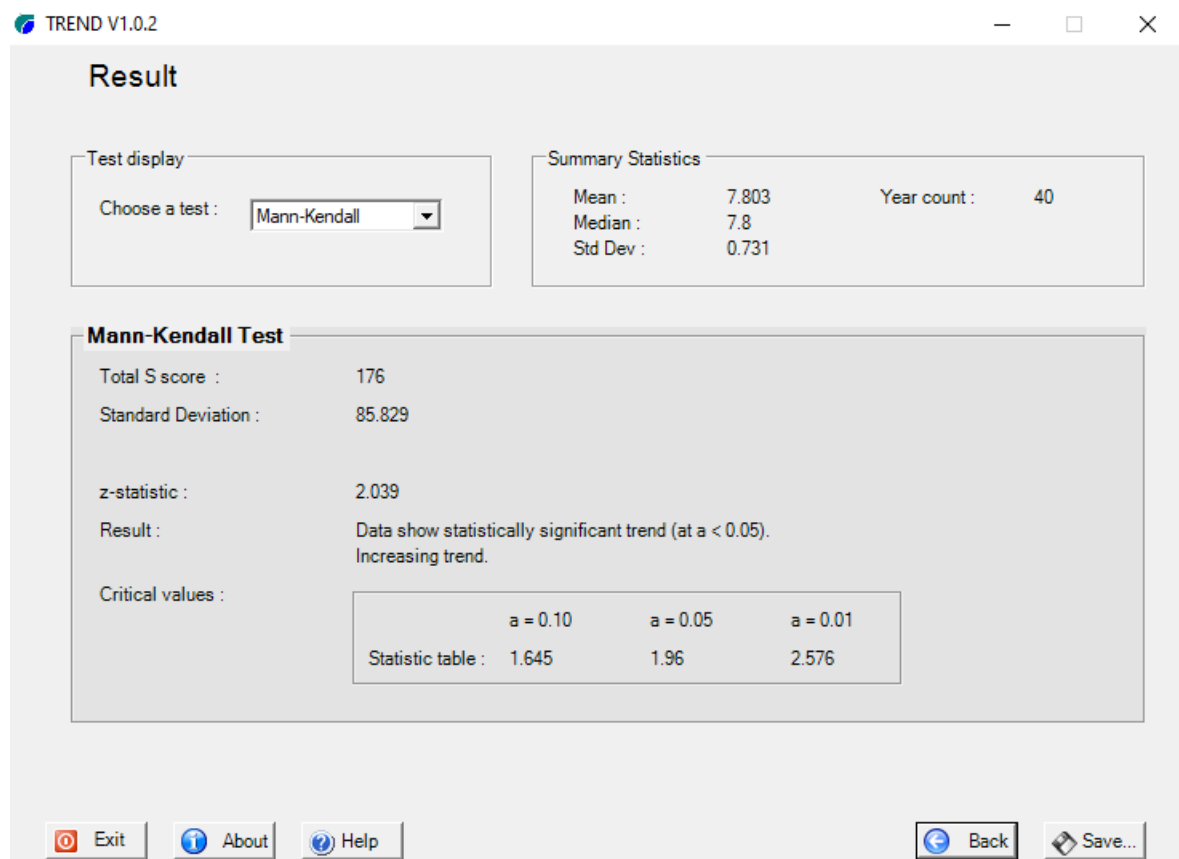
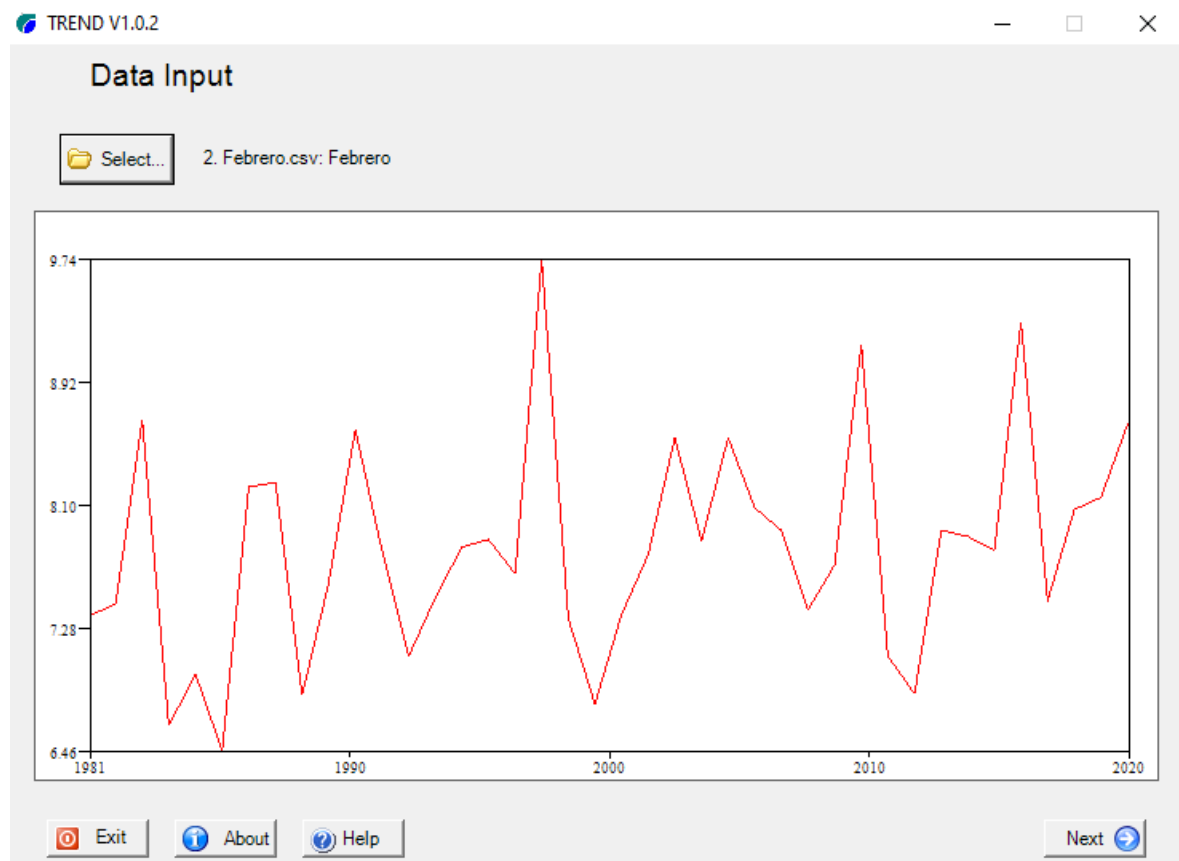


Periodo mensual

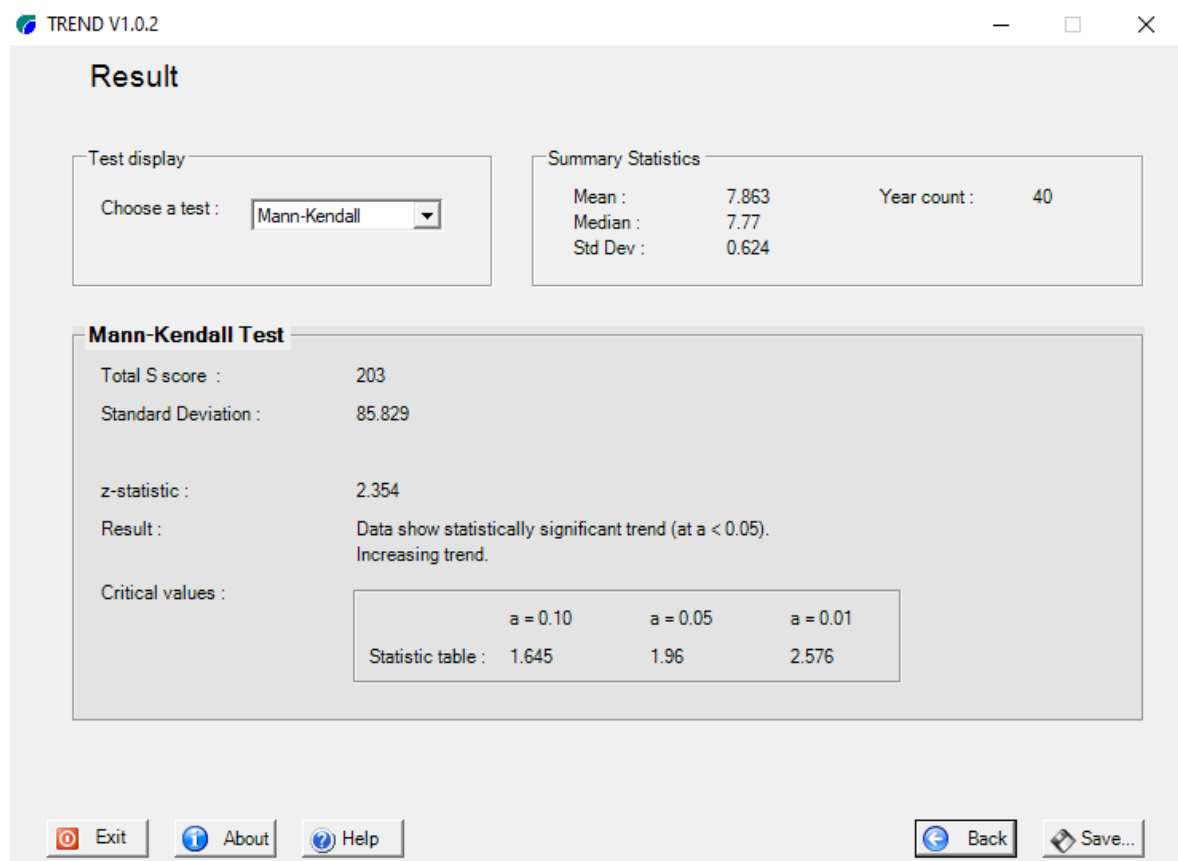
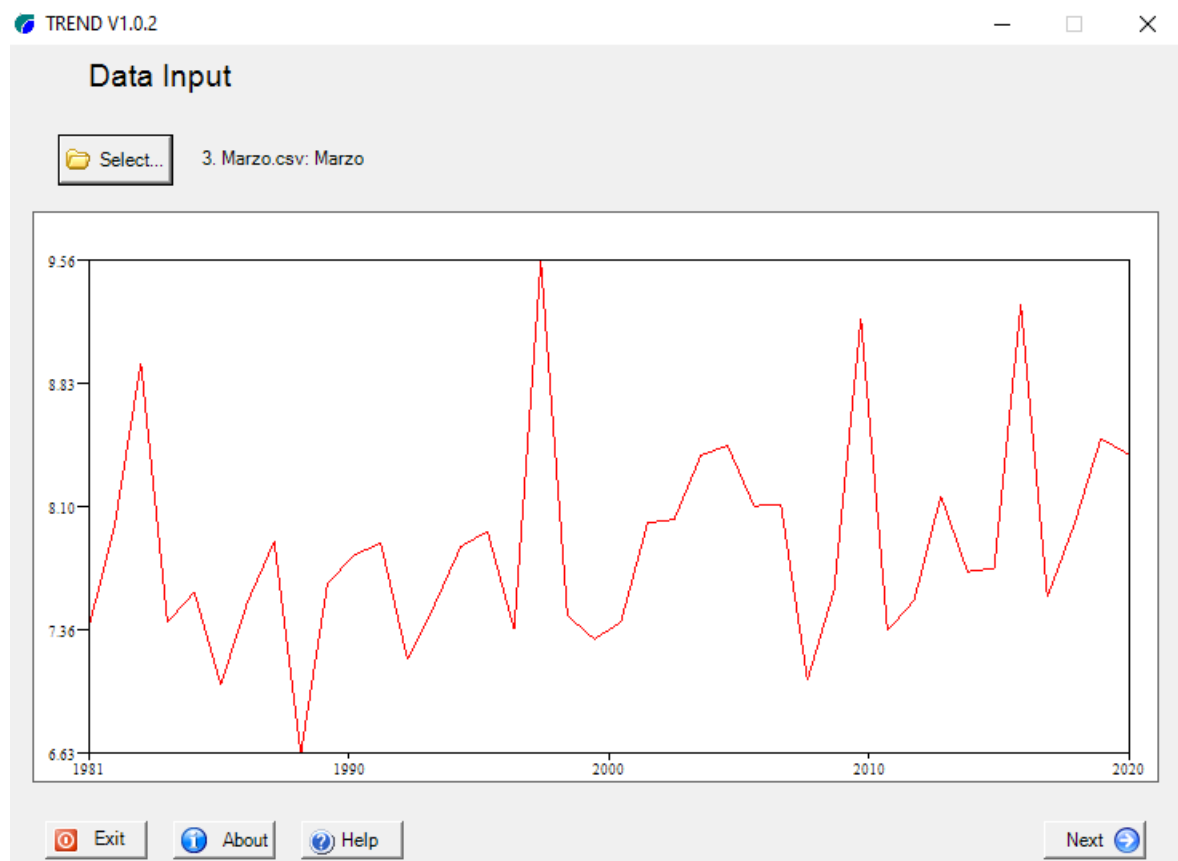
Enero



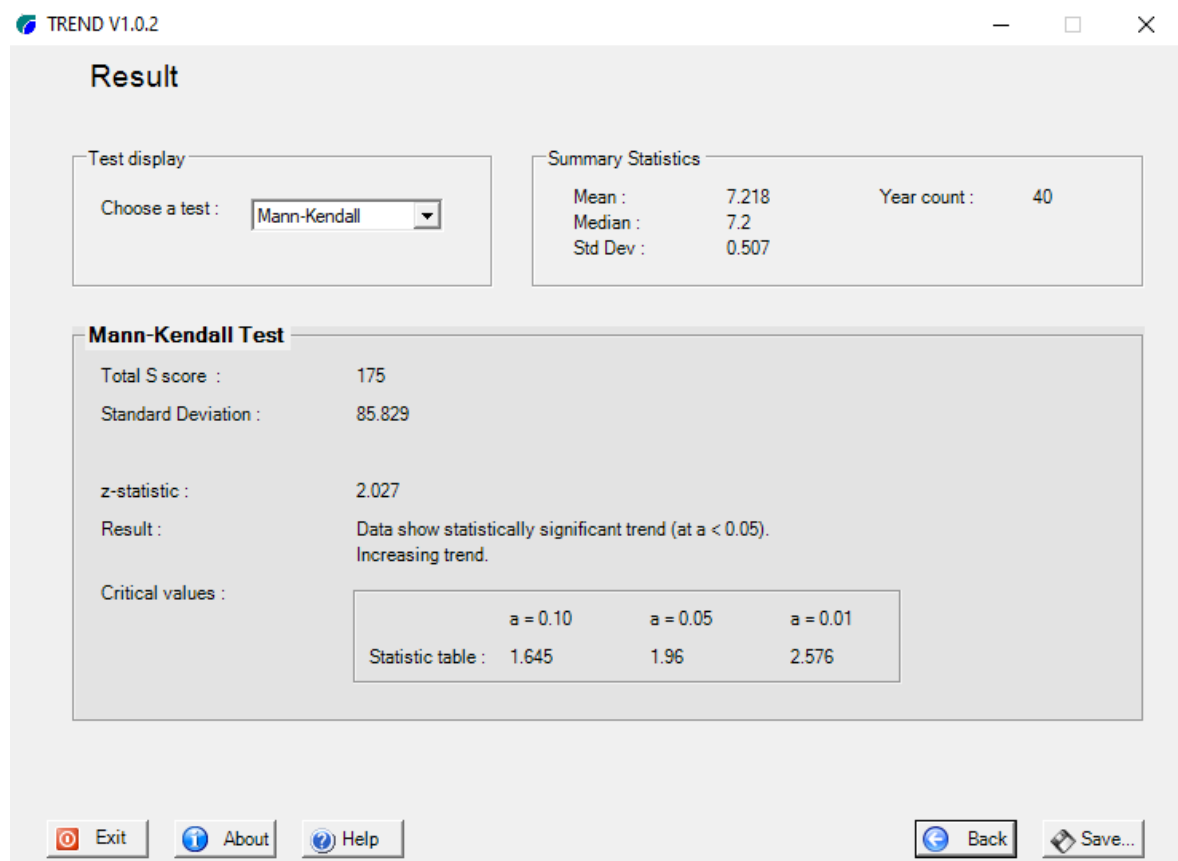
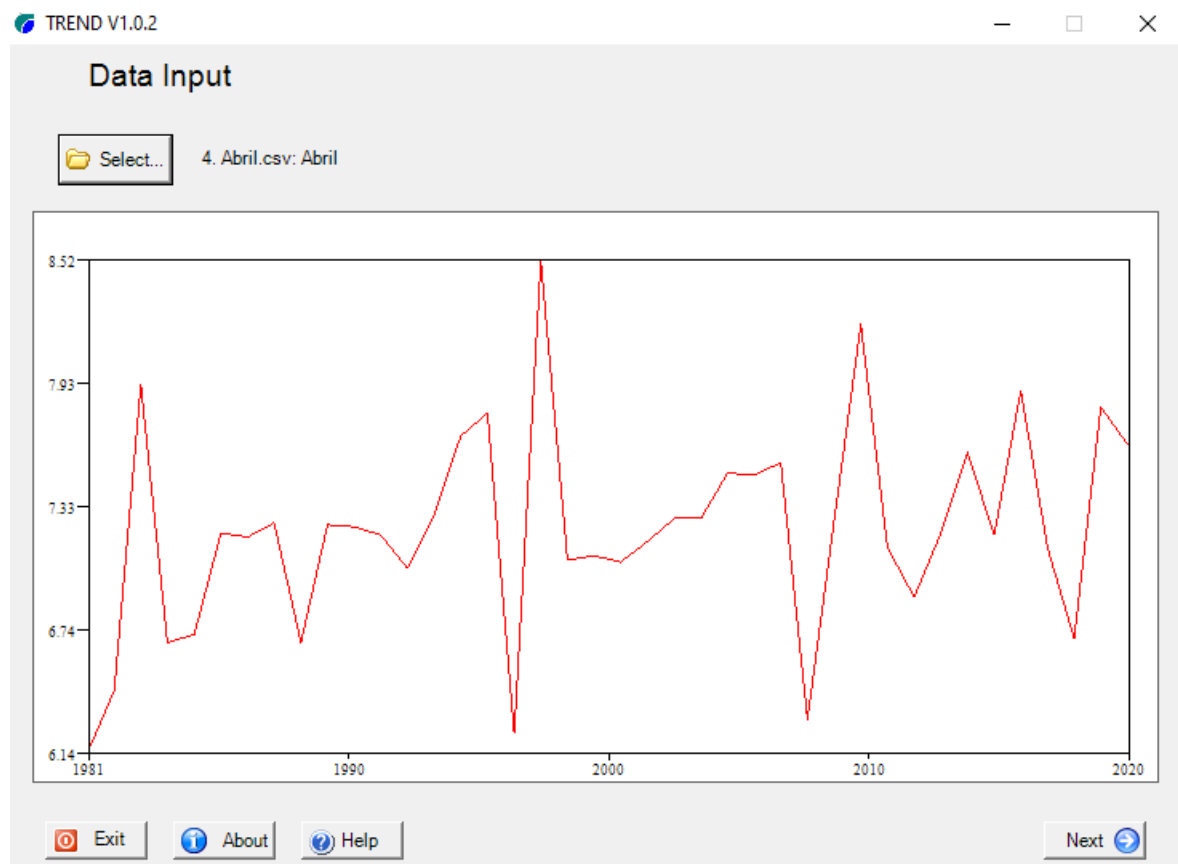
Febrero



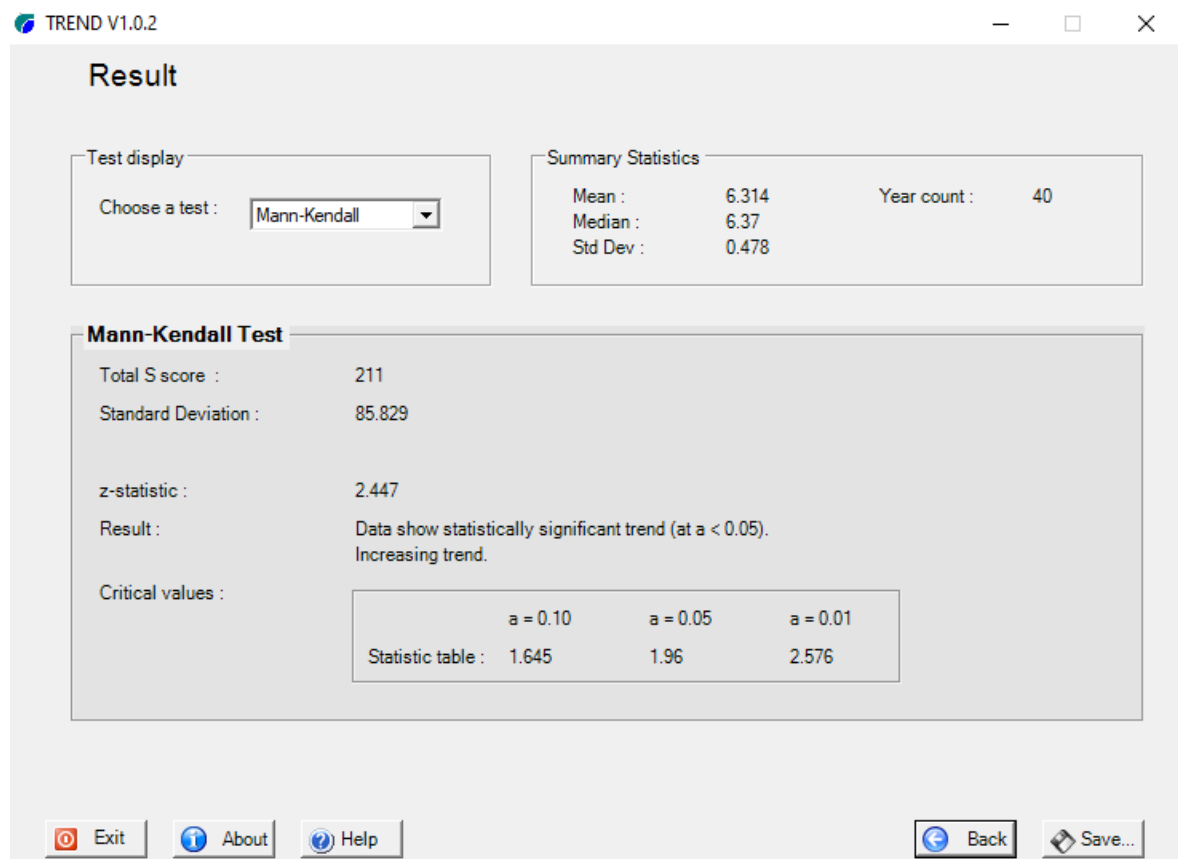
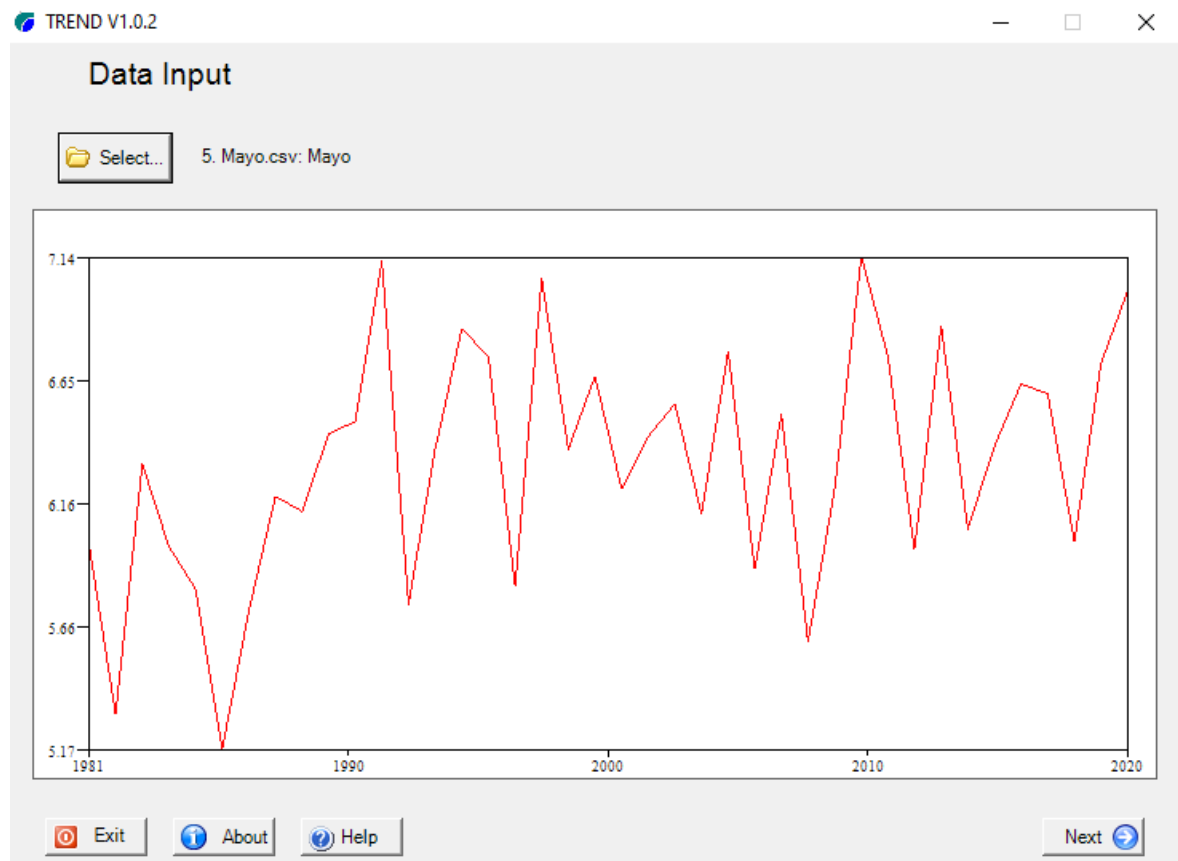
Marzo



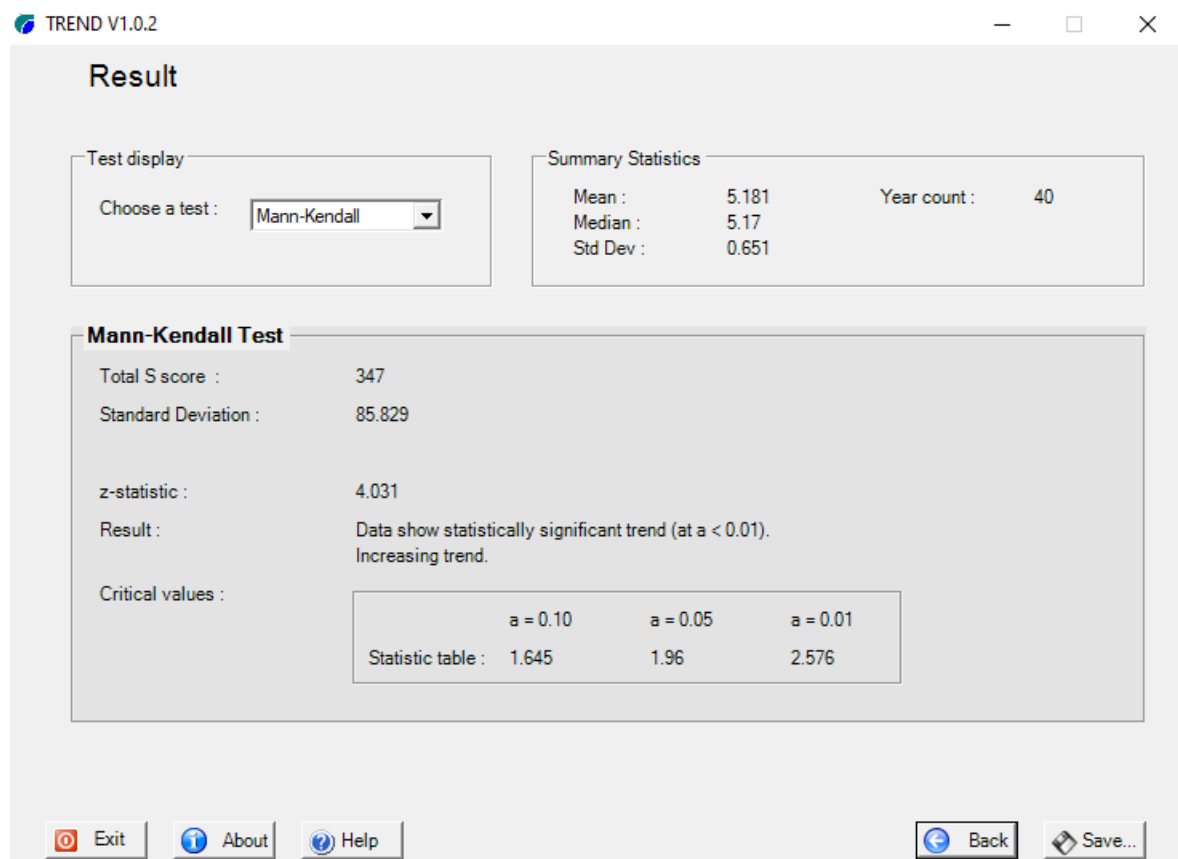
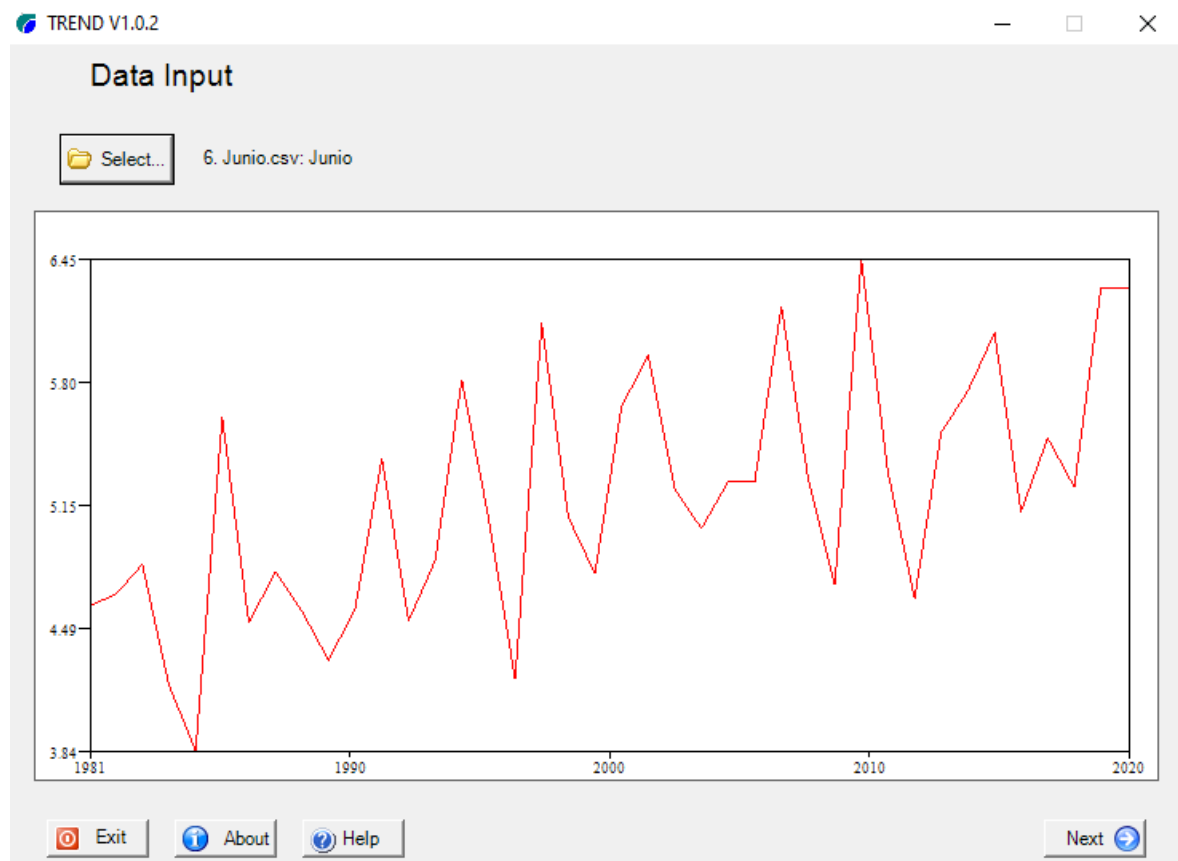
Abril



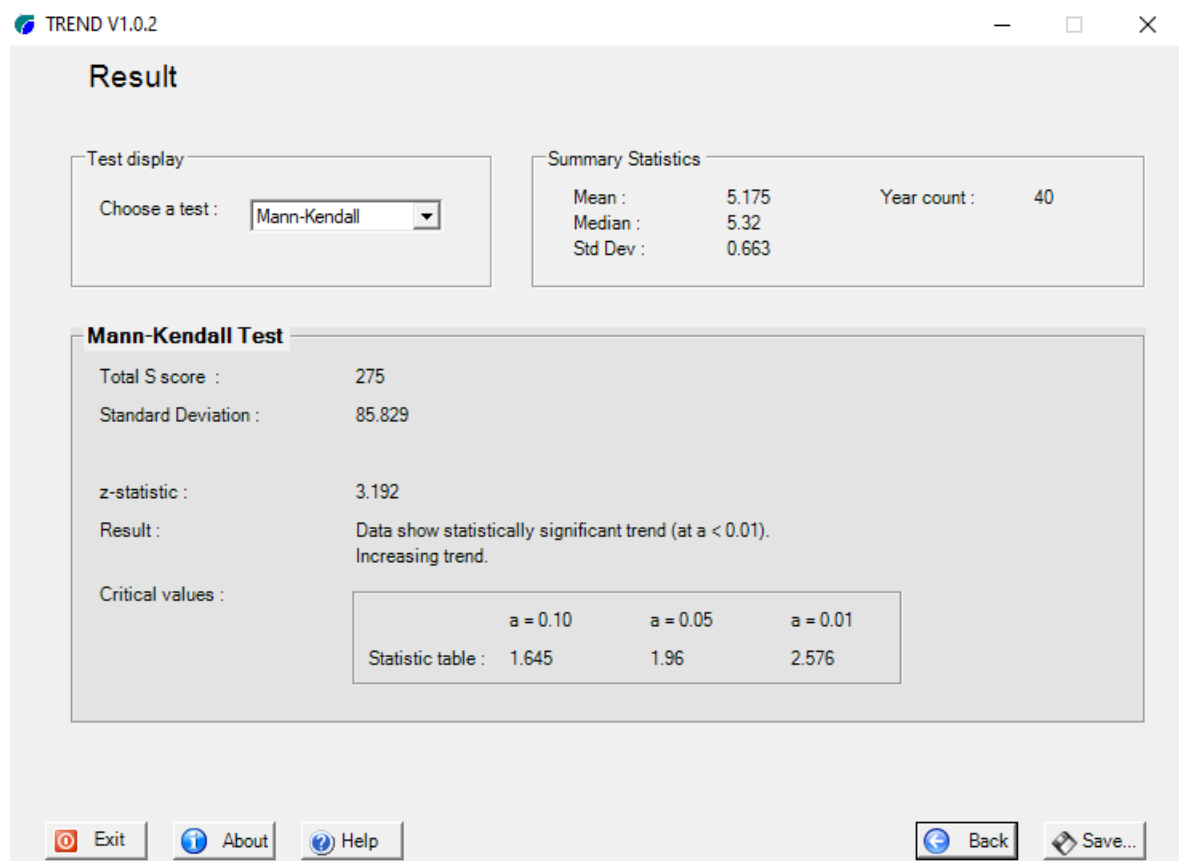
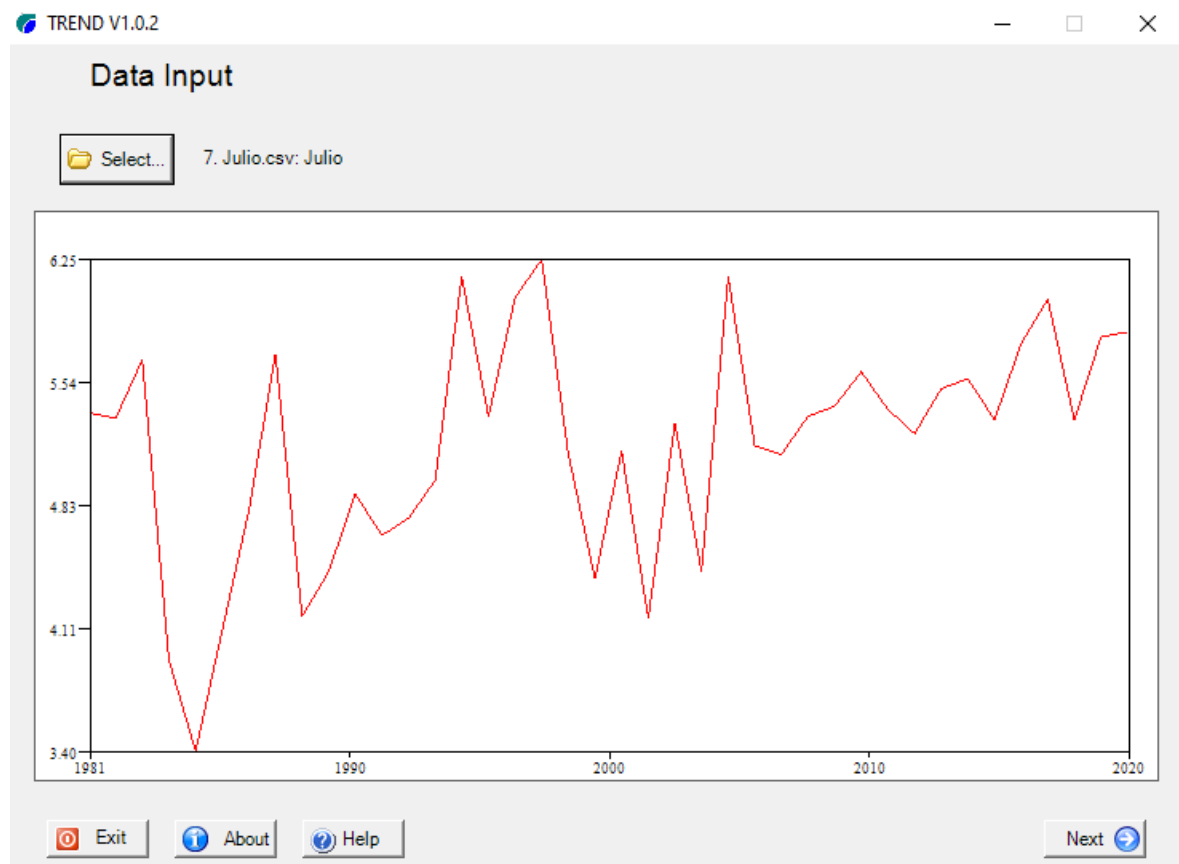
Mayo



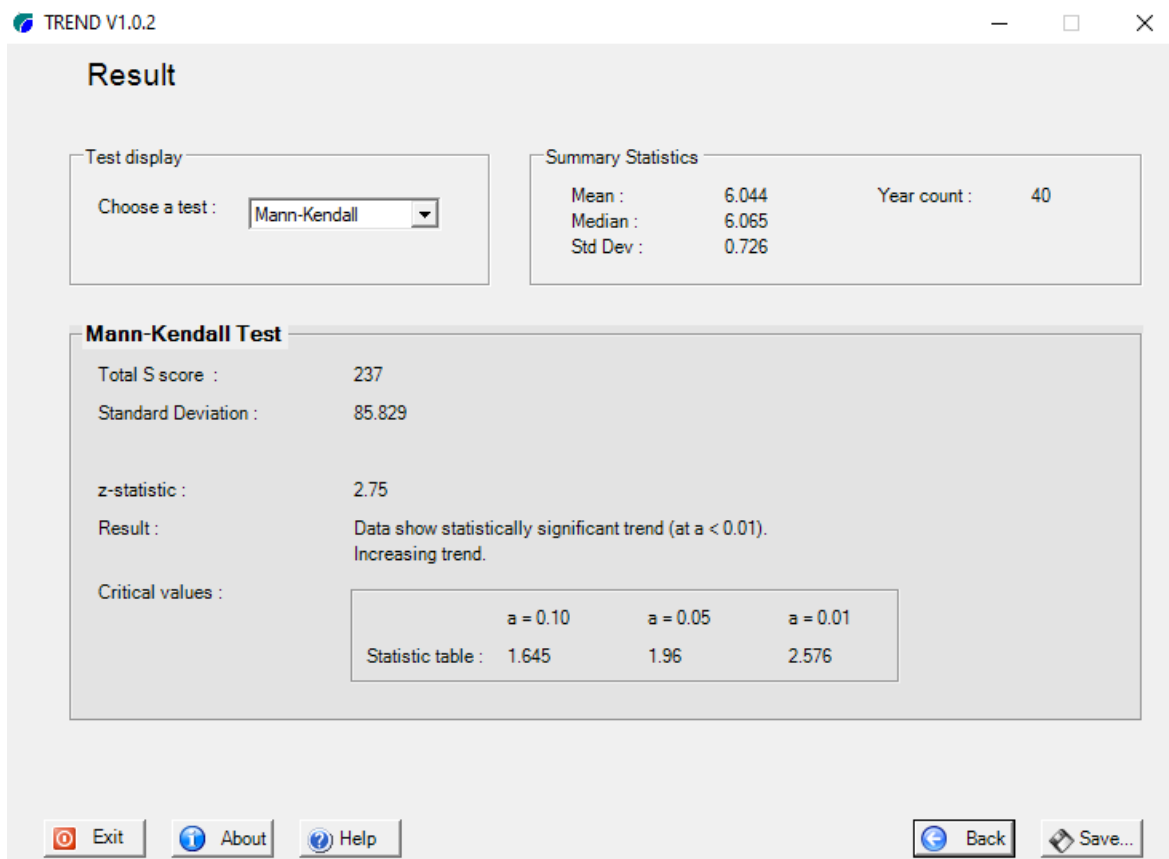
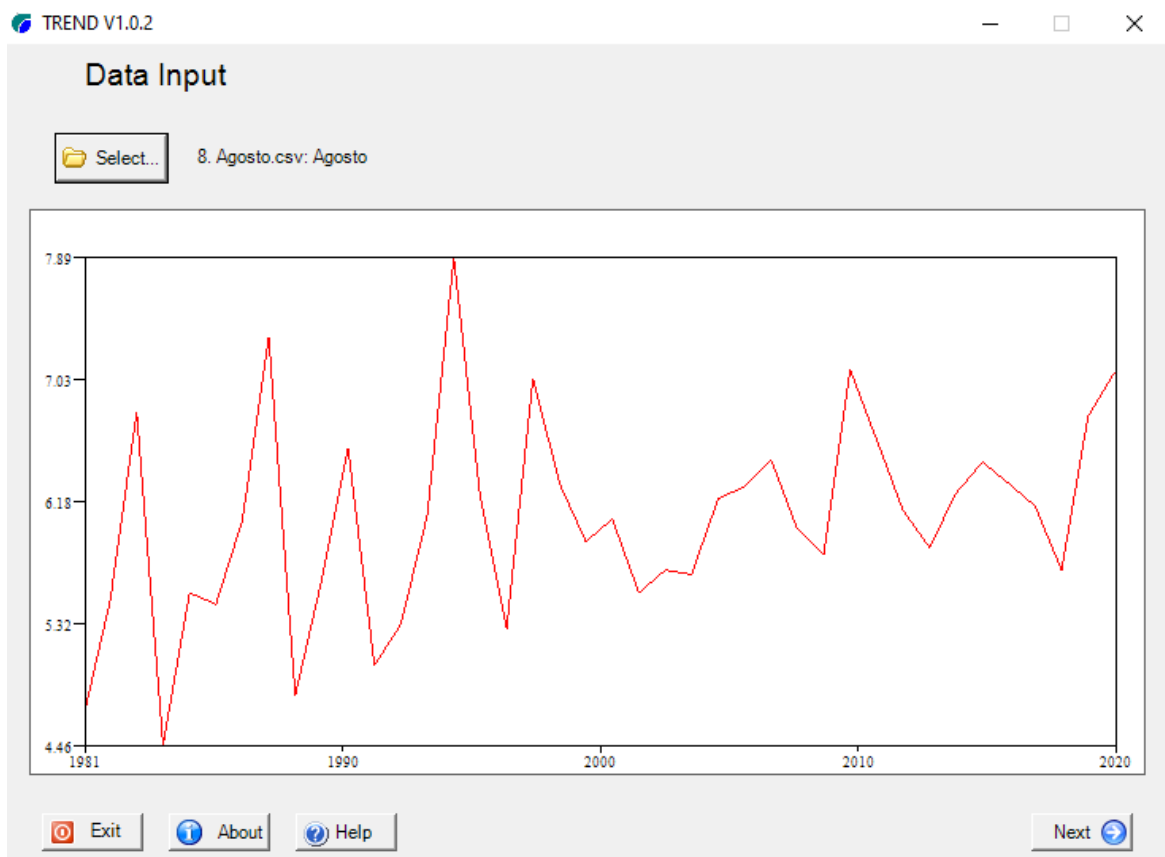
Junio



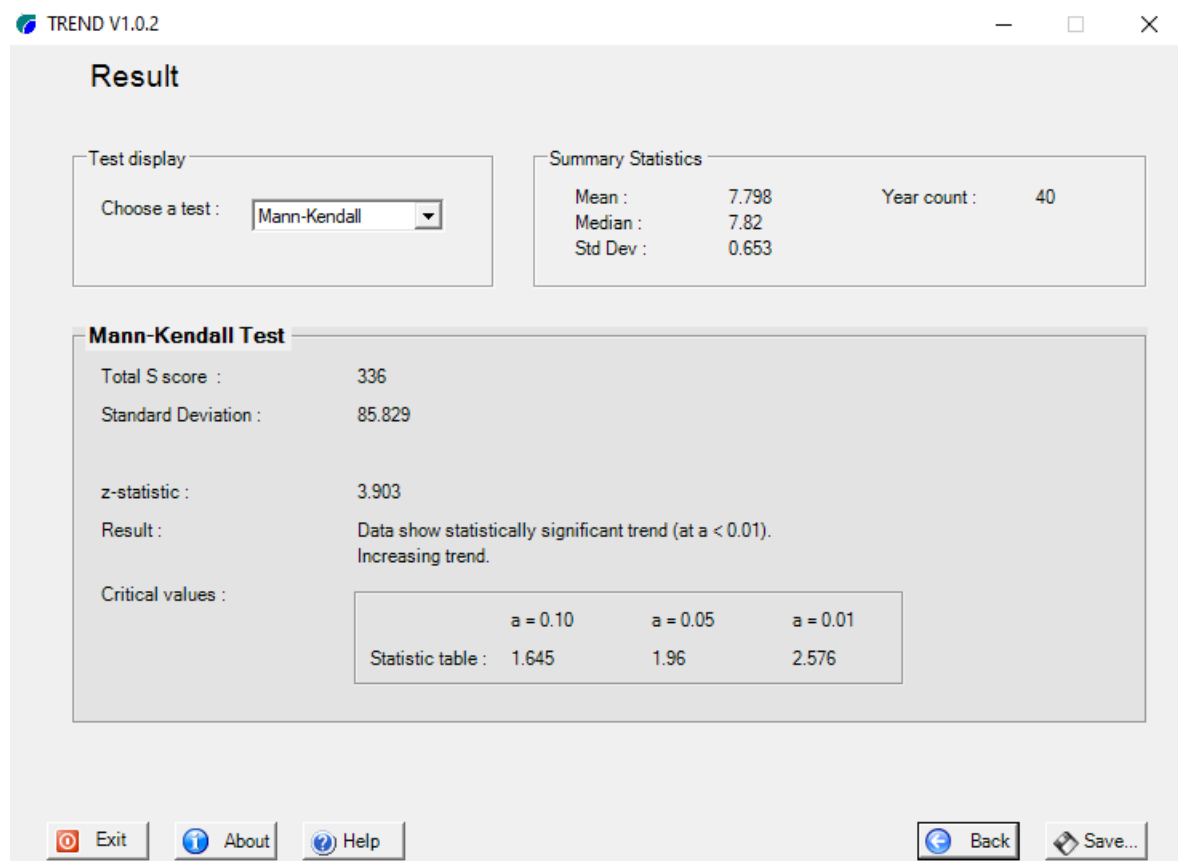
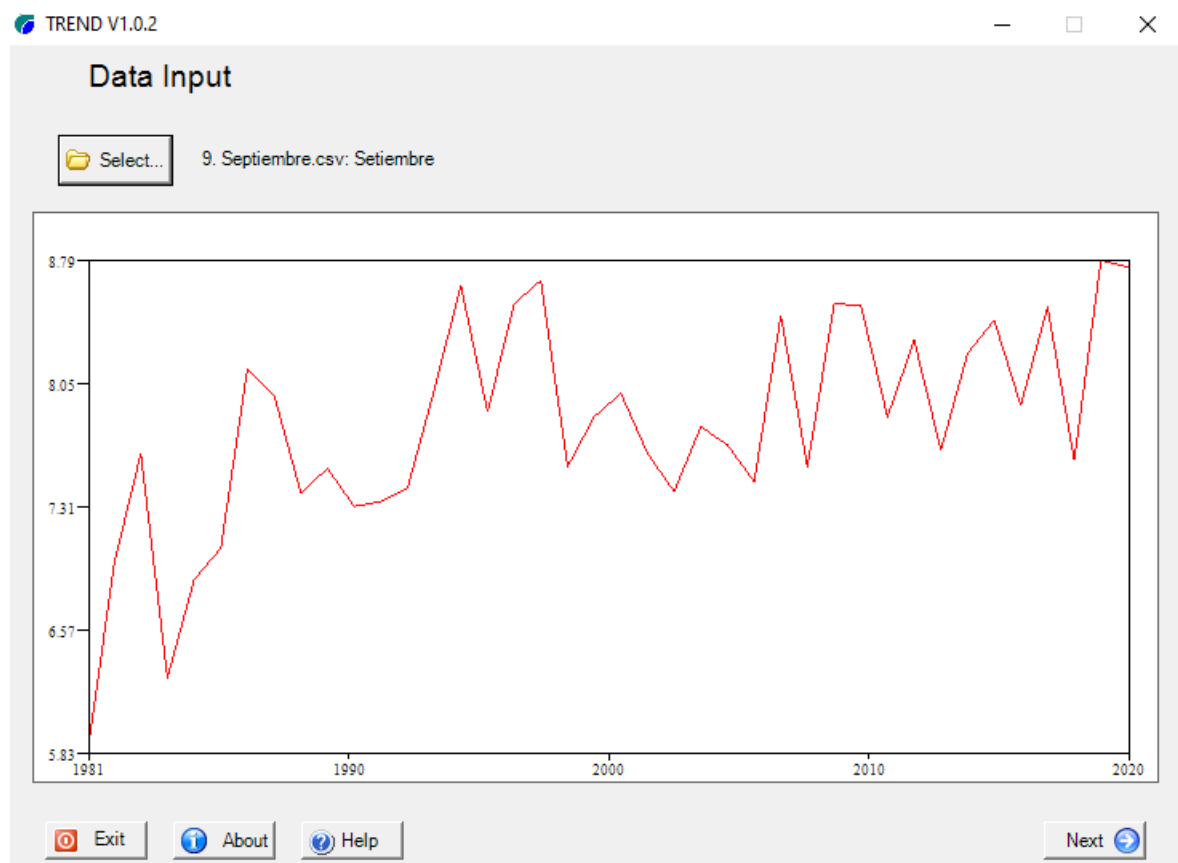
Julio



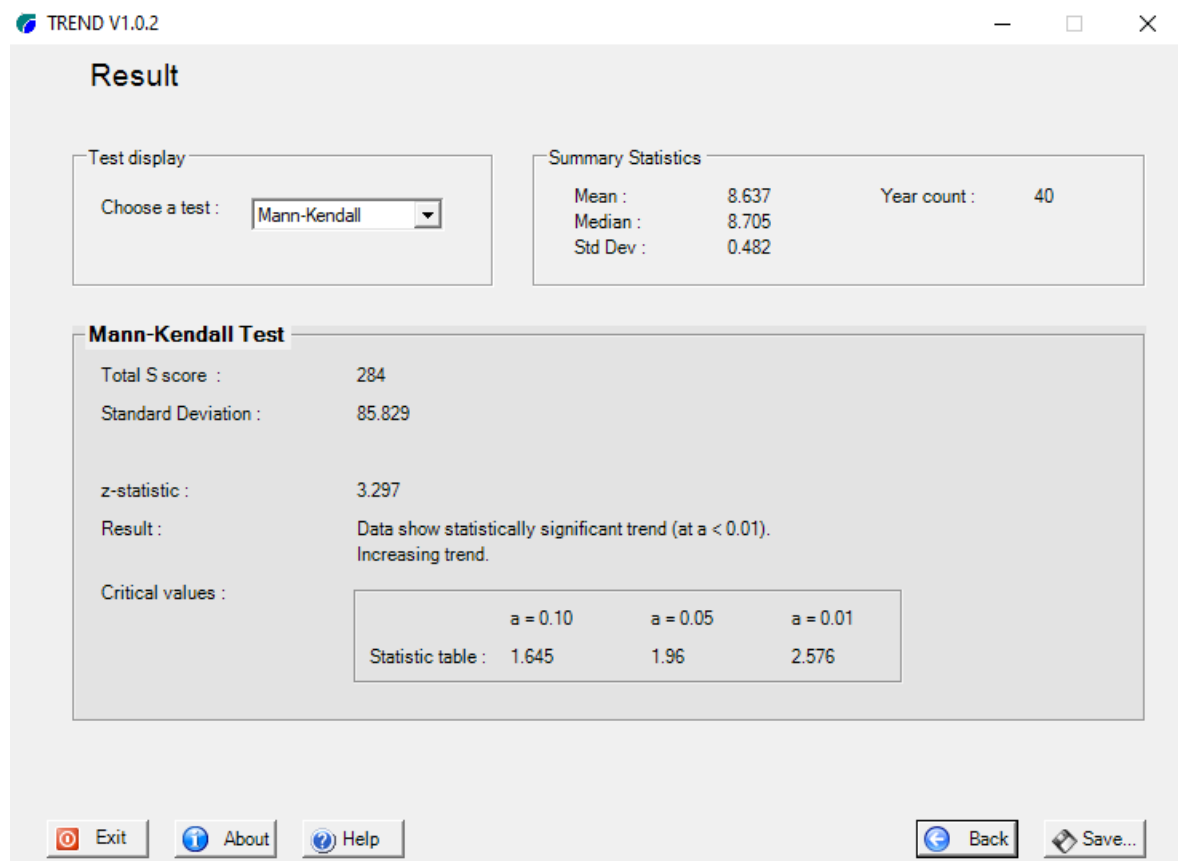
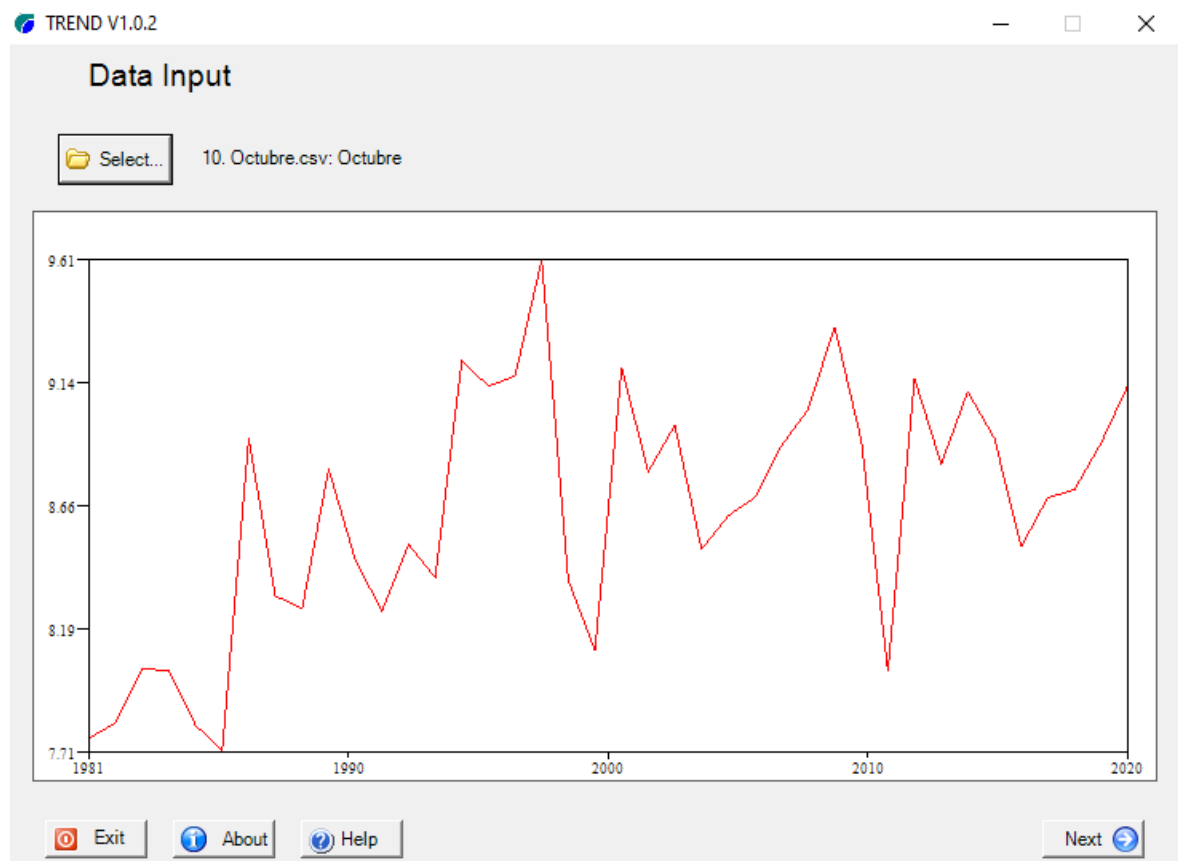
Agosto



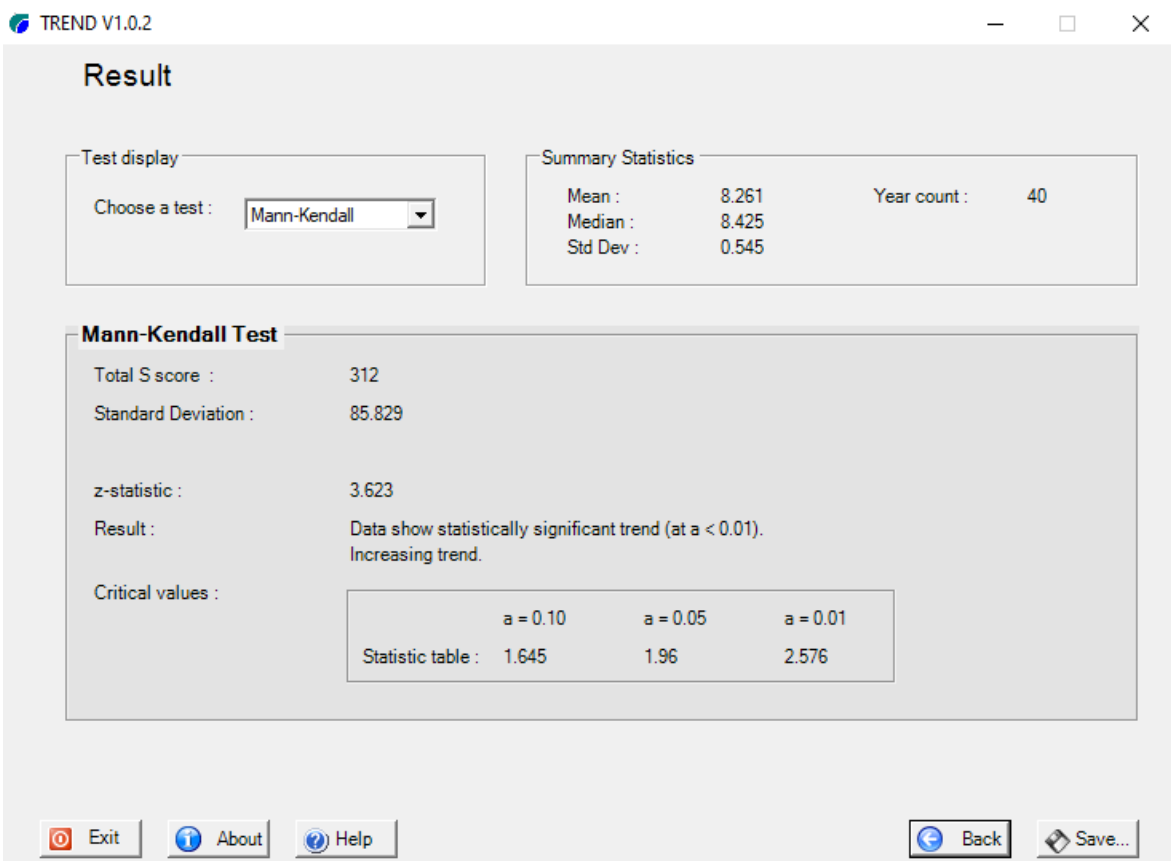
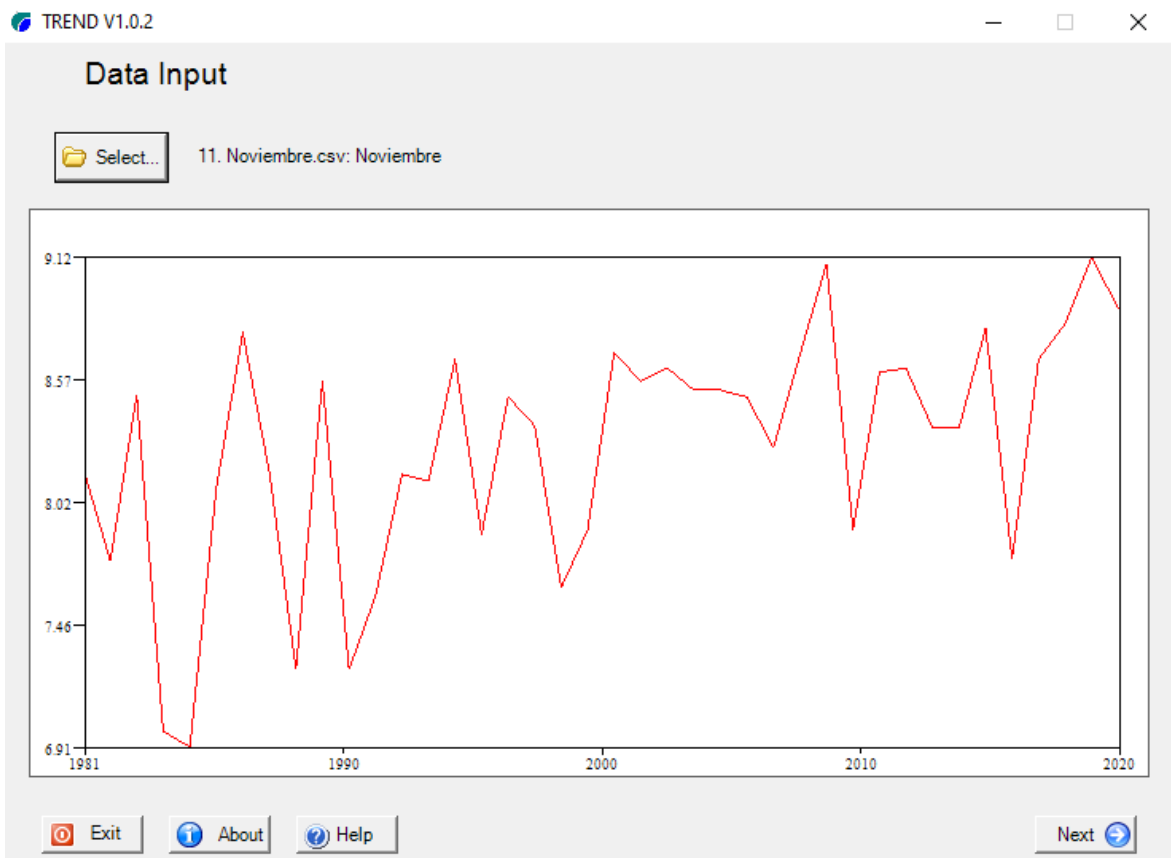
Septiembre



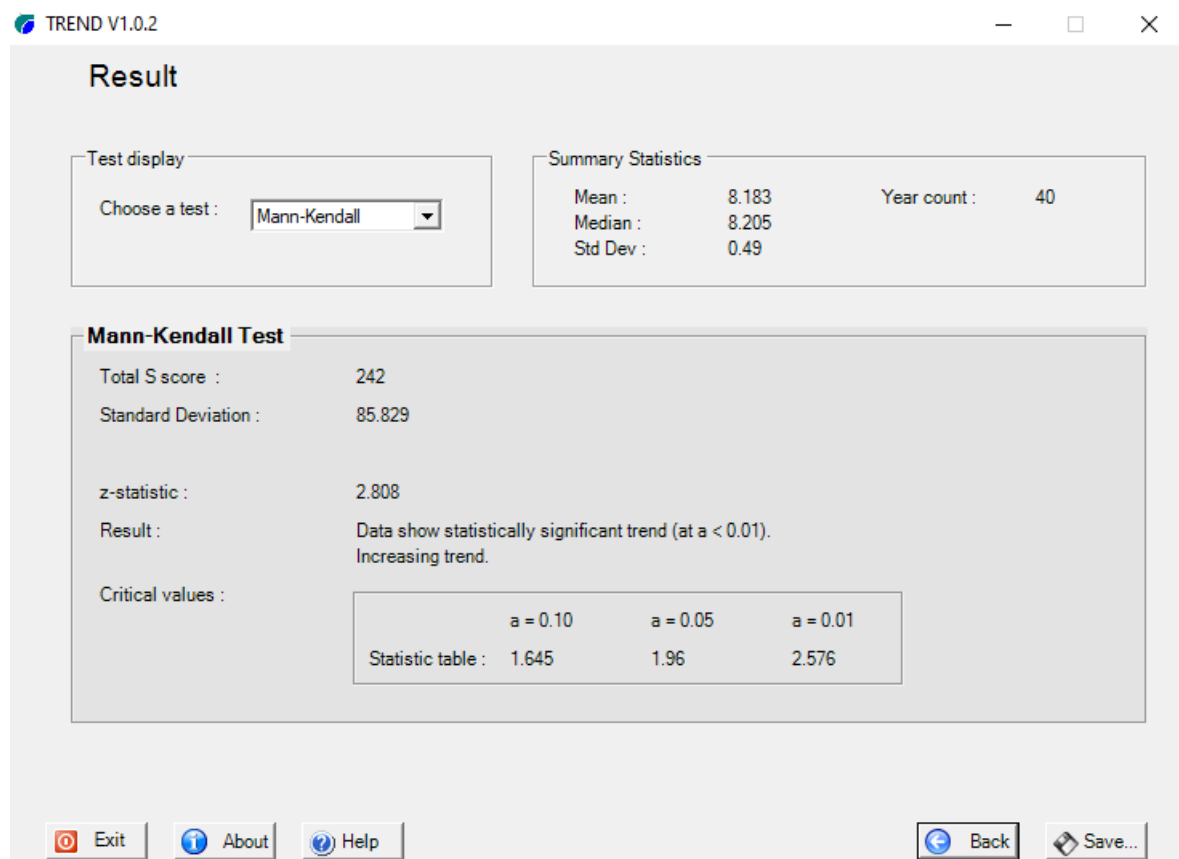
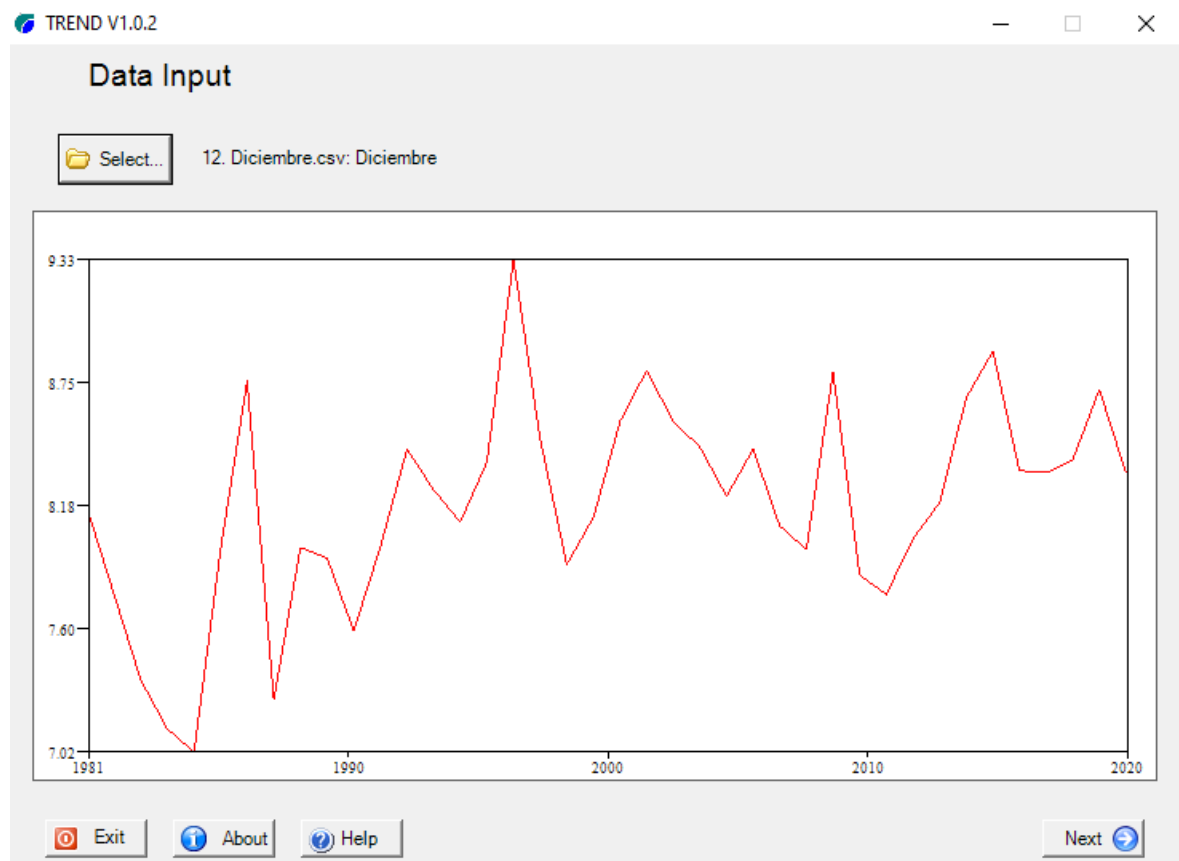
Octubre



Noviembre

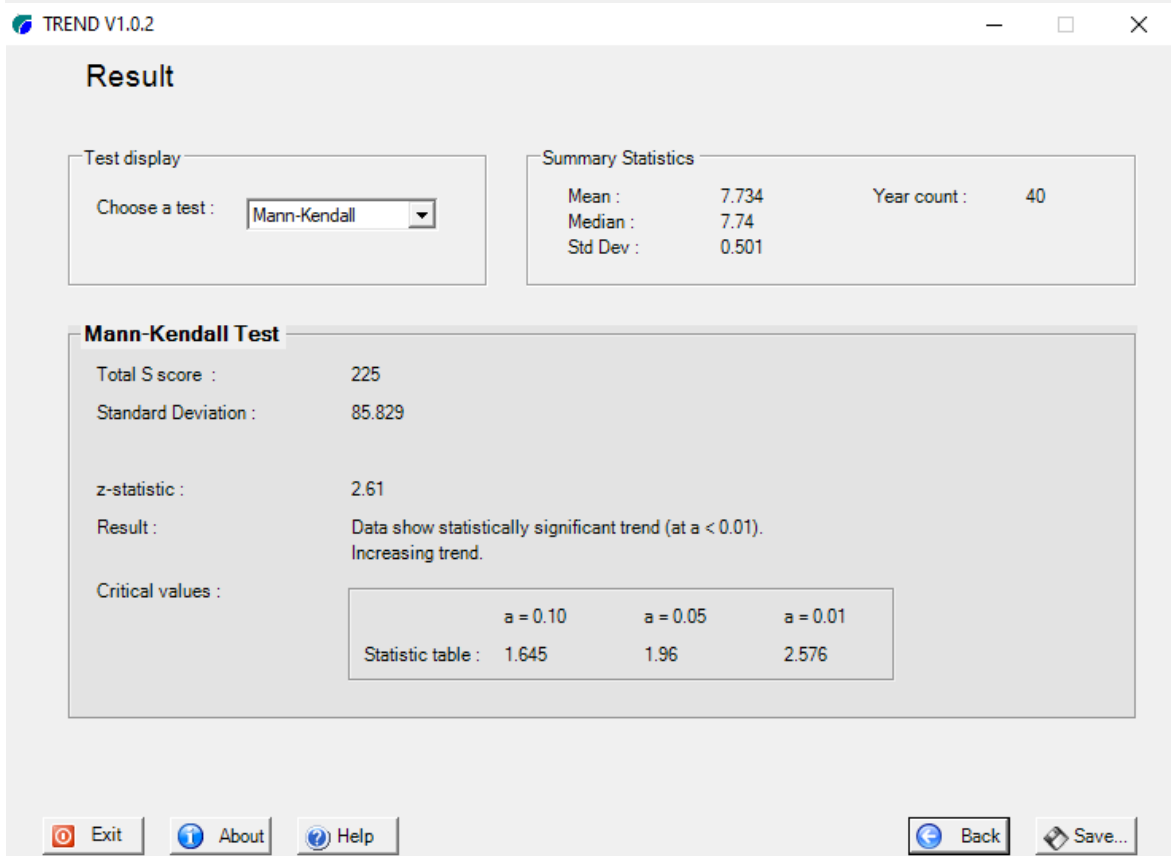
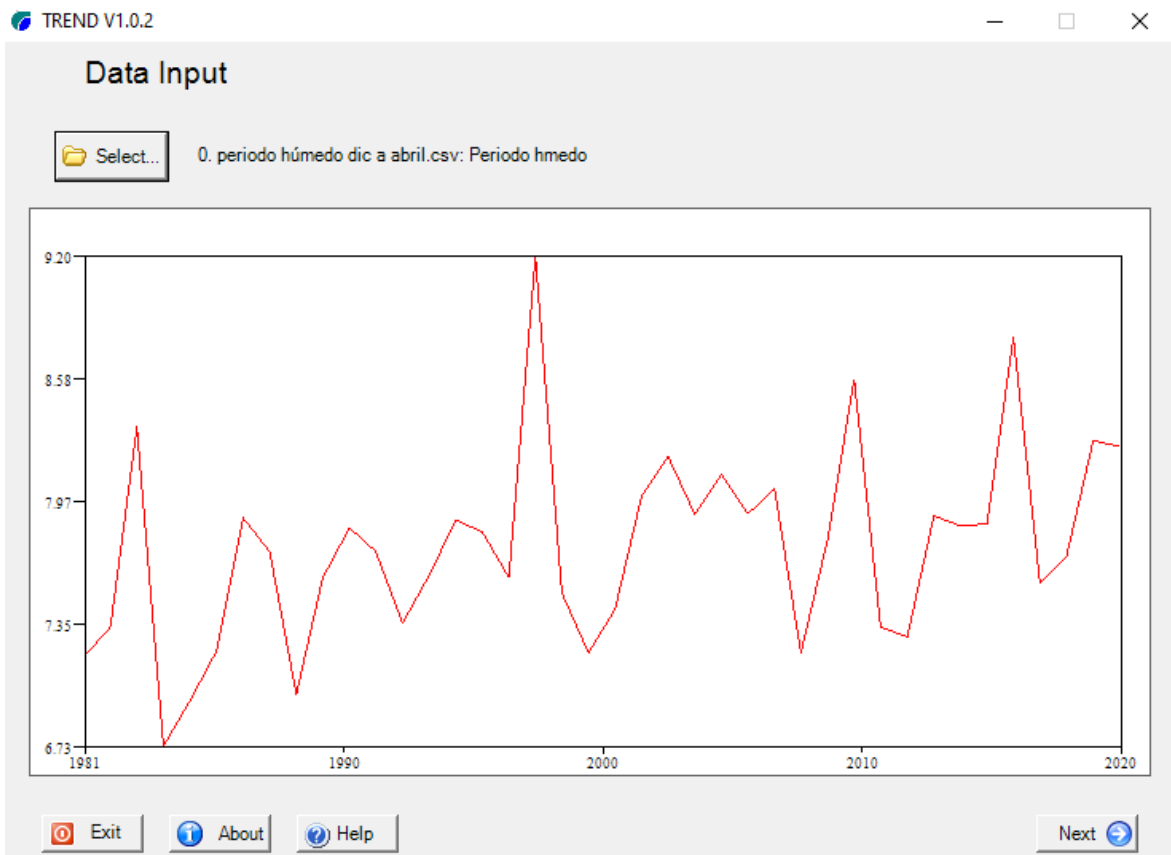


Diciembre

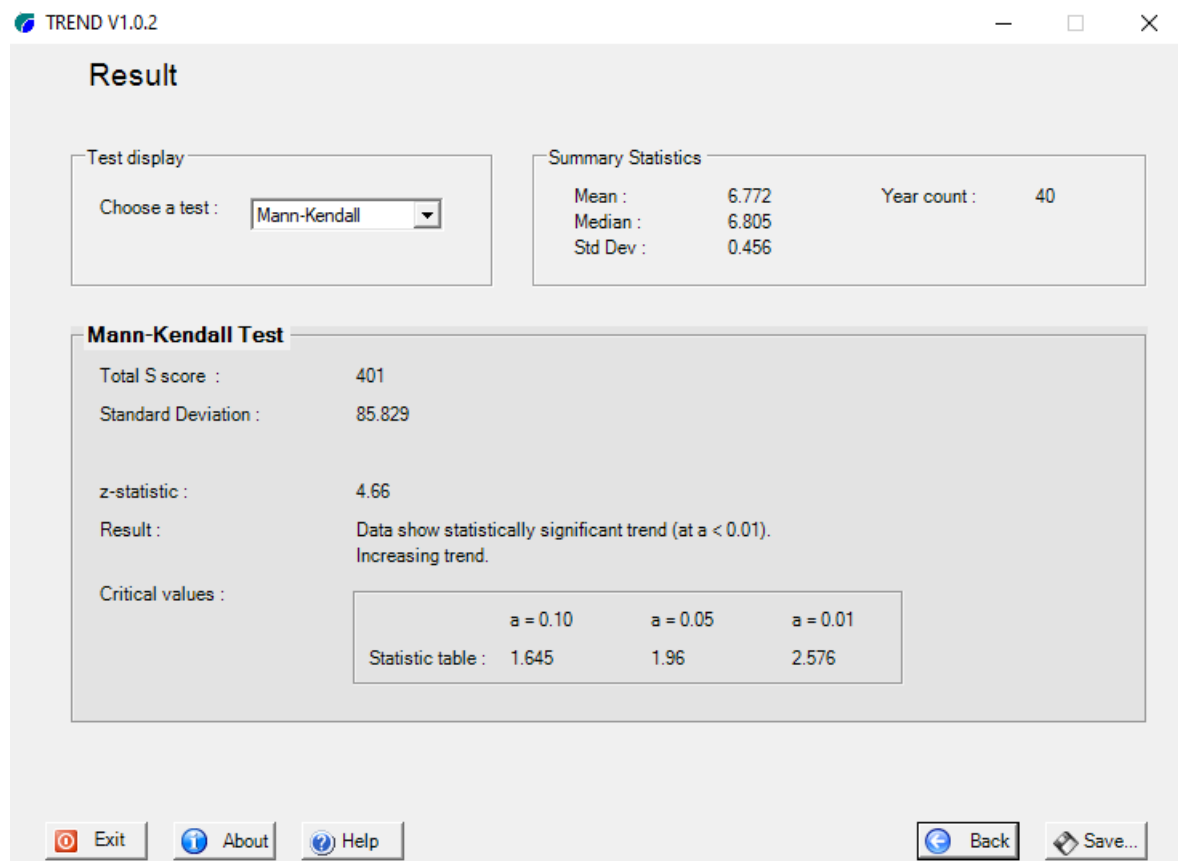
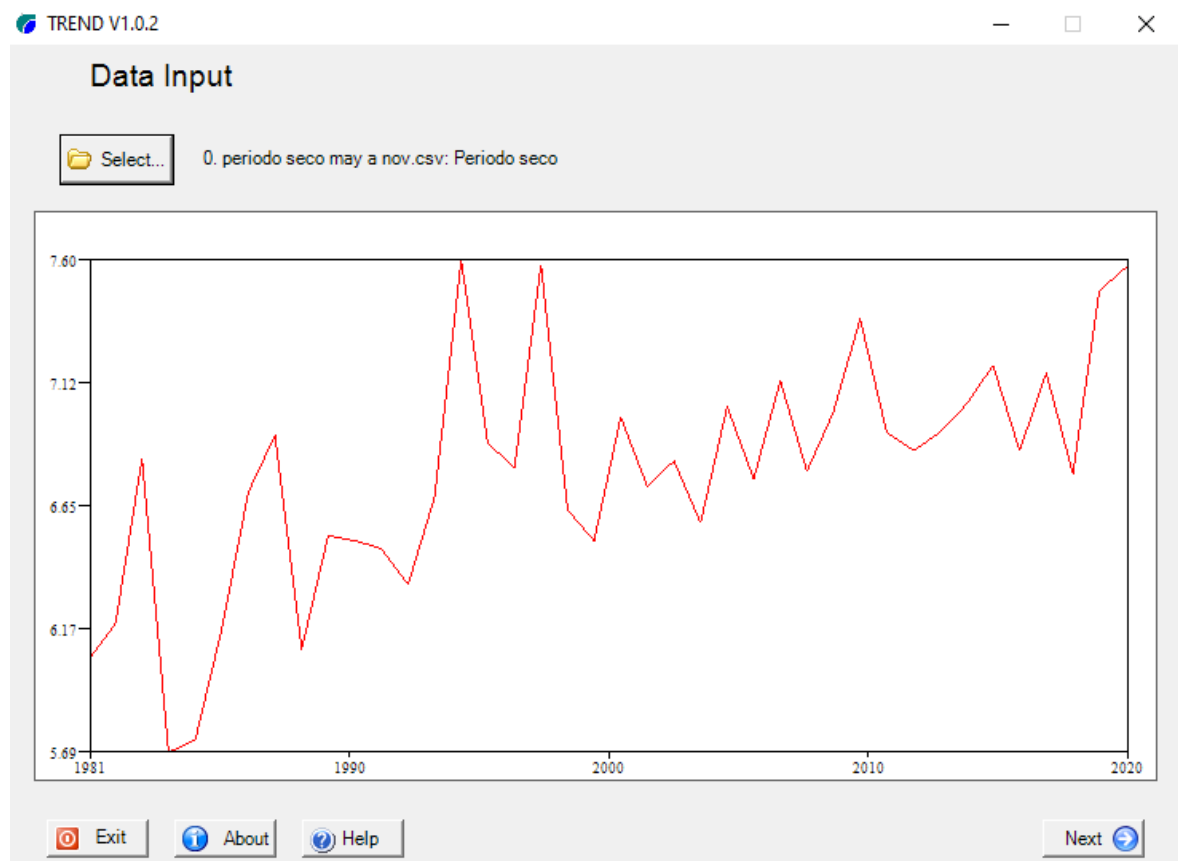


Periodo estacional

Periodo húmedo



Periodo seco



ESTACIÓN A-2

Latitud: -15.228118, Longitud: -71.824619, Altitud: 4422 m.s.n.m.

Departamento: Arequipa

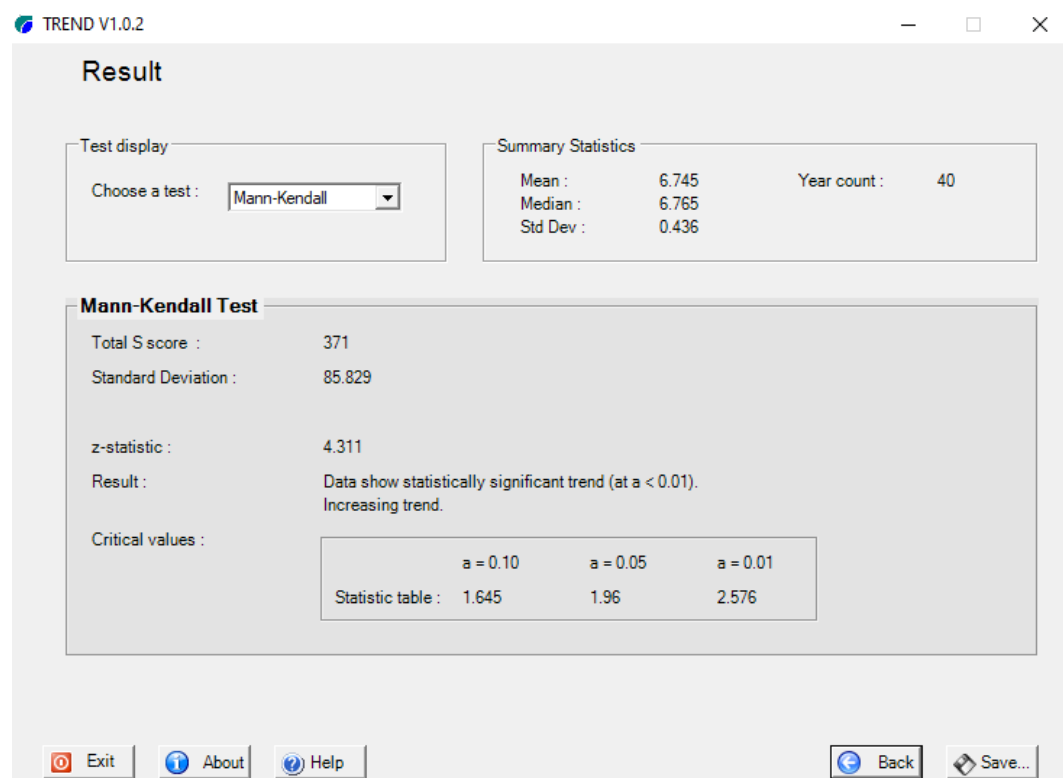
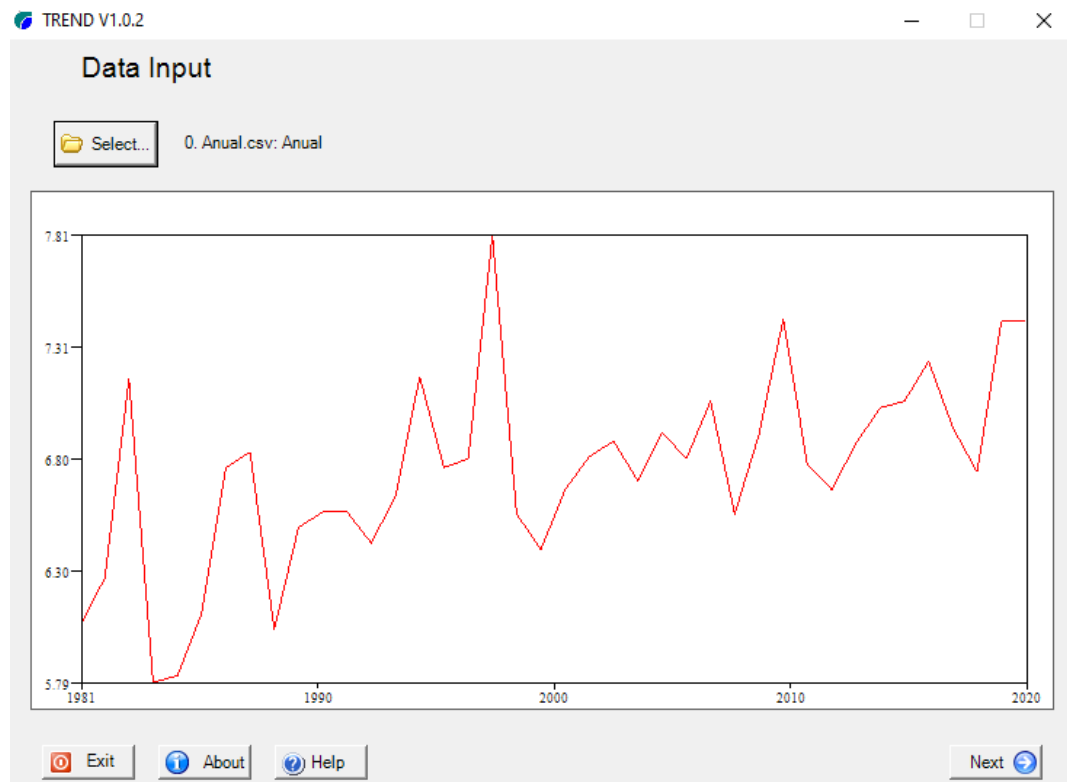
Provincia: Caylloma

Distrito: Caylloma

Temperatura
media (°C)

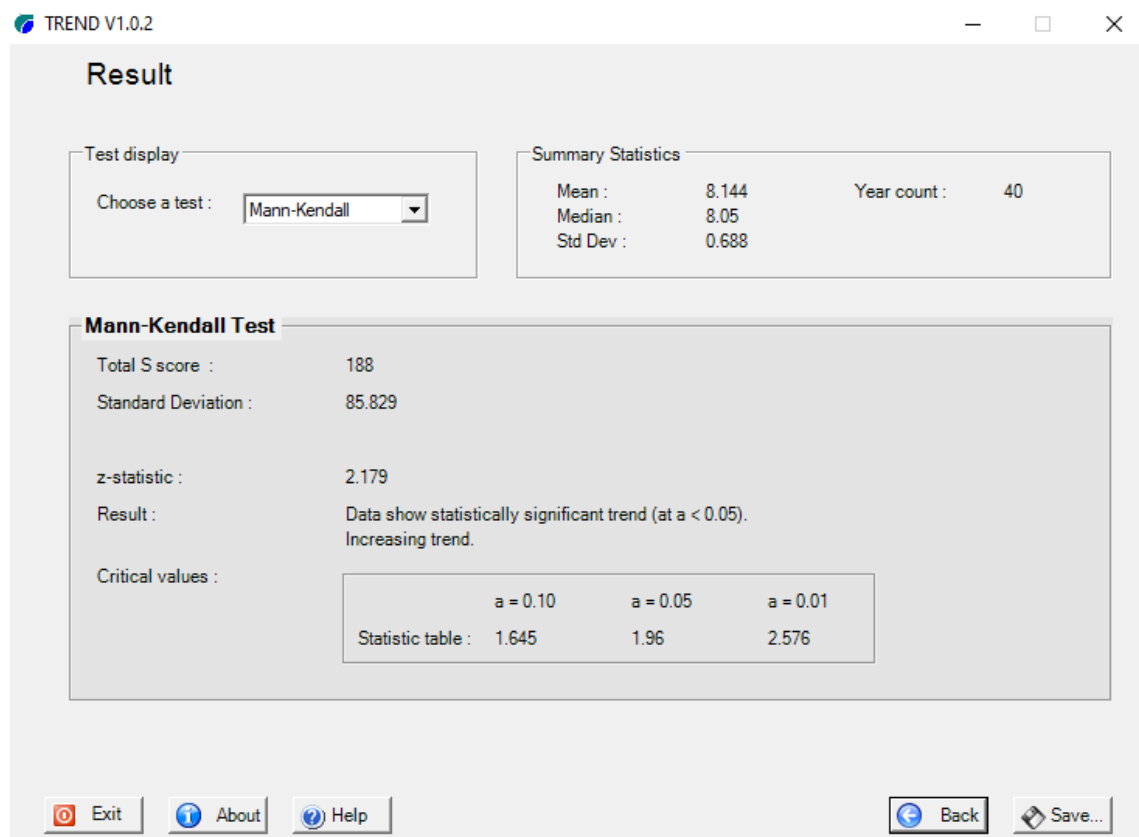
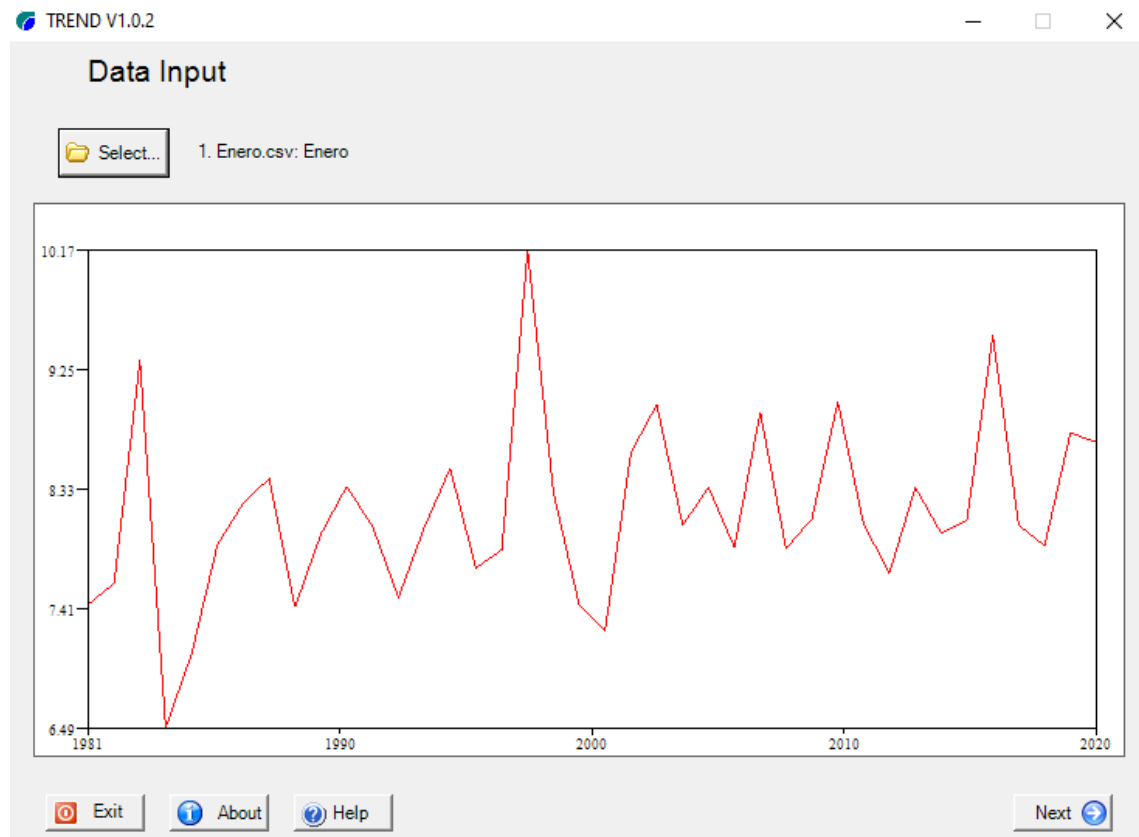
Periodo 1981-2020

Periodo anual

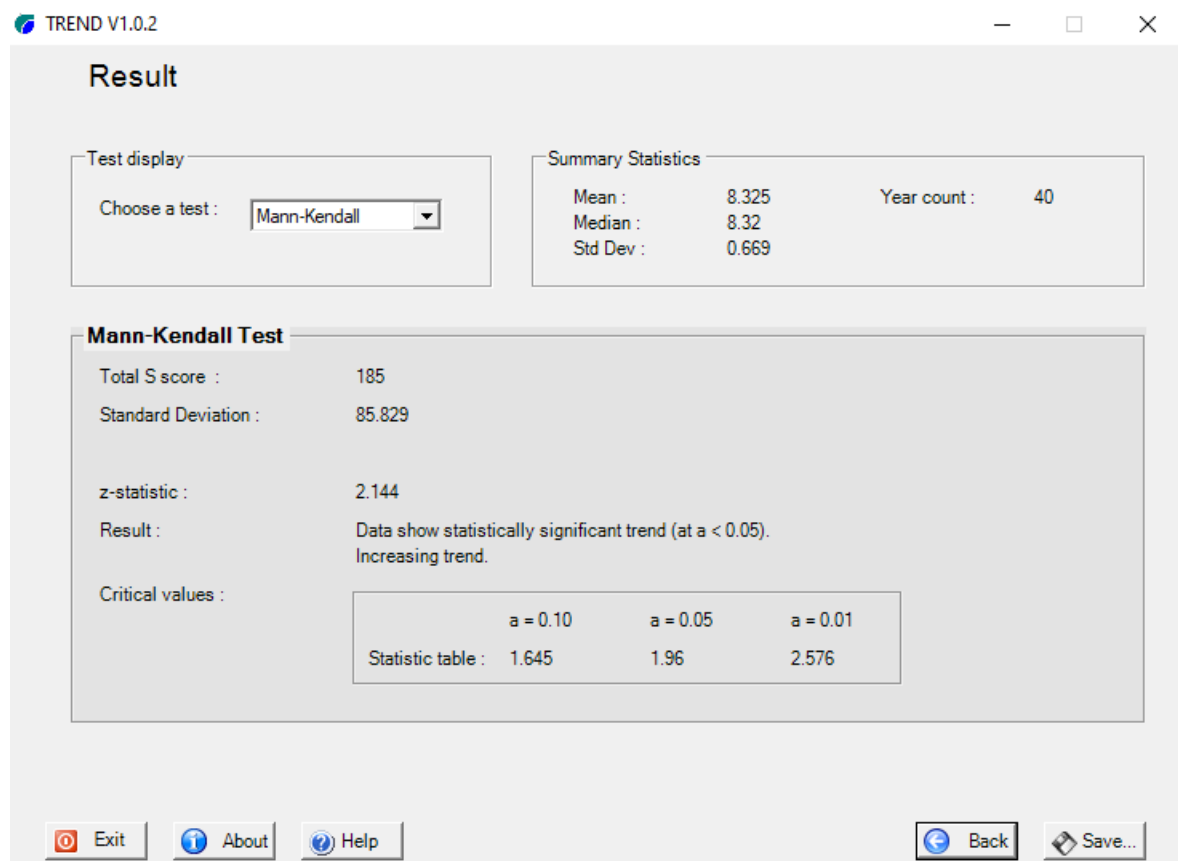
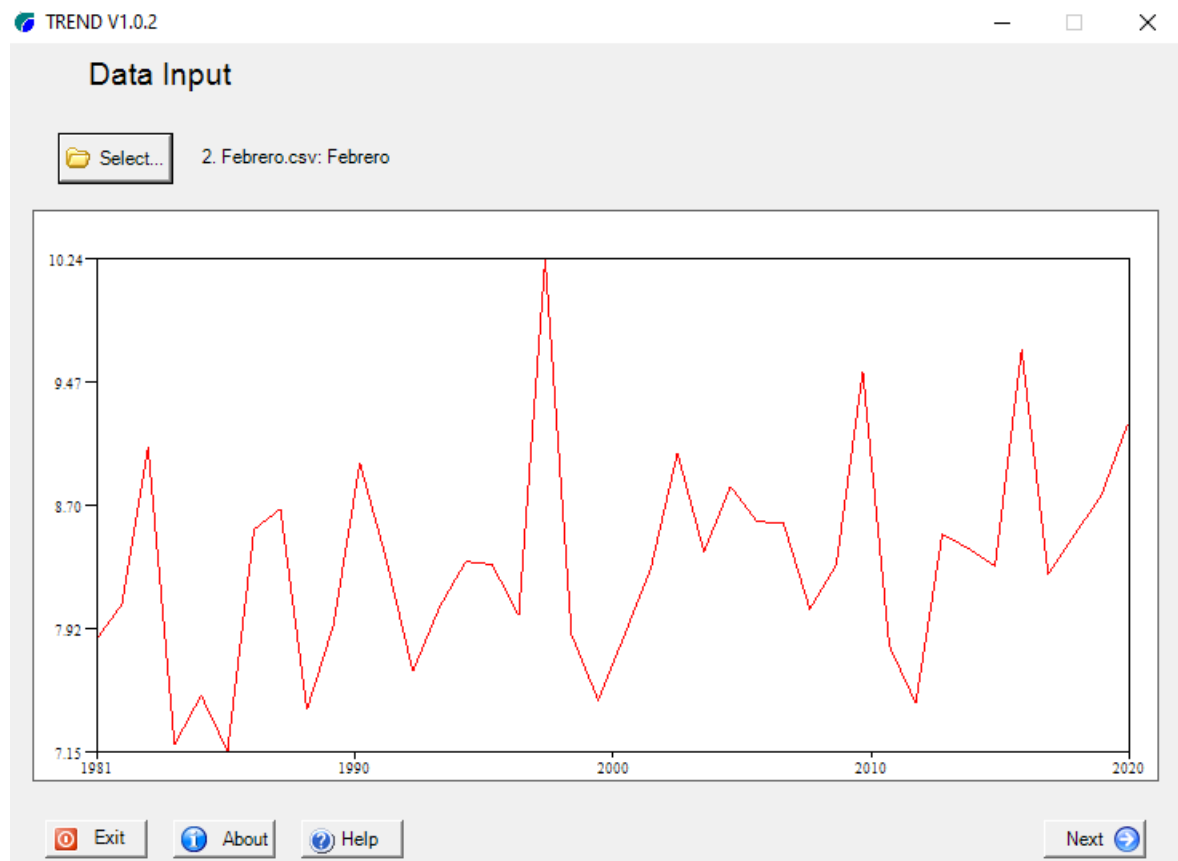


Periodo mensual

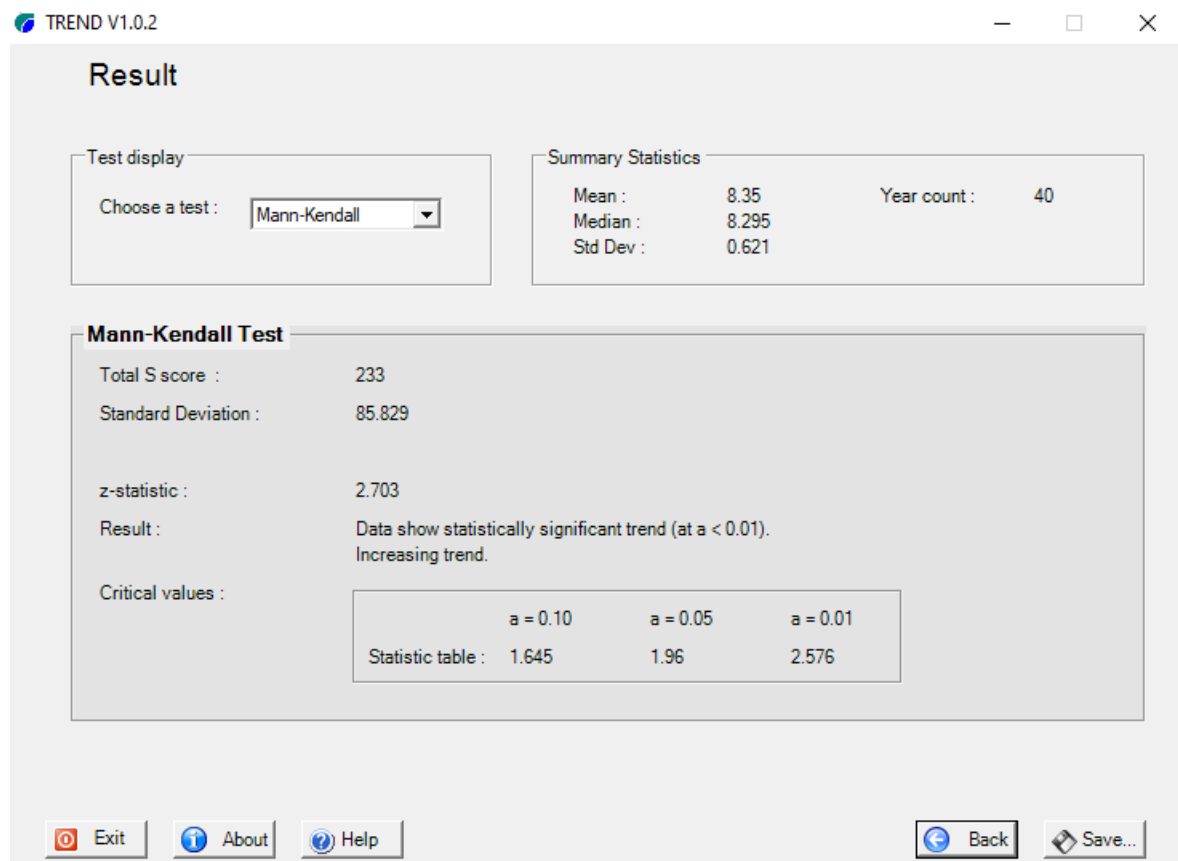
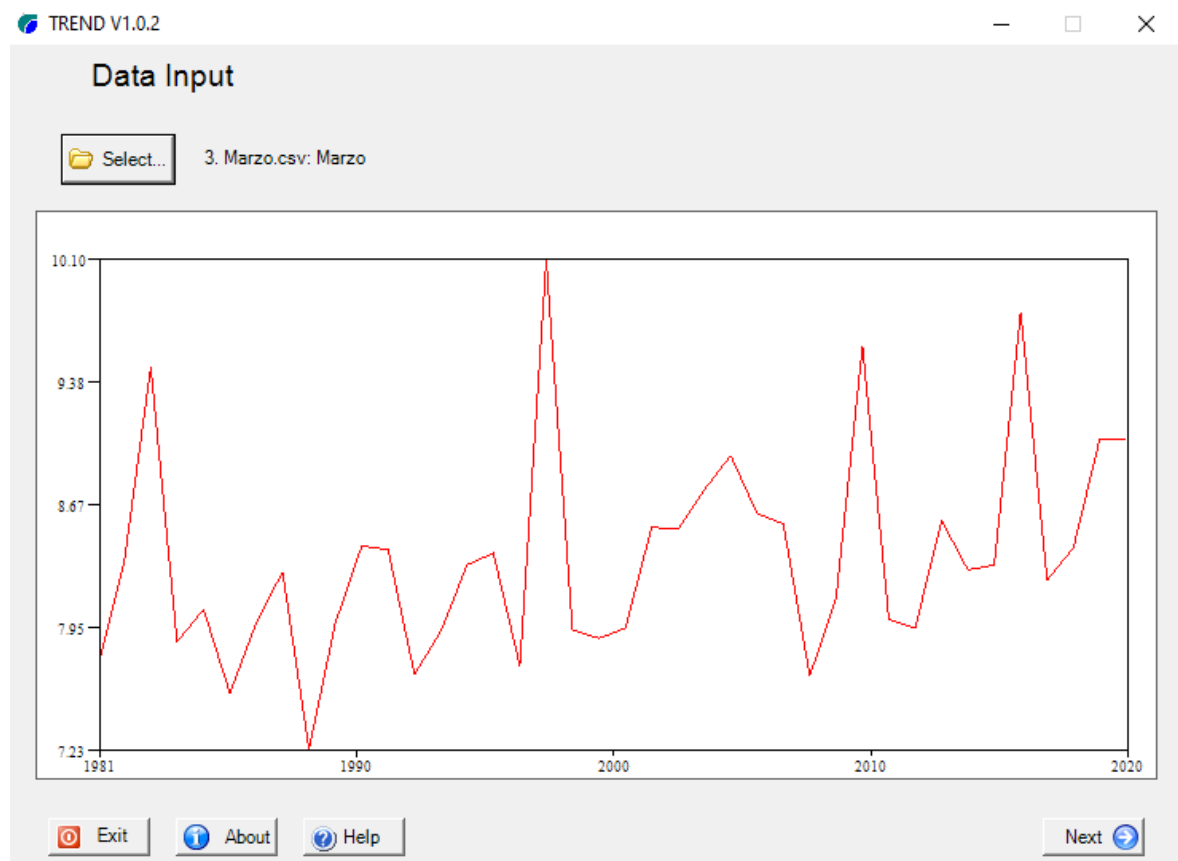
Enero



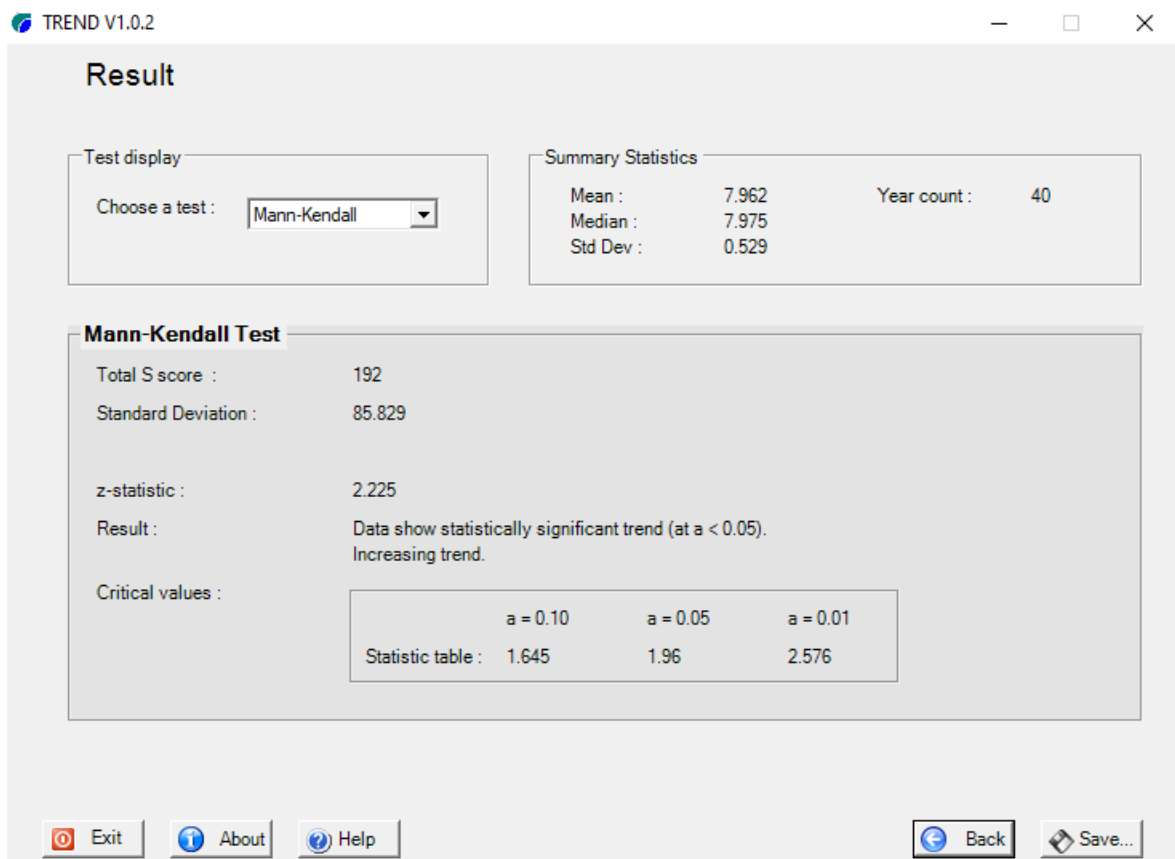
Febrero



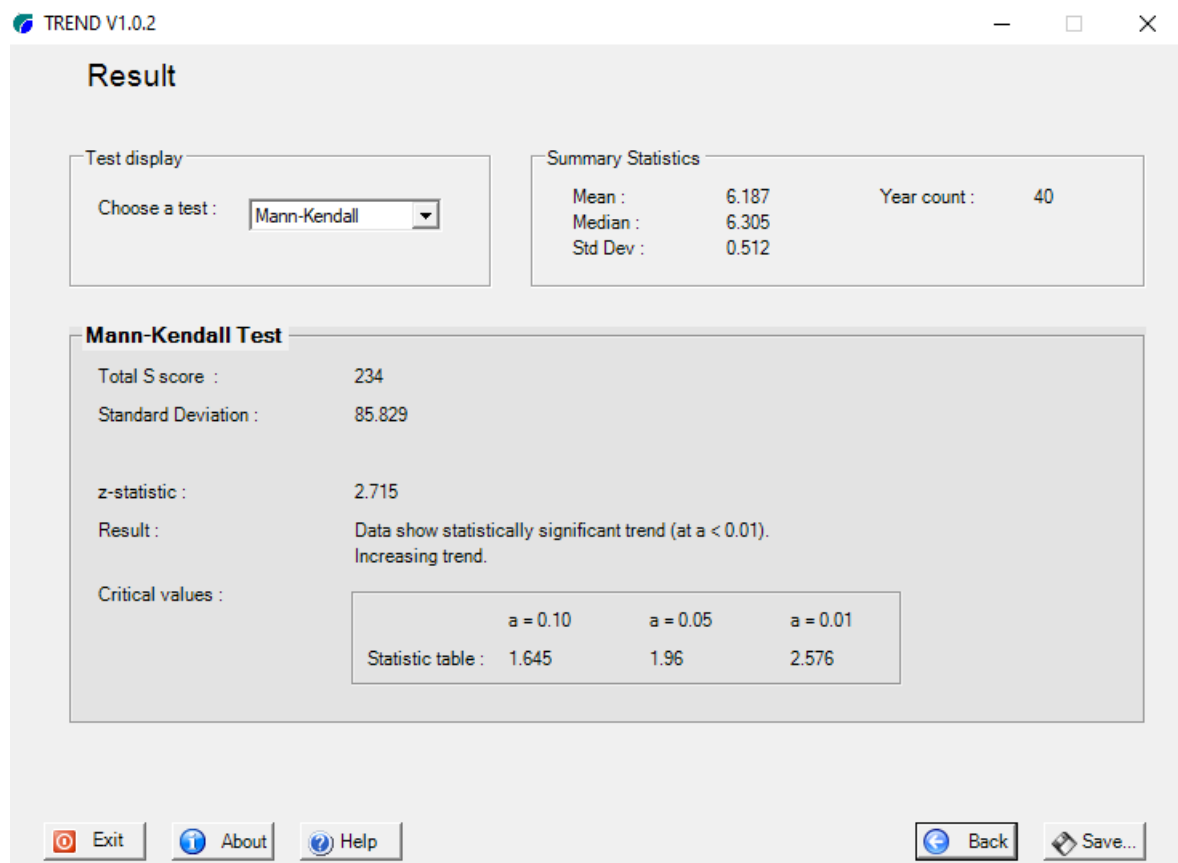
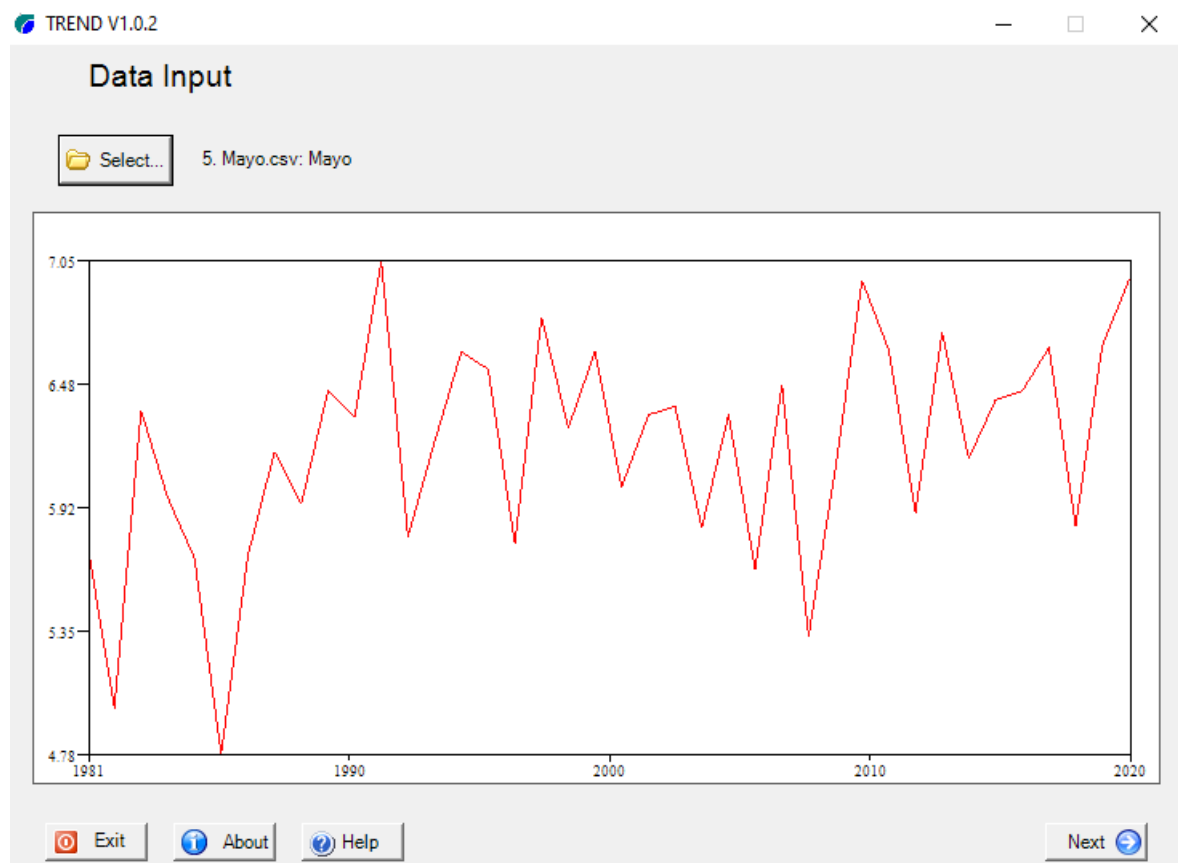
Marzo



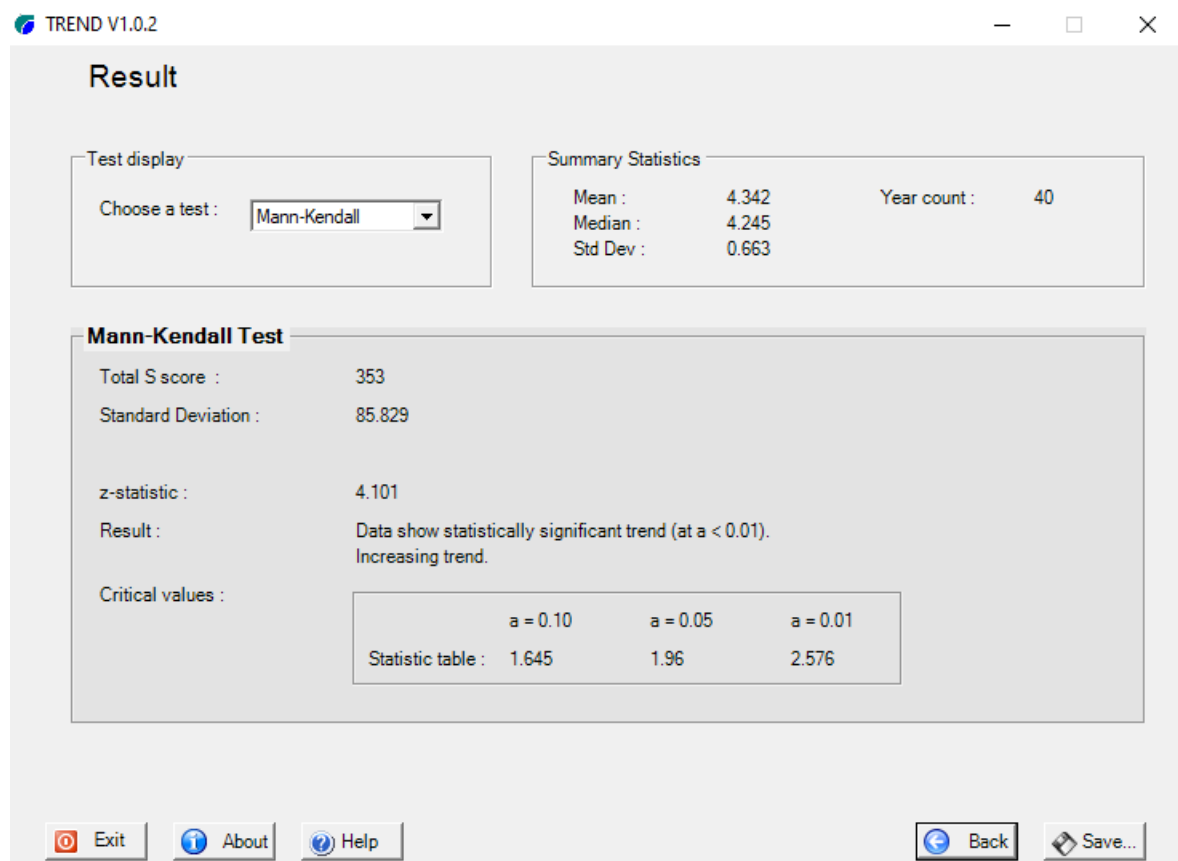
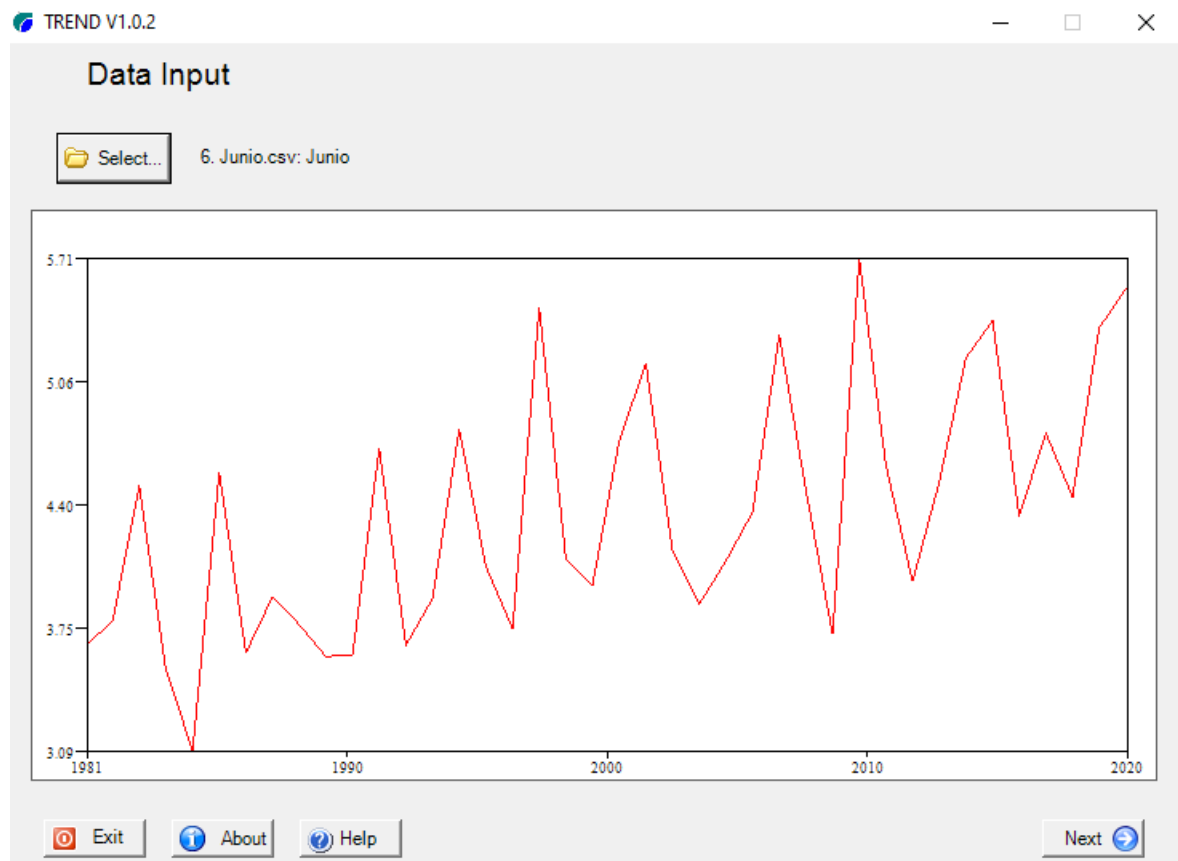
Abril



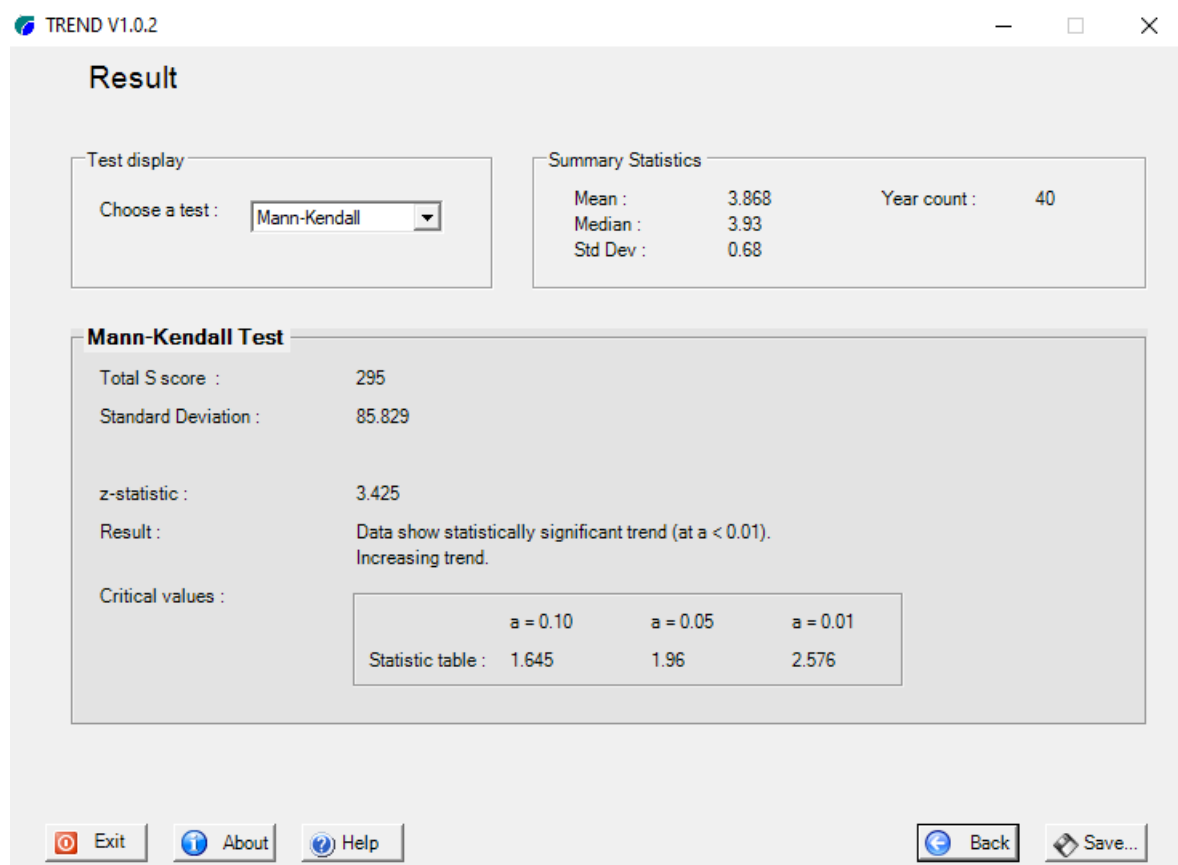
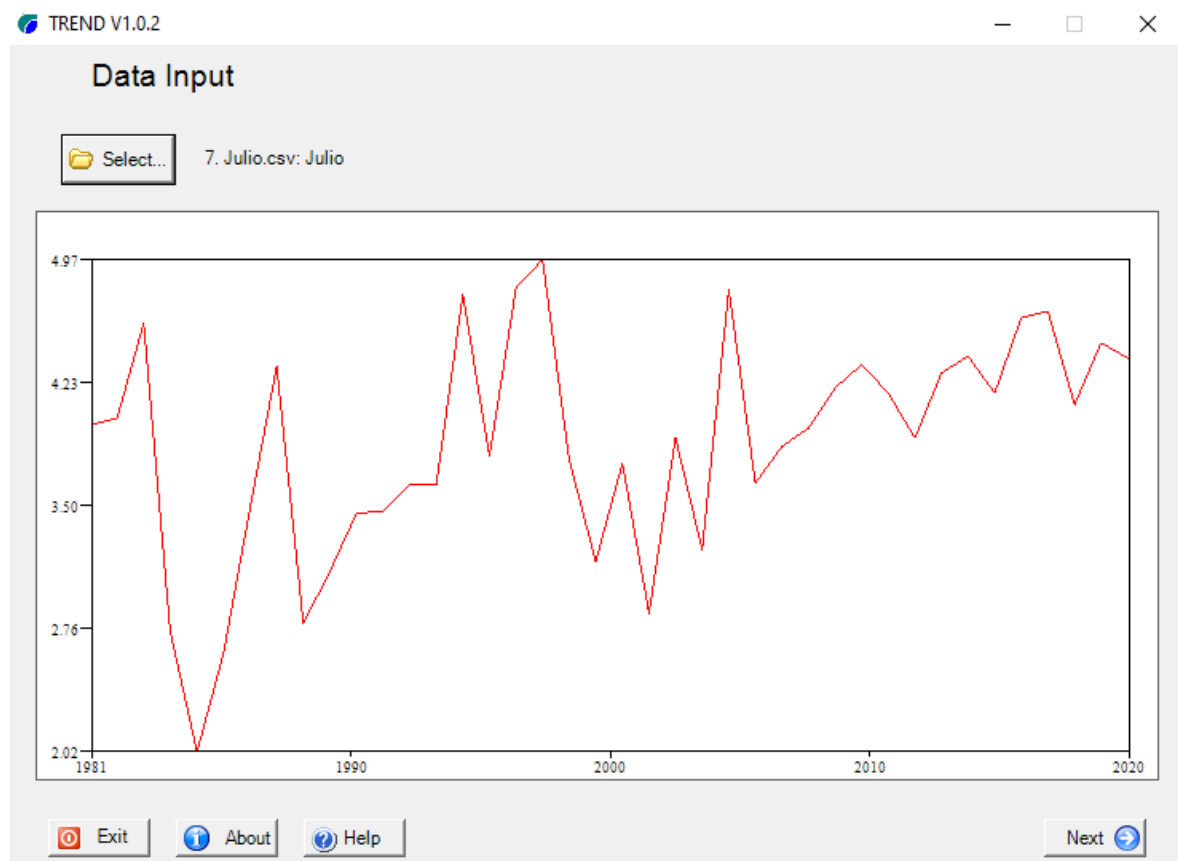
Mayo



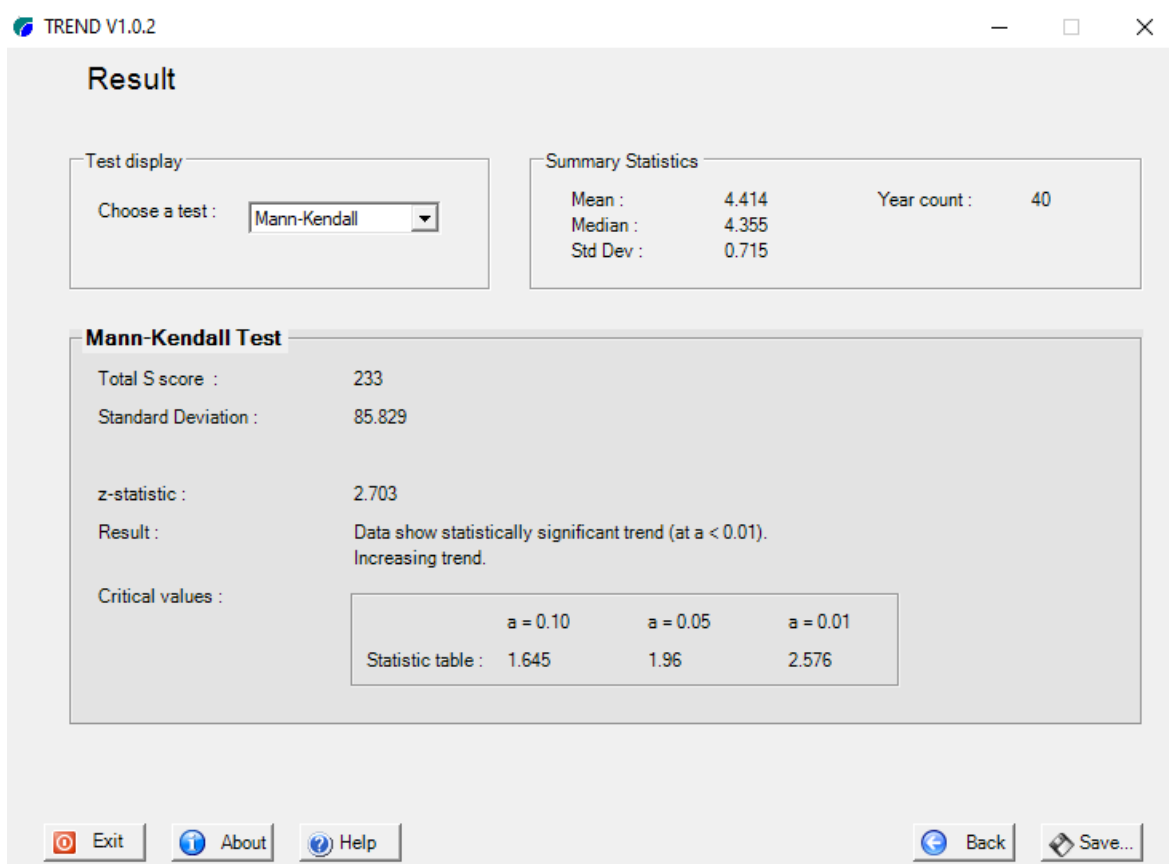
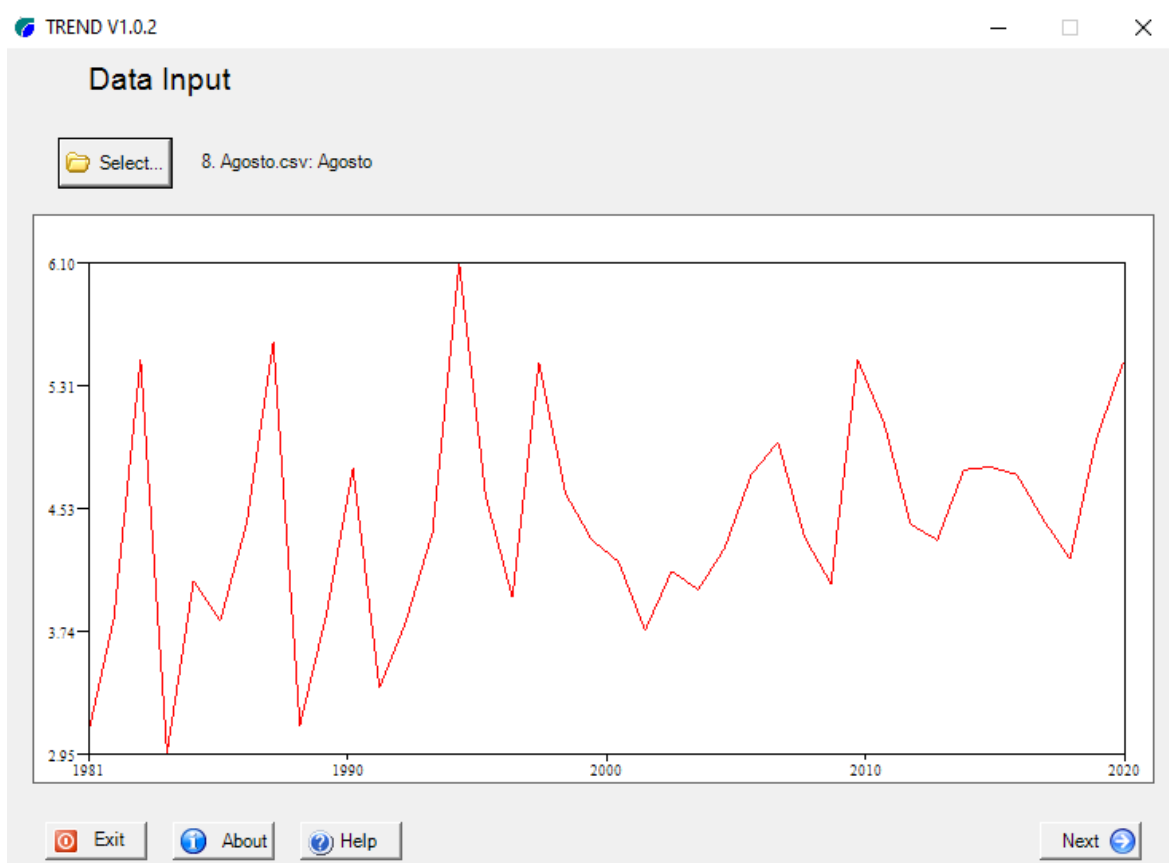
Junio



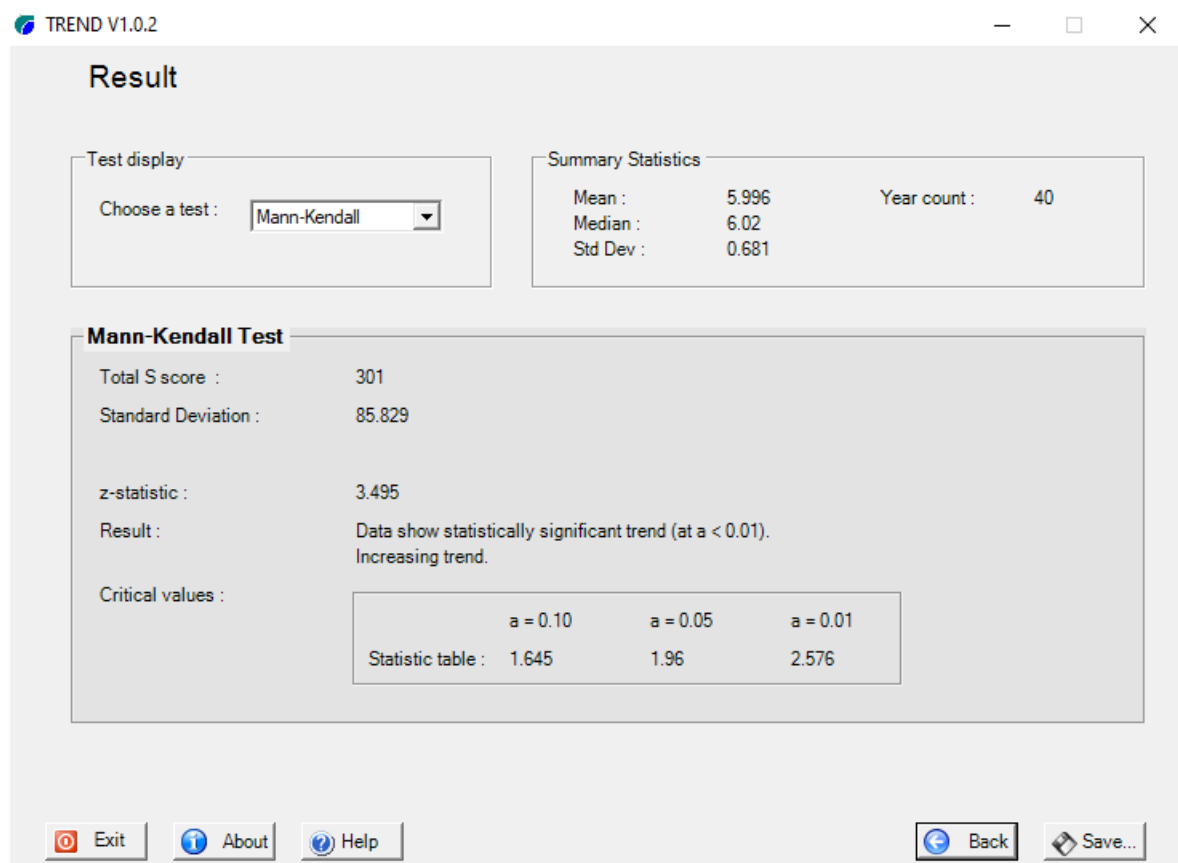
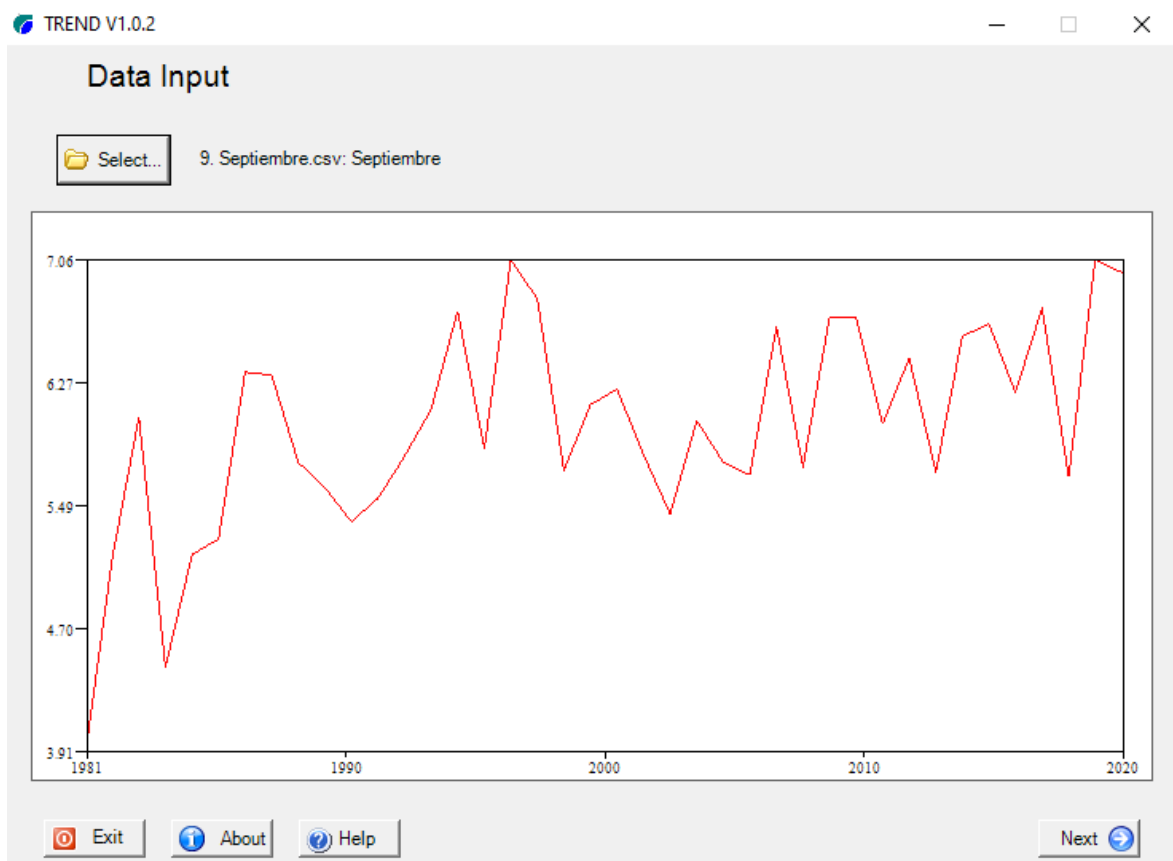
Julio



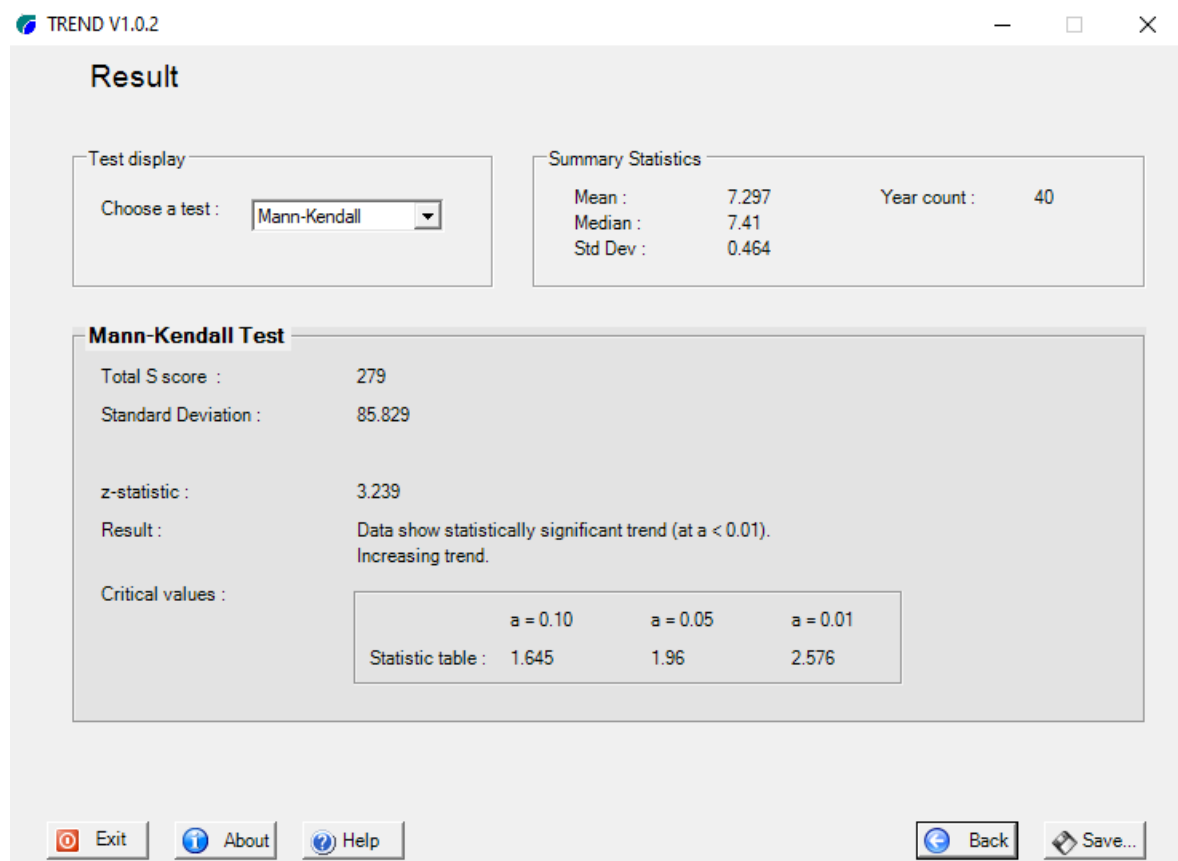
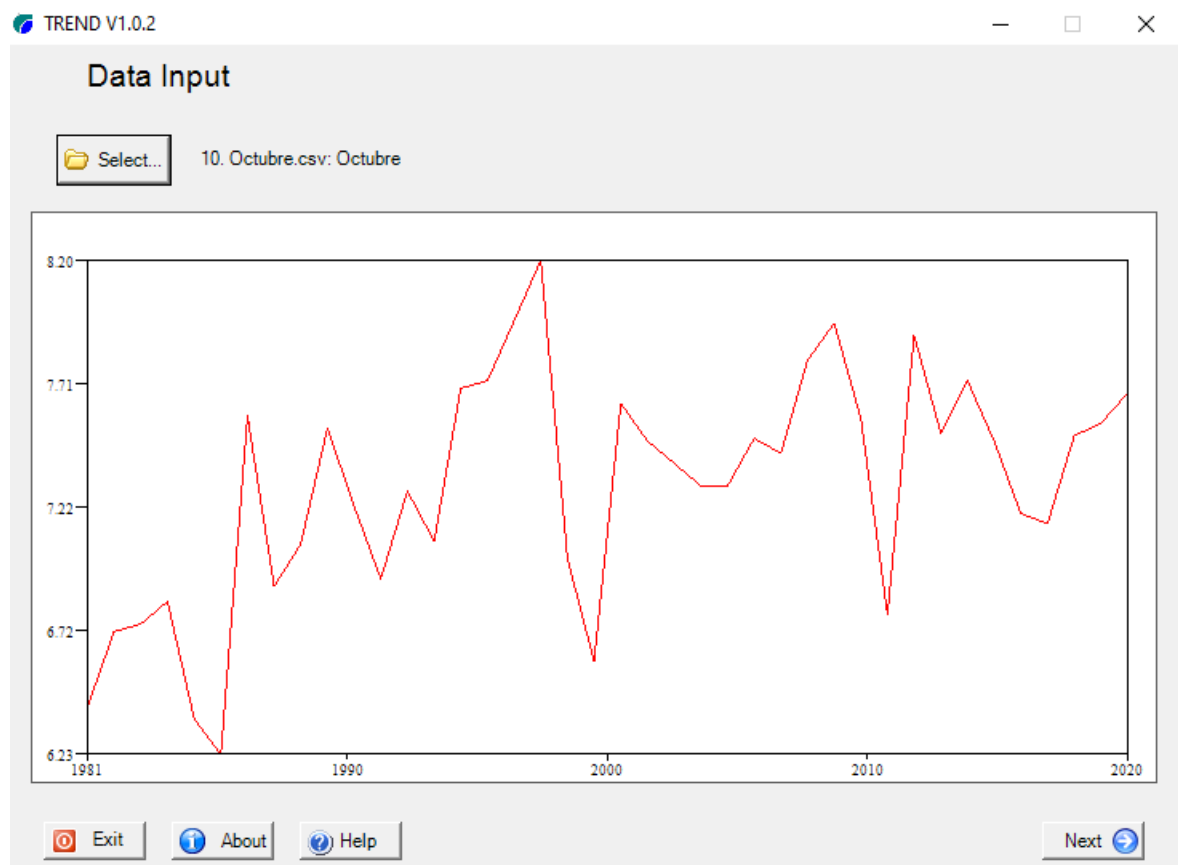
Agosto



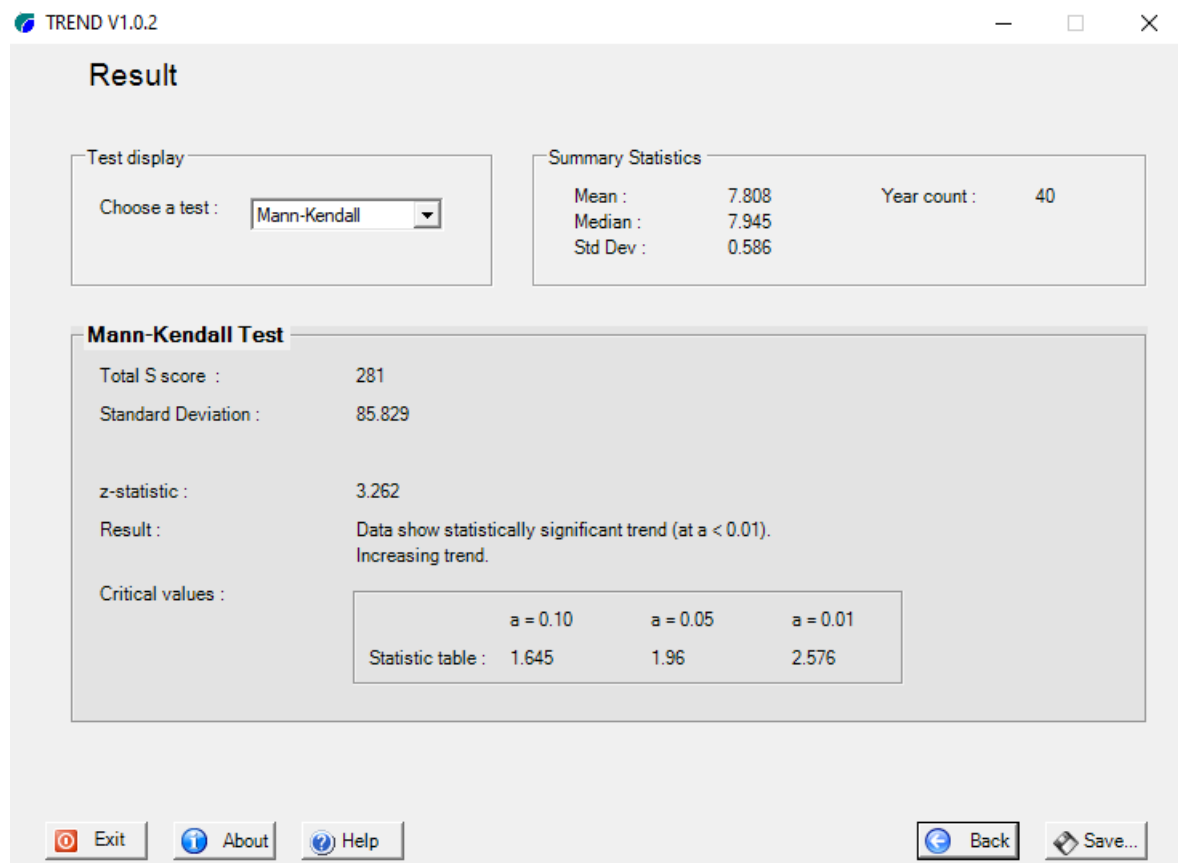
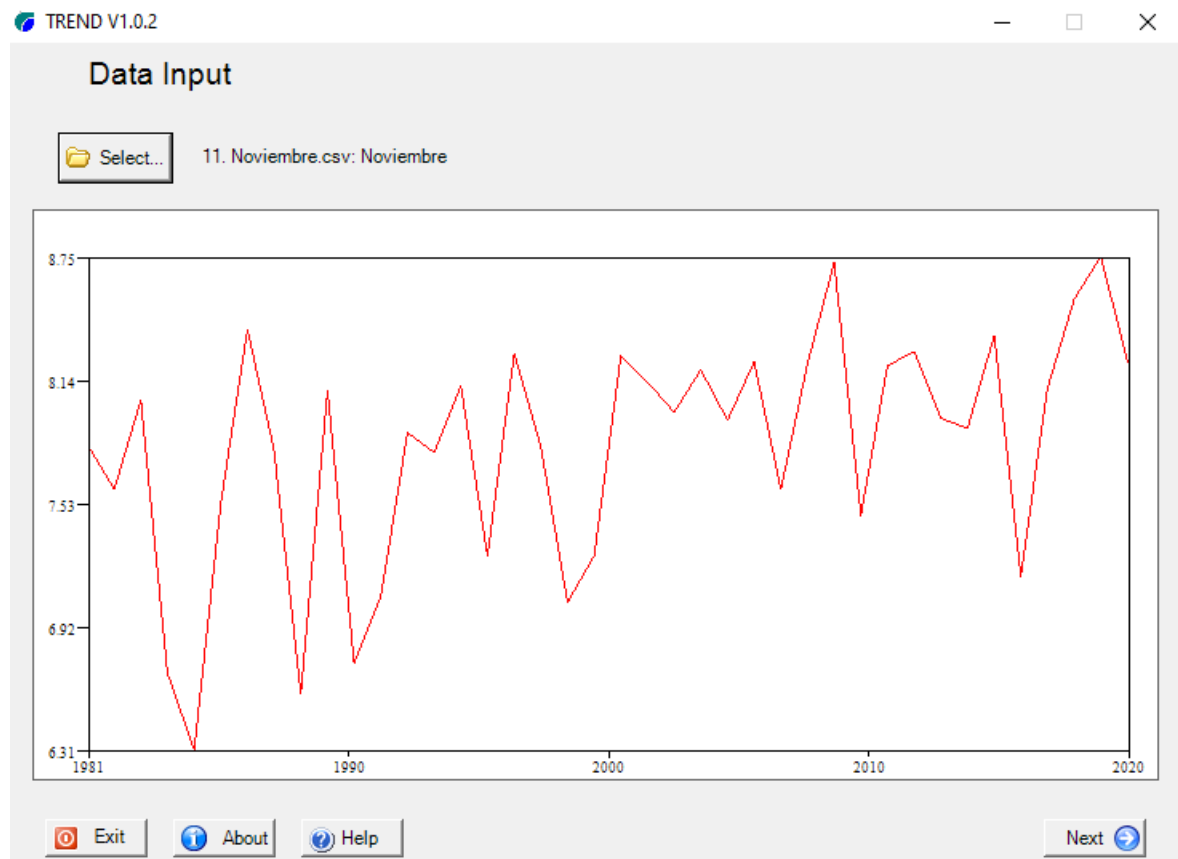
Septiembre



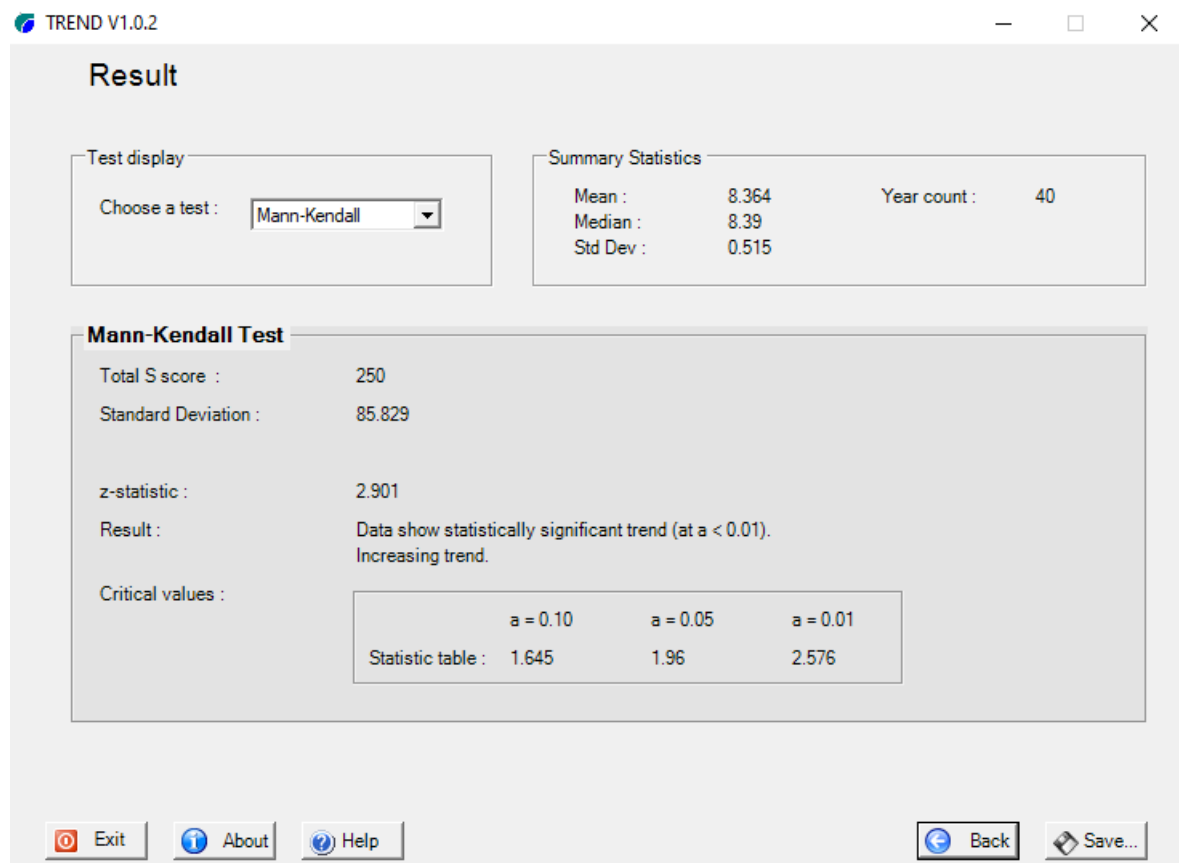
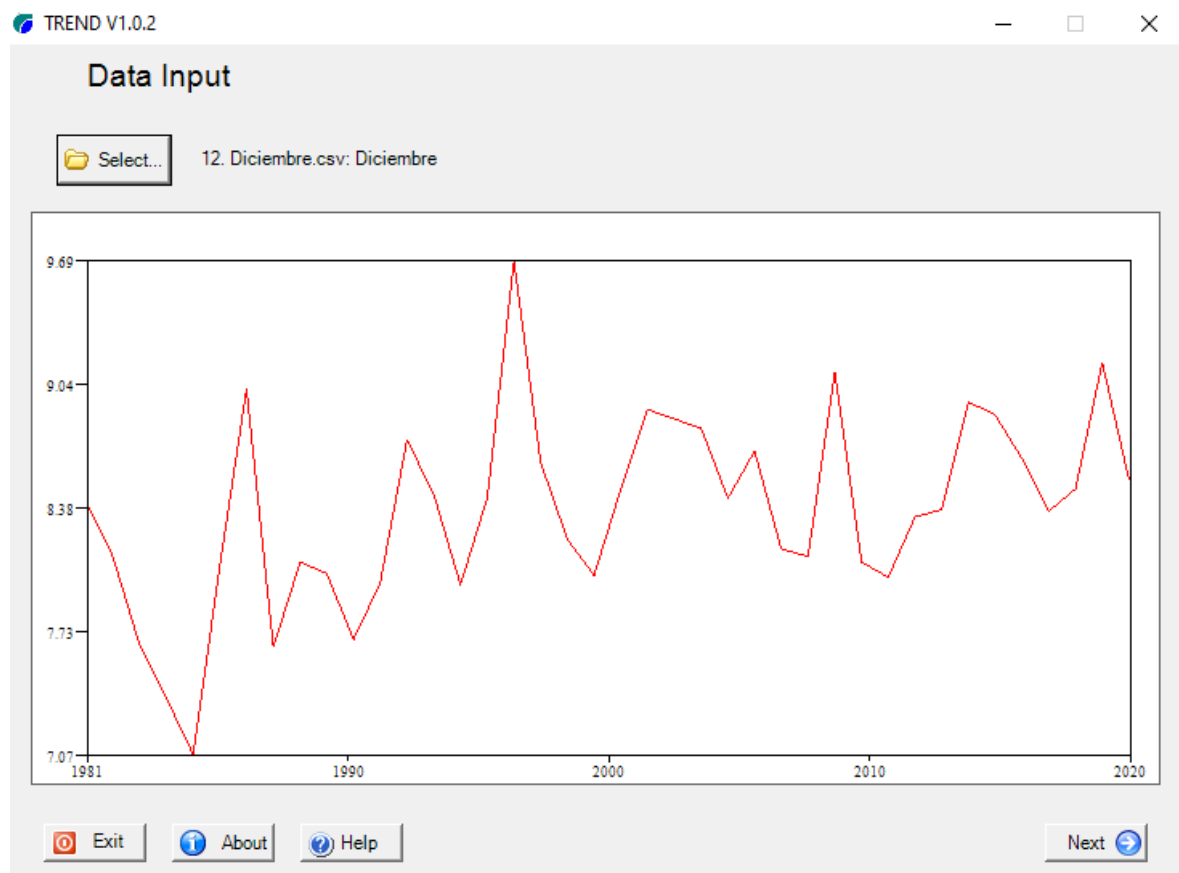
Octubre



Noviembre

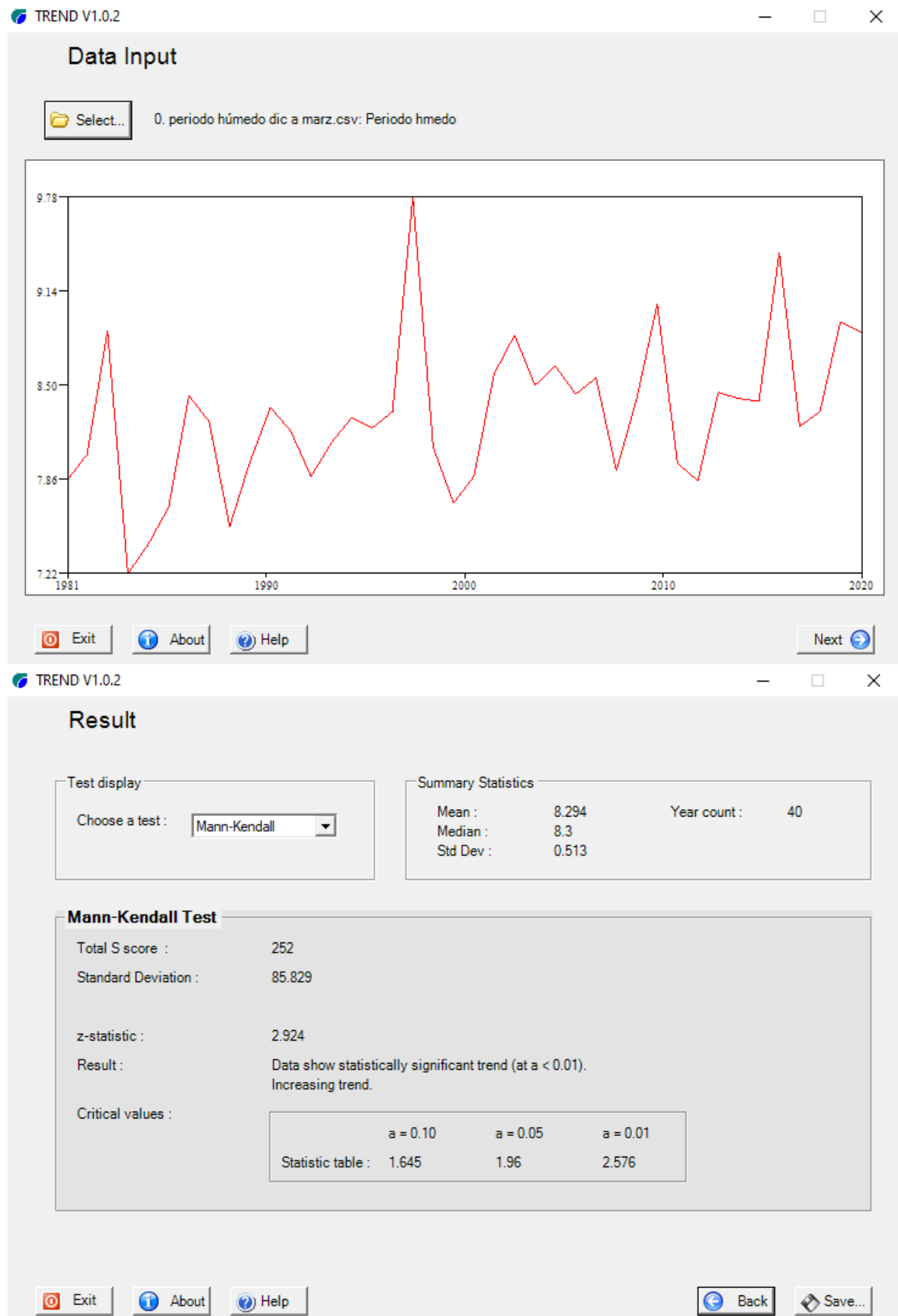


Diciembre

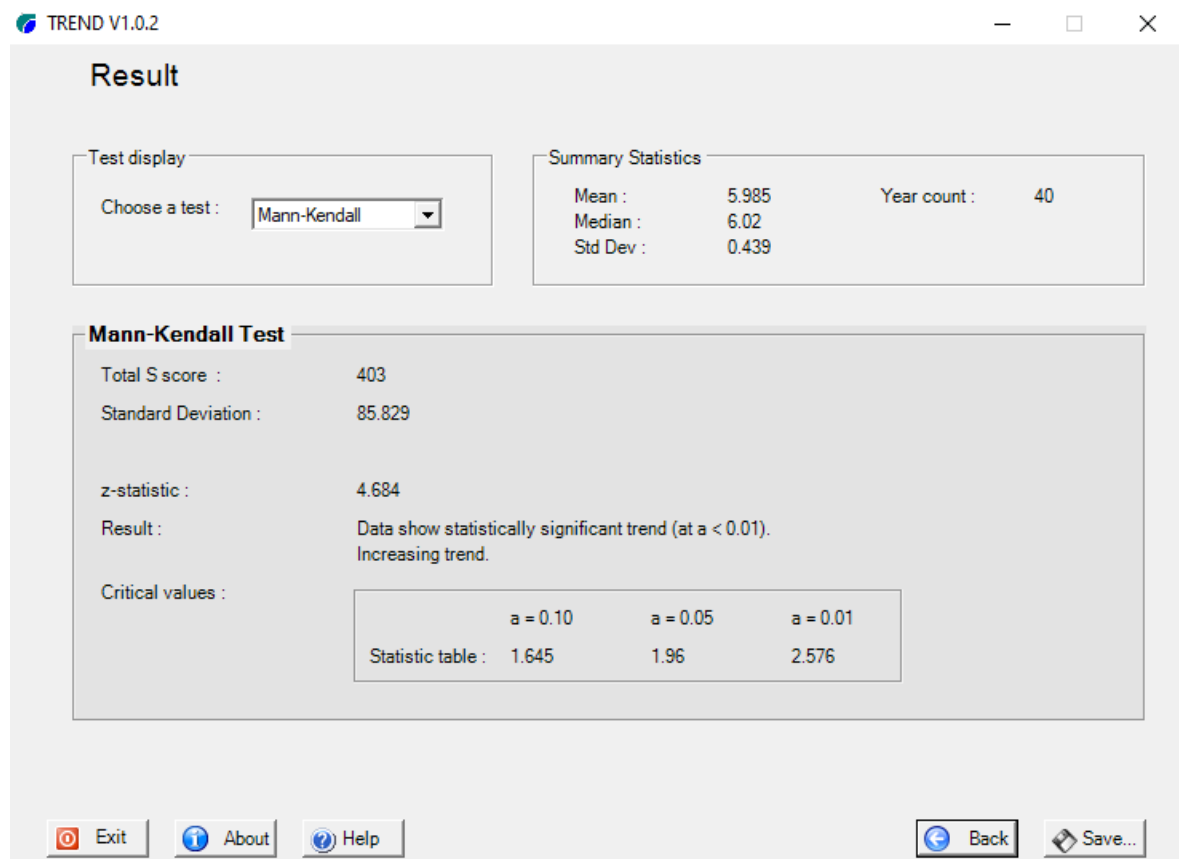
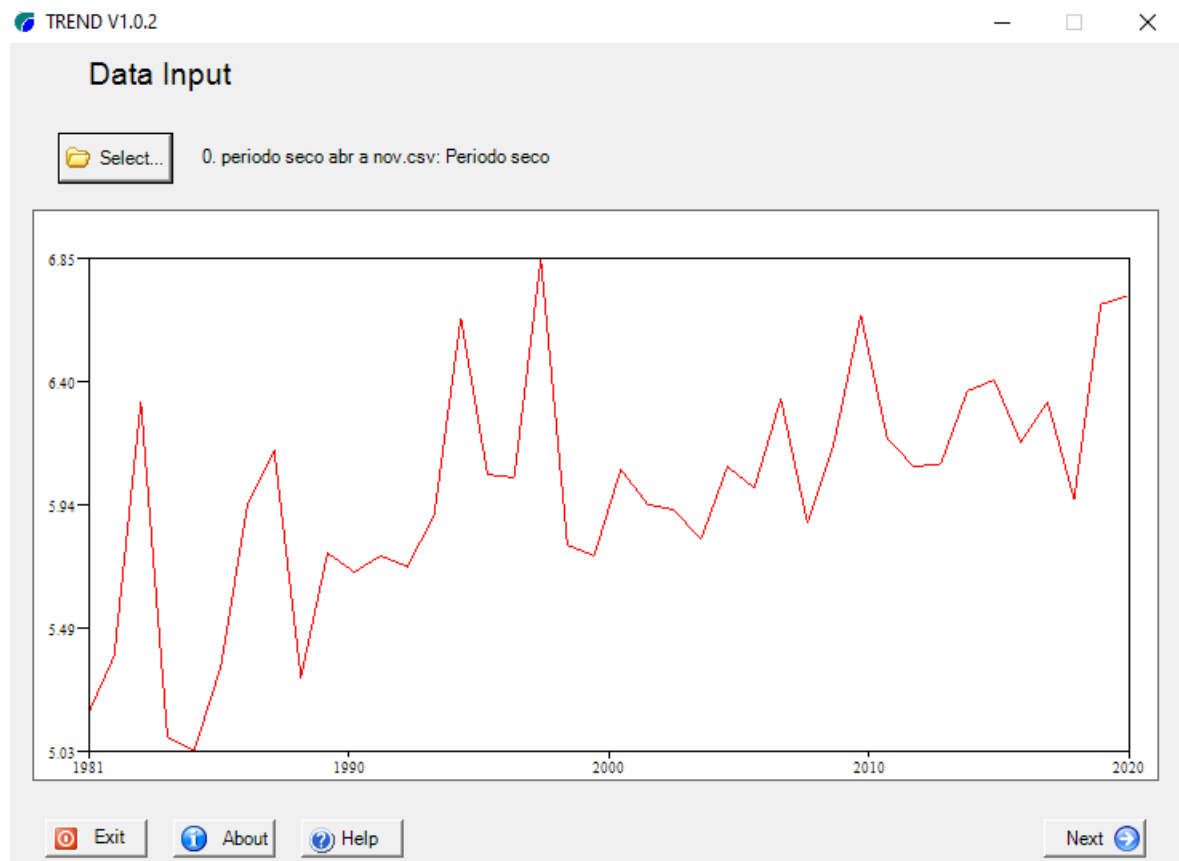


Periodo estacional

Periodo húmedo



Periodo seco



PRECIPITACIÓN

ESTACIÓN A-1

Latitud: -15.176083, Longitud: -71.867149, Altitud: 4578 m.s.n.m.

Departamento: Arequipa

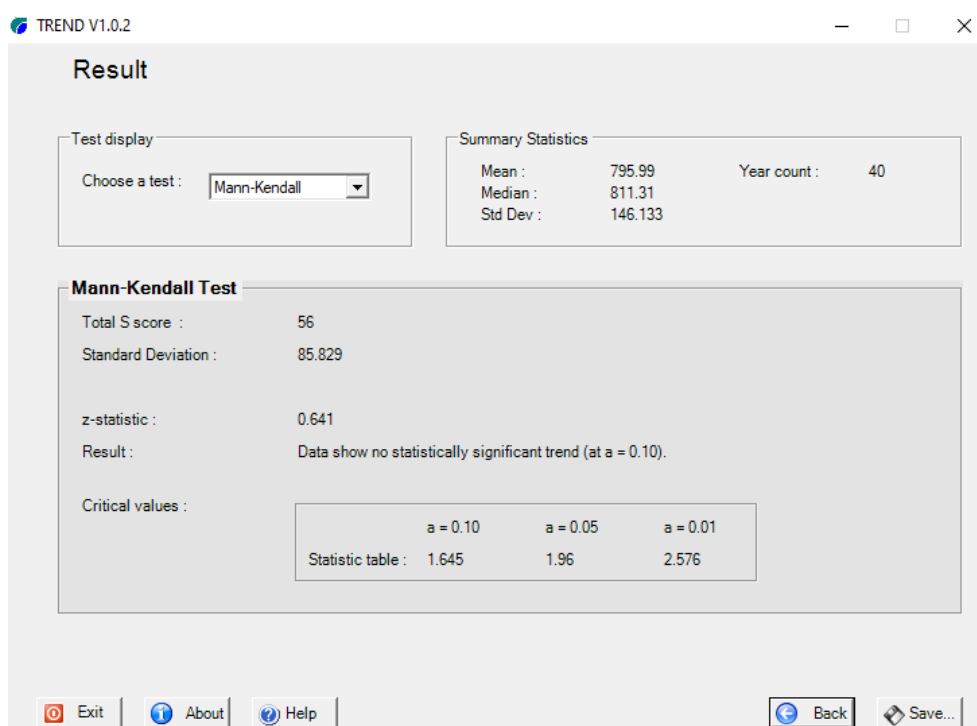
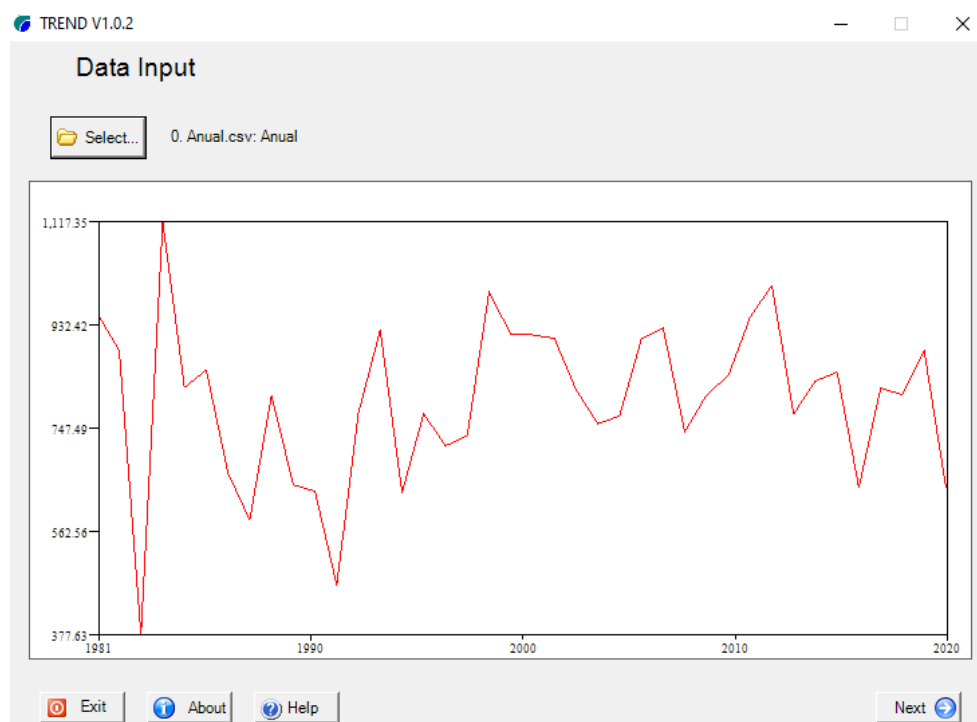
Provincia: Caylloma

Distrito: Caylloma

Precipitación (mm)

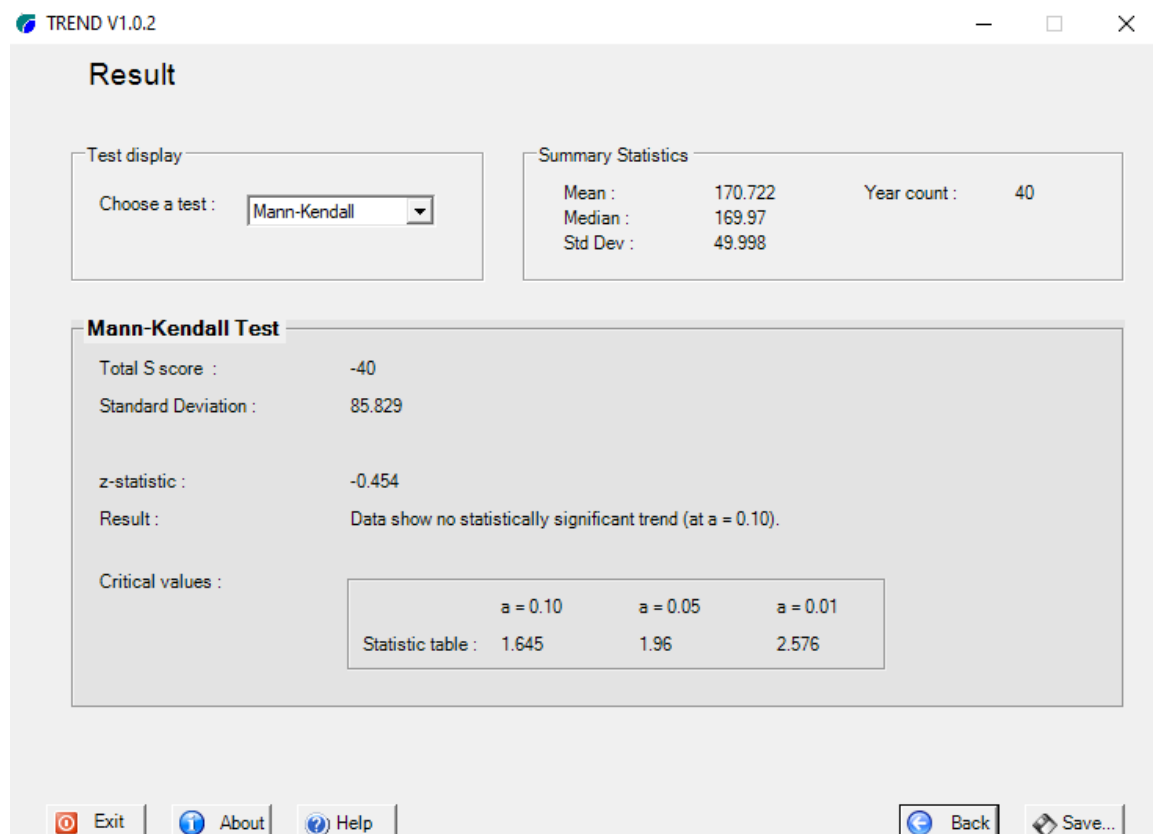
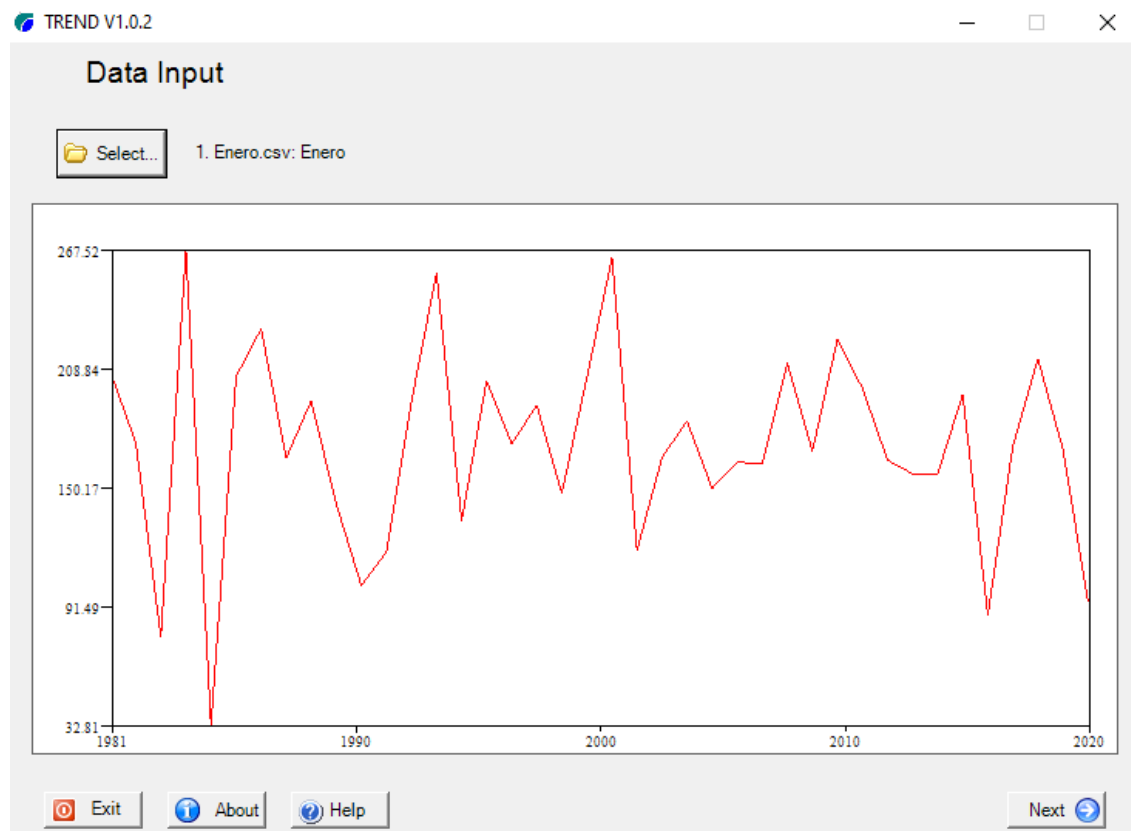
Periodo 1981-2020

Periodo anual

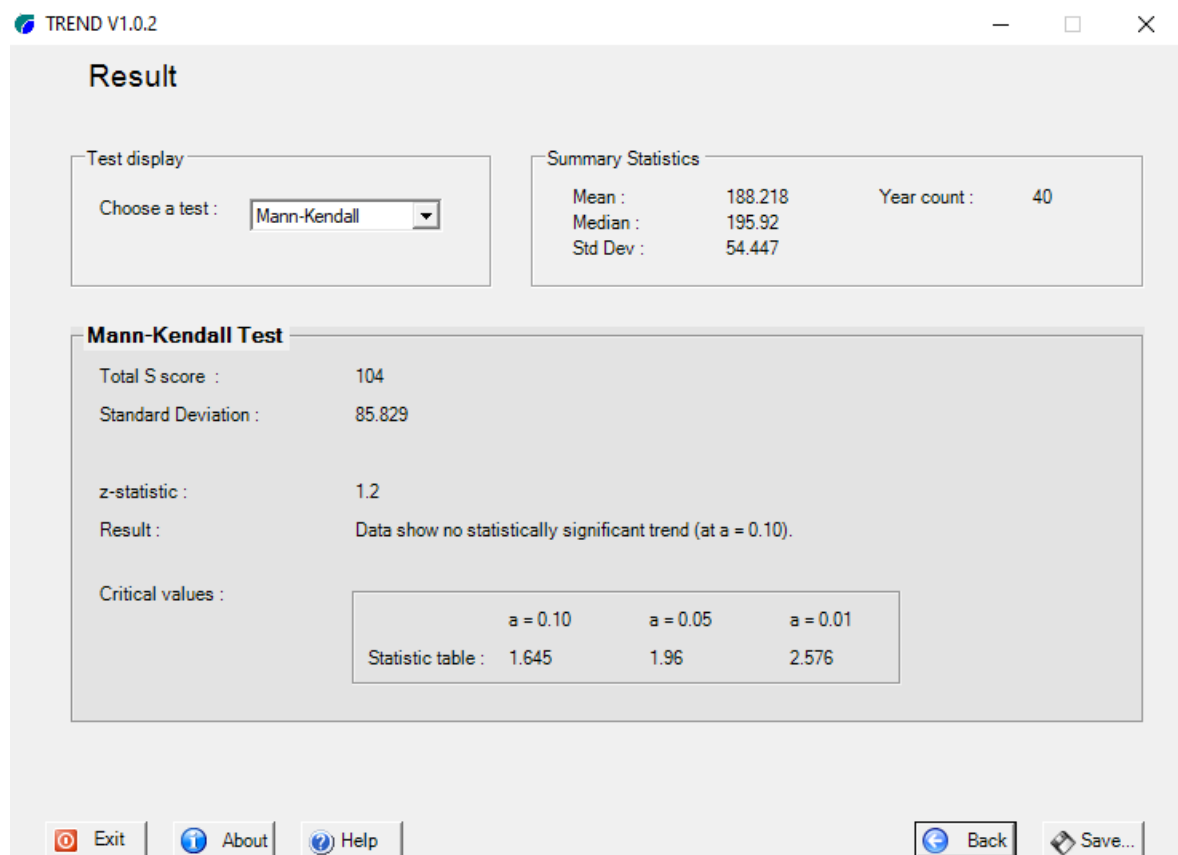
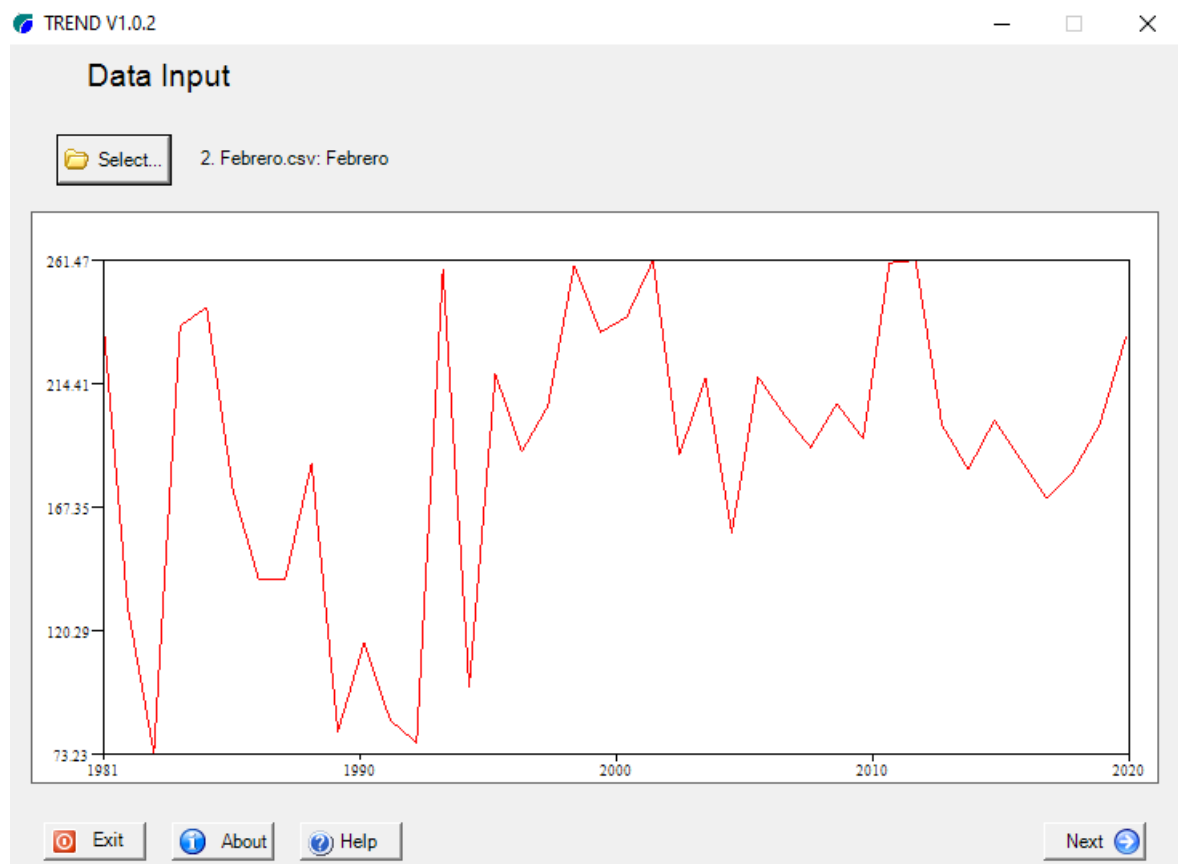


Periodo mensual

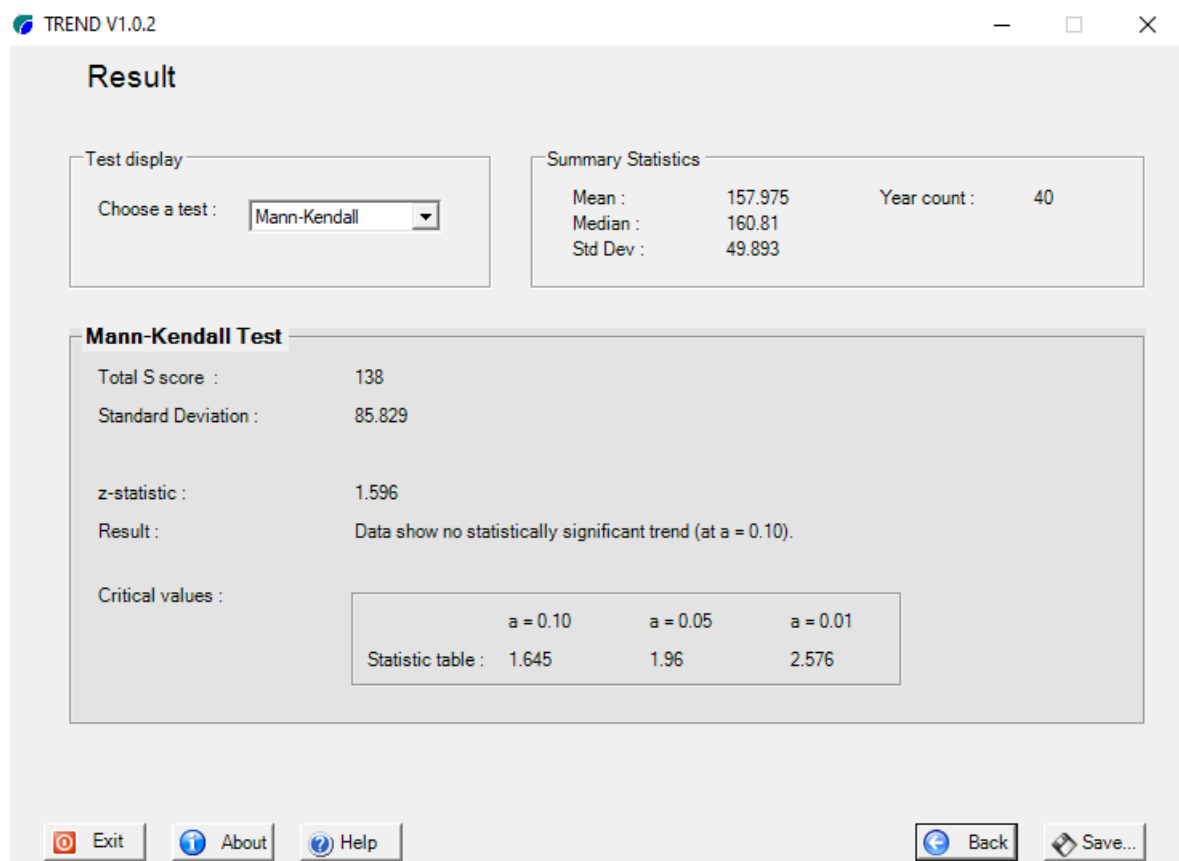
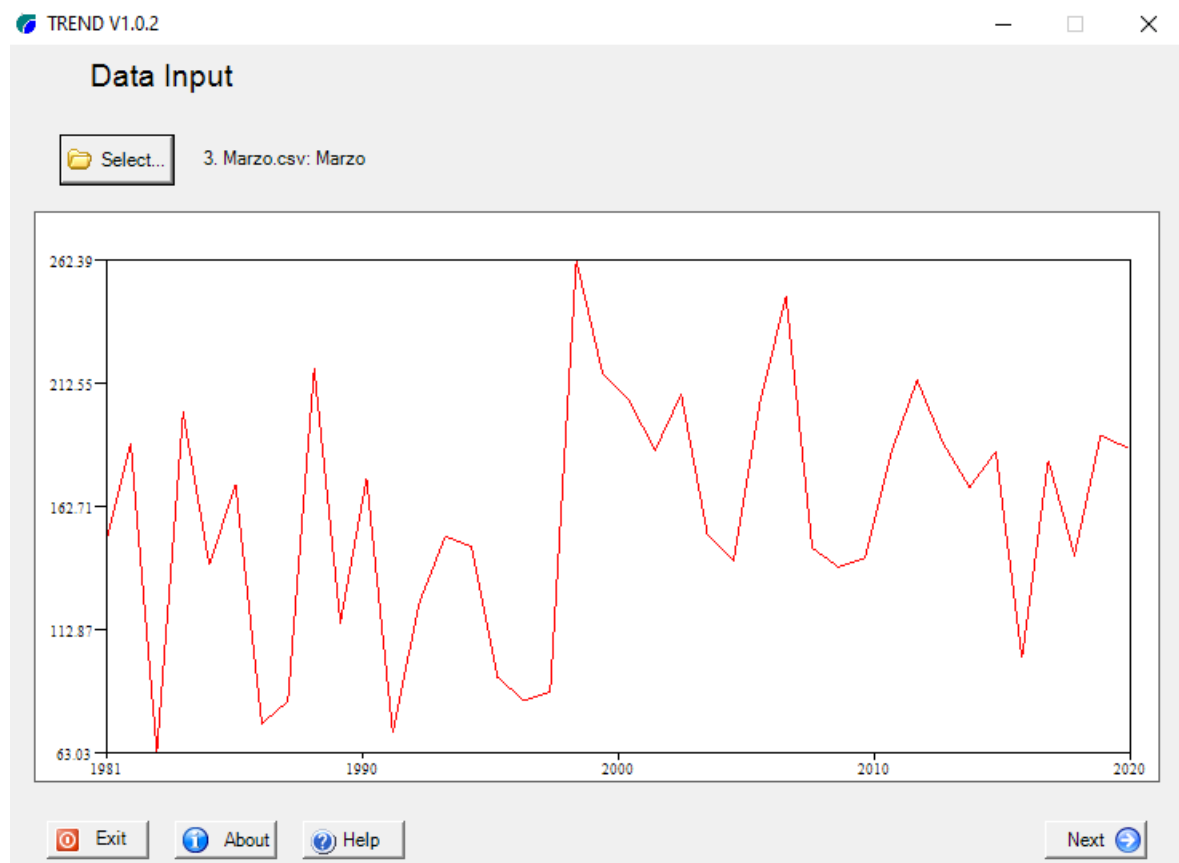
Enero



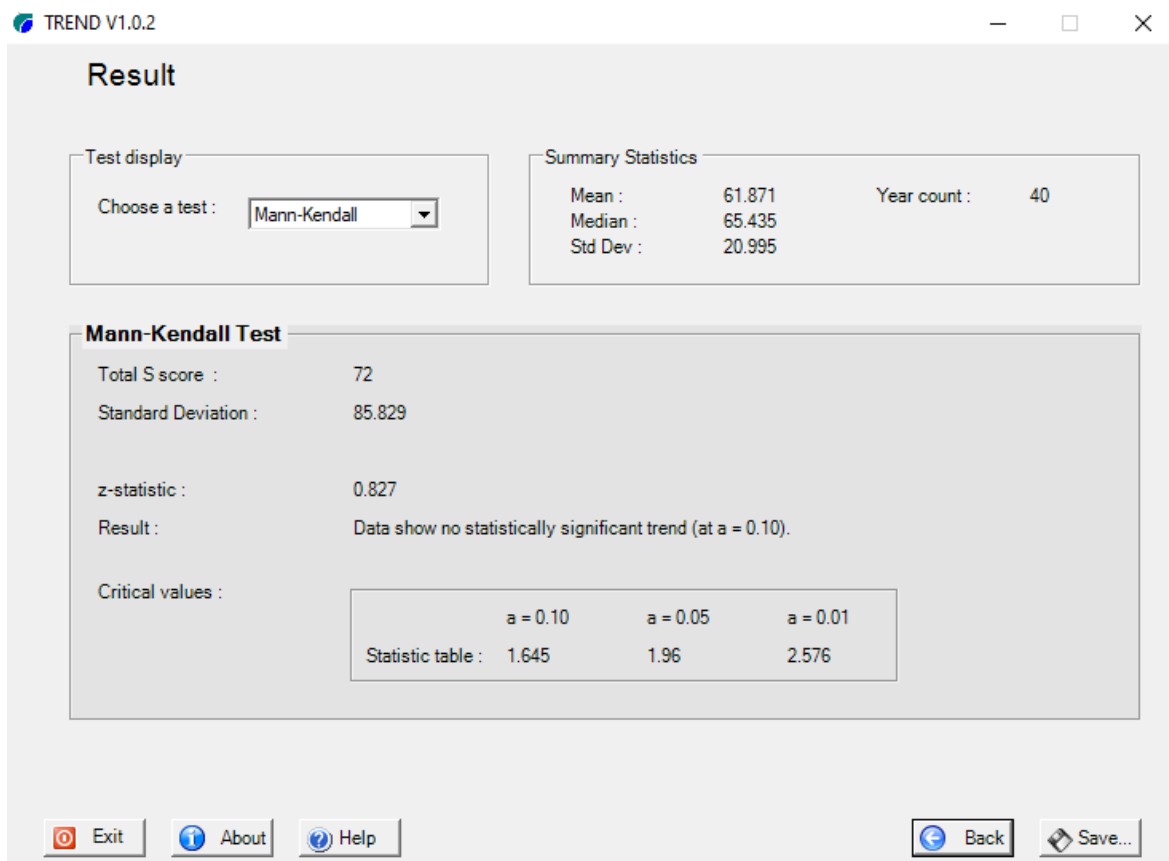
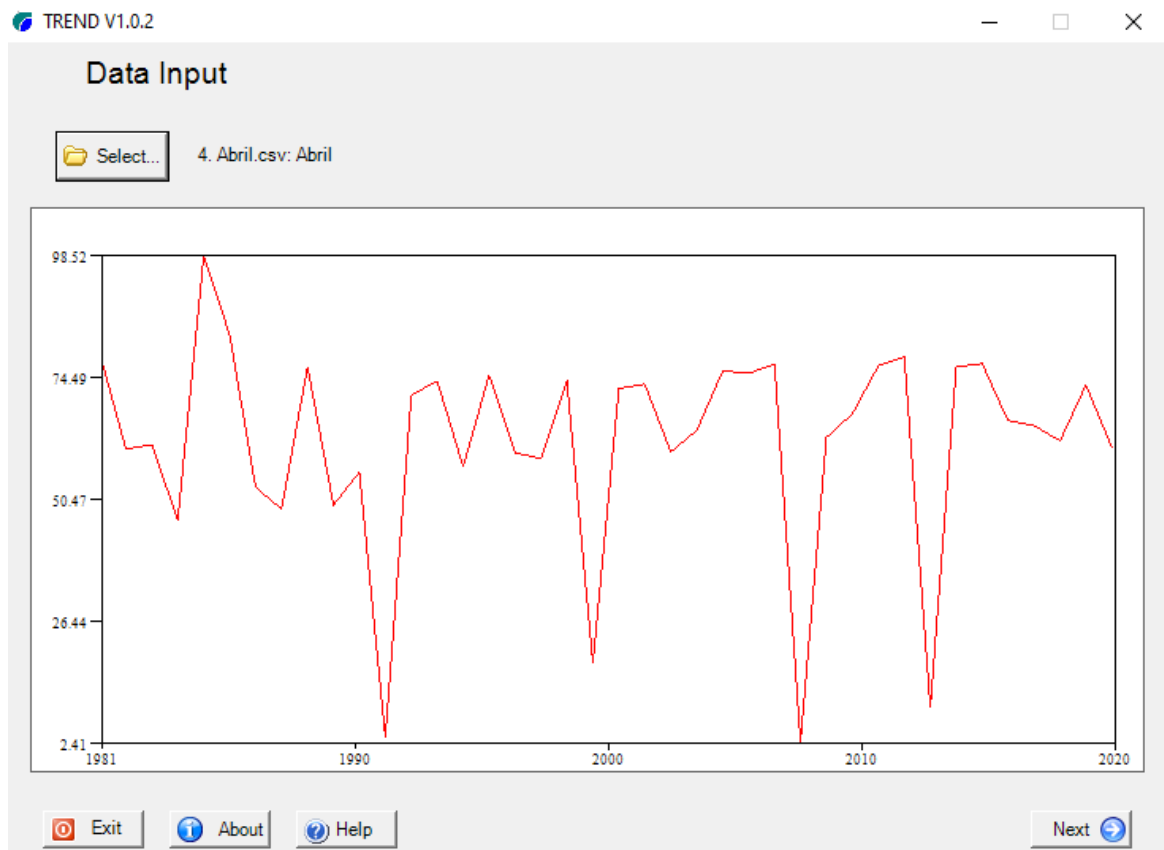
Febrero



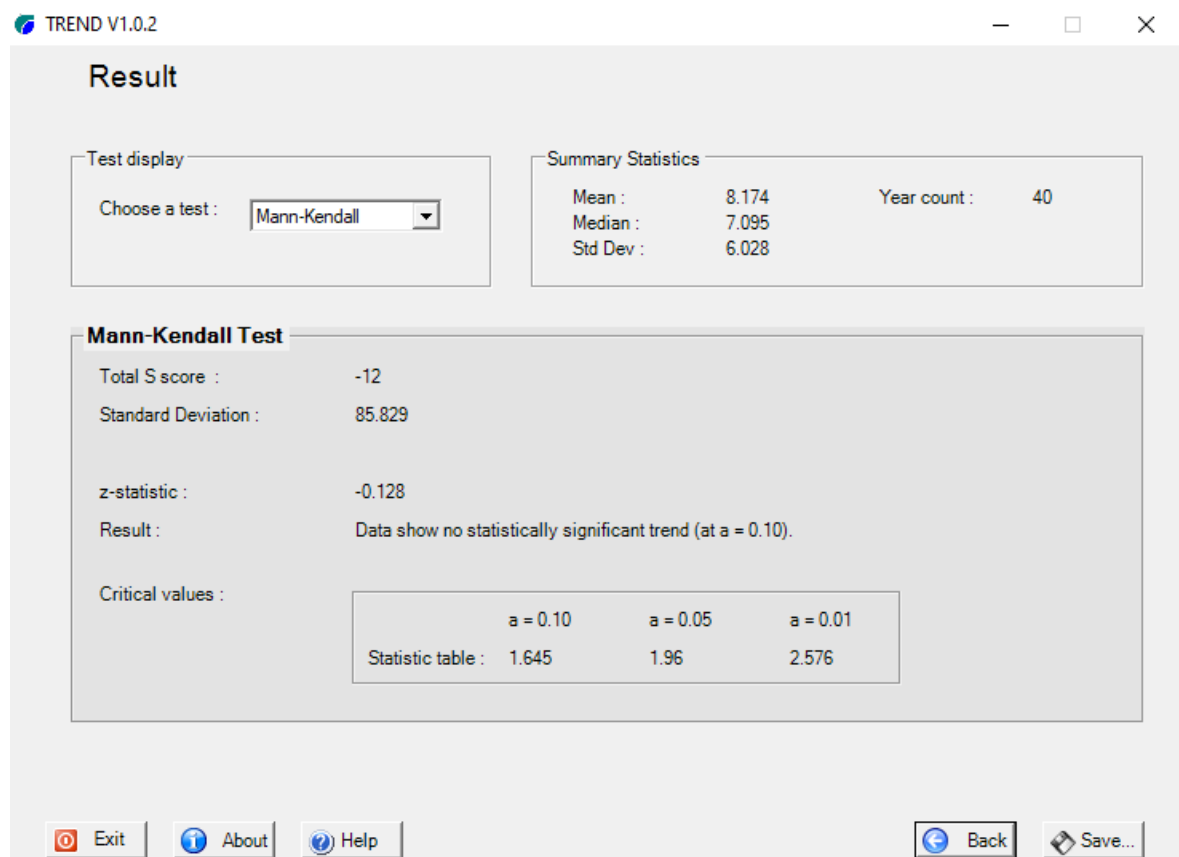
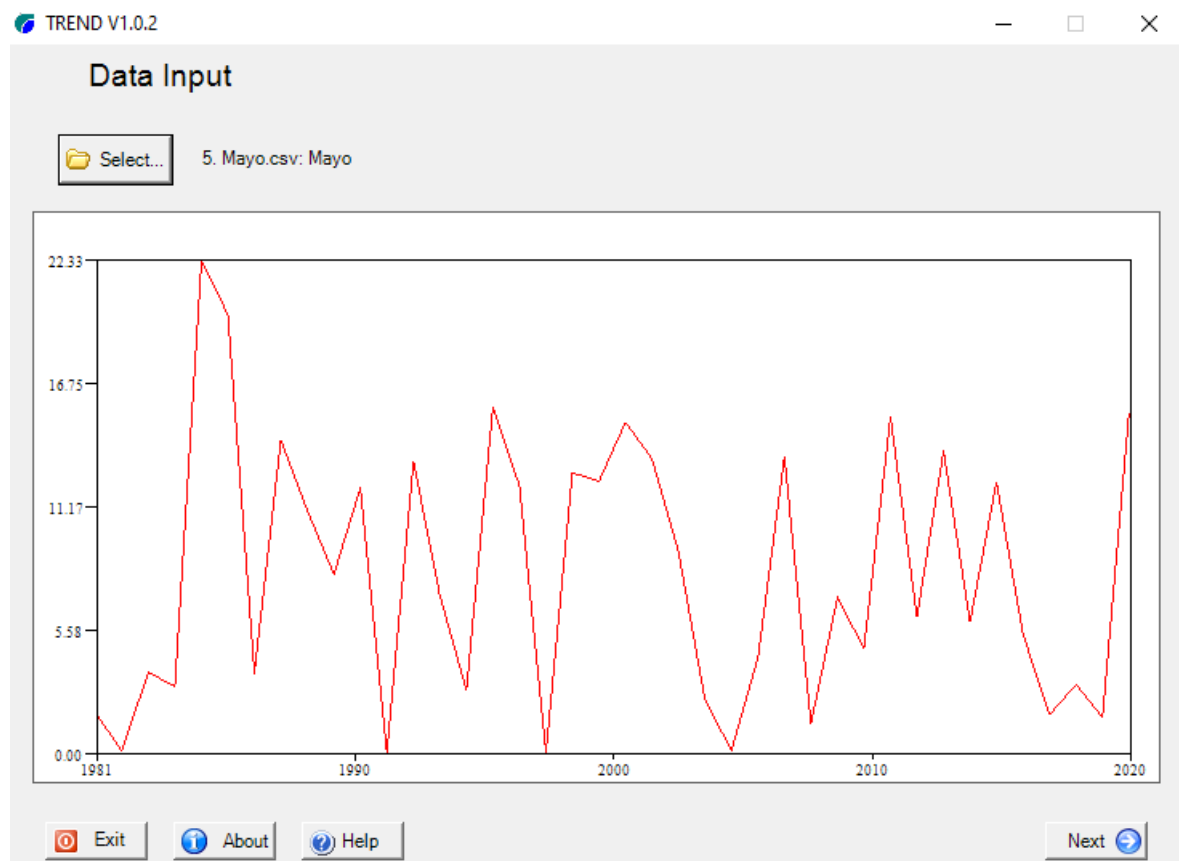
Marzo



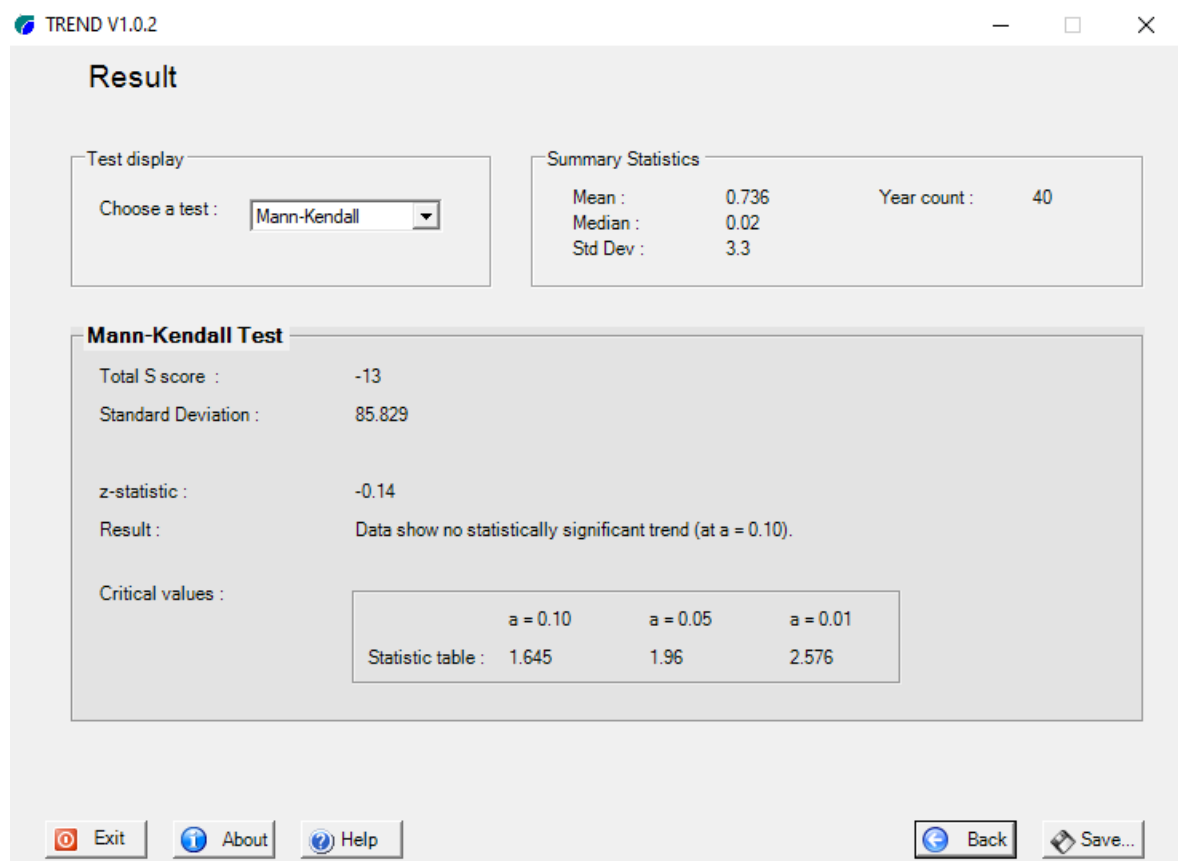
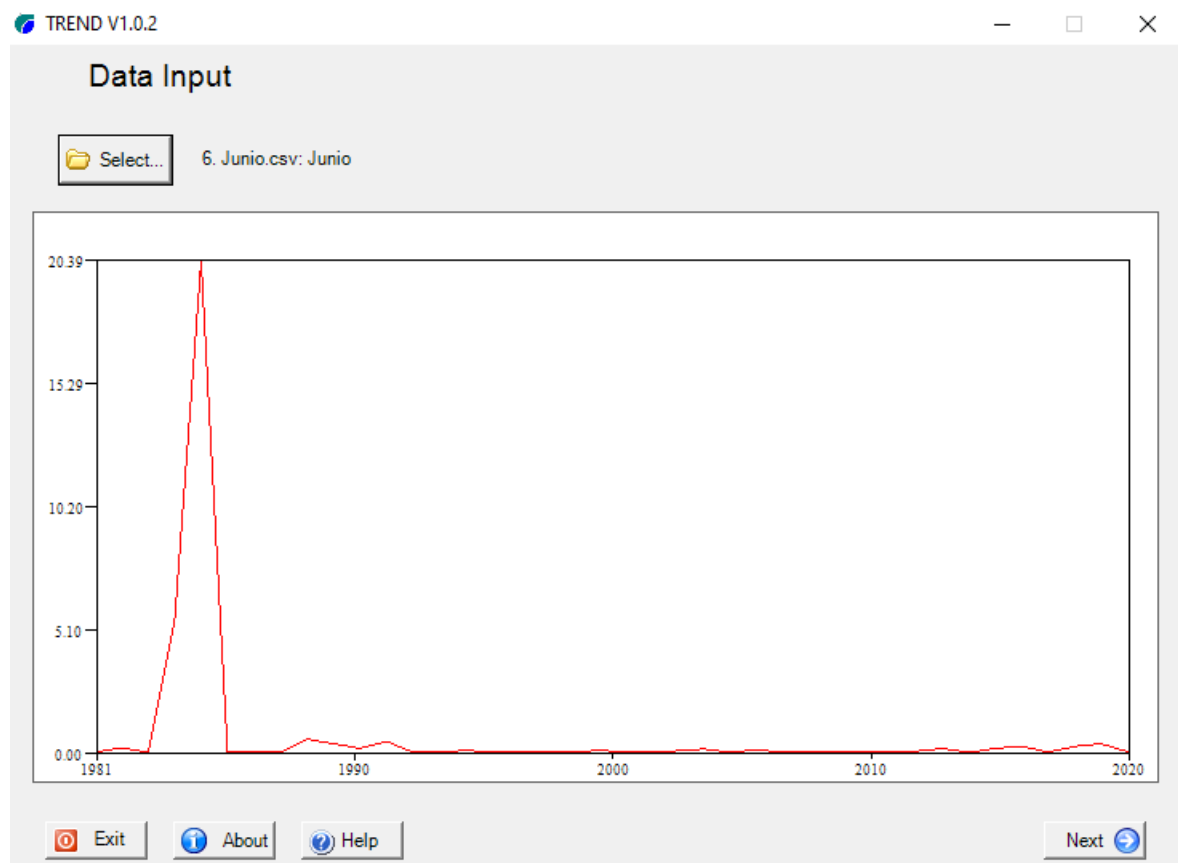
Abril



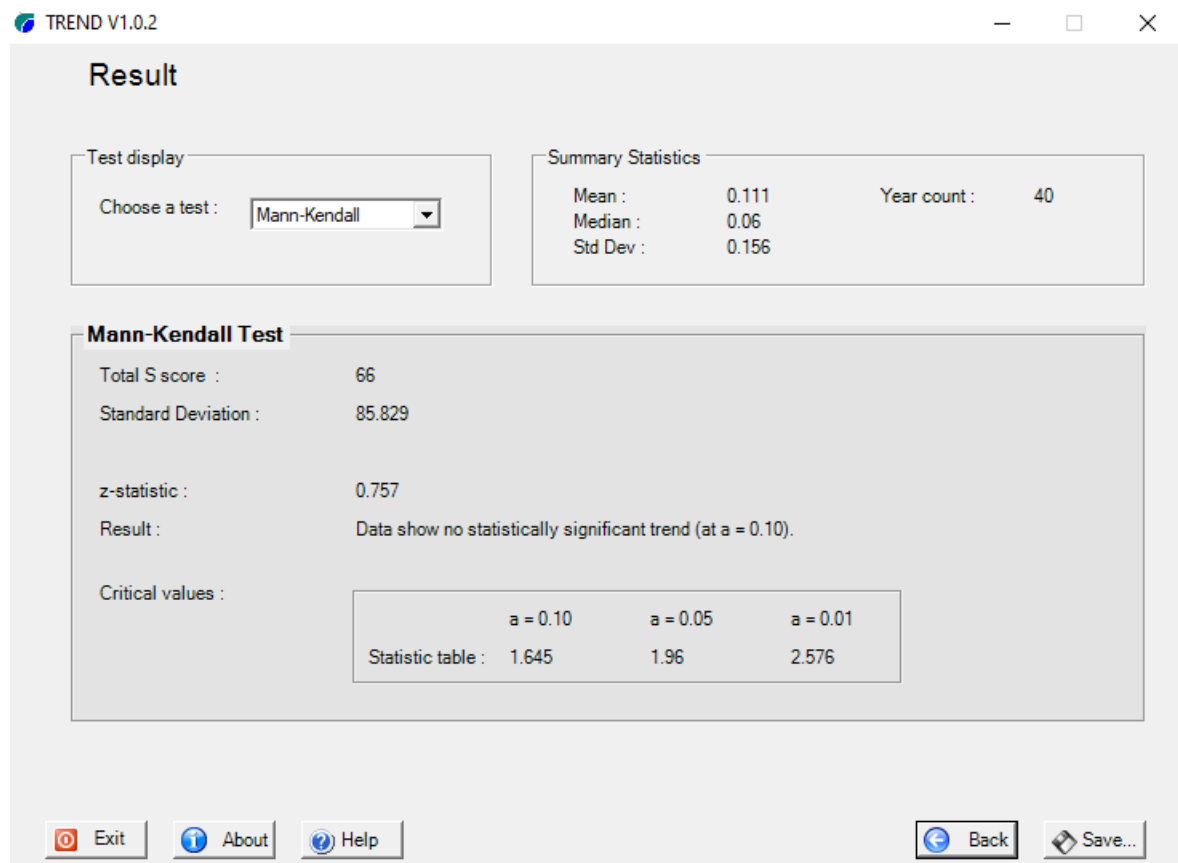
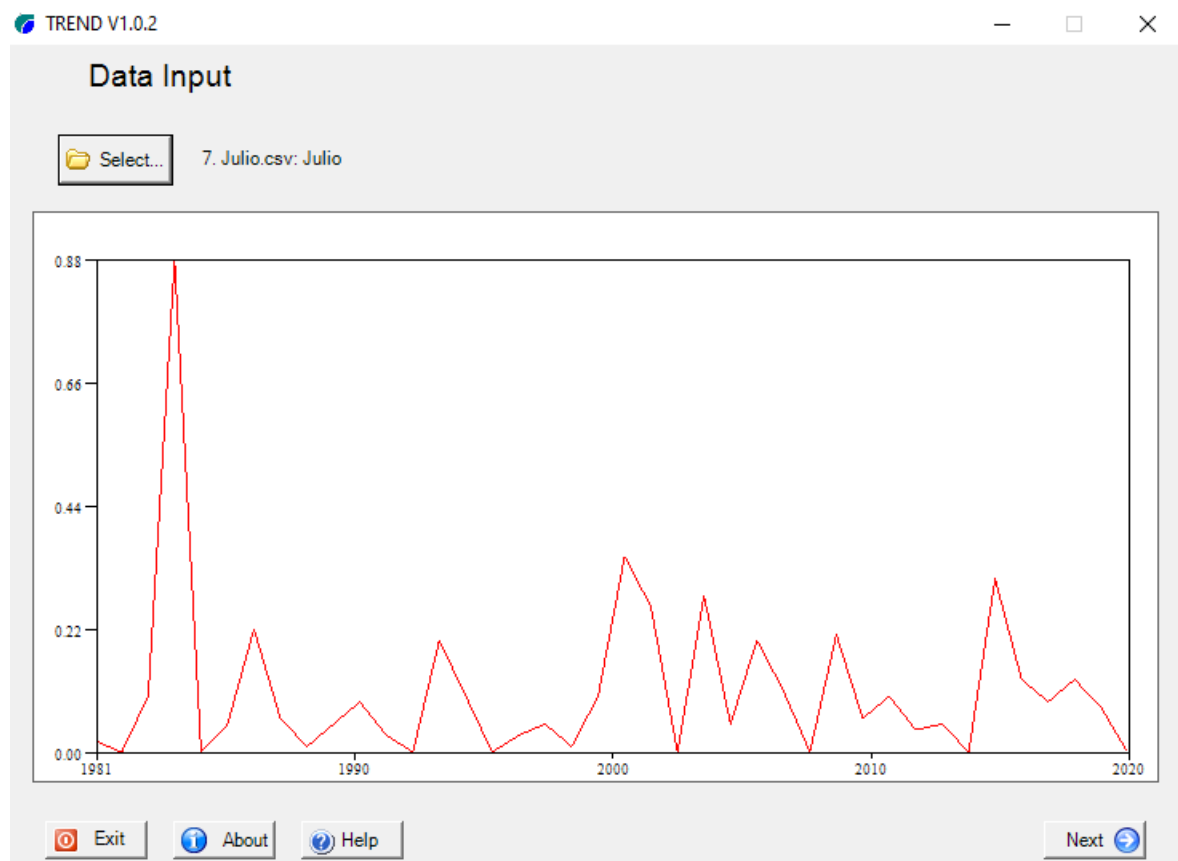
Mayo



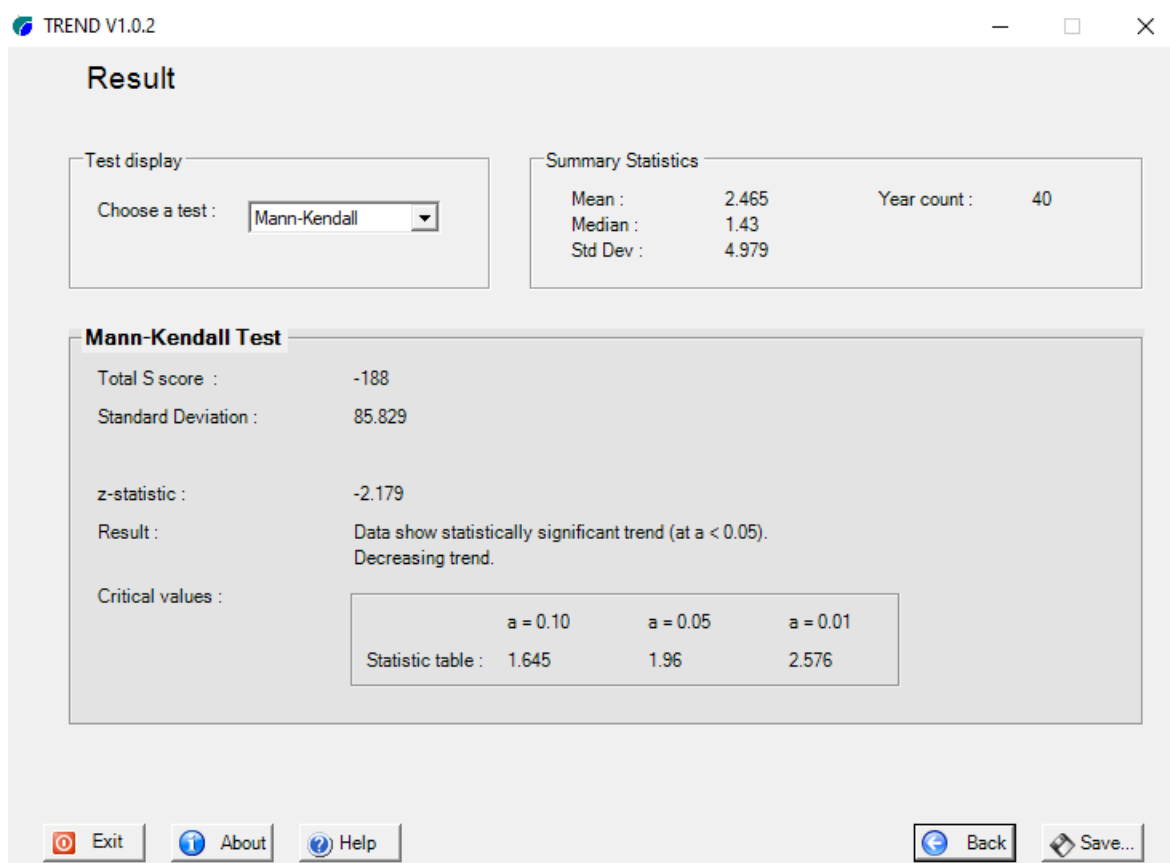
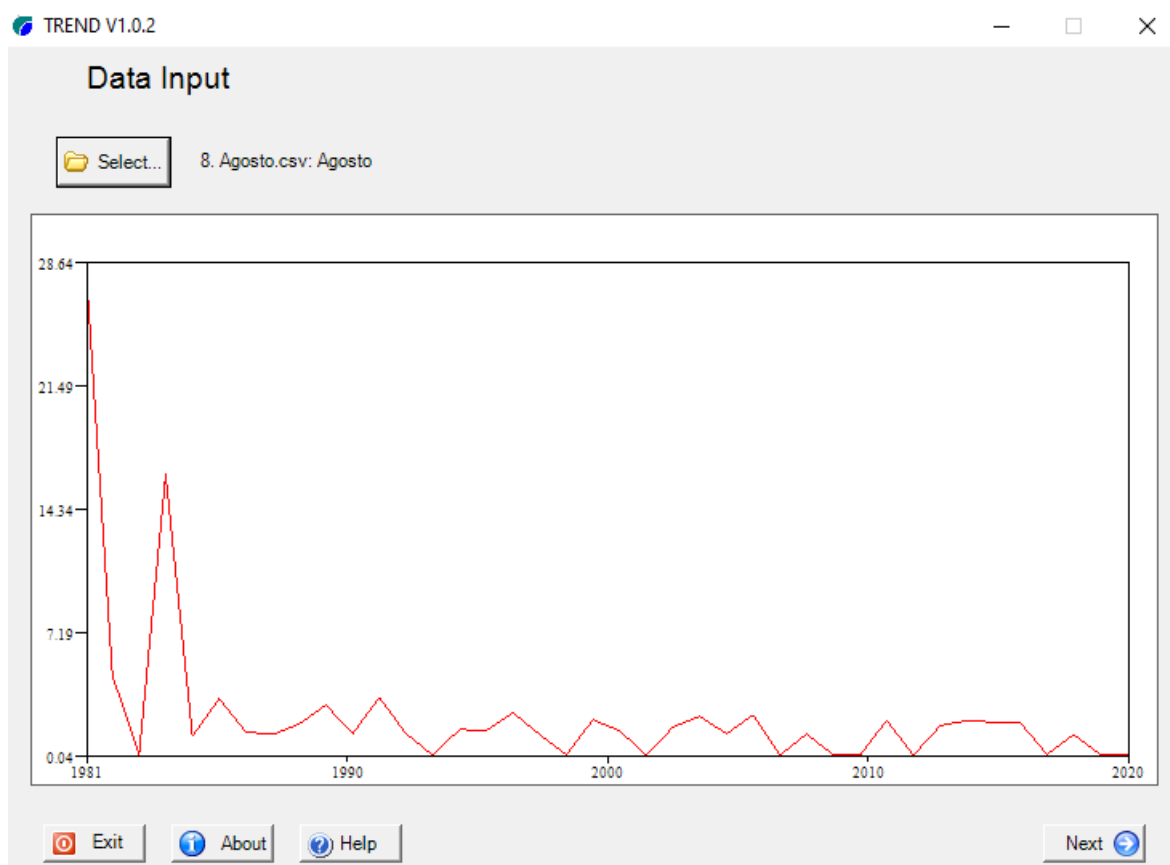
Junio



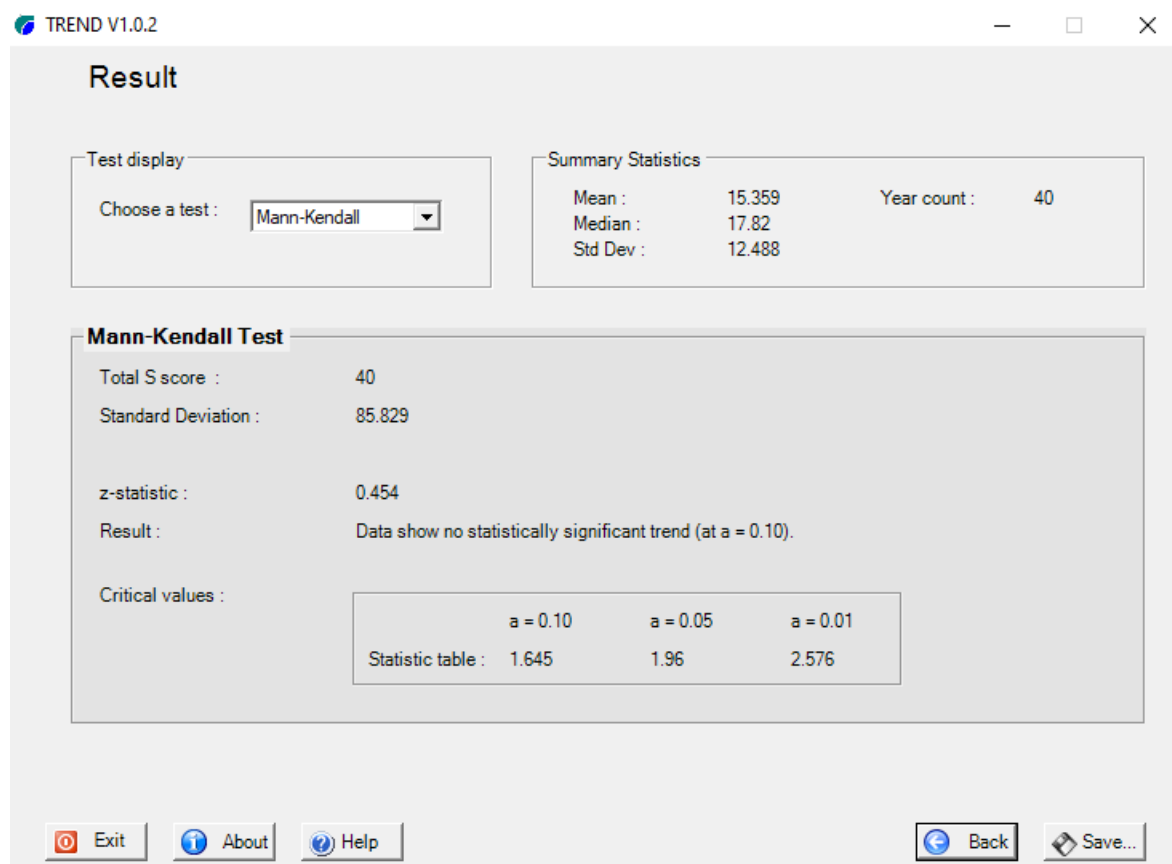
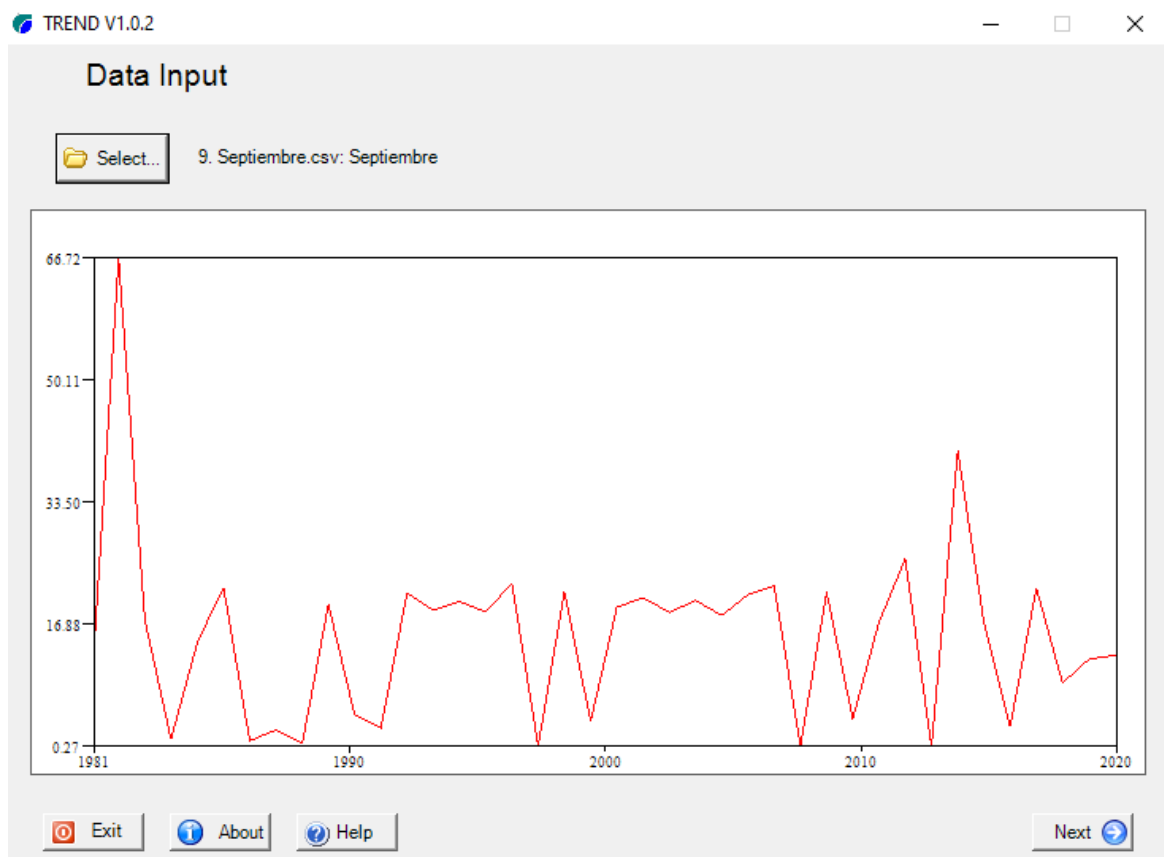
Julio



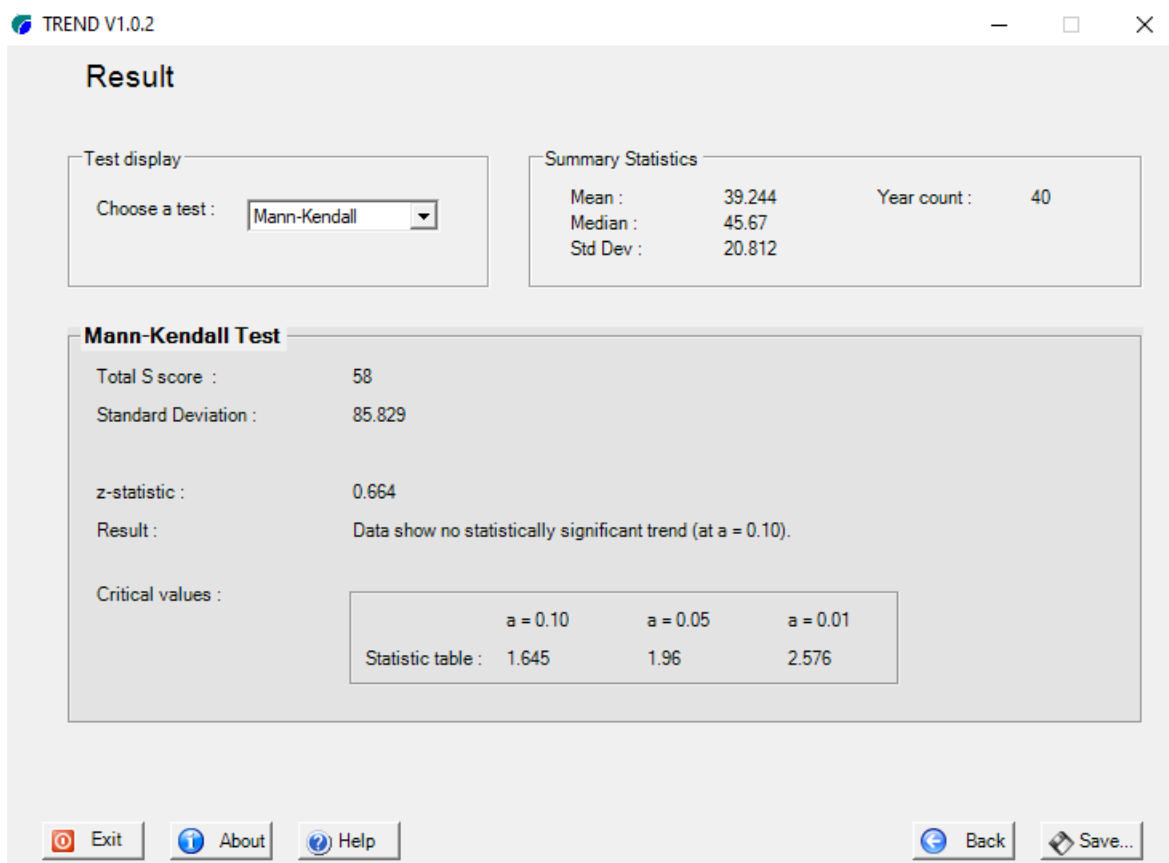
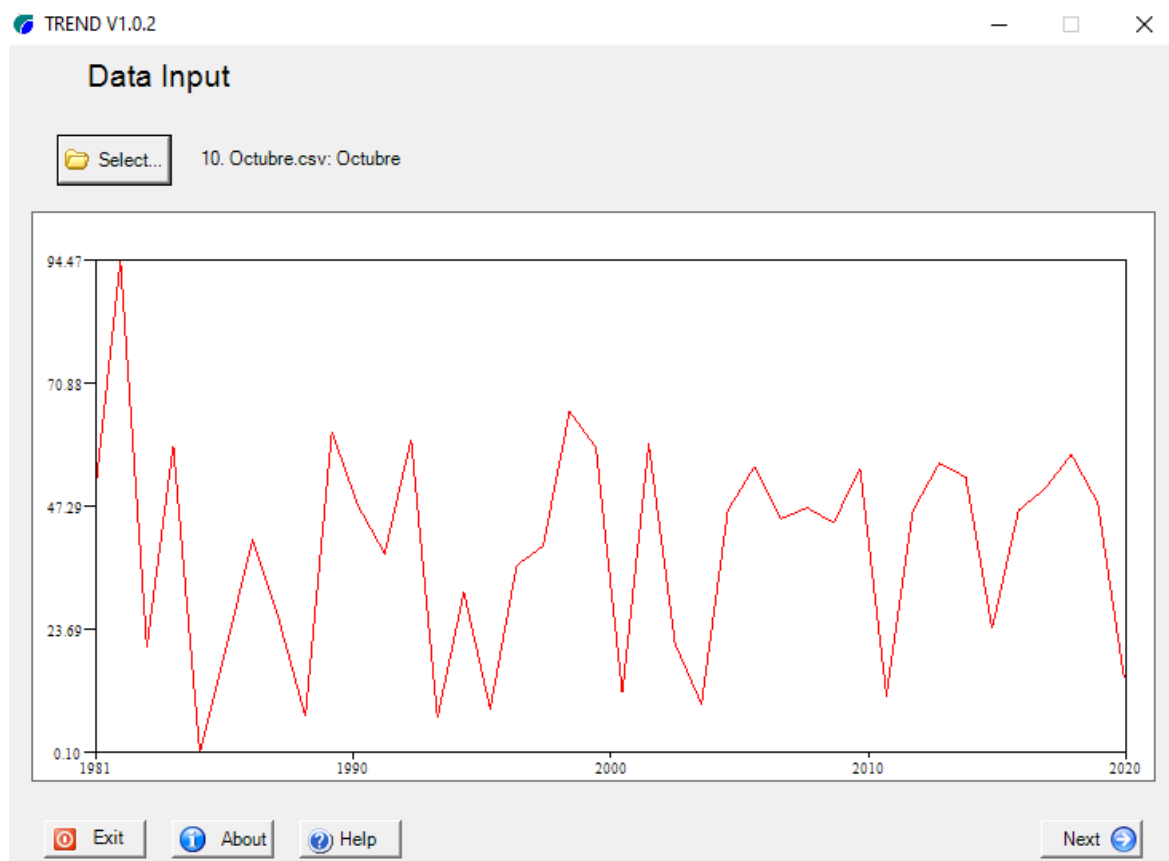
Agosto



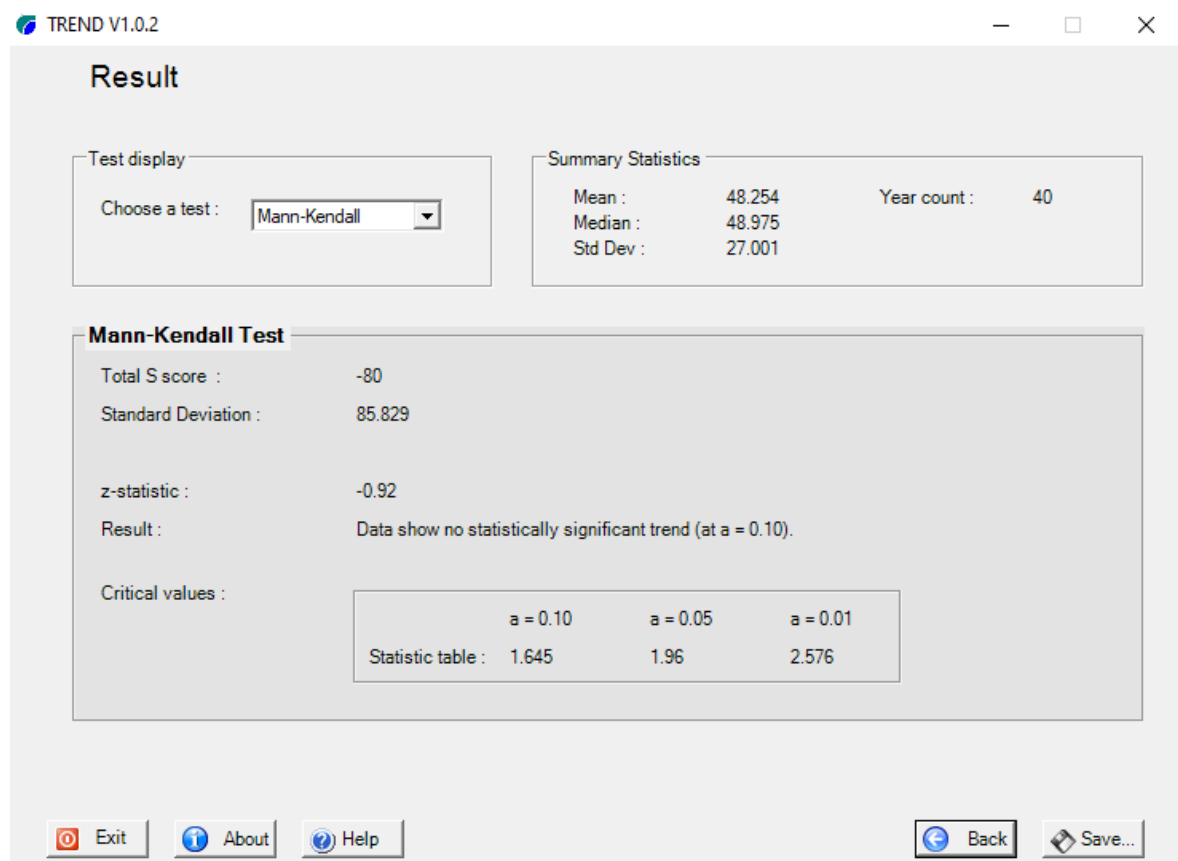
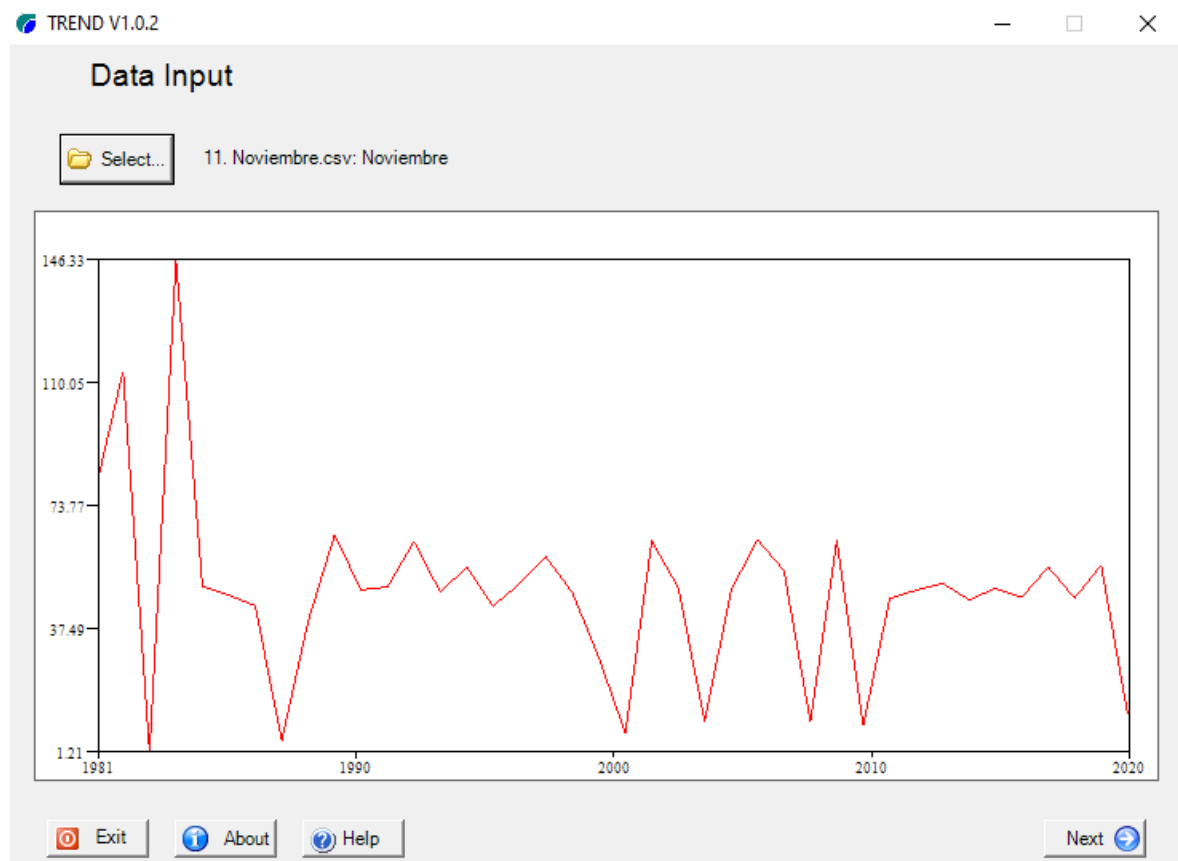
Septiembre



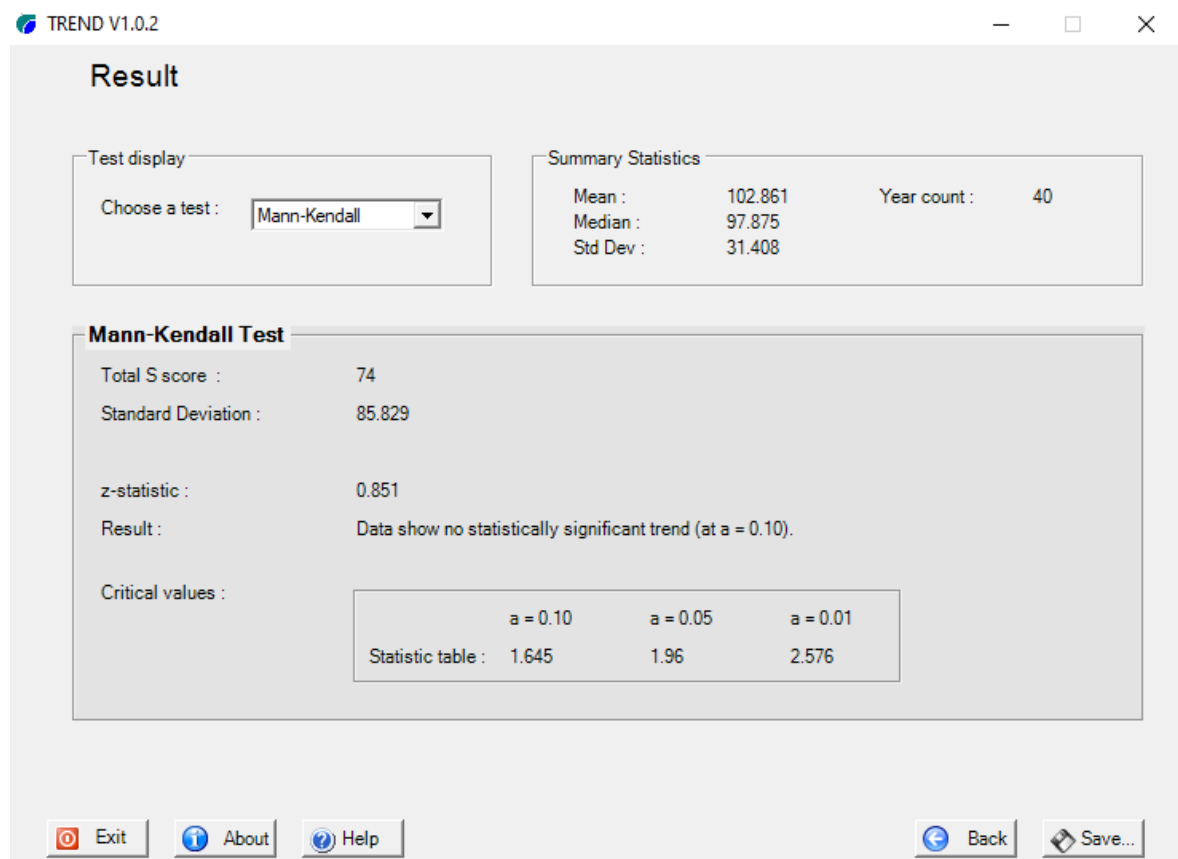
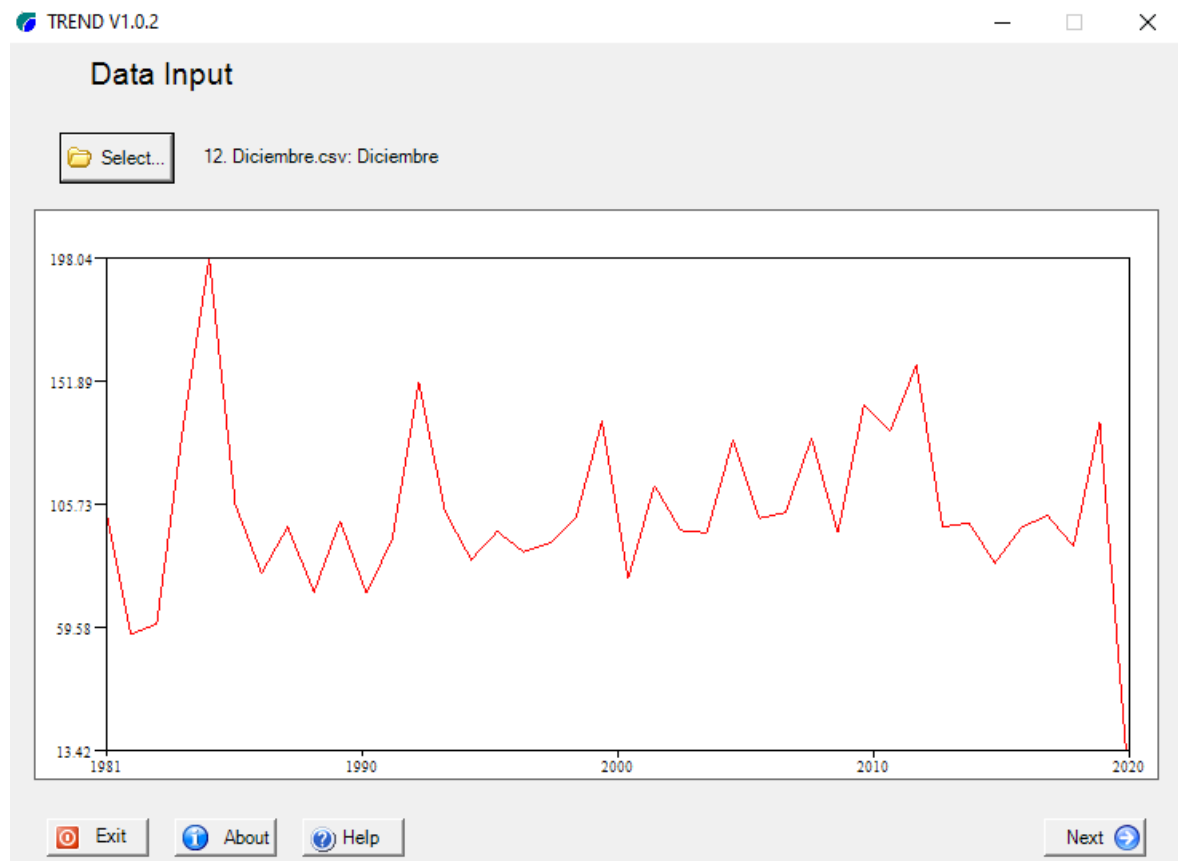
Octubre



Noviembre

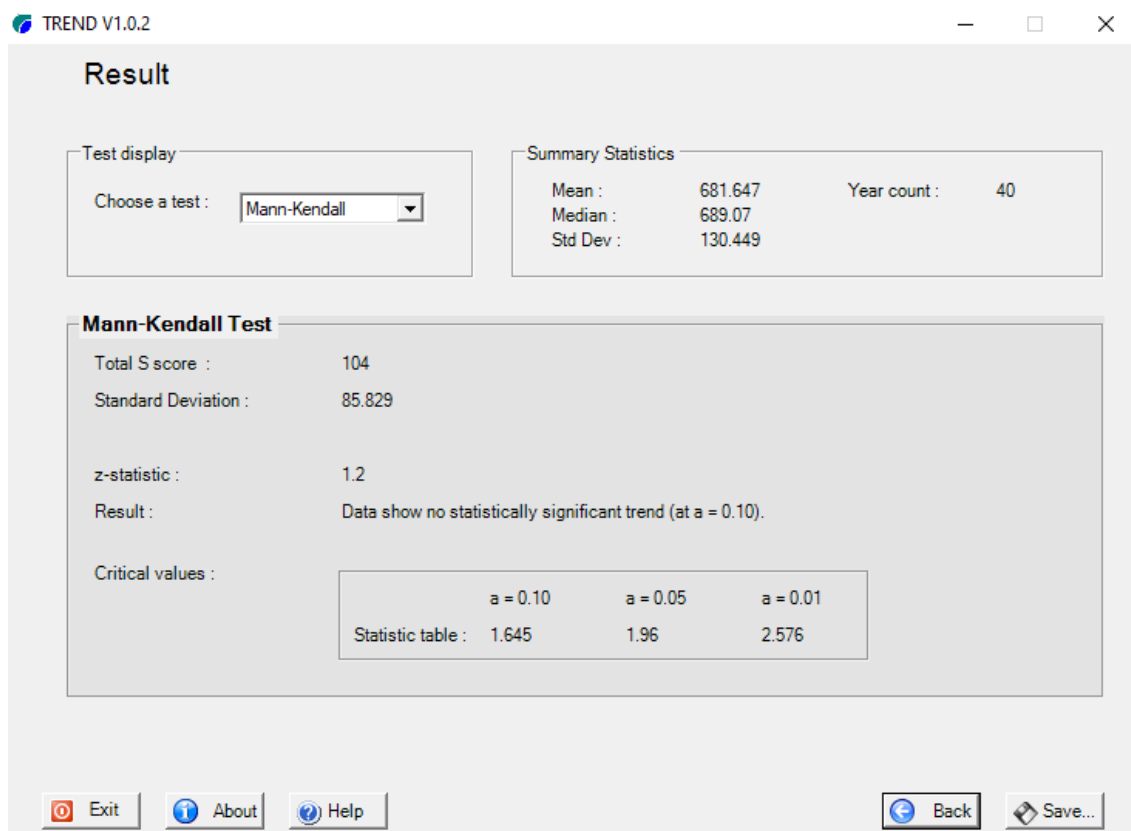
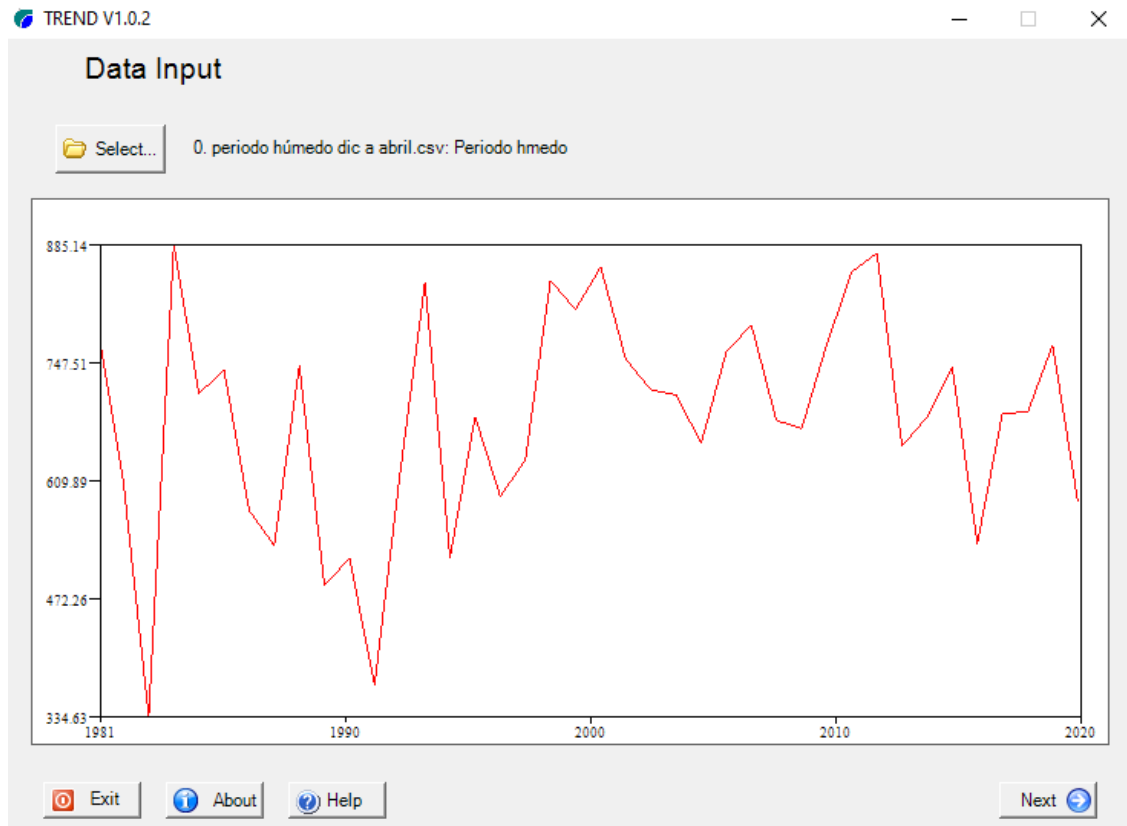


Diciembre

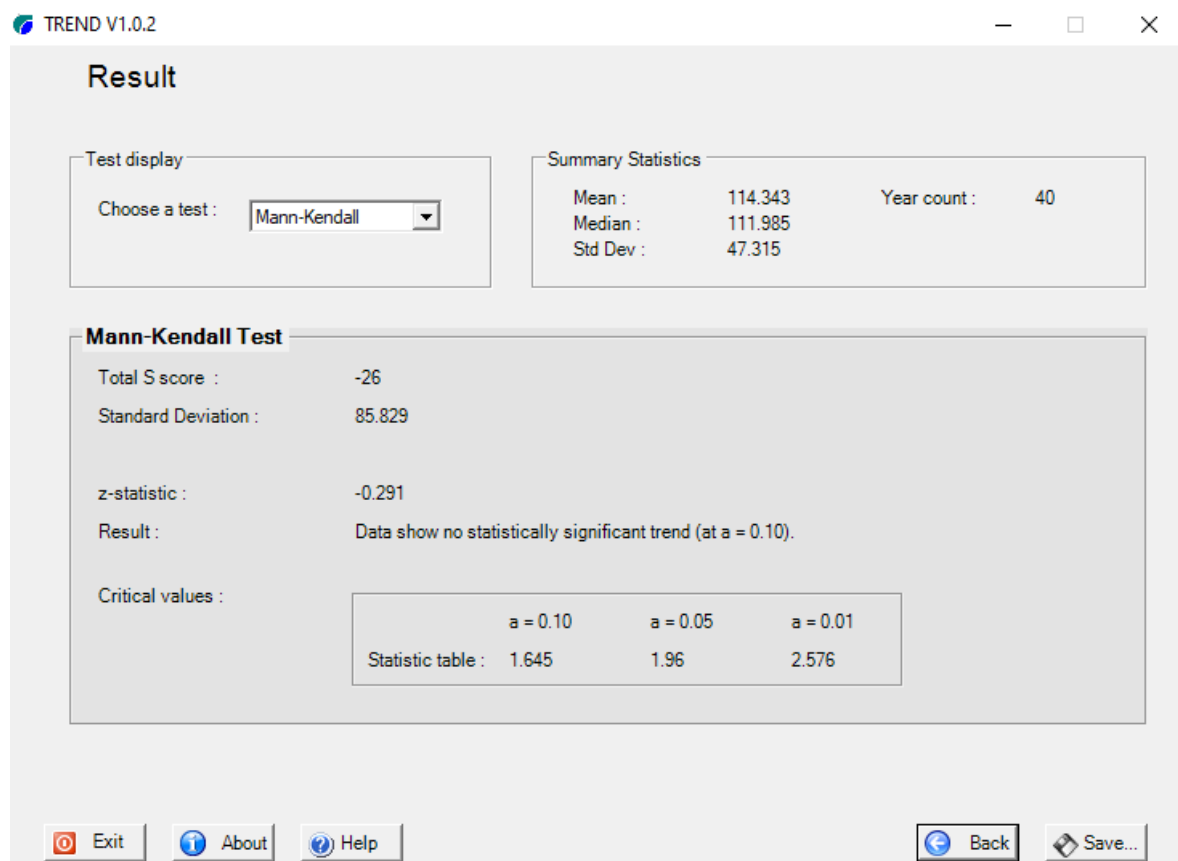
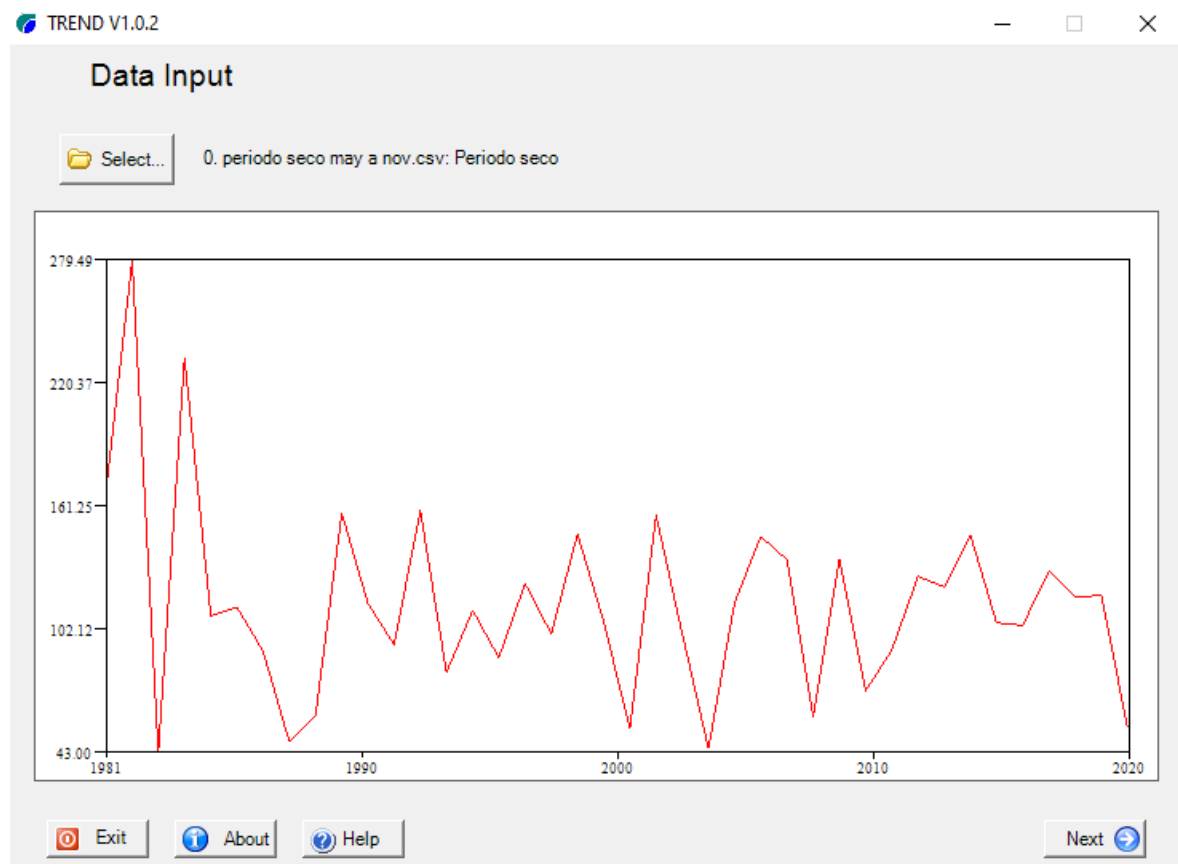


Periodo estacional

Periodo húmedo



Periodo seco



ESTACIÓN A-2

Latitud: -15.228118, Longitud: -71.824619, Altitud: 4422 m.s.n.m.

Departamento: Arequipa

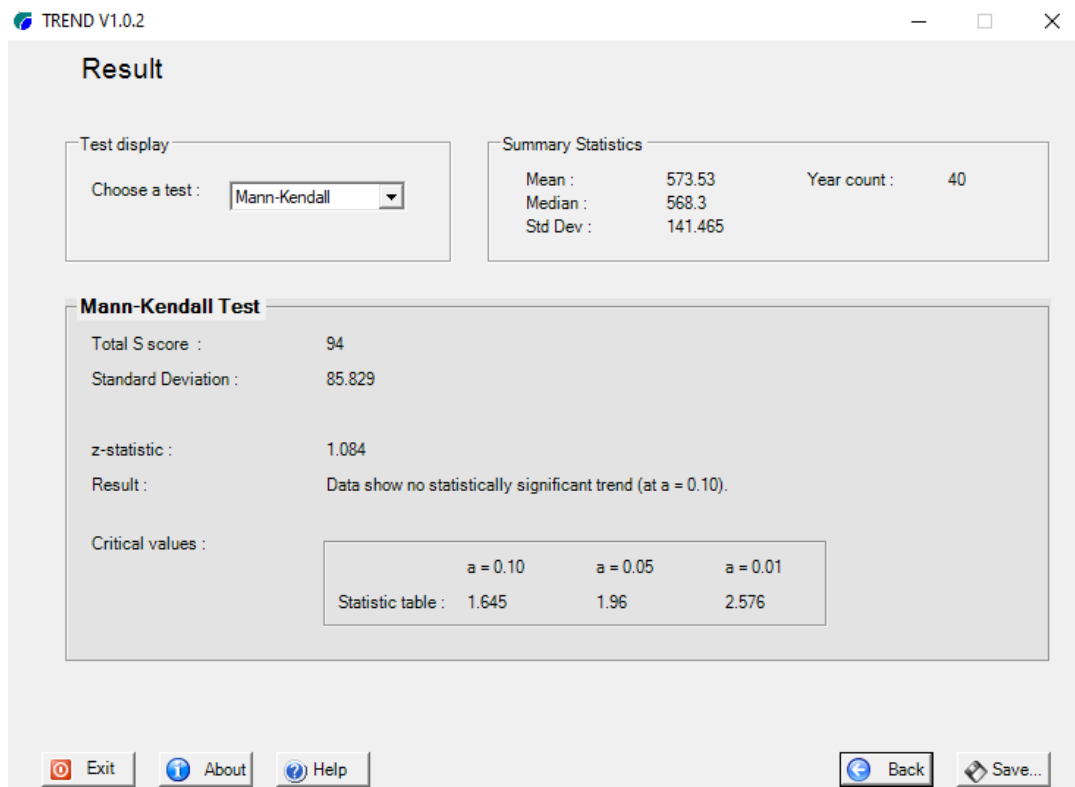
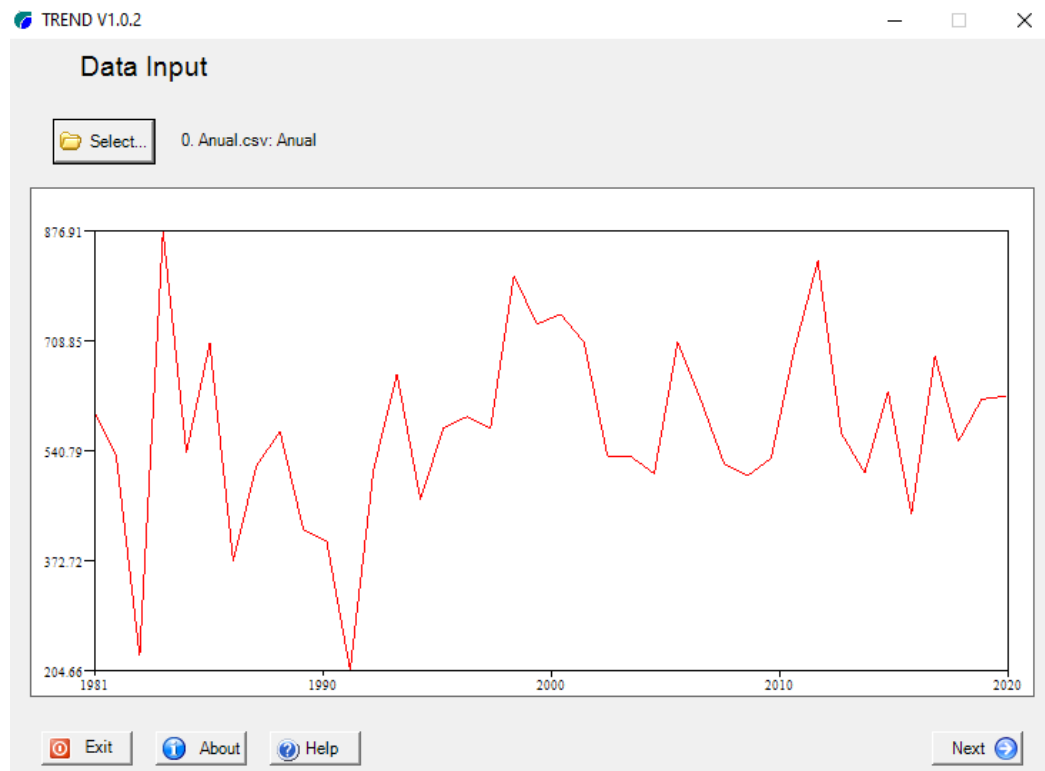
Provincia: Caylloma

Distrito: Caylloma

Precipitación (mm)

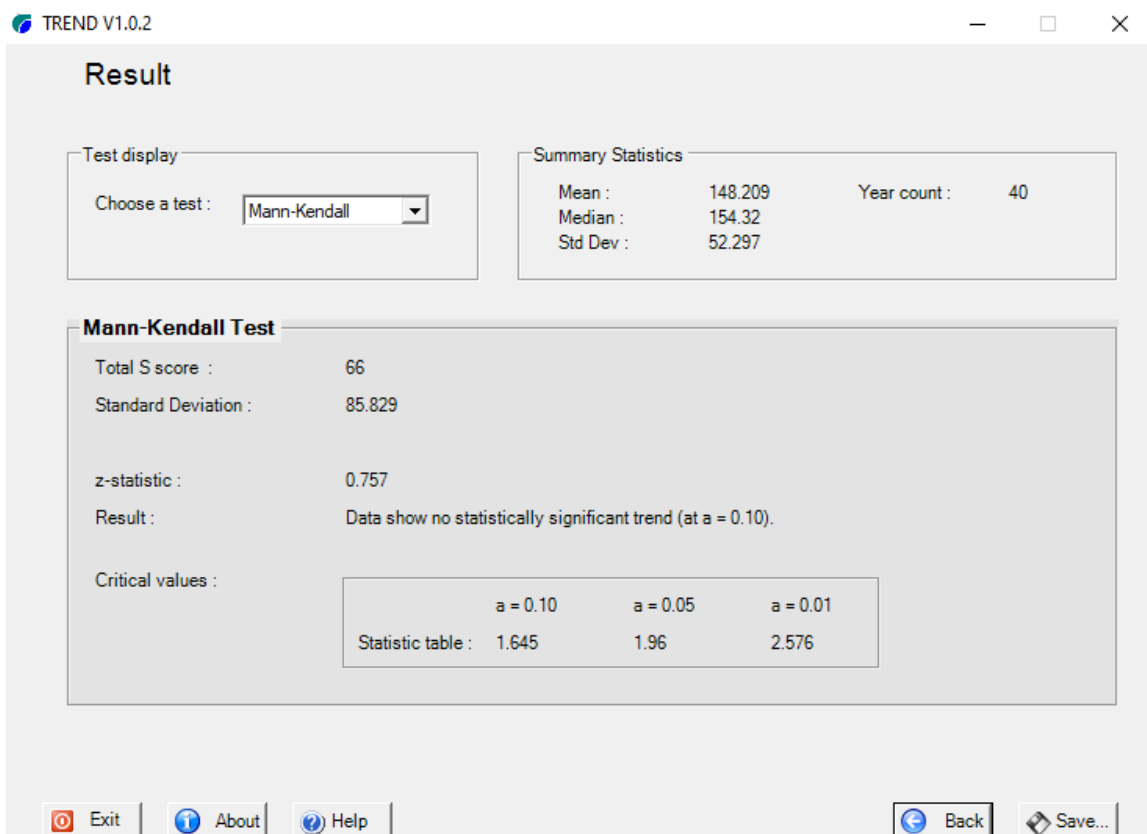
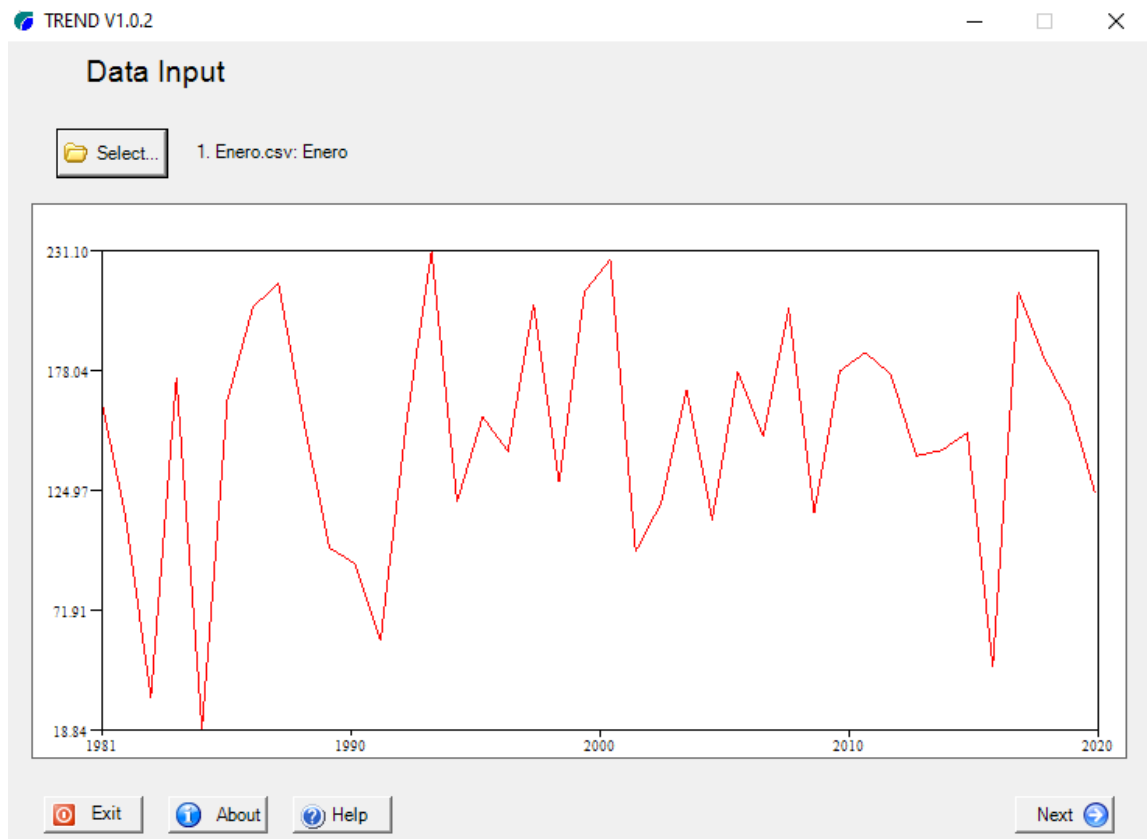
Periodo 1981-2020

Periodo anual

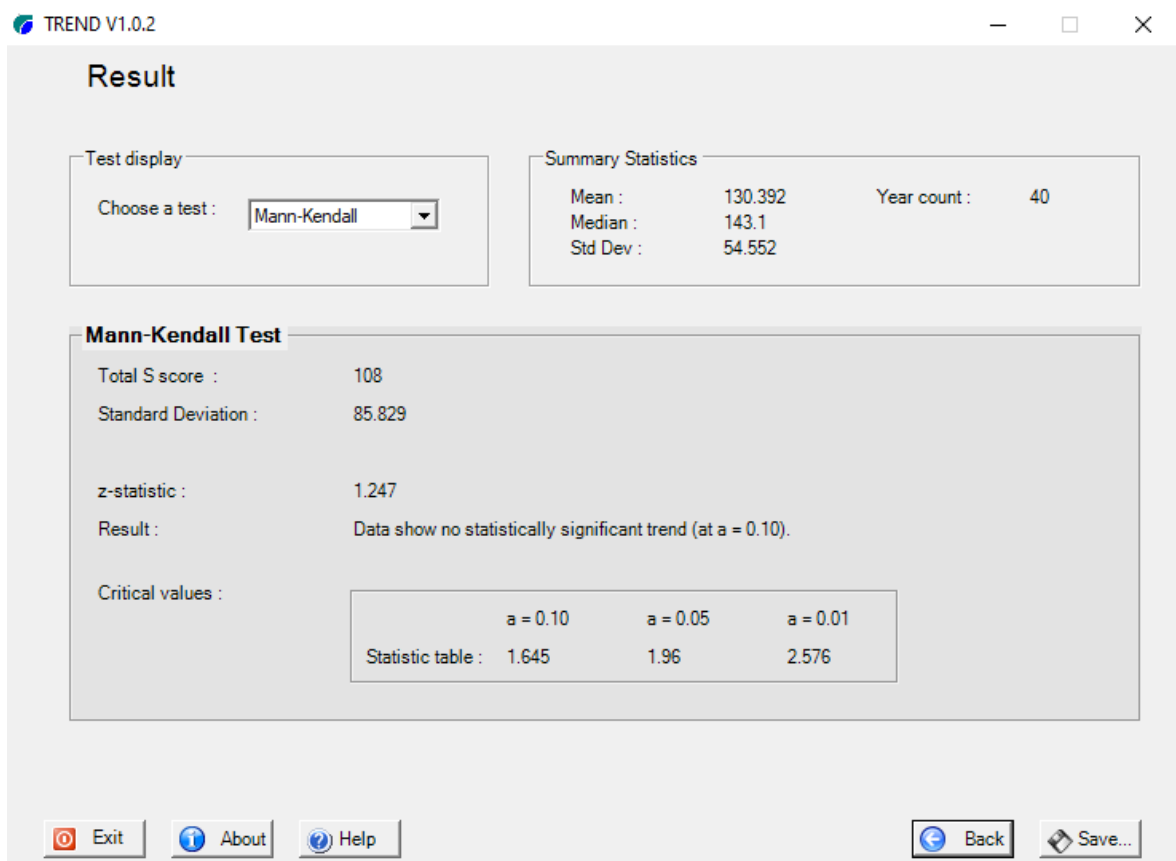
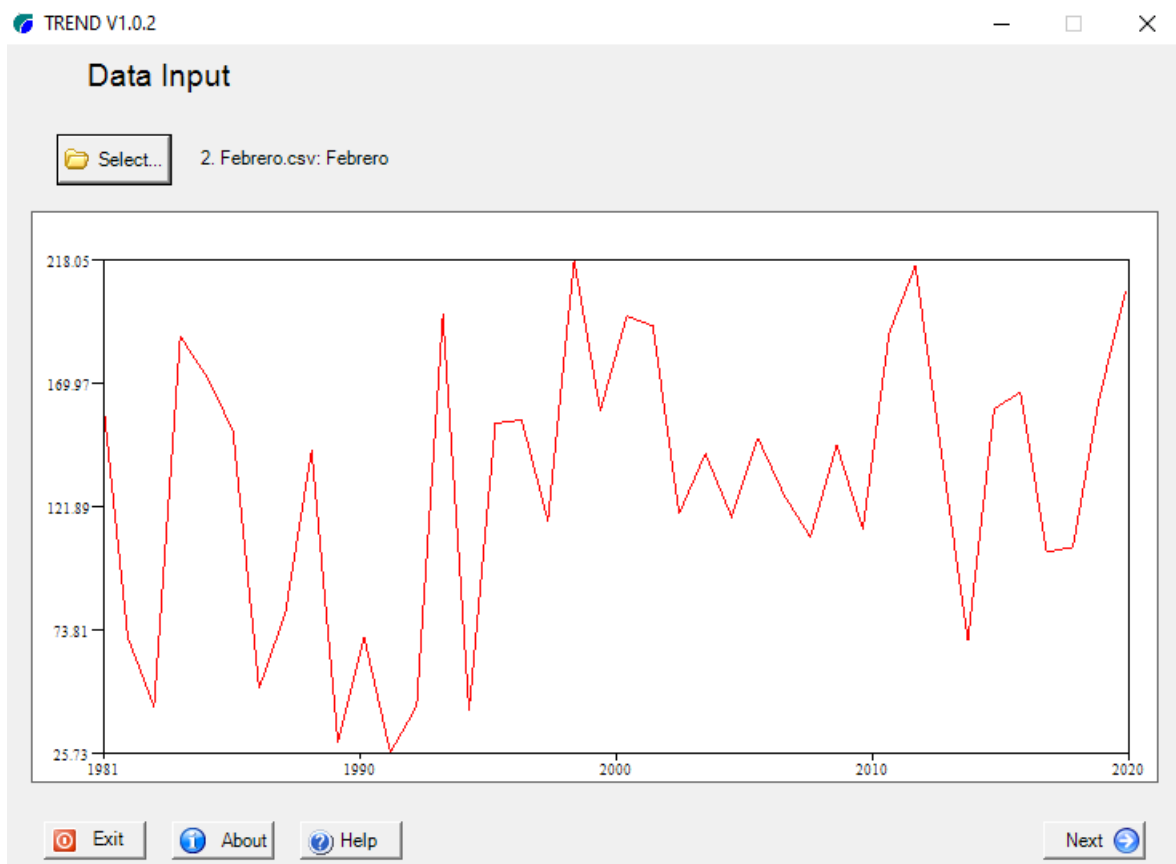


Periodo mensual

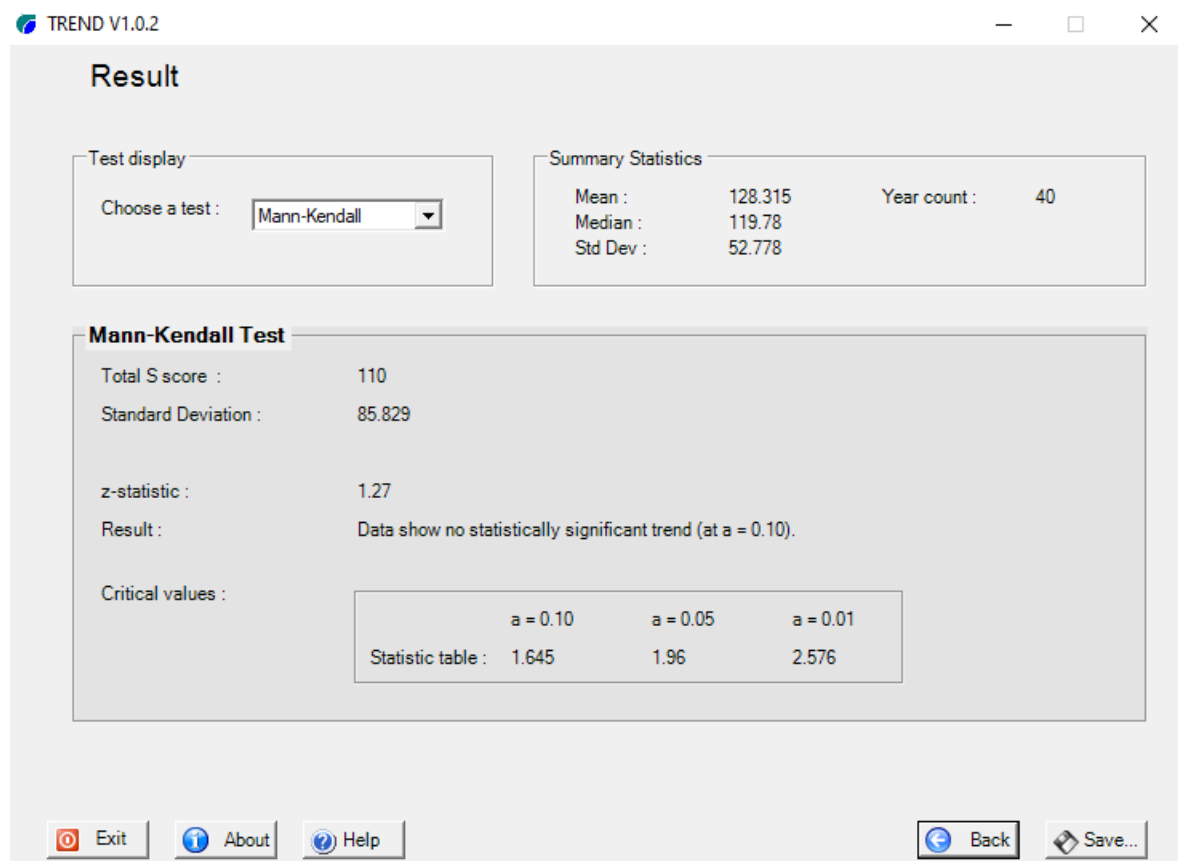
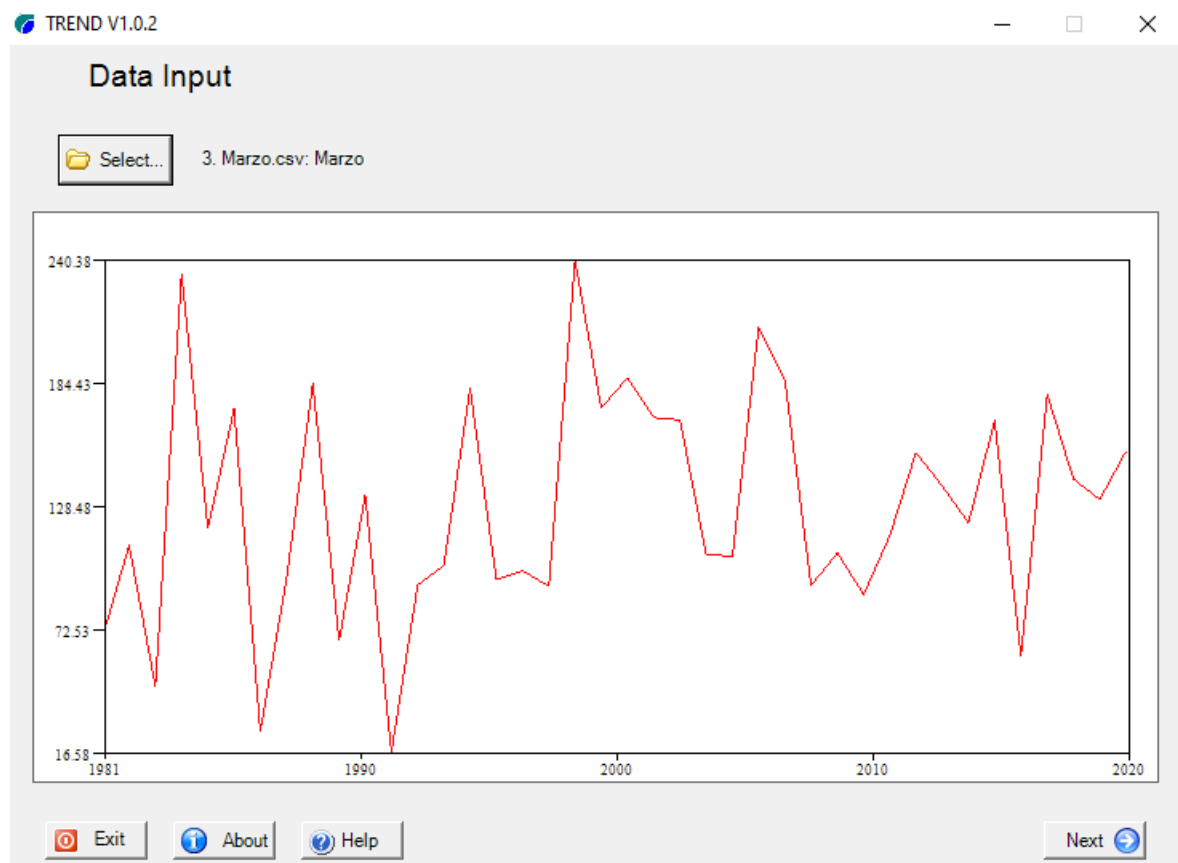
Enero



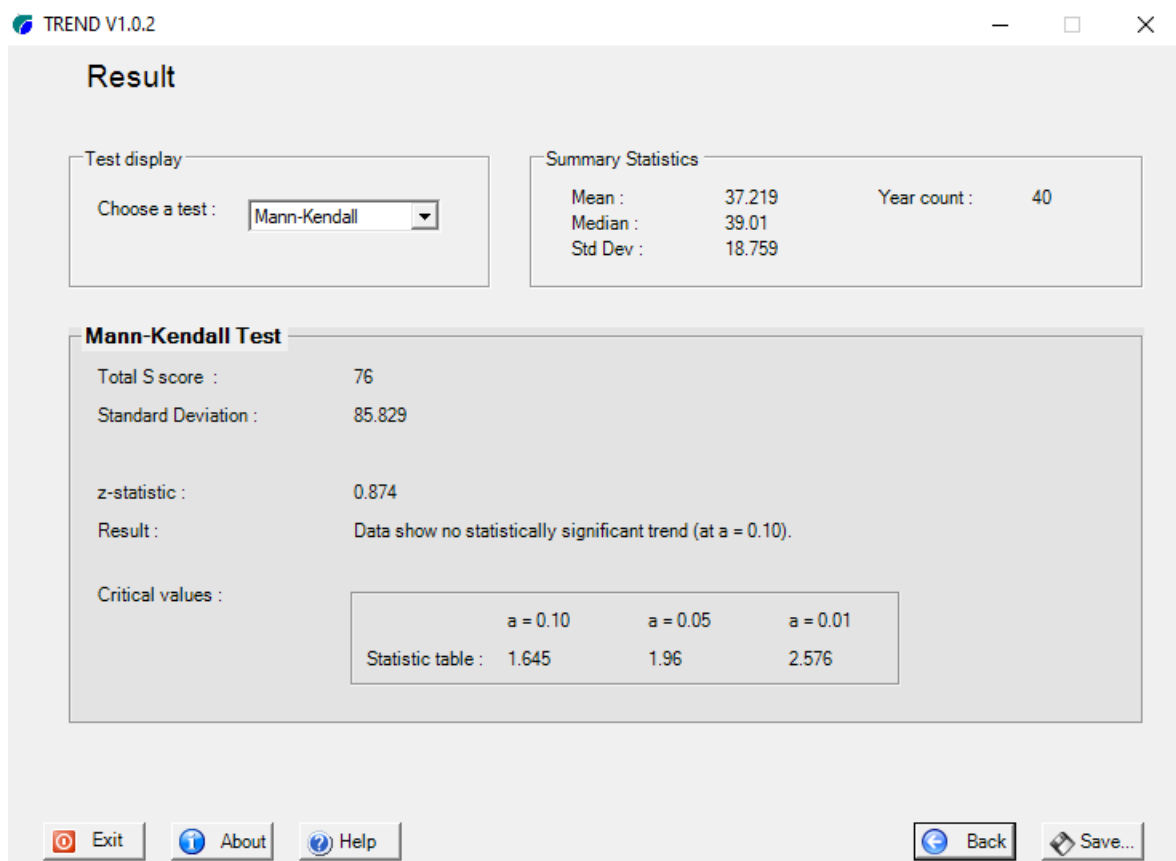
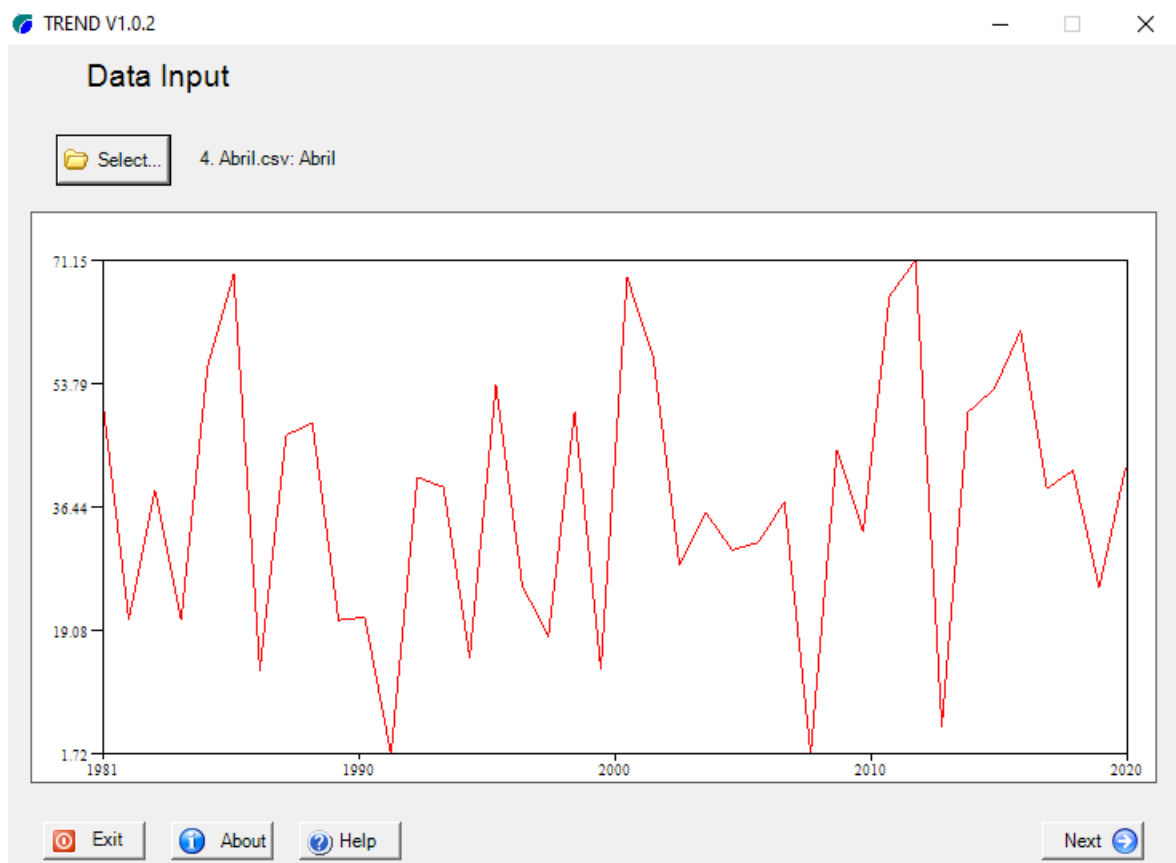
Febrero



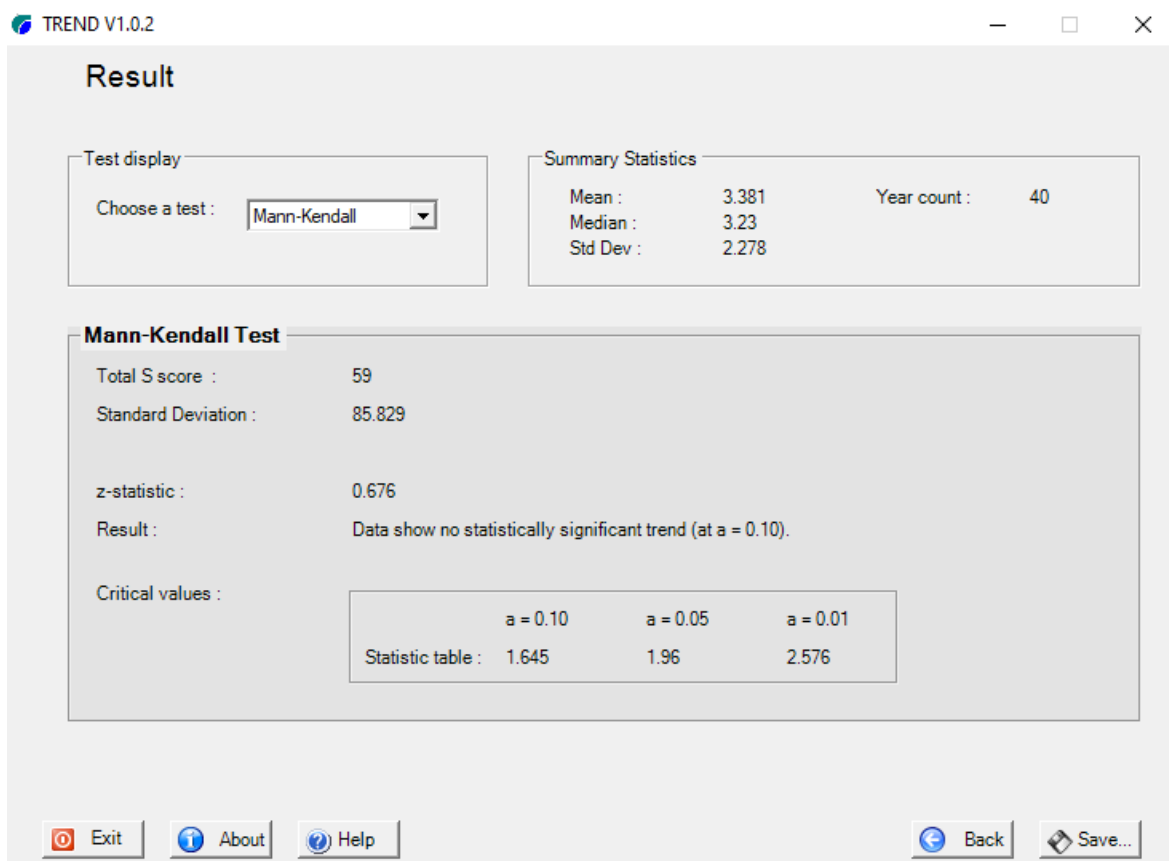
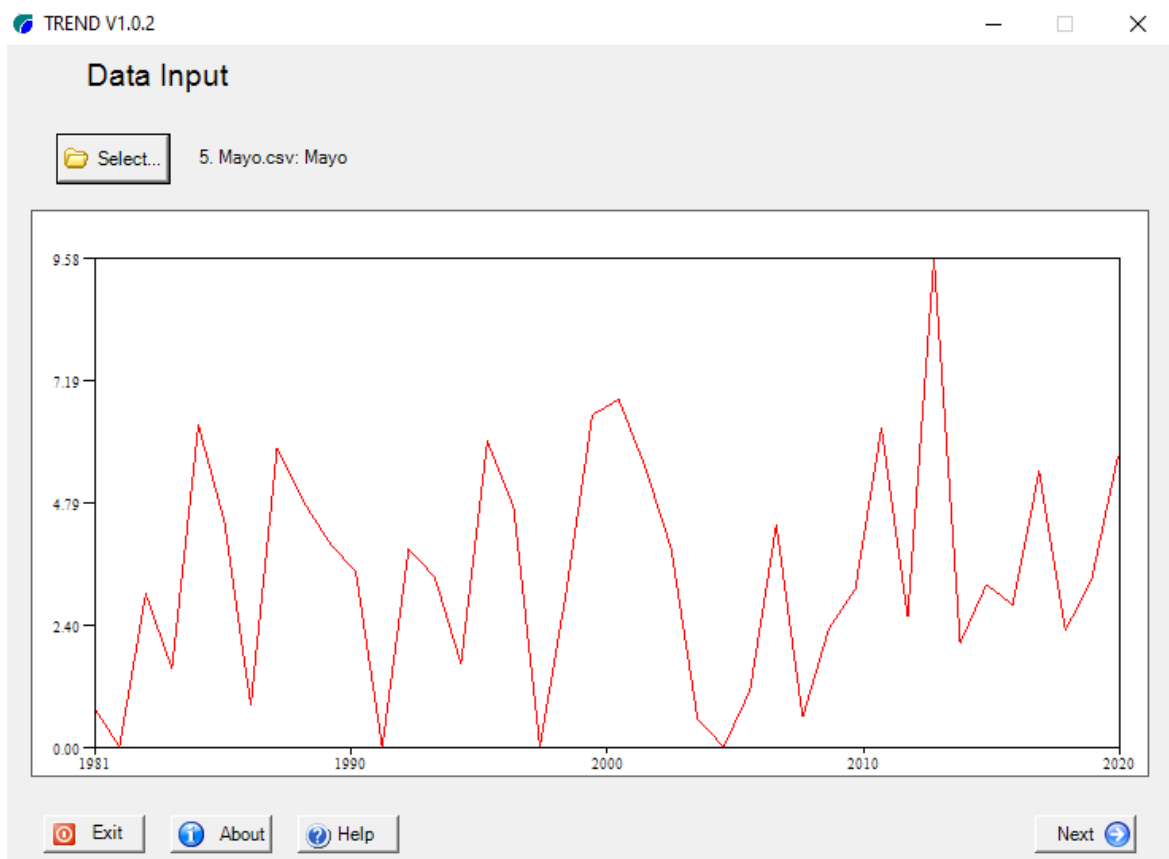
Marzo



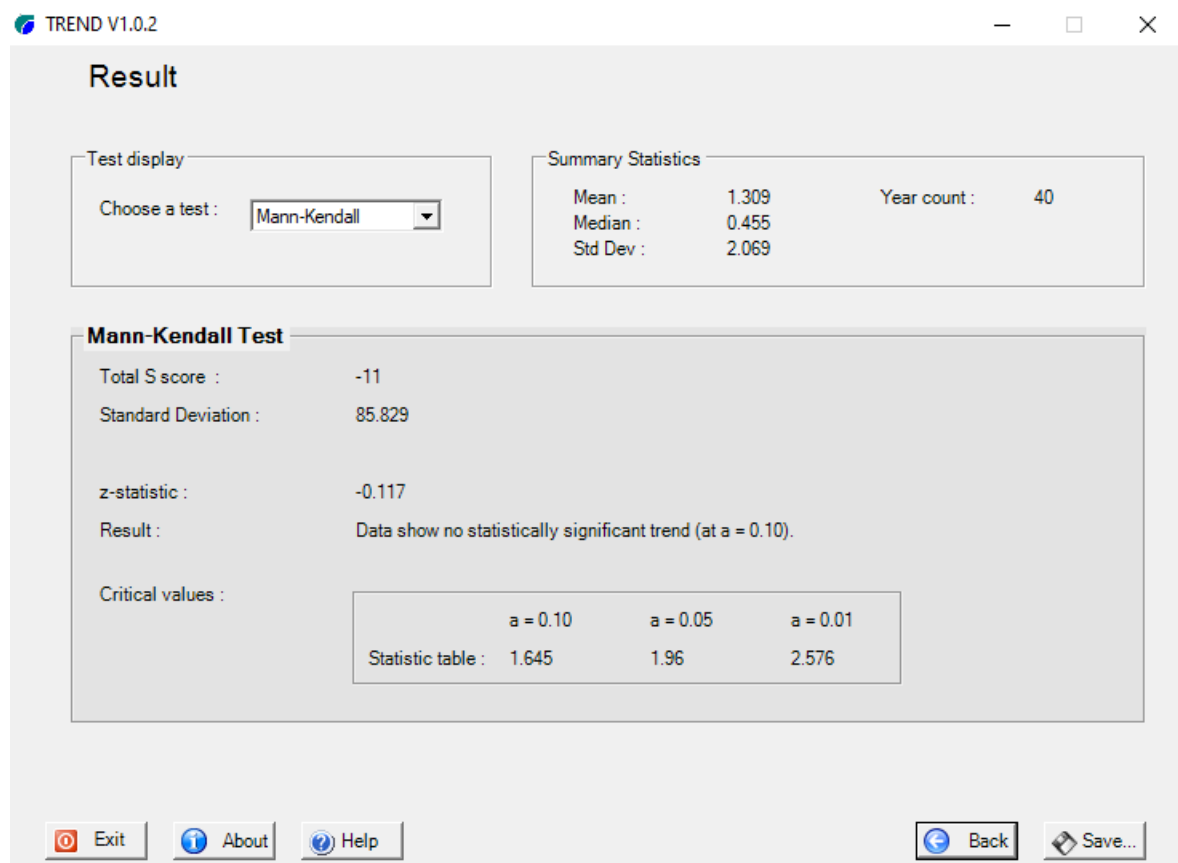
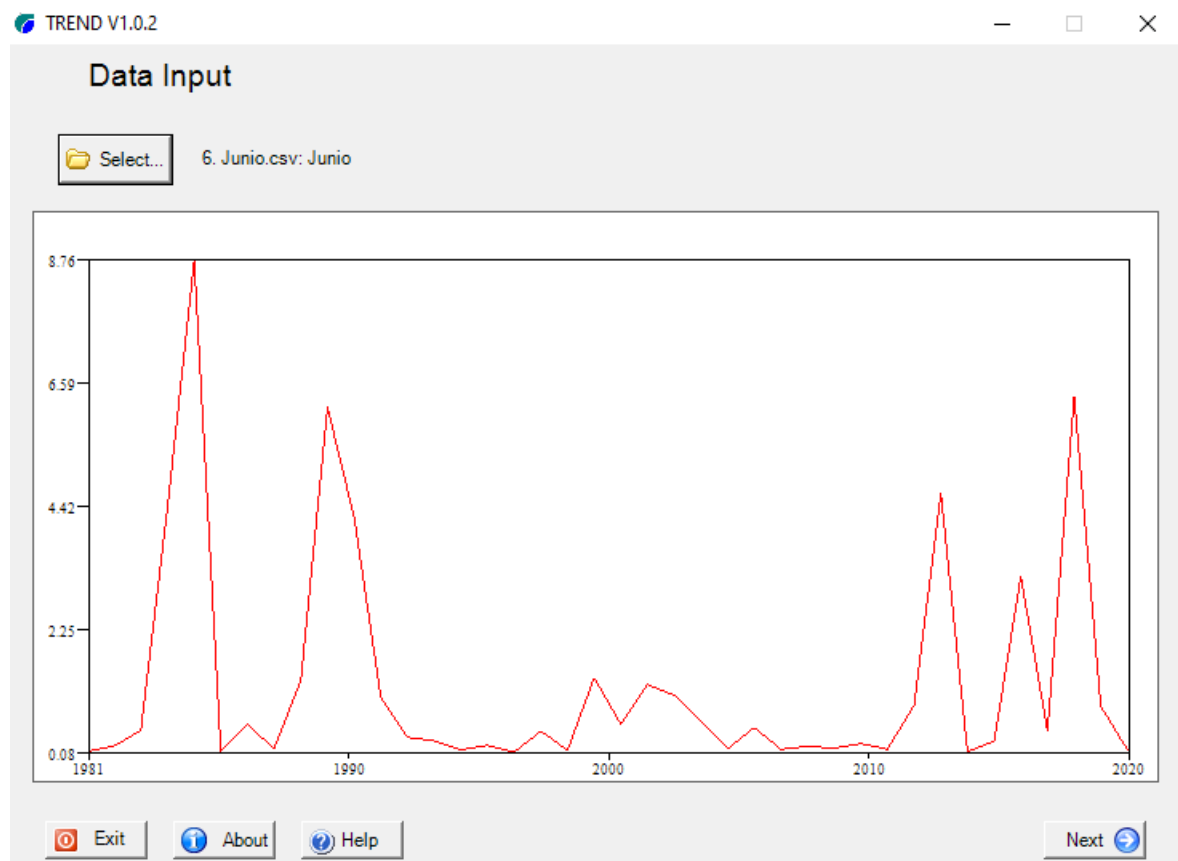
Abril



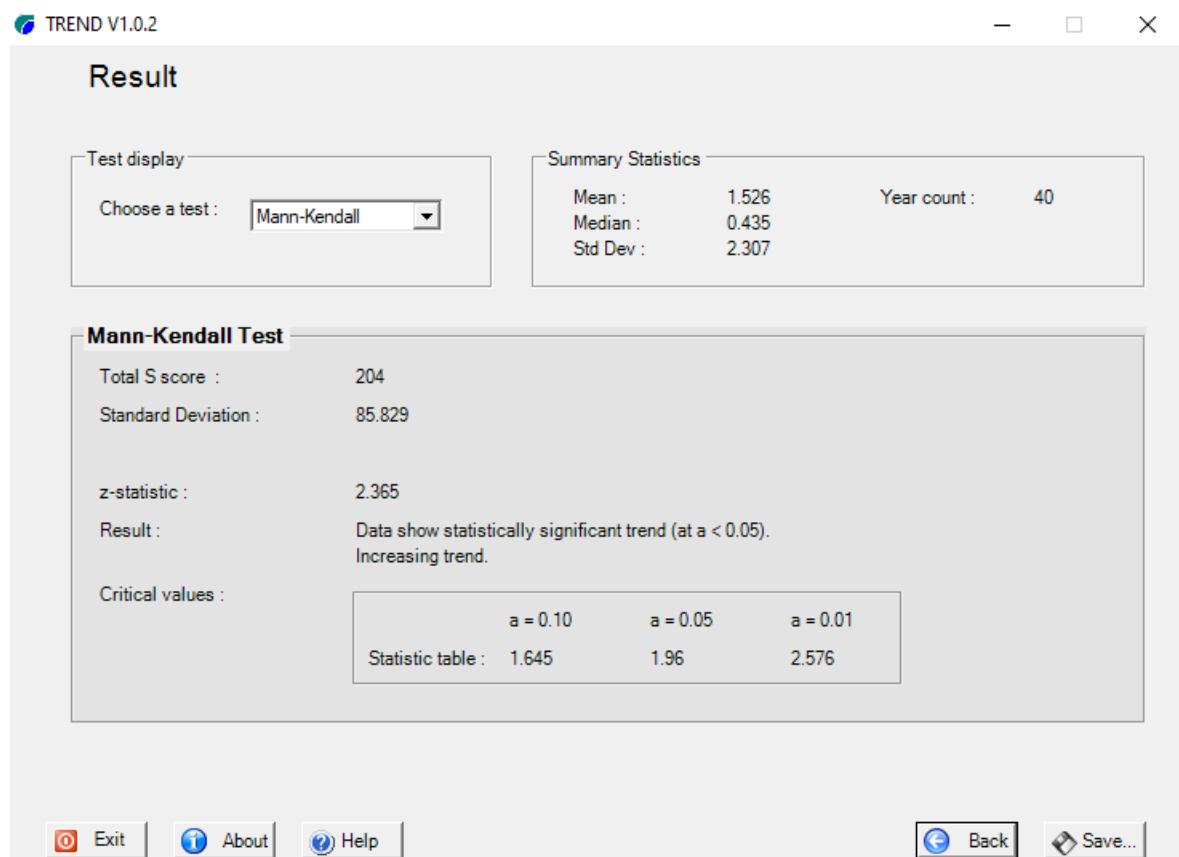
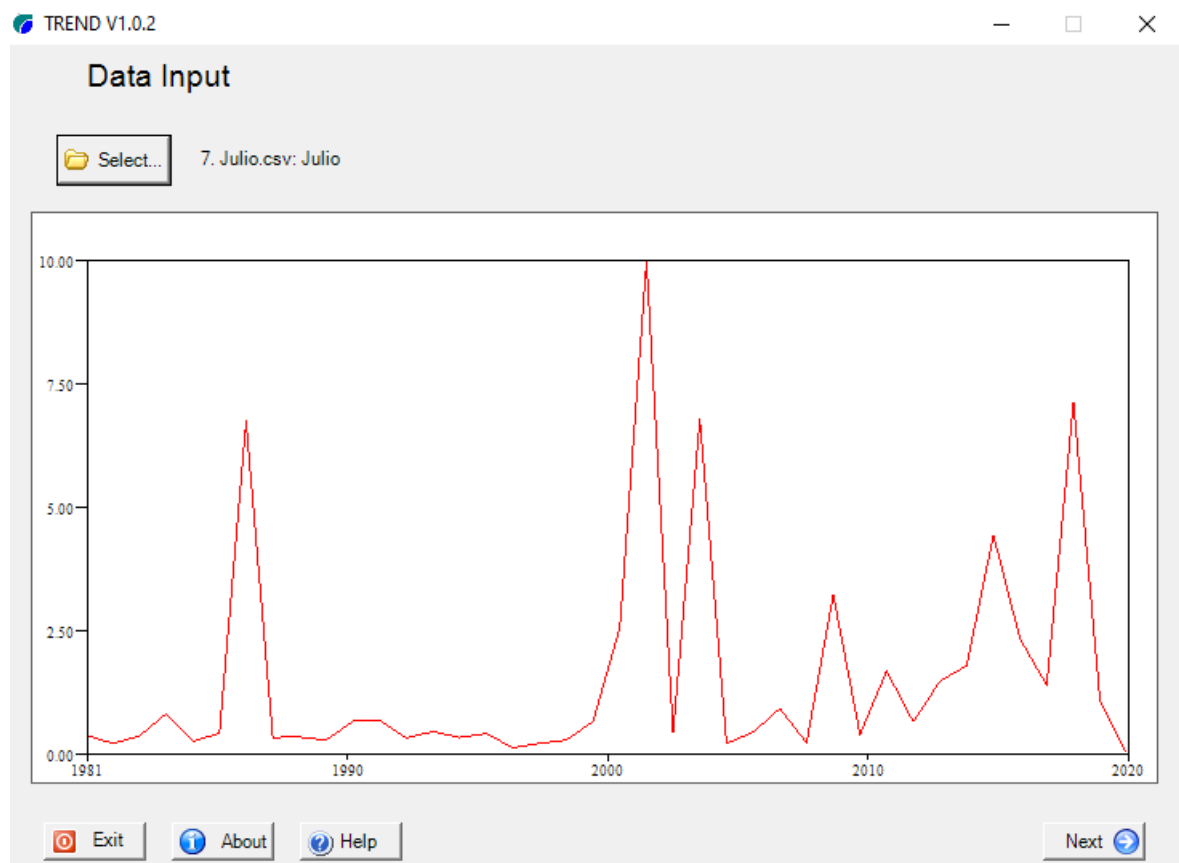
Mayo



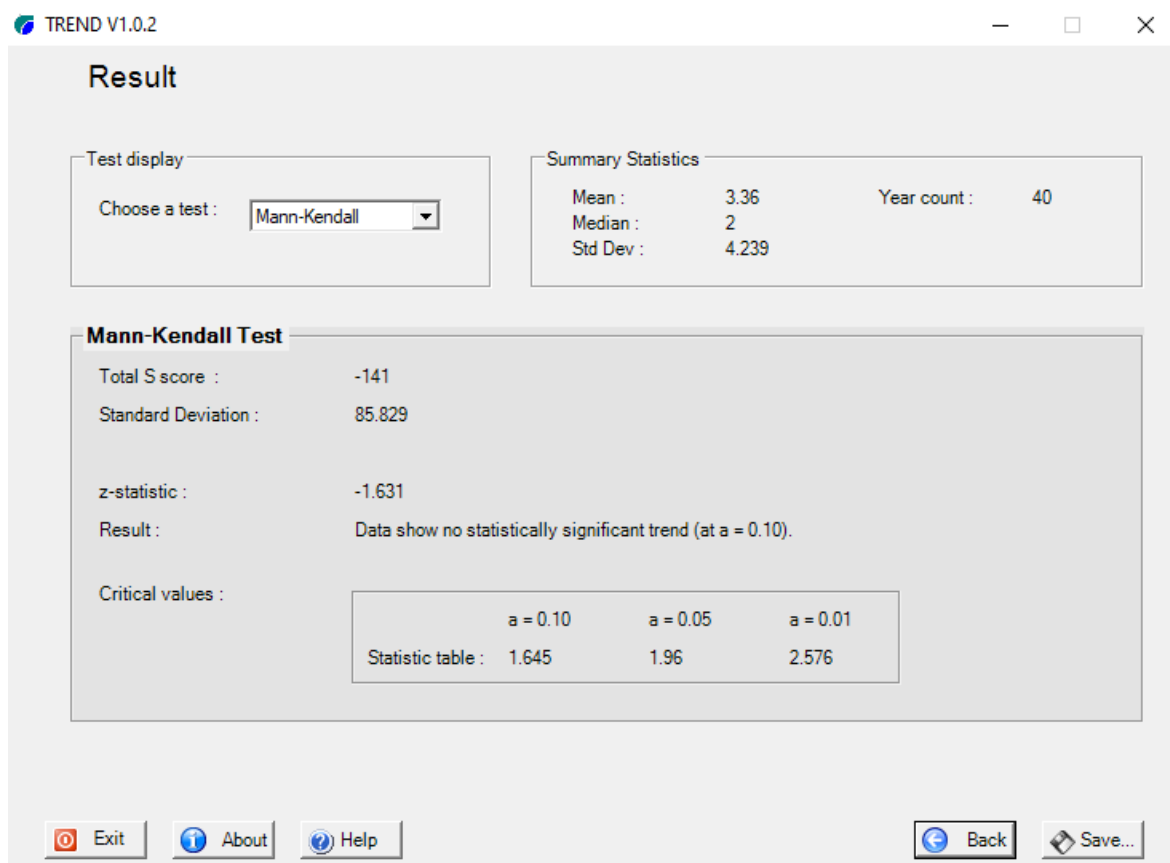
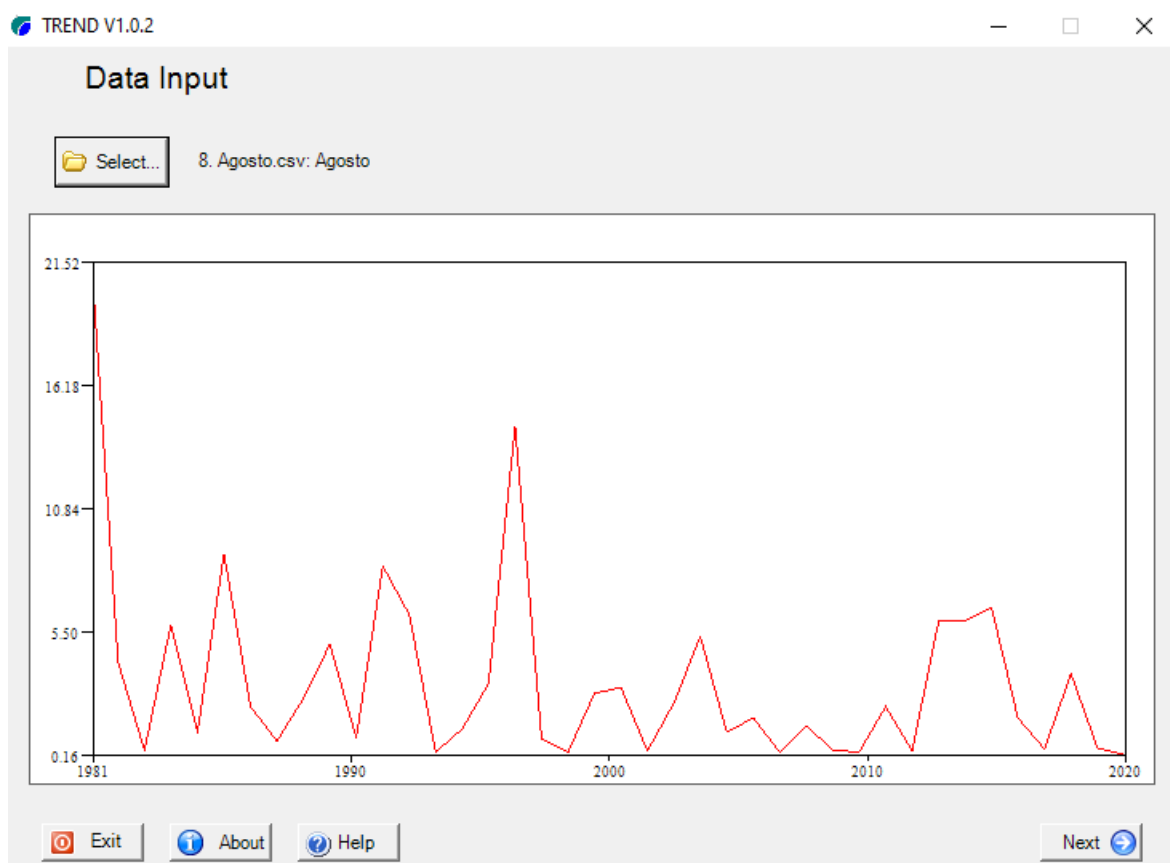
Junio



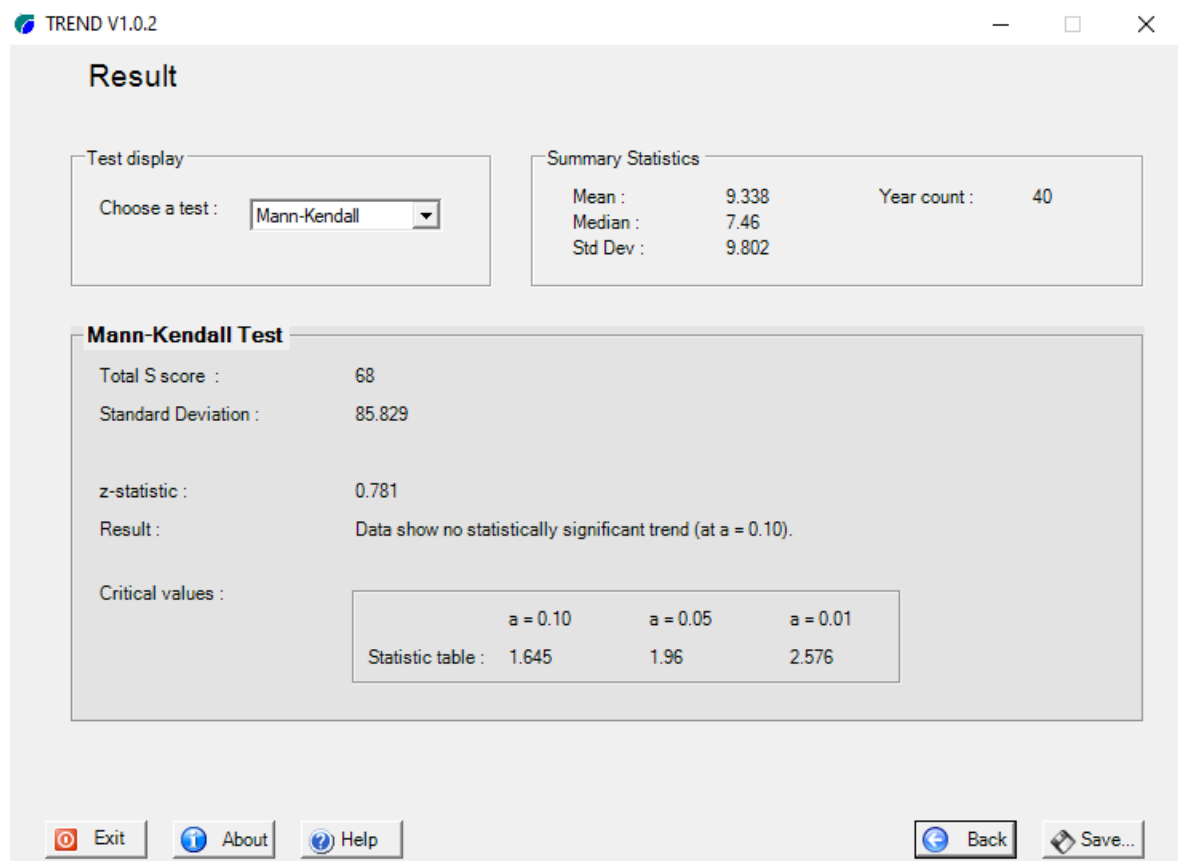
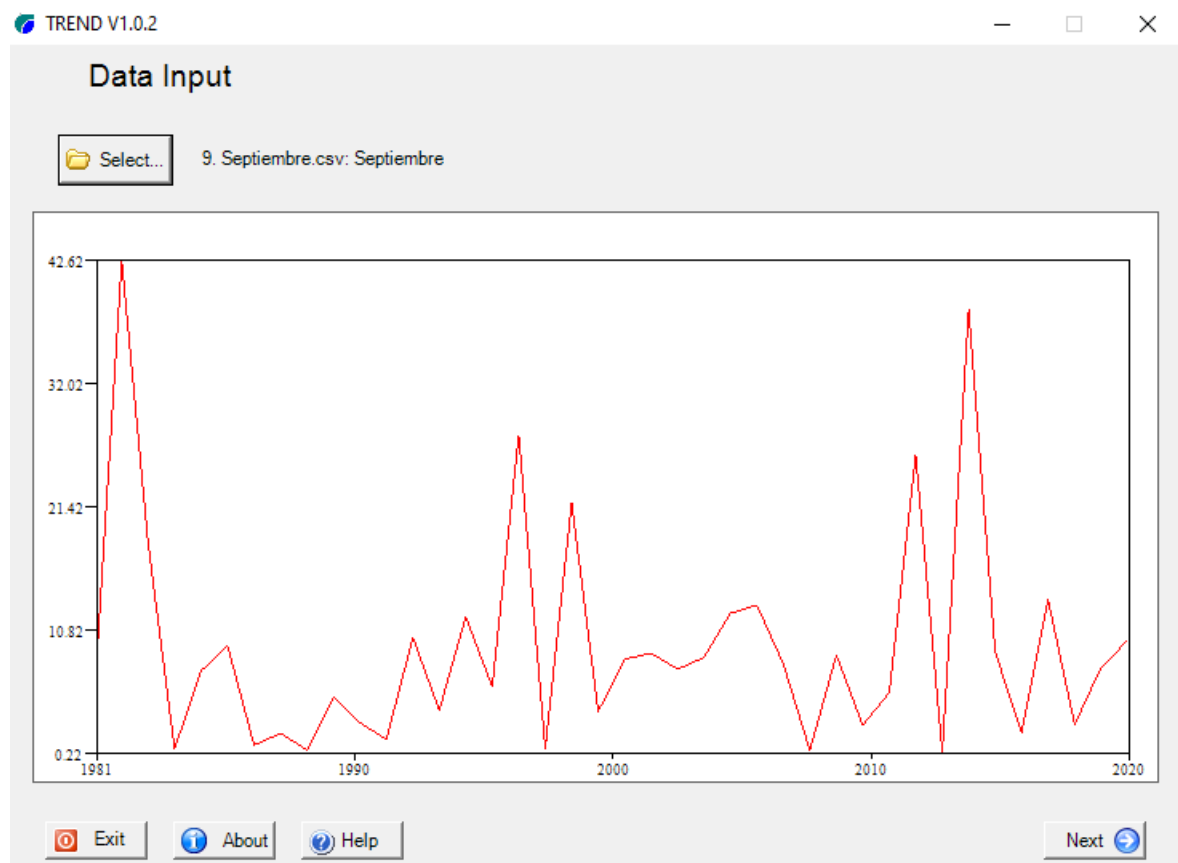
Julio



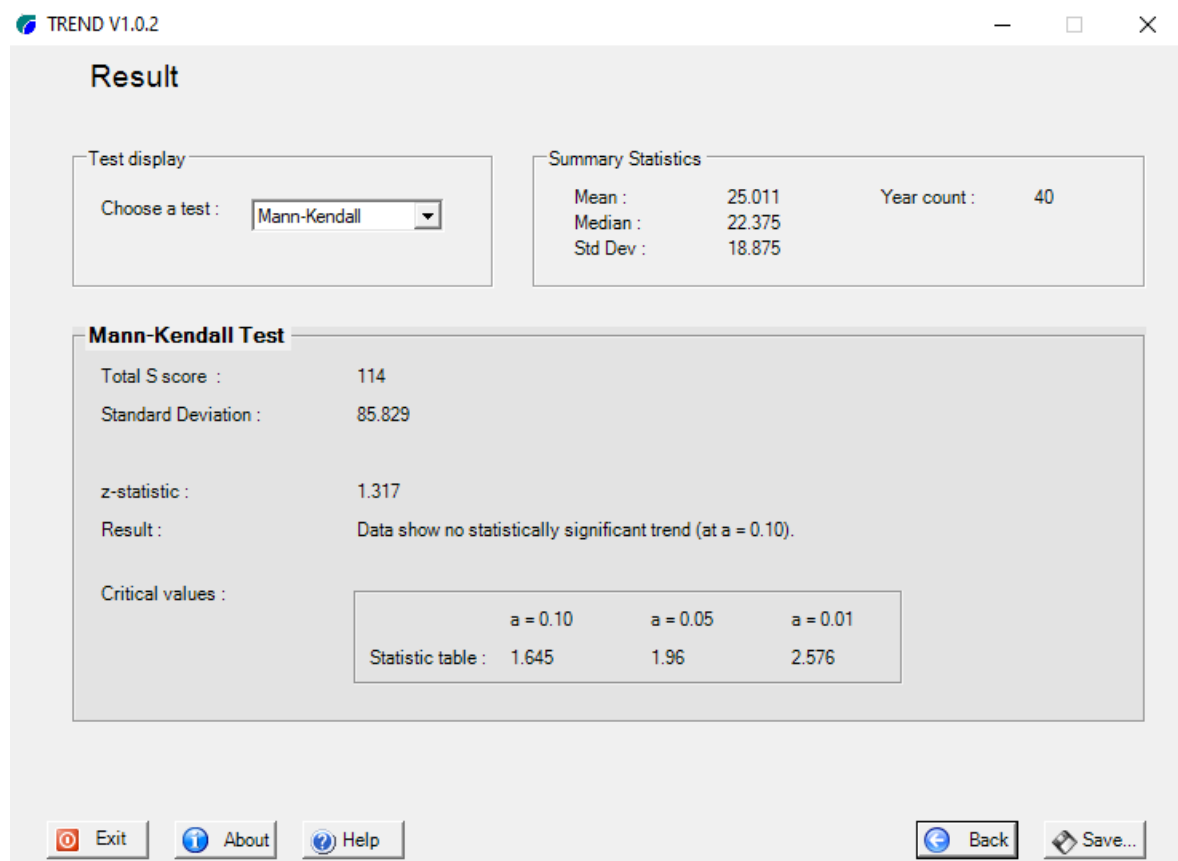
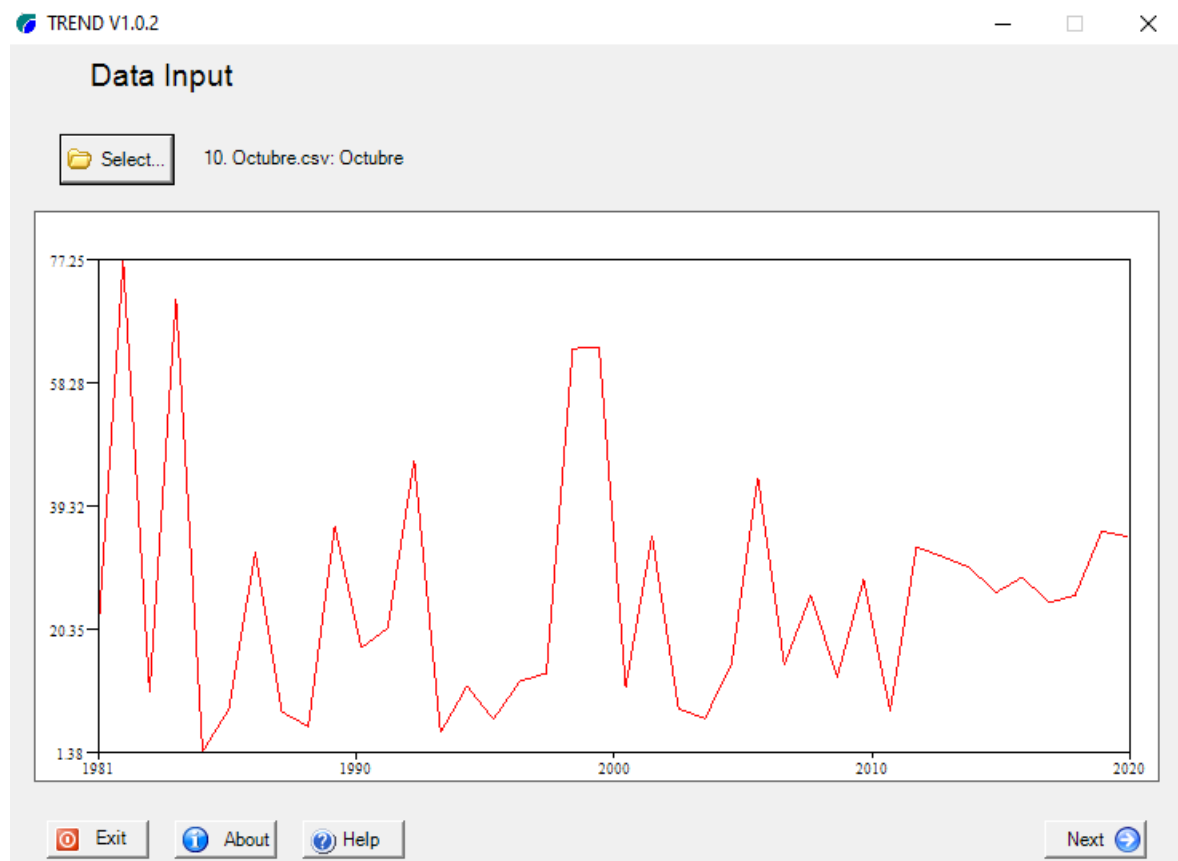
Agosto



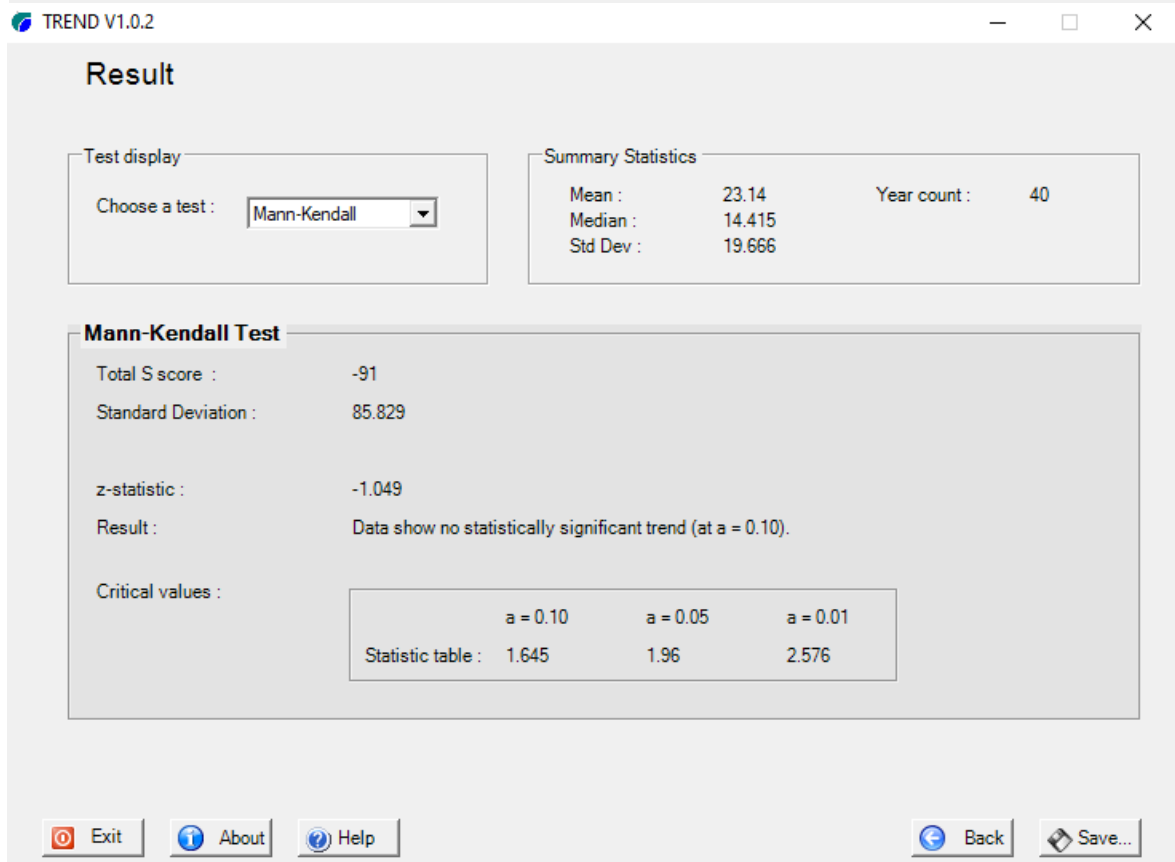
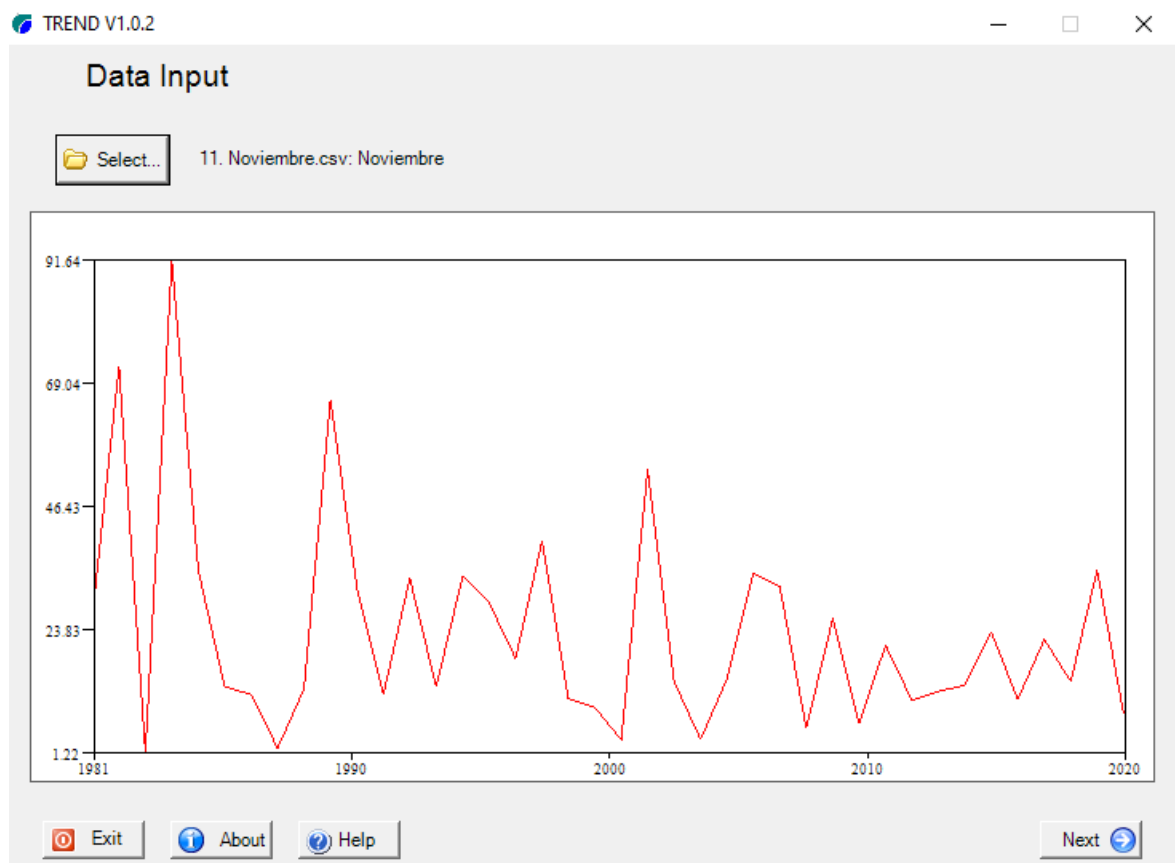
Septiembre



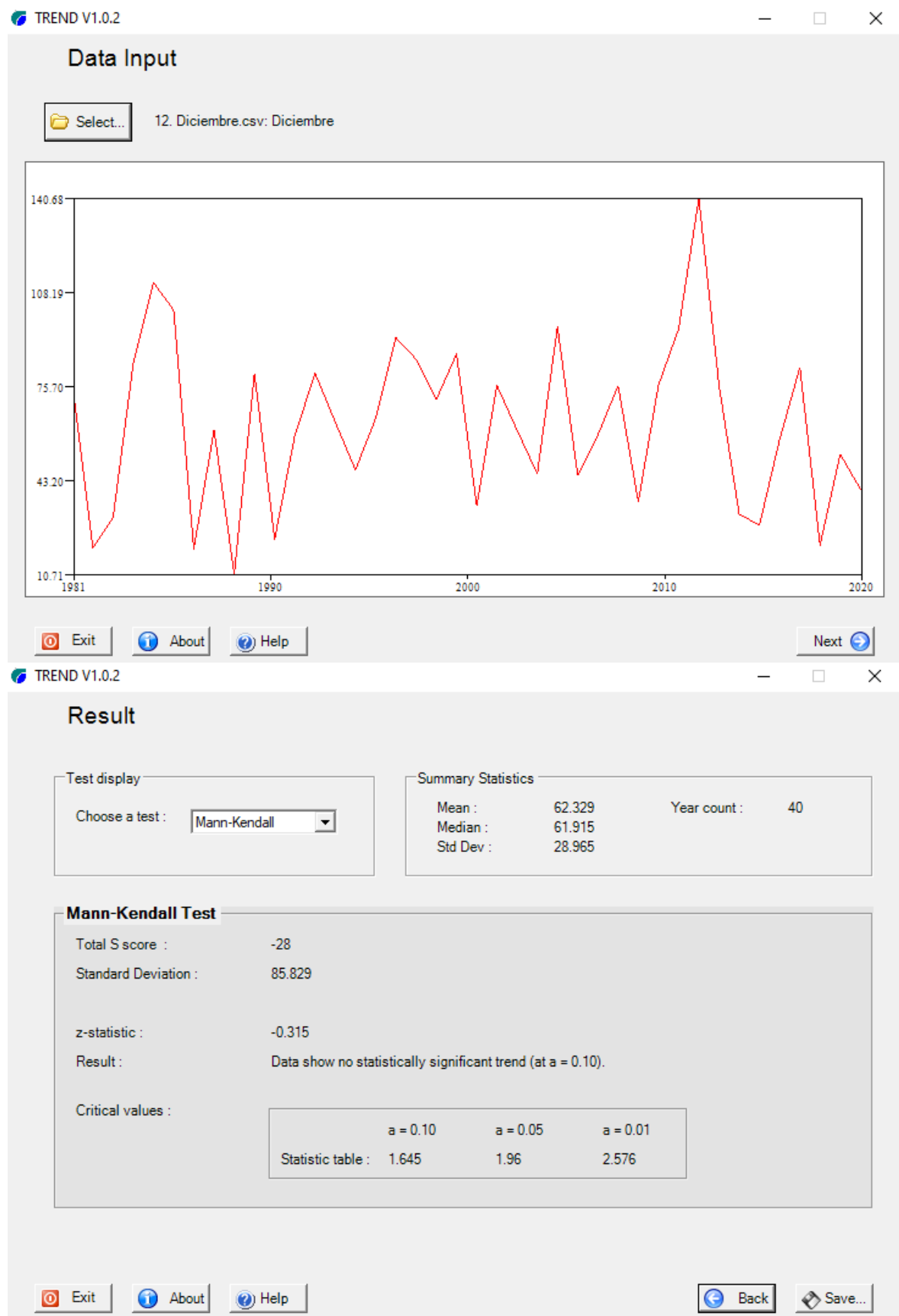
Octubre



Noviembre

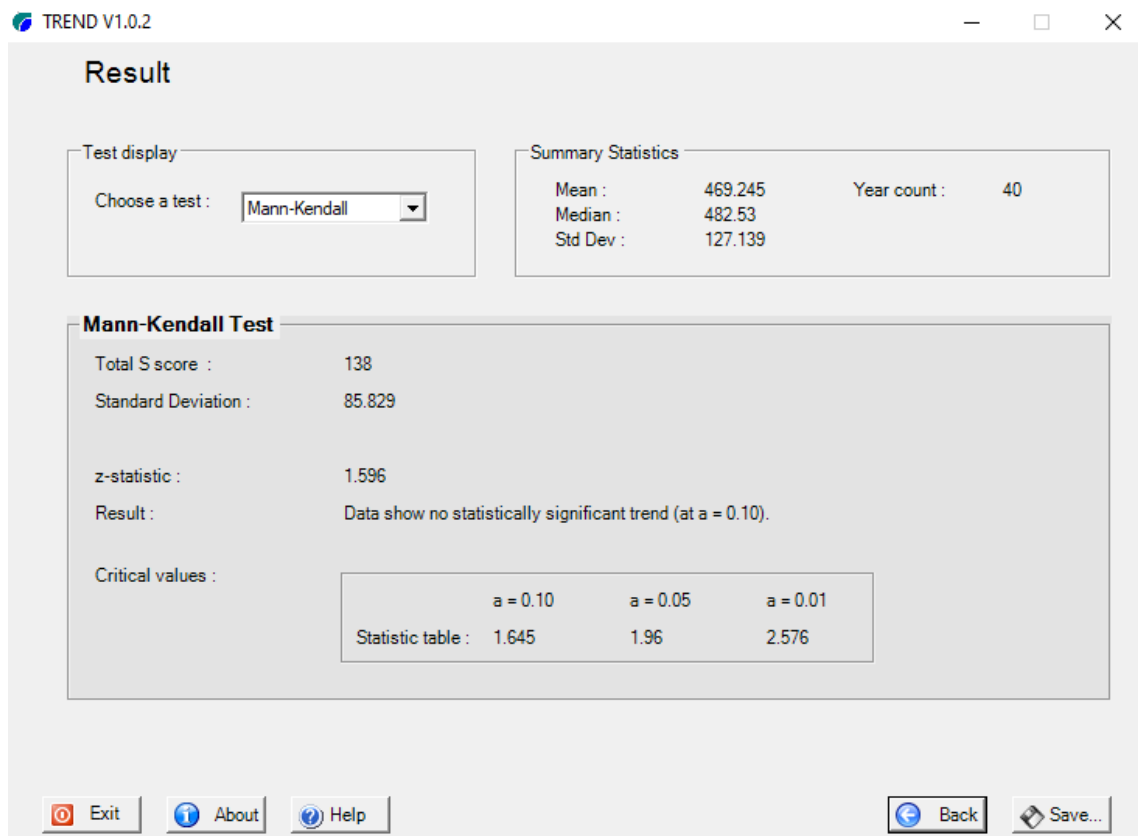
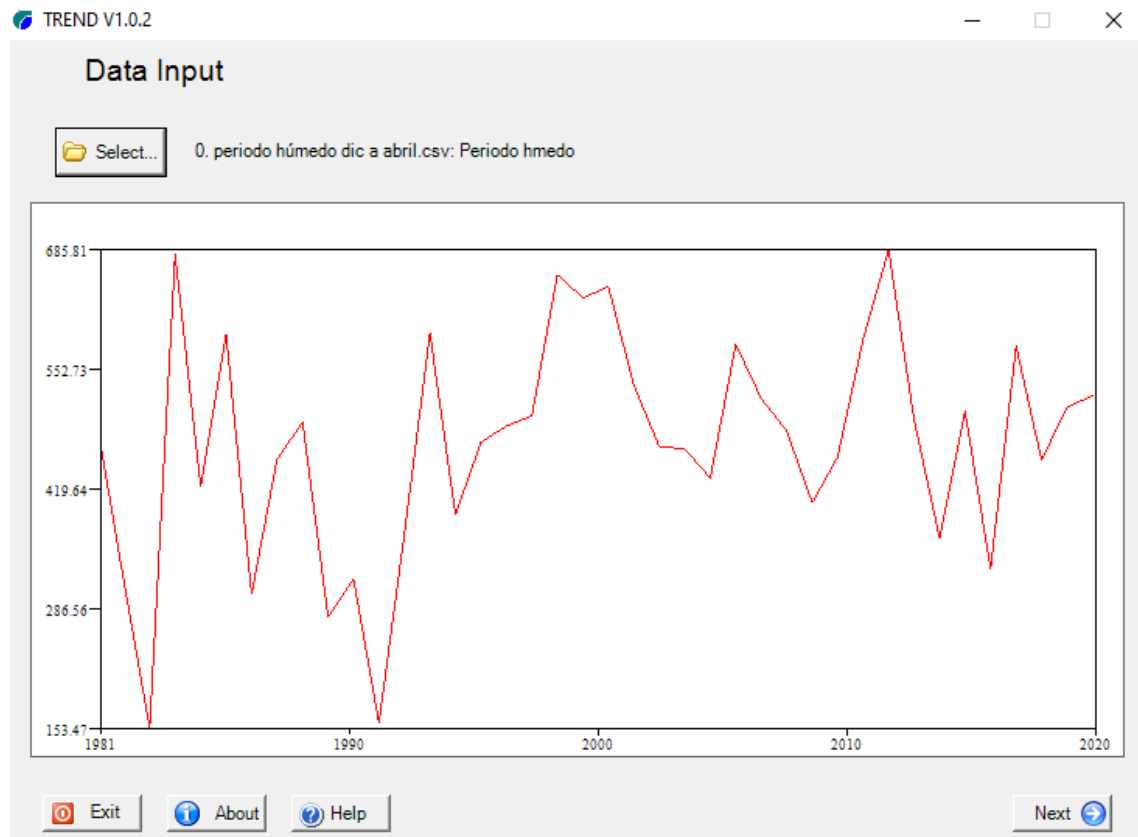


Diciembre

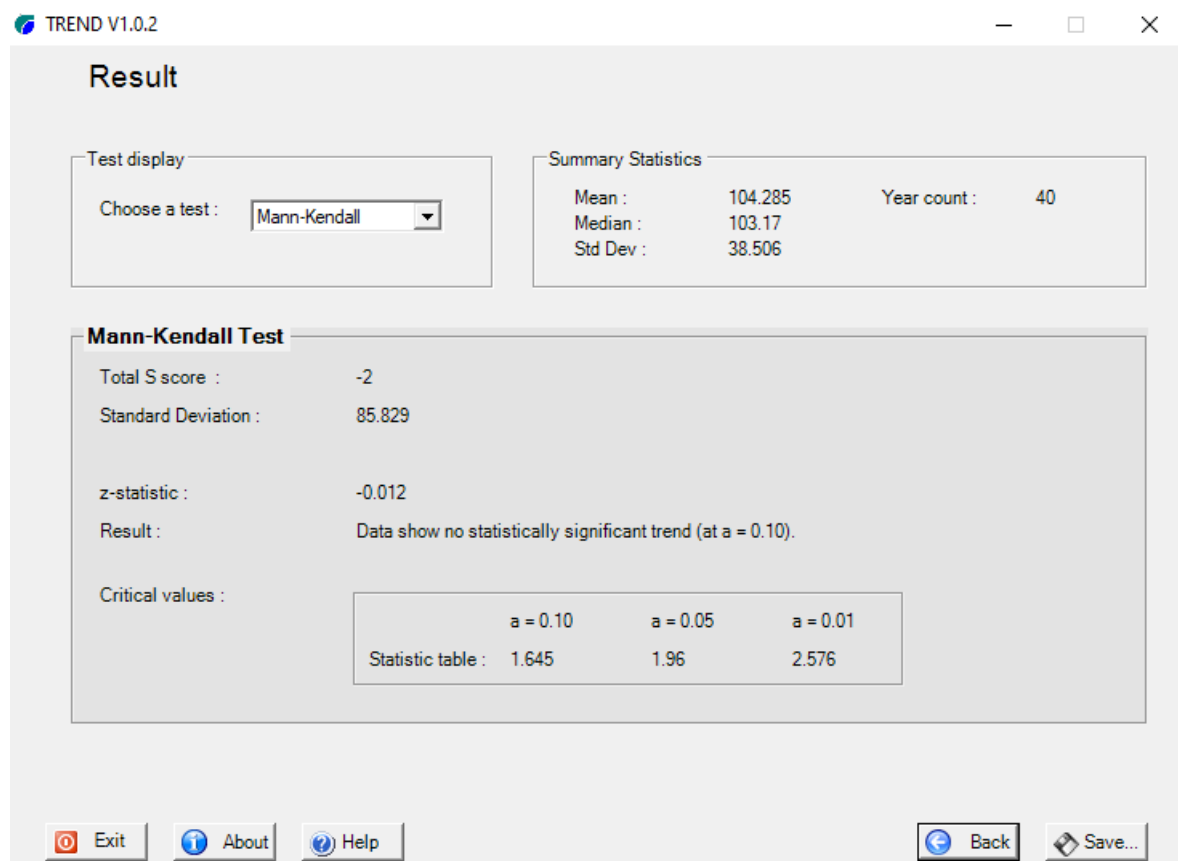
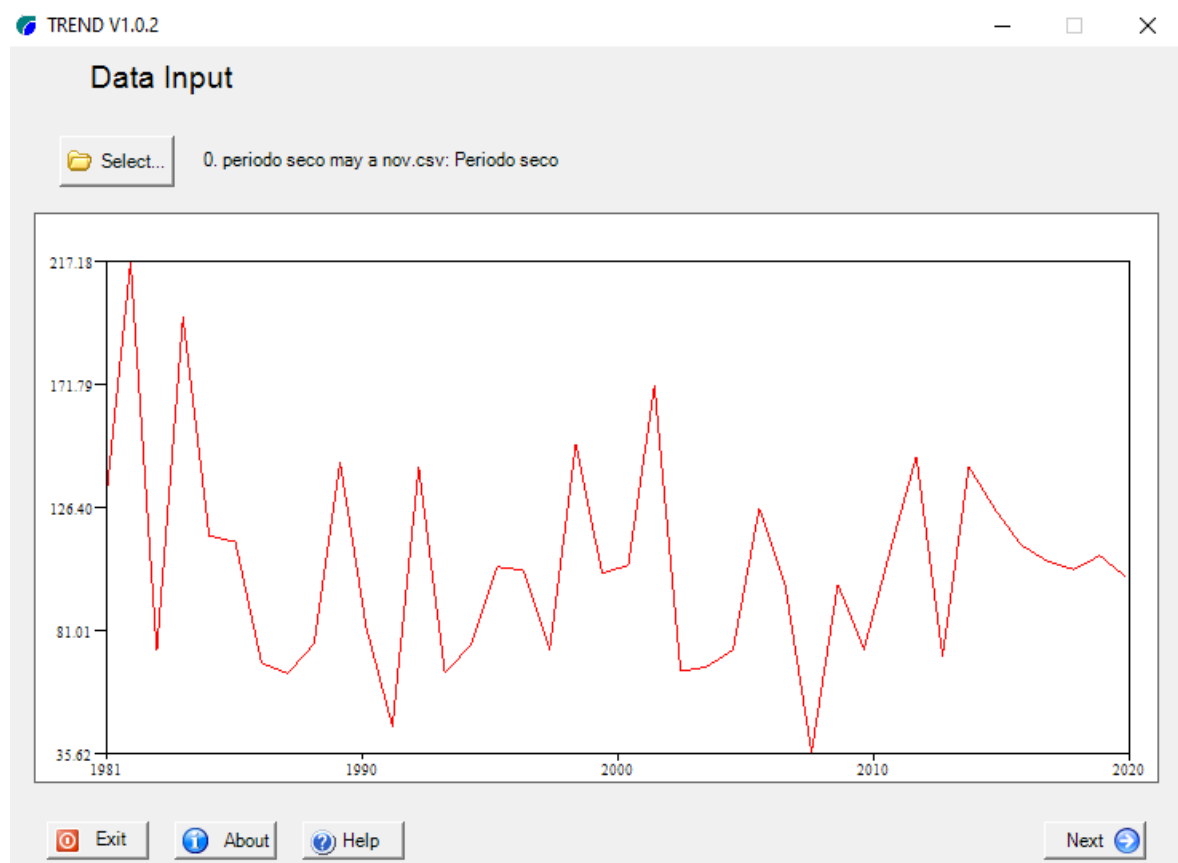


Periodo estacional

Periodo húmedo



Periodo seco



Anexo 9: Datos para correlación

Punto de correlación E-1

Año	Mes	Día	Temperatura máxima del aire (°C)	Temperatura mínima del aire (°C)	Temperatura media del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH (unidades pH)	Conductividad (uS/cm)	Caudal (m3/día)
2015	1	13	15.760	0.600	8.180	11.600	6.480	7.580	79.400	47943.000
2015	2	8	12.790	1.290	7.040	13.500	6.460	7.160	73.500	193795.000
2015	3	3	15.200	0.780	7.990	11.800	6.100	7.010	60.800	30251.000
2015	4	10	13.340	-0.720	6.310	14.300	6.190	7.830	62.400	525.000
2015	5	8	16.190	-0.420	7.885	12.000	6.660	7.940	61.500	11660.000
2015	6	1	15.440	-4.250	5.595	12.100	6.200	7.620	62.300	7443.000
2015	7	9	16.150	-9.160	3.495	9.000	6.460	7.900	57.700	19124.000
2015	8	6	20.670	-6.760	6.955	9.500	5.780	8.060	69.100	2754.000
2015	9	1	18.990	-5.340	6.825	9.500	7.160	7.760	79.300	3265.920
2015	10	7	23.140	-3.720	9.710	17.200	6.840	7.940	91.400	3055.320
2015	11	5	20.060	-3.610	8.225	16.000	6.230	9.000	85.400	1334.880
2015	12	1	17.130	1.260	9.195	10.600	5.960	8.480	97.100	2232.576
2016	1	7	15.740	1.630	8.685	14.300	6.480	8.520	90.500	20736.000
2016	2	11	16.280	2.280	9.280	13.500	6.140	7.470	84.100	192898.800
2016	3	1	18.860	2.110	10.485	17.900	5.760	7.580	73.300	28531.440
2016	4	2	17.780	0.790	9.285	12.800	6.550	7.800	76.000	14137.000
2016	5	6	18.610	-4.090	7.260	13.400	6.760	8.140	72.200	15428.880
2016	6	2	16.640	-8.510	4.065	7.000	7.270	8.050	71.000	5417.280
2016	7	6	15.360	-6.680	4.340	0.500	9.090	7.770	109.500	5897.124
2016	8	4	18.770	-6.370	6.200	13.300	6.270	8.050	78.400	4561.920
2016	9	1	20.060	-8.830	5.615	15.700	5.940	8.120	76.300	2417.040
2016	10	13	21.980	-5.130	8.425	21.600	5.600	8.240	93.900	1663.200
2016	11	4	18.720	-2.250	8.235	13.700	6.960	8.720	106.800	1581.120
2016	12	1	17.960	1.070	9.515	18.600	6.100	8.120	86.500	2138.400
2017	1	11	14.040	0.870	7.455	16.700	5.710	7.380	79.300	93247.200
2017	2	5	17.050	-0.130	8.460	17.900	5.560	7.810	75.000	17301.600
2017	3	3	13.850	0.320	7.085	9.400	6.350	7.020	87.200	37329.120
2017	4	4	15.340	-0.430	7.455	14.600	5.900	7.820	64.600	16178.400
2017	5	23	14.340	-0.680	6.830	5.900	6.890	7.370	65.400	14774.400
2017	6	1	15.410	-5.030	5.190	12.400	6.680	7.920	70.600	9212.400
2017	7	8	17.720	-7.440	5.140	2.900	8.080	7.310	71.200	12744.000
2017	8	5	20.480	-5.900	7.290	7.600	7.300	7.770	70.500	10929.600
2017	9	1	21.600	-4.330	8.635	15.400	6.300	8.130	82.700	2667.600
2017	10	11	20.070	-1.890	9.090	11.600	6.500	8.270	92.200	1668.600
2017	11	4	21.120	-1.920	9.600	14.400	7.140	8.170	96.200	7344.000
2017	12	1	18.990	-1.560	8.715	12.900	5.700	8.100	88.300	2447.280
2018	1	19	14.360	1.430	7.895	6.200	7.600	7.250	95.400	25866.000
2018	2	9	14.410	2.200	8.305	6.300	7.550	7.650	96.200	53071.200
2018	3	1	14.730	1.700	8.215	10.300	6.680	7.710	64.500	129448.800
2018	4	13	13.460	-2.680	5.390	6.500	7.840	7.720	74.600	20844.000
2018	5	7	16.520	-2.830	6.845	7.800	7.390	7.400	60.500	12128.400
2018	6	1	17.510	-8.670	4.420	7.400	7.560	7.920	55.800	9201.600

Año	Mes	Día	Temperatura máxima del aire (°C)	Temperatura mínima del aire (°C)	Temperatura media del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH (unidades pH)	Conductividad (uS/cm)	Caudal (m3/día)
2018	7	17	16.610	-7.160	4.725	1.100	8.610	7.490	86.500	4406.400
2018	8	9	18.550	-5.120	6.715	9.500	7.040	7.550	61.300	2371.680
2018	9	1	20.630	-5.450	7.590	12.100	6.660	7.860	63.700	4032.720
2018	10	9	20.970	-5.370	7.800	10.100	7.270	7.840	86.000	2917.080
2018	11	3	18.340	-0.250	9.045	1.700	8.240	7.600	118.000	6752.160
2018	12	2	18.520	-5.990	6.265	4.200	8.200	7.670	96.200	2185.920
2019	1	9	17.450	-1.430	8.010	4.700	8.500	7.390	85.600	14056.200
2019	2	28	13.730	0.650	7.190	10.100	6.880	7.490	48.000	57526.850
2019	3	2	15.520	0.920	8.220	7.500	7.850	7.380	44.800	57576.960
2019	4	10	17.390	-0.660	8.365	4.100	6.440	7.560	62.000	56386.800
2019	5	4	17.340	-3.540	6.900	9.000	7.070	7.710	61.200	49582.800
2019	6	2	17.730	-5.800	5.965	1.900	8.710	7.660	59.300	26082.000
2019	7	12	18.340	-6.630	5.855	7.700	7.480	7.700	55.200	12106.800
2019	8	4	19.750	-7.580	6.085	6.500	7.830	7.360	74.400	8456.400
2019	8	31	19.350	-6.840	6.255	6.500	6.170	7.190	79.200	4707.000
2019	10	10	22.890	-2.960	9.965	9.400	7.450	7.790	81.700	4707.000
2019	11	4	18.980	-0.100	9.440	15.400	5.950	8.100	71.300	4428.000
2019	12	3	16.460	1.030	8.745	8.100	7.210	7.900	111.000	3430.000

Punto de correlación E-9

Año	Mes	Día	Temperatura máxima del aire (°C)	Temperatura mínima del aire (°C)	Temperatura media del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH (unidades pH)	Conductividad (uS/cm)	Caudal (m3/día)
2015	1	13	15.760	0.600	8.180	10.100	7.820	7.780	233.000	70654.000
2015	2	8	12.790	1.290	7.040	12.200	6.500	7.570	209.000	352987.000
2015	3	3	15.200	0.780	7.990	16.000	6.270	7.010	222.000	90893.000
2015	4	10	13.340	-0.720	6.310	7.000	7.570	7.920	287.000	973.100
2015	5	8	16.190	-0.420	7.885	8.600	7.420	8.030	338.000	46678.000
2015	6	1	15.440	-4.250	5.595	7.000	7.020	8.010	345.000	46678.000
2015	7	9	16.150	-9.160	3.495	10.800	7.000	7.950	397.000	40349.000
2015	8	6	20.670	-6.760	6.955	6.400	5.410	8.050	509.000	11902.000
2015	9	1	18.990	-5.340	6.825	9.200	7.180	7.800	542.000	10452.240
2015	10	7	23.140	-3.720	9.710	13.600	6.820	8.280	489.000	12355.200
2015	11	5	20.060	-3.610	8.225	17.100	6.330	8.390	482.000	10394.784
2015	12	1	17.130	1.260	9.195	16.300	5.930	8.140	483.000	11983.680
2016	1	7	15.740	1.630	8.685	11.400	7.950	8.430	450.000	20352.600
2016	2	11	16.280	2.280	9.280	8.200	7.240	7.570	198.100	230353.200
2016	3	1	18.860	2.110	10.485	12.600	6.930	7.700	230.000	61041.600
2016	4	1	17.170	0.850	9.010	9.200	7.100	7.670	295.000	63634.000
2016	5	6	18.610	-4.090	7.260	10.600	7.100	8.010	366.000	45554.400
2016	6	2	16.640	-8.510	4.065	11.700	6.920	8.190	382.000	22330.080
2016	7	6	15.360	-6.680	4.340	7.500	7.810	8.450	399.000	36447.840

Año	Mes	Día	Temperatura máxima del aire (°C)	Temperatura mínima del aire (°C)	Temperatura media del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH (unidades pH)	Conductividad (uS/cm)	Caudal (m3/día)
2016	8	4	18.770	-6.370	6.200	7.300	7.840	7.950	678.000	16809.120
2016	9	1	20.060	-8.830	5.615	13.700	6.310	7.980	617.000	11592.720
2016	10	13	21.980	-5.130	8.425	11.900	6.900	7.930	539.000	9687.600
2016	11	4	18.720	-2.250	8.235	14.900	6.750	8.070	521.000	13554.000
2016	12	1	17.960	1.070	9.515	13.400	7.120	8.190	465.000	12998.880
2017	1	11	14.040	0.870	7.455	10.900	6.730	7.520	213.000	123973.200
2017	2	5	17.050	-0.130	8.460	13.500	6.810	7.790	319.000	37352.016
2017	3	3	13.850	0.320	7.085	8.700	7.130	7.790	265.000	65796.624
2017	4	4	15.340	-0.430	7.455	8.800	7.090	7.960	260.000	38124.000
2017	5	23	14.340	-0.680	6.830	10.600	6.810	7.840	420.000	19396.800
2017	6	1	15.410	-5.030	5.190	10.800	7.020	7.920	222.000	45900.000
2017	7	8	17.720	-7.440	5.140	7.900	7.360	7.710	499.000	24775.200
2017	8	5	20.480	-5.900	7.290	9.100	7.680	8.090	501.000	22107.600
2017	9	1	21.600	-4.330	8.635	9.000	8.510	8.270	539.000	17820.000
2017	10	11	20.070	-1.890	9.090	9.500	6.470	7.810	324.000	22075.200
2017	11	4	21.120	-1.920	9.600	14.700	6.450	7.970	537.000	10272.960
2017	12	1	18.990	-1.560	8.715	12.900	7.230	7.560	531.000	11642.400
2018	1	19	14.360	1.430	7.895	12.000	6.360	7.750	202.000	51332.400
2018	2	9	14.410	2.200	8.305	11.500	6.550	7.770	235.000	106239.600
2018	3	1	14.730	1.700	8.215	7.500	7.360	7.760	244.000	193665.600
2018	4	13	13.460	-2.680	5.390	12.000	6.470	8.030	423.000	62272.800
2018	5	7	16.520	-2.830	6.845	12.200	6.340	7.910	389.000	69228.000
2018	6	1	17.510	-8.670	4.420	6.200	7.710	7.580	495.000	13236.480
2018	7	17	16.610	-7.160	4.725	12.000	6.710	7.620	374.000	30762.720
2018	8	9	18.550	-5.120	6.715	15.600	6.520	7.720	348.000	24336.720
2018	9	1	20.630	-5.450	7.590	10.200	7.410	7.780	32.700	25272.000
2018	10	9	20.970	-5.370	7.800	13.600	6.310	8.160	331.000	36417.600
2018	11	3	18.340	-0.250	9.045	14.200	6.180	8.040	268.000	41065.920
2018	12	2	18.520	-5.990	6.265	14.500	6.160	8.180	452.000	12744.000
2019	1	9	17.450	-1.430	8.010	17.200	6.210	8.310	395.000	13651.200
2019	2	28	13.730	0.650	7.190	14.100	6.340	7.570	239.000	84249.940
2019	3	2	15.520	0.920	8.220	10.200	6.650	7.620	188.600	85363.200
2019	4	10	17.390	-0.660	8.365	9.500	5.630	7.680	295.000	81302.400
2019	5	4	17.340	-3.540	6.900	9.700	6.640	7.900	350.000	73440.000
2019	6	2	17.730	-5.800	5.965	12.100	6.480	8.230	344.000	52596.000
2019	7	12	18.340	-6.630	5.855	7.900	6.870	7.890	341.000	46159.200
2019	8	4	19.750	-7.580	6.085	9.800	6.390	8.090	535.000	26611.200
2019	8	31	19.350	-6.840	6.255	13.600	6.250	7.690	479.000	24710.000
2019	10	10	22.890	-2.960	9.965	9.900	6.740	7.960	373.000	18533.000
2019	11	4	18.980	-0.100	9.440	10.700	6.460	7.720	307.000	26654.000
2019	12	3	16.460	1.030	8.745	13.900	5.900	8.060	458.000	26827.000

Punto de correlación E-11

Año	Mes	Día	Temperatura máxima del aire (°C)	Temperatura mínima del aire (°C)	Temperatura media del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH (unidades pH)	Conductividad (uS/cm)	Caudal (m3/día)
2015	1	13	15.780	1.100	8.440	8.600	7.660	7.910	238.000	82220.000
2015	2	8	14.060	1.750	7.905	12.500	6.550	7.850	253.000	282852.000
2015	3	3	15.760	1.860	8.810	14.200	6.290	7.580	253.000	113702.000
2015	4	10	13.690	0.690	7.190	6.400	7.670	7.990	284.000	1278.000
2015	5	8	15.660	0.690	8.175	7.300	7.630	8.170	324.000	47423.000
2015	6	1	14.890	-3.920	5.485	5.300	7.100	8.400	349.000	38880.000
2015	7	9	14.580	-9.890	2.345	7.500	7.250	8.100	455.000	45344.000
2015	8	6	17.840	-7.910	4.965	4.200	4.290	8.420	458.000	15476.000
2015	9	1	15.630	-6.020	4.805	11.100	6.950	8.080	478.000	27628.560
2015	10	7	20.330	-4.360	7.985	9.800	6.980	8.270	457.000	22906.800
2015	11	5	19.120	-3.880	7.620	13.700	6.760	8.340	413.000	16624.440
2015	12	1	17.530	0.860	9.195	13.400	6.280	8.360	426.000	16053.120
2016	1	7	15.890	2.360	9.125	9.000	7.040	7.970	469.000	26883.900
2016	2	11	15.970	2.510	9.240	8.200	7.390	7.580	220.000	419696.640
2016	3	1	18.920	3.080	11.000	10.100	6.950	7.730	273.000	89100.000
2016	4	1	17.980	2.400	10.190	8.300	7.250	7.820	305.000	48967.000
2016	5	6	17.680	-3.300	7.190	6.500	7.250	8.010	341.000	46310.400
2016	6	2	15.580	-9.070	3.255	10.900	7.120	8.280	351.000	56073.600
2016	7	6	13.470	-7.630	2.920	8.700	7.210	8.690	370.000	24494.400
2016	8	4	16.270	-7.040	4.615	4.900	7.260	7.850	547.000	16502.400
2016	9	1	17.360	-9.400	3.980	9.200	7.180	7.960	533.000	12908.160
2016	10	13	19.300	-5.650	6.825	9.100	7.300	8.060	448.000	10141.200
2016	11	4	17.900	-2.390	7.755	9.600	7.010	7.990	516.000	16927.920
2016	12	1	18.350	0.980	9.665	9.000	6.990	7.990	452.000	19759.680
2017	1	11	15.080	1.670	8.375	6.800	7.330	7.760	293.000	125256.240
2017	2	5	17.860	0.090	8.975	13.300	6.930	7.810	333.000	59464.800
2017	3	3	14.490	1.730	8.110	7.900	7.580	7.710	272.000	88398.000
2017	4	3	16.230	1.080	8.655	8.600	7.320	7.900	260.000	83030.400
2017	5	23	13.360	0.520	6.940	9.800	6.760	7.830	343.000	59965.920
2017	6	1	13.970	-5.060	4.455	4.700	7.830	7.870	364.000	32065.200
2017	7	8	15.490	-8.370	3.560	2.600	7.770	7.610	509.000	22302.000
2017	8	5	17.900	-6.620	5.640	5.300	7.690	8.200	439.000	23181.120
2017	9	1	18.340	-5.110	6.615	7.200	7.200	7.990	458.000	18728.280
2017	10	12	16.470	-0.640	7.915	11.300	7.690	8.280	345.000	23181.120
2017	11	4	20.000	-1.530	9.235	13.400	6.330	8.380	419.000	17586.720
2017	12	1	19.110	-2.100	8.505	8.800	7.600	8.040	437.000	12180.240
2018	1	19	14.840	1.890	8.365	11.900	6.340	7.870	227.000	56754.000
2018	2	9	14.430	2.640	8.535	10.100	6.810	8.040	240.000	108144.720
2018	3	1	14.880	2.490	8.685	6.900	7.290	7.710	259.000	201063.600
2018	4	13	13.850	-1.860	5.995	10.600	6.800	8.000	394.000	68590.800
2018	5	7	15.520	-2.190	6.665	10.900	6.670	8.070	355.000	71604.000
2018	6	1	15.970	-9.650	3.160	5.100	7.920	7.550	385.000	31475.520

Año	Mes	Día	Temperatura máxima del aire (°C)	Temperatura mínima del aire (°C)	Temperatura media del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH (unidades pH)	Conductividad (uS/cm)	Caudal (m3/día)
2018	7	17	14.210	-7.600	3.305	11.600	6.820	7.710	342.000	45640.800
2018	8	9	15.960	-5.580	5.190	15.800	6.750	8.210	337.000	28123.200
2018	9	1	16.930	-5.810	5.560	5.500	7.650	7.670	310.000	26827.200
2018	10	9	18.150	-5.400	6.375	13.600	6.290	8.260	307.000	40847.760
2018	11	3	18.110	-0.310	8.900	13.400	5.850	8.140	313.000	48081.600
2018	12	2	17.970	-6.210	5.880	13.400	6.440	8.440	469.000	14575.680
2019	1	9	18.600	-0.600	9.000	16.100	6.860	8.270	431.000	14303.520
2019	2	2	15.200	2.120	8.660	8.900	6.380	7.660	230.000	164073.600
2019	3	2	16.150	2.050	9.100	11.500	6.670	7.860	211.000	93895.200
2019	4	10	17.930	0.410	9.170	9.900	5.420	7.840	293.000	87264.000
2019	5	4	16.990	-3.040	6.975	9.000	6.830	7.860	324.000	74908.800
2019	5	25	17.200	-5.580	5.810	9.700	7.340	7.960	349.000	63261.000
2019	7	12	16.200	-7.300	4.450	8.600	6.690	7.970	328.000	48427.200
2019	8	4	17.350	-9.030	4.160	10.300	6.790	8.190	365.000	28458.000
2019	8	31	16.740	-7.720	4.510	9.900	6.280	8.060	452.000	27389.000
2019	10	10	20.050	-4.100	7.975	12.500	6.700	7.910	334.600	19634.000
2019	11	4	18.440	0.130	9.285	11.100	6.430	8.020	368.000	27659.000
2019	12	3	17.560	0.810	9.185	10.800	6.290	7.950	408.000	27961.000

Punto de correlación E-16

Año	Mes	Día	Temperatura máxima del aire (°C)	Temperatura mínima del aire (°C)	Temperatura media del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH (unidades pH)	Conductividad (uS/cm)	Caudal (m3/día)
2015	1	13	15.780	1.100	8.440	8.700	9.350	8.510	261.000	77849.000
2015	2	8	14.060	1.750	7.905	12.300	6.490	7.640	235.000	237622.000
2015	3	3	15.760	1.860	8.810	14.600	6.210	7.400	239.000	114216.000
2015	4	10	13.690	0.690	7.190	6.500	7.590	7.920	290.000	1048.000
2015	5	8	15.660	0.690	8.175	7.700	8.030	8.190	331.000	40424.000
2015	6	1	14.890	-3.920	5.485	4.800	7.150	8.350	350.000	34155.000
2015	7	9	14.580	-9.890	2.345	10.900	7.040	8.550	483.000	42487.000
2015	8	6	17.840	-7.910	4.965	1.800	5.400	8.370	476.000	13295.000
2015	9	1	15.630	-6.020	4.805	11.800	7.480	8.180	536.000	11561.400
2015	10	7	20.330	-4.360	7.985	10.400	8.030	8.520	487.000	12840.336
2015	11	5	19.120	-3.880	7.620	14.900	7.380	8.440	494.000	12027.096
2015	12	1	17.530	0.860	9.195	13.000	5.850	8.660	462.000	13193.712
2016	1	7	15.890	2.360	9.125	9.800	7.440	8.160	447.000	20736.000
2016	2	11	15.970	2.510	9.240	7.100	7.340	7.640	209.000	231526.080
2016	3	1	18.920	3.080	11.000	11.000	6.850	7.640	249.000	83501.280
2016	4	1	17.980	2.400	10.190	8.100	7.150	7.690	312.100	54205.000
2016	5	6	17.680	-3.300	7.190	9.000	7.150	7.800	353.000	45932.400
2016	6	2	15.580	-9.070	3.255	12.600	7.240	8.320	391.000	38572.200
2016	7	6	13.470	-7.630	2.920	8.300	8.480	8.840	379.000	23194.080
2016	10	13	19.300	-5.650	6.825	9.300	7.890	8.200	556.000	9028.800

Año	Mes	Día	Temperatura máxima del aire (°C)	Temperatura mínima del aire (°C)	Temperatura media del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH (unidades pH)	Conductividad (uS/cm)	Caudal (m3/día)
2016	11	4	17.900	-2.390	7.755	12.600	7.390	7.970	529.000	9428.400
2016	12	1	18.350	0.980	9.665	11.200	7.270	8.090	482.000	13883.400
2017	1	11	15.080	1.670	8.375	9.000	6.970	7.600	270.000	124647.984
2017	2	5	17.860	0.090	8.975	11.000	6.890	7.850	338.000	42474.240
2017	3	3	14.490	1.730	8.110	8.100	7.380	7.770	270.000	71051.040
2017	4	3	16.230	1.080	8.655	9.200	7.270	7.930	271.000	44498.160
2017	5	23	13.360	0.520	6.940	10.700	6.830	7.890	394.000	21049.200
2017	6	1	13.970	-5.060	4.455	7.000	7.710	7.860	412.000	22507.200
2017	7	8	15.490	-8.370	3.560	1.900	7.980	7.600	497.000	10011.600
2017	8	5	17.900	-6.620	5.640	4.500	7.730	8.000	498.000	22572.000
2017	9	1	18.340	-5.110	6.615	6.100	7.420	8.110	550.000	18581.400
2017	10	12	16.470	-0.640	7.915	12.800	7.160	8.300	370.000	22096.800
2017	11	4	20.000	-1.530	9.235	13.800	6.970	8.410	504.000	11054.880
2017	12	1	19.110	-2.100	8.505	12.200	8.210	7.850	544.000	8823.600
2018	1	19	14.840	1.890	8.365	13.200	6.310	7.820	211.000	54194.400
2018	2	9	14.430	2.640	8.535	10.500	6.610	7.870	234.000	95860.800
2018	3	1	14.880	2.490	8.685	6.900	7.280	7.780	267.000	198525.600
2018	4	13	13.850	-1.860	5.995	11.500	6.700	8.220	402.000	66990.240
2018	5	7	15.520	-2.190	6.665	13.100	6.420	8.030	396.000	70167.600
2018	6	1	15.970	-9.650	3.160	1.500	8.330	7.680	476.000	23565.600
2018	7	17	14.210	-7.600	3.305	11.900	6.790	7.790	371.000	43308.000
2018	8	9	15.960	-5.580	5.190	15.800	6.740	8.260	355.000	26870.400
2018	9	1	16.930	-5.810	5.560	5.900	7.500	7.830	331.000	25587.360
2018	10	9	18.150	-5.400	6.375	15.300	6.170	8.290	318.000	37152.000
2018	11	3	18.110	-0.310	8.900	14.800	5.790	8.170	320.000	41847.600
2018	12	2	17.970	-6.210	5.880	15.000	6.270	8.590	567.000	12808.800
2019	1	9	18.600	-0.600	9.000	15.900	6.940	8.340	436.000	15012.000
2019	2	2	15.200	2.120	8.660	10.000	6.290	7.450	218.000	149040.000
2019	3	2	16.150	2.050	9.100	10.800	6.640	7.570	205.000	89791.200
2019	4	10	17.930	0.410	9.170	10.200	5.260	7.860	331.000	84715.200
2019	5	4	16.990	-3.040	6.975	9.400	6.670	7.910	347.000	74476.800
2019	5	25	17.200	-5.580	5.810	6.000	7.540	7.920	360.000	52128.530
2019	7	12	16.200	-7.300	4.450	9.500	6.540	7.950	383.000	47346.120
2019	8	4	17.350	-9.030	4.160	10.200	6.710	8.220	473.000	27105.840
2019	8	31	16.740	-7.720	4.510	11.200	6.280	8.160	494.000	25147.000
2019	10	10	20.050	-4.100	7.975	9.900	6.740	7.960	373.000	18533.000
2019	11	4	18.440	0.130	9.285	11.200	6.390	8.100	344.000	27043.000
2019	12	3	17.560	0.810	9.185	13.500	5.900	8.140	479.000	27292.000

Anexo 10: Pruebas estadísticas realizadas en SPSS Statistics 27

1. PUNTO DE CORRELACIÓN E-1

a) Prueba de normalidad en el punto de correlación E-1

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura máxima del aire (°C)	,059	60	,200 [*]	,984	60	,616
Temperatura mínima del aire (°C)	,138	60	,006	,935	60	,003
Temperatura media del aire (°C)	,087	60	,200 [*]	,978	60	,353
Temperatura del agua (°C)	,066	60	,200 [*]	,990	60	,898
Oxígeno disuelto (mg/L)	,101	60	,200 [*]	,958	60	,036
pH (unidades pH)	,075	60	,200 [*]	,976	60	,292
Conductividad (uS/cm)	,074	60	,200 [*]	,981	60	,460
Caudal (m3/día)	,280	60	<.001	,567	60	<.001

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Para el punto de correlación E-1, debido a que el grado de libertad (gl) resultante es de 60 por cada indicador, se elige la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov (para $n > 50$). De dicha prueba se observa que, se presentó un valor sig. de 0.2 para la temperatura máxima del aire, temperatura media del aire, temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad, los cuales al ser valores mayores al nivel de significancia considerado ($p = 0.05$), estos presentan distribución normal; mientras que las demás variables (temperatura mínima del aire y caudal) no evidencian dicho comportamiento.

Como resultado de la prueba de normalidad, en la siguiente tabla, se muestra el tipo de prueba de correlación que le corresponde a cada uno de los pares de indicadores a correlacionar:

Tipo de correlación correspondiente a cada par de indicadores

Punto de correlación	Pares de indicadores a correlacionar				Prueba de correlación
	Temperatura del aire y precipitación	Tipo de distribución	Parámetros de campo/ caudal	Tipo de distribución	
E-1	Temperatura máxima del aire	Normal	Temperatura del agua	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	pH	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	Conductividad	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	Caudal	No normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Temperatura del agua	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	pH	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Conductividad	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Caudal	No normal	Spearman
	Temperatura media del aire	Normal	Temperatura del agua	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	Normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	Normal	pH	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	Normal	Conductividad	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	Normal	Caudal	No normal	Spearman
	Temperatura del agua	Normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Pearson
	Temperatura del agua	Normal	pH	Normal	Pearson
	Temperatura del agua	Normal	Conductividad	Normal	Pearson
	Temperatura del agua	Normal	Caudal	No normal	Spearman

Nota: Elaboración propia

b) Correlaciones

- Correlación entre temperatura máxima del aire y parámetros de campo-caudal**

Correlaciones			Correlaciones		
		Temperatura máxima del aire (°C)			Temperatura máxima del aire (°C)
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	,226	Oxígeno disuelto (mg/L)	Correlación de Pearson	-,065
	Sig. (bilateral)	,082		Sig. (bilateral)	,621
	N	60		N	60
Correlaciones			Correlaciones		
		Temperatura máxima del aire (°C)			Temperatura máxima del aire (°C)
Conductividad (uS/cm)	Correlación de Pearson	,226	pH (unidades pH)	Correlación de Pearson	,447**
	Sig. (bilateral)	,083		Sig. (bilateral)	<.001
	N	60		N	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	
Rho de Spearman	Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación	-,621**
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

- **Correlación entre temperatura mínima del aire y parámetros de campo y caudal**

Correlaciones			
Rho de Spearman	Temperatura del agua (*C)	Temperatura mínima del aire (*C)	
		Coefficiente de correlación	,294*
		Sig. (bilateral)	,022
		N	60

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Correlaciones			
Rho de Spearman	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura mínima del aire (*C)	
		Coefficiente de correlación	-,274*
		Sig. (bilateral)	,034
		N	60

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Correlaciones			
Rho de Spearman	pH (unidades pH)	Temperatura mínima del aire (*C)	
		Coefficiente de correlación	-,162
		Sig. (bilateral)	,218
		N	60

Correlaciones			
Rho de Spearman	Conductividad (uS/cm)	Temperatura mínima del aire (*C)	
		Coefficiente de correlación	,197
		Sig. (bilateral)	,131
		N	60

Correlaciones			
Rho de Spearman	Caudal (m3/día)	Temperatura mínima del aire (*C)	
		Coefficiente de correlación	,446**
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

- **Correlación entre temperatura media del aire y parámetros de campo y caudal**

Correlaciones			
Temperatura del agua (*C)		Temperatura media del aire (*C)	
		Correlación de Pearson	,481**
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			
Oxígeno disuelto (mg/L)		Temperatura media del aire (*C)	
		Correlación de Pearson	-,367**
		Sig. (bilateral)	,004
		N	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			
pH (unidades pH)		Temperatura media del aire (*C)	
		Correlación de Pearson	,206
		Sig. (bilateral)	,114
		N	60

Correlaciones			
Conductividad (uS/cm)		Temperatura media del aire (*C)	
		Correlación de Pearson	,343**
		Sig. (bilateral)	,007
		N	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			
Rho de Spearman	Caudal (m3/día)	Temperatura media del aire (*C)	
		Coefficiente de correlación	-,046
		Sig. (bilateral)	,727
		N	60

- **Correlación entre temperatura del agua y oxígeno disuelto, pH, conductividad y caudal**

Correlaciones

		Temperatura del agua (°C)
Oxígeno disuelto (mg/L)	Correlación de Pearson	-,818**
	Sig. (bilateral)	<.001
	N	60

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones

		Temperatura del agua (°C)
pH (unidades pH)	Correlación de Pearson	,445**
	Sig. (bilateral)	<.001
	N	60

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones

		Temperatura del agua (°C)
Conductividad (uS/cm)	Correlación de Pearson	-,004
	Sig. (bilateral)	,977
	N	60

Correlaciones

			Temperatura del agua (°C)
Rho de Spearman	Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación	-,202
		Sig. (bilateral)	,122
		N	60

2. PUNTO DE CORRELACIÓN E-9

a) Prueba de normalidad en el punto de correlación E-9

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura máxima del aire (°C)	,057	60	,200 [*]	,984	60	,609
Temperatura mínima del aire (°C)	,138	60	,006	,935	60	,003
Temperatura media del aire (°C)	,088	60	,200 [*]	,978	60	,357
Temperatura del agua (°C)	,067	60	,200 [*]	,980	60	,413
Oxígeno disuelto (mg/L)	,075	60	,200 [*]	,985	60	,659
pH (unidades pH)	,061	60	,200 [*]	,972	60	,187
Conductividad (uS/cm)	,080	60	,200 [*]	,978	60	,345
Caudal (m3/día)	,233	60	<.001	,631	60	<.001

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Para el punto de correlación E-9, debido a que el grado de libertad (gl) resultante es de 60 por cada indicador, se elige la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov (para $n > 50$). De dicha prueba se observa que, se presentó un valor sig. de 0.2 para la temperatura máxima del aire, temperatura media del aire, temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad, los cuales al ser valores mayores al nivel de significancia considerado ($p=0.05$), estos presentan distribución normal; mientras que las demás variables (temperatura mínima del aire y caudal) no evidencian dicho comportamiento.

Como resultado de la prueba de normalidad, en la siguiente tabla, se muestra el tipo de prueba de correlación que le corresponde a cada uno de los pares de indicadores a correlacionar:

Tipo de correlación correspondiente a cada par de indicadores

Punto de correlación	Pares de indicadores a correlacionar				Prueba de correlación
	Temperatura del aire y precipitación	Tipo de distribución	Parámetros de campo/ caudal	Tipo de distribución	
E-9	Temperatura máxima del aire	Normal	Temperatura del agua	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	pH	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	Conductividad	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	Caudal	No normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Temperatura del agua	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	pH	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Conductividad	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Caudal	No normal	Spearman
	Temperatura media del aire	Normal	Temperatura del agua	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	Normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	Normal	pH	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	Normal	Conductividad	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	Normal	Caudal	No normal	Spearman
	Temperatura del agua	Normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Pearson
	Temperatura del agua	Normal	pH	Normal	Pearson
	Temperatura del agua	Normal	Conductividad	Normal	Pearson
	Temperatura del agua	Normal	Caudal	No normal	Spearman

Nota: Elaboración propia

b) Correlaciones

• Correlación entre temperatura máxima del aire y parámetros de campo-caudal

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)
Temperatura máxima del aire (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	,137	--
	Sig. (bilateral)	,296	
	N	60	60

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Temperatura máxima del aire (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
Oxígeno disuelto (mg/L)	Correlación de Pearson	-,051	--
	Sig. (bilateral)	,697	
	N	60	60

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	pH (unidades pH)
Temperatura máxima del aire (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
pH (unidades pH)	Correlación de Pearson	,321*	--
	Sig. (bilateral)	,012	
	N	60	60

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	Conductividad (uS/cm)
Temperatura máxima del aire (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
Conductividad (uS/cm)	Correlación de Pearson	,501**	--
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	60	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones				
			Temperatura máxima del aire (°C)	Caudal (m3/día)
Rho de Spearman	Temperatura máxima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)	.	
	Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación	-,616**	--
		Sig. (bilateral)	<.001	
		N	60	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

- Correlación entre temperatura mínima del aire y parámetros de campo y caudal

Correlaciones				Correlaciones			
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	Temperatura mínima del aire (°C)	Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	Temperatura mínima del aire (°C)
		Sig. (bilateral)				Sig. (bilateral)	
		N	60			N	60
	Temperatura del agua (°C)	Coefficiente de correlación	,168		Oxígeno disuelto (mg/L)	Coefficiente de correlación	-,042
		Sig. (bilateral)	,200			Sig. (bilateral)	,752
		N	60			N	60

Correlaciones				Correlaciones			
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	Temperatura mínima del aire (°C)	Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	Temperatura mínima del aire (°C)
		Sig. (bilateral)				Sig. (bilateral)	
		N	60			N	60
	pH (unidades pH)	Coefficiente de correlación	-,291*		Conductividad (uS/cm)	Coefficiente de correlación	-,563**
		Sig. (bilateral)	,024			Sig. (bilateral)	<.001
		N	60			N	60

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	Temperatura mínima del aire (°C)
		Sig. (bilateral)	
		N	60
	Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación	,448**
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

- Correlación entre temperatura media del aire y parámetros de campo y caudal

Correlaciones				Correlaciones			
Temperatura media del aire (°C)	Correlación de Pearson	Temperatura media del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)	Temperatura media del aire (°C)	Correlación de Pearson	Temperatura media del aire (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
	N	60			N	60	
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	,298*		Oxígeno disuelto (mg/L)	Correlación de Pearson	-,122	
	Sig. (bilateral)	,021			Sig. (bilateral)	,353	
	N	60	60		N	60	60

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Correlaciones				Correlaciones			
Temperatura media del aire (°C)	Correlación de Pearson	Temperatura media del aire (°C)	pH (unidades pH)	Temperatura media del aire (°C)	Correlación de Pearson	Temperatura media del aire (°C)	Conductividad (uS/cm)
	N	60			N	60	
pH (unidades pH)	Correlación de Pearson	-,048		Conductividad (uS/cm)	Correlación de Pearson	-,151	
	Sig. (bilateral)	,716			Sig. (bilateral)	,249	
	N	60	60		N	60	60

Correlaciones			
Rho de Spearman	Temperatura media del aire (°C)	Coefficiente de correlación	Temperatura media del aire (°C)
		Sig. (bilateral)	
		N	60
	Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación	-,051
		Sig. (bilateral)	,701
		N	60

- **Correlación entre temperatura del agua y oxígeno disuelto, pH, conductividad y caudal**

Correlaciones

		Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
Oxígeno disuelto (mg/L)	Correlación de Pearson	-,520**	--
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	60	60

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones

		Temperatura del agua (°C)	pH (unidades pH)
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
pH (unidades pH)	Correlación de Pearson	,100	--
	Sig. (bilateral)	,446	
	N	60	60

Correlaciones

		Temperatura del agua (°C)	Conductividad (uS/cm)
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
Conductividad (uS/cm)	Correlación de Pearson	,080	--
	Sig. (bilateral)	,543	
	N	60	60

Correlaciones

			Temperatura del agua (°C)	Caudal (m3/día)
Rho de Spearman	Temperatura del agua (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)		
		N	60	
	Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación	-,152	--
		Sig. (bilateral)	,247	
		N	60	60

3. PUNTO DE CORRELACIÓN E-11

c) Prueba de normalidad en el punto de correlación E-11

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura máxima del aire (°C)	,086	60	,200 [*]	,975	60	,267
Temperatura mínima del aire (°C)	,148	60	,002	,918	60	<.001
Temperatura media del aire (°C)	,146	60	,003	,941	60	,006
Temperatura del agua (°C)	,071	60	,200 [*]	,988	60	,841
Oxígeno disuelto (mg/L)	,106	60	,093	,906	60	<.001
pH (unidades pH)	,072	60	,200 [*]	,980	60	,442
Conductividad (uS/cm)	,084	60	,200 [*]	,971	60	,156
Caudal (m3/día)	,224	60	<.001	,627	60	<.001

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Para el punto de correlación E-11, debido a que el grado de libertad (gl) resultante es de 60 por cada indicador, se elige la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov (para $n > 50$). De dicha prueba se observa que, se presentó un valor sig. de 0.2 para la temperatura máxima del aire, temperatura del agua, pH y conductividad y 0.093 para oxígeno disuelto, los cuales al ser valores mayores al nivel de significancia considerado ($p = 0.05$), estos presentan distribución normal; mientras que las demás variables (temperatura mínima del aire, temperatura media del aire y caudal) no evidencian dicho comportamiento.

Como resultado de la prueba de normalidad, en la siguiente tabla, se muestra el tipo de prueba de correlación que le corresponde a cada uno de los pares de indicadores a correlacionar:

Tipo de correlación correspondiente a cada par de indicadores

Punto de correlación	Pares de indicadores a correlacionar				Prueba de correlación
	Temperatura del aire y precipitación	Tipo de distribución	Parámetros de campo/ caudal	Tipo de distribución	
E-11	Temperatura máxima del aire	Normal	Temperatura del agua	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	pH	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	Conductividad	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	Caudal	No normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Temperatura del agua	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	pH	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Conductividad	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Caudal	No normal	Spearman
	Temperatura media del aire	No normal	Temperatura del agua	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	No normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	No normal	pH	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	No normal	Conductividad	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	No normal	Caudal	No normal	Spearman
	Temperatura del agua	Normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Pearson
	Temperatura del agua	Normal	pH	Normal	Pearson
	Temperatura del agua	Normal	Conductividad	Normal	Pearson
	Temperatura del agua	Normal	Caudal	No normal	Spearman

Nota: Elaboración propia

d) Correlaciones

- Correlación entre temperatura máxima del aire y parámetros de campo-caudal

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)
Temperatura máxima del aire (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	,271*	--
	Sig. (bilateral)	,036	
	N	60	60

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Temperatura máxima del aire (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
Oxígeno disuelto (mg/L)	Correlación de Pearson	-,238	--
	Sig. (bilateral)	,067	
	N	60	60

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	pH (unidades pH)
Temperatura máxima del aire (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
pH (unidades pH)	Correlación de Pearson	,247	--
	Sig. (bilateral)	,057	
	N	60	60

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	Conductividad (uS/cm)
Temperatura máxima del aire (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
Conductividad (uS/cm)	Correlación de Pearson	,351**	--
	Sig. (bilateral)	,006	
	N	60	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	Caudal (m3/día)
Rho de Spearman	Temperatura máxima del aire (°C)		
	Coefficiente de correlación	--	
	Sig. (bilateral)	.	
	N	60	
	Caudal (m3/día)		
	Coefficiente de correlación	-,468**	--
	Sig. (bilateral)	<.001	.
	N	60	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

- Correlación entre temperatura mínima del aire y parámetros de campo y caudal

Correlaciones				Temperatura mínima del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--		
		Sig. (bilateral)		.	
		N		60	
	Temperatura del agua (°C)	Coefficiente de correlación		,153	--
		Sig. (bilateral)		,244	.
		N		60	60

Correlaciones				Temperatura mínima del aire (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--		
		Sig. (bilateral)		.	
		N		60	
	Oxígeno disuelto (mg/L)	Coefficiente de correlación		-,107	--
		Sig. (bilateral)		,416	.
		N		60	60

Correlaciones				Temperatura mínima del aire (°C)	pH (unidades pH)
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--		
		Sig. (bilateral)		.	
		N		60	
	pH (unidades pH)	Coefficiente de correlación		-,368**	--
		Sig. (bilateral)		,004	.
		N		60	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones				Temperatura mínima del aire (°C)	Conductividad (uS/cm)
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--		
		Sig. (bilateral)		.	
		N		60	
	Conductividad (uS/cm)	Coefficiente de correlación		-,638**	--
		Sig. (bilateral)		<,001	.
		N		60	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones				Temperatura mínima del aire (°C)	Caudal (m3/día)
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--		
		Sig. (bilateral)		.	
		N		60	
	Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación		,528**	--
		Sig. (bilateral)		<,001	.
		N		60	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

- Correlación entre temperatura media del aire y parámetros de campo y caudal

Correlaciones				Temperatura media del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)
Rho de Spearman	Temperatura media del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--		
		Sig. (bilateral)		.	
		N		60	
	Temperatura del agua (°C)	Coefficiente de correlación		,288*	--
		Sig. (bilateral)		,026	.
		N		60	60

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Correlaciones				Temperatura media del aire (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Rho de Spearman	Temperatura media del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--		
		Sig. (bilateral)		.	
		N		60	
	Oxígeno disuelto (mg/L)	Coefficiente de correlación		-,235	--
		Sig. (bilateral)		,070	.
		N		60	60

Correlaciones				Temperatura media del aire (°C)	pH (unidades pH)
Rho de Spearman	Temperatura media del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--		
		Sig. (bilateral)		.	
		N		60	
	pH (unidades pH)	Coefficiente de correlación		-,197	--
		Sig. (bilateral)		,131	.
		N		60	60

Correlaciones				Temperatura media del aire (°C)	Conductividad (uS/cm)
Rho de Spearman	Temperatura media del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--		
		Sig. (bilateral)		.	
		N		60	
	Conductividad (uS/cm)	Coefficiente de correlación		-,398**	--
		Sig. (bilateral)		,002	.
		N		60	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones				Temperatura media del aire (°C)	Caudal (m3/día)
Rho de Spearman	Temperatura media del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--		
		Sig. (bilateral)		.	
		N		60	
	Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación		,256*	--
		Sig. (bilateral)		,049	.
		N		60	60

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

- **Correlación entre temperatura del agua y oxígeno disuelto, pH, conductividad y caudal**

Correlaciones			
		Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
Oxígeno disuelto (mg/L)	Correlación de Pearson	-,413**	--
	Sig. (bilateral)	,001	
	N	60	60

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			
		Temperatura del agua (°C)	pH (unidades pH)
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
pH (unidades pH)	Correlación de Pearson	,275*	--
	Sig. (bilateral)	,033	
	N	60	60

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Correlaciones			
		Temperatura del agua (°C)	Conductividad (uS/cm)
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	60	
Conductividad (uS/cm)	Correlación de Pearson	-,146	--
	Sig. (bilateral)	,267	
	N	60	60

Correlaciones				
Rho de Spearman			Temperatura del agua (°C)	Caudal (m3/día)
	Temperatura del agua (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)	.	
		N	60	
	Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación	,016	--
		Sig. (bilateral)	,905	.
		N	60	60

4. PUNTO DE CORRELACIÓN E-16

e) Prueba de normalidad en el punto de correlación E-16

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura máxima del aire (°C)	,096	58	,200 [*]	,972	58	,201
Temperatura mínima del aire (°C)	,150	58	,002	,919	58	<.001
Temperatura media del aire (°C)	,148	58	,003	,938	58	,005
Temperatura del agua (°C)	,080	58	,200 [*]	,966	58	,106
Oxígeno disuelto (mg/L)	,061	58	,200 [*]	,989	58	,866
pH (unidades pH)	,083	58	,200 [*]	,986	58	,747
Conductividad (uS/cm)	,120	58	,037	,956	58	,036
Caudal (m3/día)	,209	58	<.001	,736	58	<.001

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Para el punto de correlación E-16, debido a que el grado de libertad (gl) resultante es de 58 por cada indicador, se elige la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov (para $n > 50$). De dicha prueba se observa que, se presentó un valor sig. de 0.2 para la temperatura máxima del aire, temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, los cuales al ser valores mayores al nivel de significancia considerado ($p = 0.05$), estos presentan distribución normal; mientras que las demás variables (temperatura mínima del aire, temperatura media del aire, conductividad y caudal) no evidencian dicho comportamiento.

Como resultado de la prueba de normalidad, en la siguiente tabla, se muestra el tipo de prueba de correlación que le corresponde a cada uno de los pares de indicadores a correlacionar:

Tipo de correlación correspondiente a cada par de indicadores

Punto de correlación	Pares de indicadores a correlacionar				Prueba de correlación
	Temperatura del aire y precipitación	Tipo de distribución	Parámetros de campo/ caudal	Tipo de distribución	
E-16	Temperatura máxima del aire	Normal	Temperatura del agua	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	pH	Normal	Pearson
	Temperatura máxima del aire	Normal	Conductividad	No normal	Spearman
	Temperatura máxima del aire	Normal	Caudal	No normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Temperatura del agua	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	pH	Normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Conductividad	No normal	Spearman
	Temperatura mínima del aire	No normal	Caudal	No normal	Spearman
	Temperatura media del aire	No normal	Temperatura del agua	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	No normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	No normal	pH	Normal	Pearson
	Temperatura media del aire	No normal	Conductividad	No normal	Spearman
	Temperatura media del aire	No normal	Caudal	No normal	Spearman
	Temperatura del agua	Normal	Oxígeno Disuelto	Normal	Pearson
	Temperatura del agua	Normal	pH	Normal	Pearson
	Temperatura del agua	Normal	Conductividad	No normal	Spearman
	Temperatura del agua	Normal	Caudal	No normal	Spearman

Nota: Elaboración propia

f) Correlaciones

- Correlación entre temperatura máxima del aire y parámetros de campo-caudal

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)
Temperatura máxima del aire (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	58	
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	,204	--
	Sig. (bilateral)	,124	
	N	58	58

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Temperatura máxima del aire (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	58	
Oxígeno disuelto (mg/L)	Correlación de Pearson	-,100	--
	Sig. (bilateral)	,454	
	N	58	58

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	pH (unidades pH)
Temperatura máxima del aire (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	58	
pH (unidades pH)	Correlación de Pearson	,211	--
	Sig. (bilateral)	,112	
	N	58	58

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	Conductividad (uS/cm)
Rho de Spearman	Temperatura máxima del aire (°C)	--	
Conductividad (uS/cm)	Coefficiente de correlación		
	Sig. (bilateral)		
	N	58	
	Coefficiente de correlación	,372**	--
	Sig. (bilateral)	,004	
	N	58	58

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			
		Temperatura máxima del aire (°C)	Caudal (m3/día)
Rho de Spearman	Temperatura máxima del aire (°C)	--	
Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación		
	Sig. (bilateral)		
	N	58	
	Coefficiente de correlación	-,388**	--
	Sig. (bilateral)	,003	
	N	58	58

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

- Correlación entre temperatura mínima del aire y parámetros de campo y caudal

Correlaciones			Temperatura mínima del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)		.
		N	58	
	Temperatura del agua (°C)	Coefficiente de correlación	,099	--
		Sig. (bilateral)	,458	.
		N	58	58

Correlaciones			Temperatura mínima del aire (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)		.
		N	58	
	Oxígeno disuelto (mg/L)	Coefficiente de correlación	-,172	--
		Sig. (bilateral)	,195	.
		N	58	58

Correlaciones			Temperatura mínima del aire (°C)	pH (unidades pH)
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)		.
		N	58	
	pH (unidades pH)	Coefficiente de correlación	-,432**	--
		Sig. (bilateral)	<.001	.
		N	58	58

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			Temperatura mínima del aire (°C)	Conductividad (uS/cm)
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)		.
		N	58	
	Conductividad (uS/cm)	Coefficiente de correlación	-,660**	--
		Sig. (bilateral)	<.001	.
		N	58	58

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			Temperatura mínima del aire (°C)	Caudal (m3/día)
Rho de Spearman	Temperatura mínima del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)		.
		N	58	
	Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación	,490**	--
		Sig. (bilateral)	<.001	.
		N	58	58

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

- Correlación entre temperatura media del aire y parámetros de campo y caudal

Correlaciones			Temperatura media del aire (°C)	Temperatura del agua (°C)
Rho de Spearman	Temperatura media del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)		.
		N	58	
	Temperatura del agua (°C)	Coefficiente de correlación	,235	--
		Sig. (bilateral)	,076	.
		N	58	58

Correlaciones			Temperatura media del aire (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Rho de Spearman	Temperatura media del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)		.
		N	58	
	Oxígeno disuelto (mg/L)	Coefficiente de correlación	-,223	--
		Sig. (bilateral)	,092	.
		N	58	58

Correlaciones			Temperatura media del aire (°C)	pH (unidades pH)
Rho de Spearman	Temperatura media del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)		.
		N	58	
	pH (unidades pH)	Coefficiente de correlación	-,241	--
		Sig. (bilateral)	,069	.
		N	58	58

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			Temperatura media del aire (°C)	Conductividad (uS/cm)
Rho de Spearman	Temperatura media del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)		.
		N	58	
	Conductividad (uS/cm)	Coefficiente de correlación	-,394**	--
		Sig. (bilateral)	,002	.
		N	58	58

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			Temperatura media del aire (°C)	Caudal (m3/día)
Rho de Spearman	Temperatura media del aire (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)		.
		N	58	
	Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación	,237	--
		Sig. (bilateral)	,073	.
		N	58	58

- **Correlación entre temperatura del agua y oxígeno disuelto, pH, conductividad y caudal**

Correlaciones

		Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	58	
Oxígeno disuelto (mg/L)	Correlación de Pearson	-,404**	--
	Sig. (bilateral)	,002	
	N	58	58

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones

		Temperatura del agua (°C)	pH (unidades pH)
Temperatura del agua (°C)	Correlación de Pearson	--	
	N	58	
pH (unidades pH)	Correlación de Pearson	,250	--
	Sig. (bilateral)	,058	
	N	58	58

Correlaciones

			Temperatura del agua (°C)	Conductividad (uS/cm)
Rho de Spearman	Temperatura del agua (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)	.	
		N	58	
	Conductividad (uS/cm)	Coefficiente de correlación	,103	--
		Sig. (bilateral)	,442	.
		N	58	58

Correlaciones

			Temperatura del agua (°C)	Caudal (m3/día)
Rho de Spearman	Temperatura del agua (°C)	Coefficiente de correlación	--	
		Sig. (bilateral)	.	
		N	58	
	Caudal (m3/día)	Coefficiente de correlación	-,082	--
		Sig. (bilateral)	,541	.
		N	58	58