



# ÍNDICES CLIMÁTICOS EN GUATEMALA

1981 - 2010 | 1991 - 2020

**Sección de Cambio Climático**

*Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología*

- INSIVUMEH -

# Índices Climáticos en Guatemala

## 1981-2010

## 1991-2020

Sección de Cambio Climático  
Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología  
INSIVUMEH

Autores  
Ing. Ana Isabel González Méndez  
Jennifer Ester Rivera Morataya  
Héctor Omar Fuentes Pérez



**GOBIERNO de**  
**GUATEMALA**

**MINISTERIO DE**  
**COMUNICACIONES,**  
**INFRAESTRUCTURA**  
**Y VIVIENDA**



## Índice General

Introducción .....	1
Objetivos .....	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos.....	2
Marco Teórico .....	2
Índices Climáticos.....	2
Ventajas y limitaciones de la herramienta RClmDex .....	4
Metodología .....	5
Cálculo de índices en RClmDex (primera corrida) y definición de criterios .....	5
Cálculo de índices en RClmDex (segunda corrida) y selección de índices.....	7
Cálculo de tendencias y evaluación de significancia estadística .....	8
Test de Mann-Kendall.....	8
Análisis de Resultados .....	9
1.    Altiplano Central.....	9
1.1 Estación – Chixoy .....	11
1.2 Estación – INSIVUMEH .....	12
1.3 Estación - San Martín Jilotepeque.....	14
2.    Bocacosta.....	15
2.1 Estación - Retalhuleu.....	16
3.    Caribe .....	18
3.1 Estación - Puerto Barrios .....	19
4.    Franja Transversal del Norte .....	21
4.1 Estación - Cobán .....	22
5.    Norte.....	23
5.1 Estación - Flores.....	24
6.    Occidente.....	26
6.1 Estación - Huehuetenango .....	27
6.2 Estación - Labor Ovalle.....	28
7.    Pacífico.....	30
7.1 Estación Puerto San José .....	31
8.    Valles de Oriente.....	32
8.1 Estación - Asunción Mita .....	34
8.2 Estación - Esquipulas .....	34
8.3 Estación - La Fragua .....	36
8.4 Estación - Pasabién .....	37
Conclusiones .....	38
Bibliografía.....	40
Anexos .....	41

## Índice de tablas

Tabla 1. Listado de Índices de Cambio Climático de ETCCDI.....	3
Tabla 2. Porcentaje de representatividad por región climática.....	6
Tabla 3. Porcentaje de registros faltantes por estación meteorológica del periodo 1981-2010.....	6
Tabla 4. Porcentaje de registros faltantes por estación meteorológica del periodo 1991-2020.....	6
Tabla 5. Descripción de índices climáticos RCLimDex correspondientes a temperatura.....	7
Tabla 6. Descripción de índices climáticos RCLimDex correspondientes a precipitación.....	8
Tabla 7. Valores promedio por índice de la climatología 1981-2010 - Altiplano Central.....	10
Tabla 8. Valores promedio por índice de la climatología 1991-2020 - Altiplano Central.....	10
Tabla 9. Pvalue y comportamiento de tendencia - Altiplano Central.....	10
Tabla 10. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología 1981-2010 - Bocacosta....	16
Tabla 11. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología 1991-2020 - Bocacosta....	16
Tabla 12. Pvalue y comportamiento de tendencia – Bocacosta.....	16
Tabla 13. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1981-2010 - Caribe.....	18
Tabla 14. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1991-2020 - Caribe.....	18
Tabla 15. Pvalue y comportamiento de tendencia – Caribe.....	19
Tabla 16. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1981-2010 – Franja Transversal del Norte.....	21
Tabla 17. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1991-2020 – Franja Transversal del Norte.....	21
Tabla 18. Pvalue y comportamiento de tendencia – Franja Transversal del Norte.....	22
Tabla 19. <i>Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1981-2010 – Norte.....</i>	23
Tabla 20. <i>Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1991-2020 -Norte.....</i>	23
Tabla 21. <i>Pvalue y comportamiento de tendencia – Norte.....</i>	24
Tabla 22. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología 1981-2010 - Occidente....	26
Tabla 23. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1991-2020 - Occidente	27
Tabla 24. Pvalue y comportamiento de tendencia – Occidente.....	27
Tabla 25. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1981-2010 - Pacífico...30	
Tabla 26. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1991-2020 - Pacífico...30	
Tabla 27. Pvalue y comportamiento de tendencia – Pacífico.....	31
Tabla 28. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1981-2010 – Valles de Oriente.....	33
Tabla 29. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1991-2020 – Valles de Oriente.....	33
Tabla 30. Pvalue y comportamiento de tendencia – Valles de Oriente.....	33

## Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de estaciones meteorológicas .....	7
Figura 2. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales - Región climática del Altiplano Central.....	9
Figura 3. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales - Región climática de Bocacosta.....	15
Figura 4. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales - Región climática del Caribe.....	18
Figura 5. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales – Región climática de la Franja Transversal del Norte.....	21
Figura 6. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales - Región climática del Norte.....	23
Figura 7. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales – Región climática de Occidente.....	26
Figura 8. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales – Región del Pacífico.....	30
Figura 9. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales - Región climática de Valles de Oriente.....	32

## Índice de gráficos

Gráficos 1. Índices representativos – Estación Chixoy.....	11
Gráficos 2. Índices representativos – Estación INSIVUMEH.....	13
Gráficos 3. Índices representativos – Estación San Martín Jilotepeque.....	14
Gráficos 4. Índices representativos - Estación Retalhuleu .....	17
Gráficos 5. Índices representativos - Estación Puerto Barrios.....	19
Gráficos 6. Índices representativos - Estación Cobán.....	22
Gráficos 7. Índices representativos - Estación Flores .....	24
Gráficos 8. Índices representativos - Estación Huehuetenango.....	28
Gráficos 9. Índices representativos - Estación Labor Ovalle .....	29
Gráficos 10. Índices representativos - Estación Puerto San José.....	31
Gráficos 11. Índices representativos - Estación Asunción Mita.....	34
Gráficos 12. Índices representativos - Estación Esquipulas .....	35
Gráficos 13. Índices representativos - Estación La Fragua .....	36
Gráficos 14. Índices representativos - Estación Pasabién .....	37

# Índices Climáticos en Guatemala

## 1981-2010

## 1991-2020

### Introducción

El clima es el resultado de factores y condiciones ambientales que operan en diferentes escalas y por ello es posible hablar de clima local, clima regional y clima global (Ruíz, 2010). Su caracterización se basa en promedios y/o condiciones predominantes durante un determinado periodo de tiempo y en los últimos años su dinámica cambiante ha despertado el interés de investigadores de diversas disciplinas y tomadores de decisiones que buscan entender sus causas y evidenciar sus efectos (Rodríguez et al., 2010).

Para evaluar las causas y consecuencias del clima variable, es fundamental reconocer que el sistema climático está regulado por la interacción de seis procesos principales: los de la atmósfera, la superficie terrestre, los océanos, las áreas terrestres cubiertas de hielo, los que se suceden en la Biosfera y desde luego, con los de la actividad humana (Montealegre y Pabon, 2000).

En los últimos años, paralelamente se ha evidenciado una recurrencia de eventos extremos aportando como consecuencia un aumento en las pérdidas humanas y monetarias, por lo cual en Guatemala se han realizado estudios basados en modelos climáticos globales y regionales para simular diversos escenarios climáticos que podrán ocurrir sobre el territorio nacional en los próximos decenios hasta el final del siglo XXI.

Siguiendo esa línea, la Sección de Cambio Climático del Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos, ha elaborado Índices Climáticos para Guatemala, basándose en el análisis de las series históricas de datos diarios de 14 estaciones meteorológicas convencionales de Guatemala, tomando como base dos climatologías: 1981-2010 y 1991-2020. Los índices fueron generados a partir de información de precipitación acumulada diaria y de los extremos diarios de temperatura (mínima y máxima), utilizando el programa RClimDex, el cual fue desarrollado por el Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC por sus siglas en inglés) perteneciente a la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés).

El análisis de tendencias de los índices permitió identificar patrones de comportamiento asociados a la variabilidad climática, y en el contexto actual, variaciones producidas por efecto del cambio climático. Teniendo en cuenta lo anterior, al evaluar las tendencias, se destaca que uno de los problemas para su estudio es la escasez y la presencia de lagunas de datos faltantes en las series históricas, que dificultan la caracterización y ratificación de posibles tendencias de las variables climáticas, lo cual repercute directamente en la generación de información. A partir del presente estudio se determinó que la mayoría de los índices analizados, relacionados a la temperatura, presentaron una tendencia al incremento, siendo los más importantes noches y días calientes. Estos mostraron patrones de comportamiento similares y consistentes con tendencia general al calentamiento. Estos hallazgos son congruentes con estudios previos en la región y en otras partes del mundo.

## Objetivos

### Objetivo General

Evaluar las tendencias de los índices climáticos generados a partir de los registros diarios de precipitación acumulada, temperatura máxima y mínima registrados en las estaciones meteorológicas convencionales de INSIVUMEH, tomando como base dos climatologías: 1981-2010 y 1991-2020.

### Objetivos Específicos

- Utilizar la herramienta RClimDex para la generación de índices climáticos, a través de los registros de las estaciones meteorológicas convencionales de la red meteorológica nacional de INSIVUMEH.
- Determinar la significancia estadística de las tendencias de los índices climáticos, a través de la prueba no paramétrica Test de Mann Kendall.
- Identificar la existencia de eventos climáticos de acuerdo con las variables de estudio establecidas.

## Marco Teórico

### Índices Climáticos

El Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI) ha recomendado un conjunto de índices estandarizados, calculados de manera mensual y anual, basados en series de tiempo, umbrales y percentiles, que permiten estudiar la variabilidad y el cambio climático.

Los datos se registraron en las estaciones convencionales meteorológicas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), y para generar los Índices de Cambio Climático se utilizó RClimDex que es la herramienta que ofrece 27 índices estandarizados calculados a partir de datos diarios de temperatura la cual es registrada en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) y el acumulado de precipitación diario registrado en milímetros (mm). La herramienta identifica los valores extremos (outliers) en temperaturas diarias máximas y mínimas. Los valores extremos son valores diarios que se encuentran fuera de una región definida por el usuario. A esta región se le define como  $n$  veces la desviación estándar del valor del día [ $\text{media} - n \cdot \text{std}$ ,  $\text{media} + n \cdot \text{std}$ ]. La expresión *std* representa la desviación estándar para el día y  $n$  es una entrada del usuario. Complementando el cálculo de los datos, el programa reemplaza todos los datos faltantes (-99.9) por un formato interno que reconoce R. (NA), reemplaza todos los valores no razonables por NA, esto aplica en:

- Las cantidades de precipitación diarias que sean menores a cero.
- Temperatura máxima diaria menor que la temperatura mínima diaria.

La base para tomar un índice de evento extremo son los índices que se basan en un percentil. Los índices con umbral, se calcula si el 70% de los datos están presentes. Los índices mensuales son calculados si en un mes no hay más de 3 días faltantes, para los valores anuales no se calculan si en un año no hay más de 15 días faltantes.

Tabla 1. Listado de Índices de Cambio Climático de ETCCDI.

Agrupación	No.	ID	Nombre del indicador	Descripción	Unidad
Índices del comportamiento de la temperatura máxima (temperatura de día).	1.	SU25	Número de días de verano	Número de días en que la temperatura máxima diaria es > 25°C.	Días
	2.	TX90p	Días calientes	Porcentaje de días cuando la temperatura máxima diaria > percentil 90.	°C
Índices del comportamiento de la temperatura máxima (temperatura de noche).	3.	TR20	Número de noches tropicales	Conteo anual de días cuando la temperatura mínima diaria es >20°C.	Días
	4.	TN90p	Noches calientes	Porcentaje de días en que la temperatura mínima diaria > percentil 90.	°C
Índices asociados al comportamiento de la temperatura máxima.	5.	TXx	Max. Tmax.	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria.	°C
	6.	TNx	Max. Tmin.	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria.	°C
	7.	TXn	Min. Tmax.	Valor mínimo mensual de la temperatura máxima diaria.	°C
	8.	TNn	Min. Tmin.	Valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria.	°C
	9.	WSDI	Índice de duración de la ola cálida	Conteo anual de días con al menos 6 días consecutivos cuando la temperatura máxima diaria > percentil 90.	Días
Índices del comportamiento de la temperatura mínima.	10.	FD0	Número de días de helada	Conteo anual de días en que la temperatura mínima diaria es <0°C.	Días
	11.	TX10p	Días fríos	Porcentaje de días en que la temperatura máxima diaria < percentil 10.	°C
	12.	ID0	Número de días de formación de hielo	Conteo anual de días en que la temperatura máxima diaria es <0°C.	Días
	13.	TN10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando la temperatura mínima diaria <10 percentil.	°C
	14.	CSDI	índice de duración de la ola de frío	Conteo anual de días con al menos 6 días consecutivos cuando la temperatura máxima diaria > percentil 90.	Días
Rango de la temperatura.	15.	DTR	Rango de temperatura diurno	Diferencia media mensual entre TX y TN.	°C
Índices asociados al comportamiento de la precipitación y de los eventos extremos de lluvia.	16.	Rx1day	Cantidad máxima de precipitación en un día	Precipitación máxima mensual de 1 día.	mm
	17.	Rx5day	Cantidad máxima de precipitación en 5 días	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos.	mm
	18.	SDII	Intensidad de precipitación	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0mm) en un año.	mm/día
	19.	R10mm	Número de días con precipitación intensa	Conteo anual de días cuando PRCP>=10mm.	Días
	20.	R20mm	Número de días con precipitación muy intensa	Conteo anual de días cuando PRCP>=20mm.	Días
	21.	Rnnmm	Conteo anual de días sobre nn mm	Número de días cuando PRCP>=nnmm, nn es un umbral, definido por el usuario	Días
	22.	CWD	Duración máxima de la racha	Número máximo de días consecutivos con RR>=1mm	Días
	23.	R95p	Días muy húmedos	Precipitación anual total en que RR>95 percentil	mm
	24.	R99p	Días extremadamente lluviosos	PRCP total anual cuando RR > 99 percentil	mm
	25.	PRCPTOT	Precipitación total anual en los días húmedos	Precipitación total en los días húmedos RR>=1mm	mm
	26.	GSL	Duración de la estación de cultivo	Anual (del 1 de enero al 31 de diciembre en el hemisferio norte (NH), del 1 de julio al 30 de junio en el hemisferio sur (SH) recuento entre el primer lapso de al menos 6 días con temperatura media diaria TG >5°C y primer lapso posterior al 1 de julio 1 de enero en SH de 6 días con TG<5°C	Días
Índices de sequía.	27.	CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	Días

## Ventajas y limitaciones de la herramienta RClimDex

Entre las ventajas de las herramientas RClimDex se tienen las siguientes:

- Su desarrollo bajo el lenguaje de programación R permite el cálculo de los índices bajo herramientas en las que se puede realizar la detección y corrección de posibles errores, y en algunos casos, la automatización de los cálculos.
- Simplifica la tarea del cálculo de los índices, al únicamente tomar como datos de entrada las series diarias de precipitación y temperaturas máxima y mínima.
- No sólo hace el cálculo de los índices estándar para la evaluación y el análisis de las tendencias climáticas y los eventos climáticos, sino que además realiza gráficas y análisis de tendencias de estos, así como el cálculo de la confiabilidad de estos.
- Es una herramienta muy utilizada por la comunidad científica, siendo especialmente utilizada para análisis regionales de tendencias climáticas y para zonas donde se realizan análisis hidrológicos.

Pese a ser una muy buena herramienta, RClimDex tiene algunas limitaciones, entre ellas:

- La herramienta realiza un control de calidad muy básico de las series de entrada (por ejemplo, la eliminación de valores atípicos con valores muy altos), y no realiza homogeneización de los datos de entrada.
- Posee restricciones de cálculo de algunos índices según el faltante de datos (por ejemplo, el no cálculo de índices mensuales si hay mínimo 3 días con datos faltantes en la serie o el no cálculo de las tendencias si hacen falta el 30% o más de la información).
- Se deben tener series de datos de calidad confiable y de al menos 15 años, con el fin de reducir la incertidumbre en las tendencias climáticas y en los índices a analizar. Si se tienen series de menos años, los análisis de tendencias climáticas no son apropiados puesto que no se tendría información de la afectación por fenómenos de variabilidad climática interanual e intra-anual, y si las series no poseen una buena calidad, los índices resultantes carecerán de confiabilidad, puesto que desde los datos de entrada ya habría una alta incertidumbre asociada con los valores de las variables climáticas.

## Metodología

### Cálculo de índices en RClimDex (primera corrida) y definición de criterios

Para el análisis de tendencias de precipitación y temperatura se empleó una serie de datos diarios del INSIVUMEH correspondiente al período 1981-2020, de 40 estaciones meteorológicas. La información recopilada de dichas estaciones presentó hasta un 10% de datos faltantes a los cuales, después de varios ensayos metodológicos, se decidió no realizar el llenado de datos con el fin de no distorsionar la base de trabajo por falta de datos diarios de estaciones.

Como primer paso, se utilizó la herramienta RClimDex para efectuar cálculo de los 27 índices relacionados con las variables de temperatura máxima, mínima y precipitación para las 40 estaciones meteorológicas. Se destaca que dichos datos cuentan con un proceso de control de calidad realizado previo al análisis del presente estudio.

La primera corrida de los 27 índices permitió evaluar de manera general el período de 1981-2020, evidenciando de esta manera el efecto de los datos faltantes en el cálculo de los índices. Los resultados obtenidos evidenciaron la falta de representatividad de algunos índices, debido a la existencia de datos faltantes en las series de las 40 estaciones evaluadas. Por lo tanto, se procedió a dividir el análisis en dos climatologías, 1981-2010 y 1991-2020, con el objetivo de atenuar el efecto de los datos faltantes en el cálculo de los índices de climáticos.

Una vez definida la división de las climatologías se estableció un último criterio para realizar una selección de estaciones para el cálculo final de los índices:

- a. Contar con un porcentaje menor al 10% de faltantes anuales por climatología, con el fin de obtener una mejor representatividad sobre el análisis de cambios climáticos registrados en las dos climatologías analizadas.

A partir de los criterios mencionados anteriormente se seleccionaron 14 estaciones meteorológicas, obteniendo un 35% de representatividad del total de estaciones que conforman la red meteorológica nacional. En la Tabla 2 se describe el nombre de cada estación seleccionada, la región climática a la que pertenece, su ubicación territorial y el porcentaje de representatividad de cada región. Asimismo, en la Tabla 3 y Tabla 4 se presentan los porcentajes de datos faltantes de las 14 estaciones seleccionadas y, en Figura 1, se grafica la ubicación de cada una de las estaciones.

Tabla 2. Porcentaje de representatividad por región climática.

No.	Estación	Región Climática	Departamento	Municipio	% de representatividad por Región Climática
1.	Chixoy	Altiplano Central	Quiché	Chicamán	15
2.	INSIVUMEH	Altiplano Central	Guatemala	Guatemala	
3.	San Martín Jilotepeque	Altiplano Central	Chimaltenango	San Martín Jilotepeque	
4.	Retalhuleu	Bocacosta	Retalhuleu	Retalhuleu	33
5.	Puerto Barrios	Caribe	Izabal	Puerto Barrios	50
6.	Cobán	Franja Transversal del Norte	Alta Verapaz	Cobán	50
7.	Flores	Norte	Petén	Flores	100
8.	Huehuetenango	Occidente	Huehuetenango	Huehuetenango	40
9.	Labor Ovalle	Occidente	Quetzaltenango	Olintepeque	
10.	Puerto San José	Pacífico	Escuintla	San José	50
11.	Asunción Mita	Valles de Oriente	Jutiapa	Asunción Mita	44
12.	Esquipulas	Valles de Oriente	Chiquimula	Esquipulas	
13.	La Fragua	Valles de Oriente	Zacapa	Estanzuela	
14.	Pasabién	Valles de Oriente	Zacapa	Río Hondo	

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Tabla 3. Porcentaje de registros faltantes por estación meteorológica del periodo 1981-2010.

No.	Estación	Tmax (%)	Tmin (%)	Tmean (%)	Precipitación (%)
1.	Asunción Mita	2.4	2.5	2.6	2.2
2.	Chixoy	6.4	1.2	3.9	0.9
3.	Cobán	2.4	2.4	2.3	1.7
4.	Esquipulas	3.5	1.2	1.3	0.3
5.	Flores	3.2	3.4	0.9	1.7
6.	Huehuetenango	3.7	2.3	0.9	0.3
7.	INSIVUMEH	0.5	0.4	0.4	0
8.	Labor Ovalle	1.2	1.2	0.7	0.6
9.	La Fragua	1.7	1.1	1.2	0.7
10.	Pasabién	0.3	0.3	0.3	0.3
11.	Puerto Barrios	1.4	1.3	1.9	1.4
12.	Puerto San José	0.5	1	0.9	1.2
13.	Retalhuleu	2.8	6.4	2.2	1
14.	San Martín Jilotepeque	1	1.4	0.9	0.8

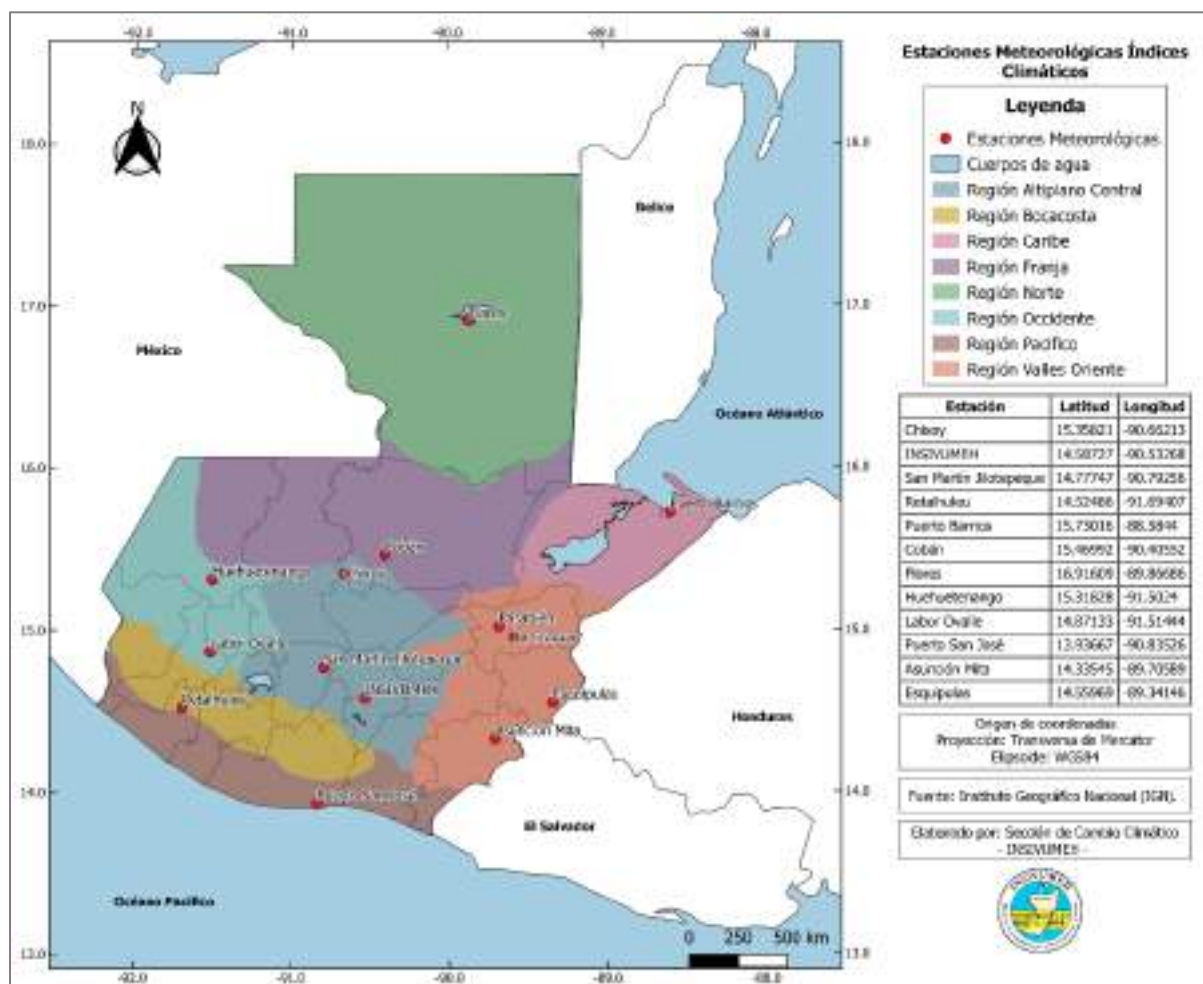
Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Tabla 4. Porcentaje de registros faltantes por estación meteorológica del periodo 1991-2020.

No.	Estación	Tmax	Tmin	Tmean	Precipitación
1.	Asunción Mita	2.7	2.7	2.7	2.5
2.	Chixoy	7.4	2.3	4.3	1.9
3.	Cobán	2.5	2.4	2.7	1.7
4.	Esquipulas	1.3	1.2	1	0.6
5.	Flores	3.1	3.3	0.8	1.7
6.	Huehuetenango	3.4	2	0.6	0.3
7.	INSIVUMEH	0.2	0.2	0.2	0.4
8.	Labor Ovalle	1.4	1.2	1.3	1.7
9.	La Fragua	0.9	0.9	0.8	0.9
10.	Pasabién	2.1	0.6	0.8	1.2
11.	Puerto Barrios	2.9	2.7	2.9	2.7
12.	Puerto San José	0.1	0.1	0.4	1
13.	Retalhuleu	1.5	1.5	1	0.9
14.	San Martín Jilotepeque	2.1	2.1	2	1.6

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Figura 1. Ubicación geográfica de estaciones meteorológicas



### Cálculo de índices en RCLimDex (segunda corrida) y selección de índices

La segunda corrida de los índices en RCLimDex se realizó a partir de la división por climatologías de las series temporales de las 14 estaciones seleccionadas. Si bien el programa RCLimDex opera para el cálculo de 27 índices climáticos de precipitación y temperatura, para efectos del presente estudio se sintetizó en 14 índices representativos de ambas variables, los cuales son generados mediante tablas y gráficos de regresión lineal utilizando mínimos cuadrados y estadísticos de ajuste.

A continuación, en las Tablas 5 y 6 se describen los índices climáticos seleccionados para este estudio.

Tabla 5. Descripción de índices climáticos RCLimDex correspondientes a temperatura.

Índices climáticos para temperatura			
Índice	Nombre del índice	Definición	Unidad
DTR	Rango diario de temperatura	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C
TN10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando TN < 10th percentil	Días
TN90p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando TN > 90th percentil	Días
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
TX10P	Días fríos	Porcentaje de días cuando TX < 10th percentil	Días
TX90P	Días calientes	Porcentaje de días cuando TX > 90th percentil	Días
TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C

Fuente: Manual RCLimDex, 2004

Tabla 6. Descripción de índices climáticos RCLimDex correspondientes a precipitación.

Índices climáticos para precipitación			
Índice	Nombre del índice	Definición	Unidad
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con $RR < 1\text{mm}$	Días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con $RR \geq 1\text{mm}$ .	Días
R10mm	Días con precipitación por encima de los 10 mm	Cantidad de días en un año en que $PRCP \geq 10\text{mm}$	Días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación anual total en que $RR > 95$ percentil	mm
RX5day	Cantidad Máxima de precipitación en 5 días	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	mm

Fuente: Manual RCLimDex, 2004

## Cálculo de tendencias y evaluación de significancia estadística

Se calcularon las tendencias lineales para 14 índices de precipitación y temperatura, y se estableció la significancia estadística mediante la prueba de Mann Kendall.

### Test de Mann-Kendall

El cálculo de tendencias permite establecer si los índices presentan un comportamiento creciente (tendencia positiva) o decreciente (tendencia negativa). No obstante, fue necesario determinar la significancia estadística de dicho comportamiento. Para lo cual, se analizaron los resultados obtenidos de la prueba de Mann Kendall.

La prueba estadística no paramétrica Mann-Kendall ha sido utilizado frecuentemente para calcular la significancia de tendencias en las series de tiempo hidrometeorológicas. La principal razón de aplicación de esta prueba, en relación con otras técnicas paramétricas, radica en ser el indicado para distribuciones que no presentan normalidad estadística, como frecuentemente sucede con las series hidro climatológicas.

Las hipótesis para la prueba son las siguientes:

- $H_0$  (hipótesis nula): No hay una tendencia presente en los datos.
- $H_A$  (hipótesis alternativa): hay una tendencia en los datos. (Esto podría ser una tendencia positiva o negativa)

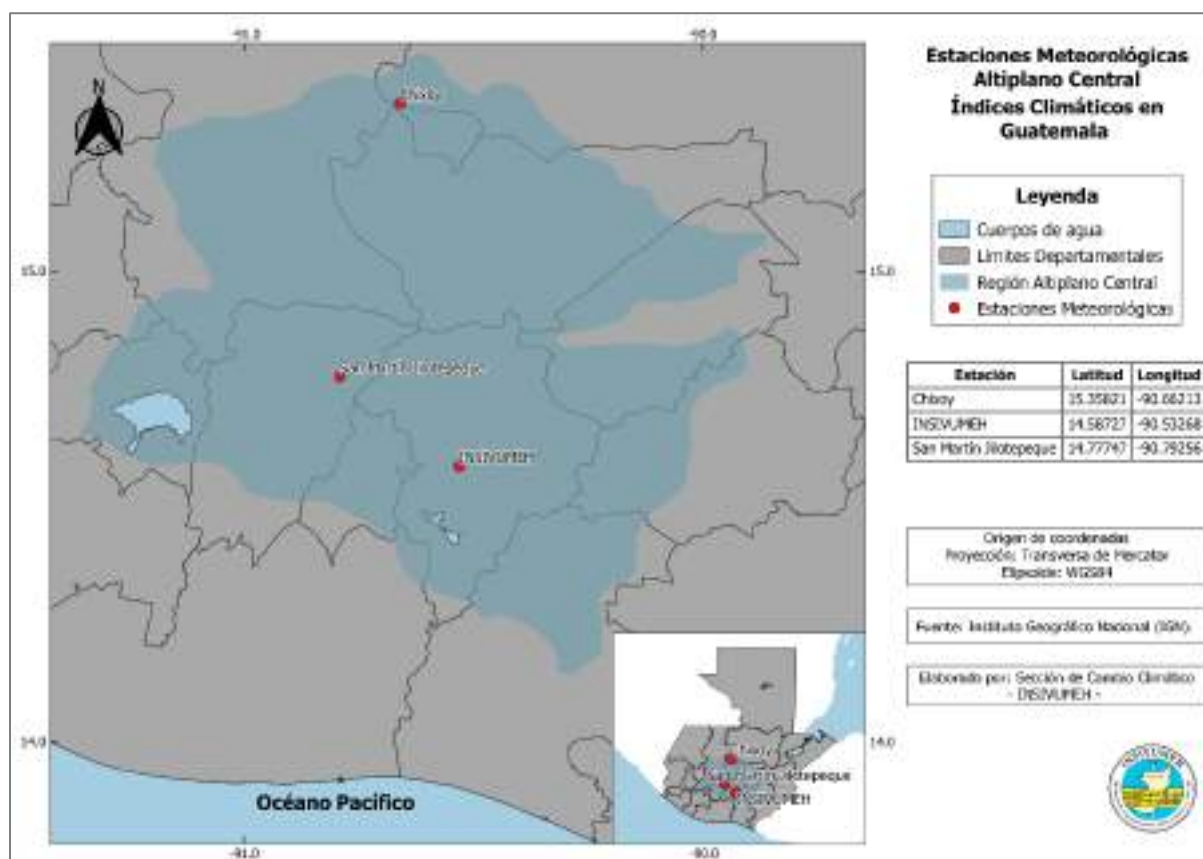
El nivel de significancia de cualquier tipo de datos en un análisis estadístico se define como el nivel de confianza que se puede tener con ellos (Armenta & Ruiz, 2012). El Test de Mann Kendall genera un valor llamado pvalue, el cual se define como la probabilidad de que la hipótesis nula sea verdadera. Un valor de significancia inferior a 0.05-0.1 nos garantiza que la hipótesis adoptada tiene unas altas garantías de veracidad; a medida que este valor se hace más grande, las probabilidades van disminuyendo; hasta que, llegando a un valor de 1, la probabilidad es nula. Para el presente estudio, en el análisis de los índices se tomaron como significativos aquellos con un pvalue menor o igual a 0.05.

## Análisis de Resultados

### 1. Altiplano Central

Como resultado de la aplicación de criterios de selección de estaciones meteorológicas para el cálculo de los índices climáticos de la región del Altiplano Central, se analizaron tres estaciones: Chixoy, INSIVUMEH y San Martín Jilotepeque. De las cuales se observa la ubicación geográfica en la Figura 2. Las características climáticas presentes en la región indican un clima templado, semifrío y lluvias no intensas (Bardales et al., 2021).

Figura 2. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales - Región climática del Altiplano Central.



Para la región climática del Altiplano Central, en la climatología de 1981-2010 y de 1991-2020, se priorizó el análisis de 11 índices para Chixoy, 14 para la estación de INSIVUMEH y 13 para San Martín Jilotepeque. Con fines descriptivos para el presente análisis, en la Tabla 7 y Tabla 8, se presentan los valores promedio de los índices, por climatologías.

Tabla 7. Valores promedio por índice de la climatología 1981-2010 - Altiplano Central

Estación	CDD	CWD	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Chixoy	25.3	N/D	13.4	N/D	N/D	150.1	5.9	13.3	9	22.7	10.2	8.7	20.8	40.4
INSIVUMEH	72.2	10.1	10	40.5	326.6	144.1	4.8	16.6	8.2	18.7	5.1	19.1	17.5	31.3
San Martín Jilotepeque	78.8	N/D	11.7	47.1	331.1	141.8	13.7	7.1	4	16.9	5.8	15.1	16	30.7

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Tabla 8. Valores promedio por índice de la climatología 1991-2020 - Altiplano Central

Estación	CDD	CWD	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Chixoy	23.5	N/D	13.4	N/D	N/D	167.2	7.9	23.2	9.8	23.2	11.3	16.2	21.1	39.8
INSIVUMEH	71.6	10.3	10	41.4	350.1	152.5	4.3	29.6	8.9	19.2	5.6	28.6	18.1	31.4
San Martín Jilotepeque	77.3	N/D	11.9	43.8	329.8	135	18.3	10.1	4.4	17.3	7.7	21.2	16.8	30.6

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Asimismo, en la Tabla 9 se observa el comportamiento de la tendencia por índice y los resultados obtenidos del valor de significancia generados a partir de la prueba Mann Kendall para las estaciones del Altiplano Central.

Tabla 9. Pvalue y comportamiento de tendencia - Altiplano Central

Estación	Climatología	CDD	CWD	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Chixoy	1981-2010	(+) 0.7	N/D	(-) 0.00	N/D	N/D	(+) 0.09	(+) 0.00	(+) 0.00	(+) 0.49	(+) 0.02	(+) 0.00	(+) 0.02	(-) 0.1	(-) 0.27
	1991-2020	(-) 0.34	N/D	(-) 0.92	N/D	N/D	(+) 0.13	(+) 0.02	(+) 0.00	(+) 0.31	(+) 0.09	(-) 0.03	(+) 0.00	(-) 0.01	(-) 0.20
INSIVUMEH	1981-2010	(+) 0.73	(+) 1.0	(+) 0.04	(+) 0.03	(+) 0.05	(+) 0.12	(+) 0.24	(+) 0.00	(+) 0.41	(+) 0.01	(+) 0.11	(+) 0.00	(+) 0.05	(+) 0.33
	1991-2020	(-) 0.94	(-) 0.15	(-) 0.03	(+) 0.62	(+) 0.78	(+) 0.55	(-) 0.79	(+) 0.00	(+) 0.34	(+) 0.00	(-) 0.00	(+) 0.00	(-) 0.99	(-) 0.05
San Martín Jilotepeque	1981-2010	(+) 0.11	N/D	(+) 0.01	(-) 0.56	(+) 0.08	(+) 0.87	(+) 0.00	(+) 0.03	(-) 0.46	(+) 0.43	(+) 0.01	(+) 0.00	(+) 0.25	(+) 0.27
	1991-2020	(-) 0.15	N/D	(+) 0.73	(-) 0.08	(-) 0.94	(+) 0.34	(+) 0.19	(+) 0.05	(+) 0.92	(+) 0.00	(+) 0.00	(+) 0.01	(+) 0.60	(-) 0.89

Nota: Tendencia creciente (+), Tendencia decreciente (-), p-value con tendencia estadísticamente significativa

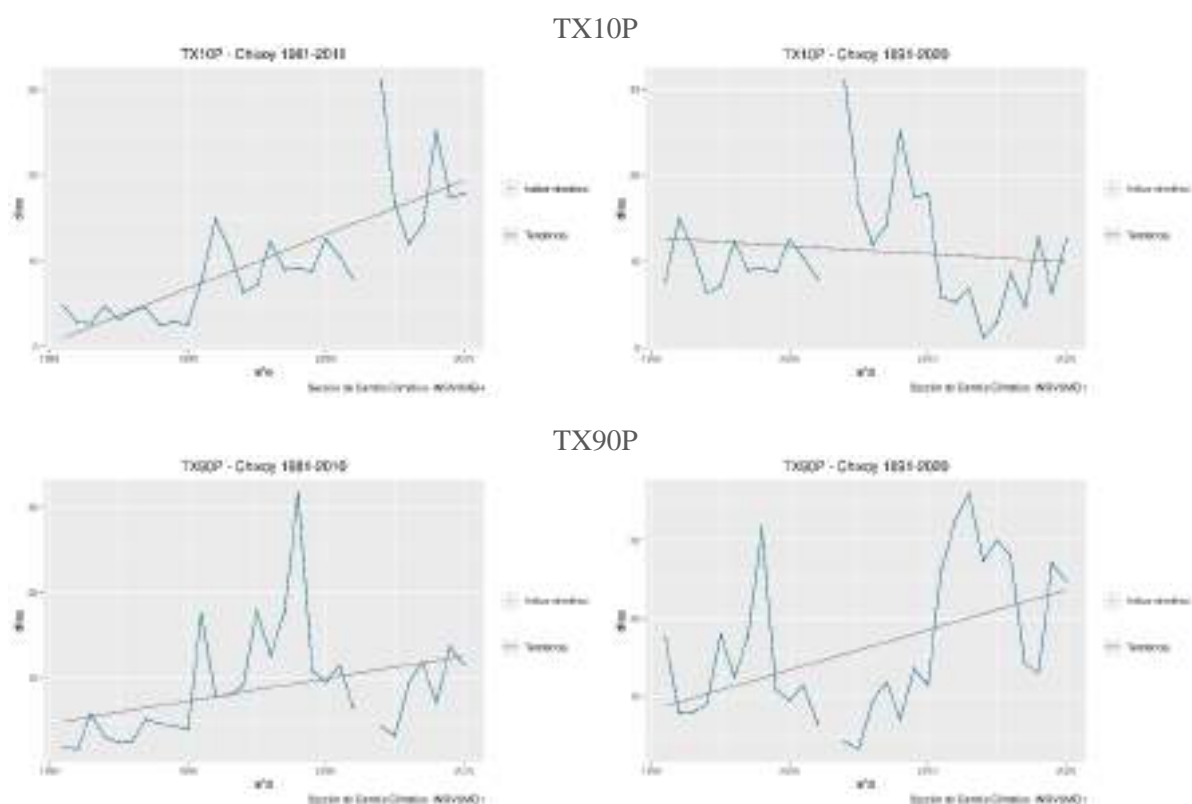
Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

## 1.1 Estación – Chixoy

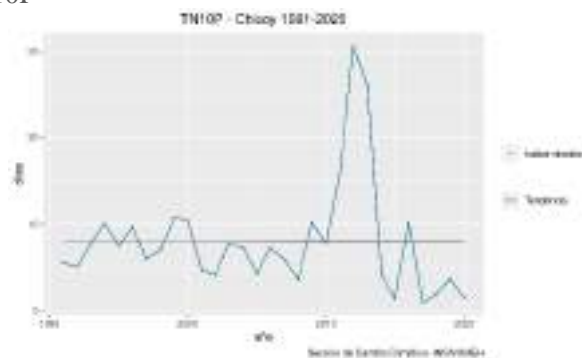
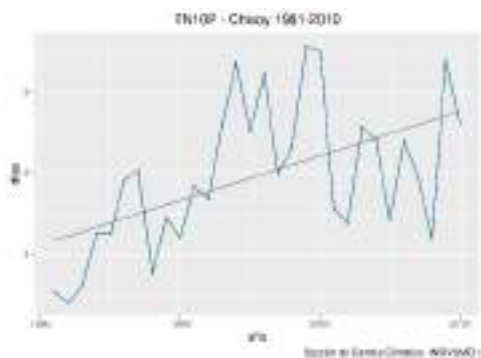
En Tabla 9 se observa que para la climatología de 1981-2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 6: DTR (rango diurno de temperatura), TN10p (noches frías), TN90p (noches calientes), TNx (valor mensual máximo de temperatura mínima diaria), TX10p (días fríos) y TX90p (días calientes). Cabe mencionar que de estos únicamente el índice DTR presenta una tendencia decreciente. En la climatología de 1991-2020, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 5: TN10p (noches frías), noches calientes, TN90p (noches calientes) y TX90p (días calientes), los cuales presentan una tendencia creciente. Mientras que los índices TX10p (días fríos) y TXn (valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria), presentan una tendencia decreciente.

Se destacan los índices TN10p (noches frías), TN90p (noches calientes), TX90p (días calientes), los cuales mantienen una tendencia creciente estadísticamente significativamente para ambas climatologías analizadas. Por otro lado, el índice TX10P (días fríos) muestra una tendencia creciente para la primera climatología, cambiando su comportamiento durante la segunda climatología analizada, presentando una tendencia negativa.

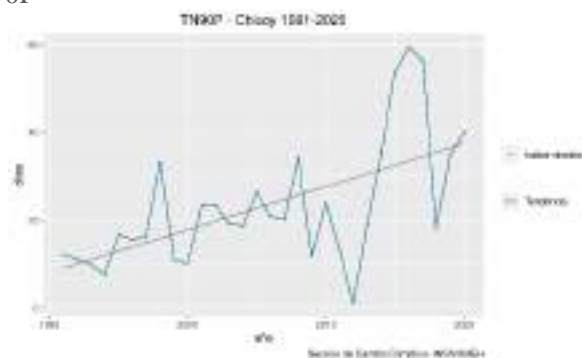
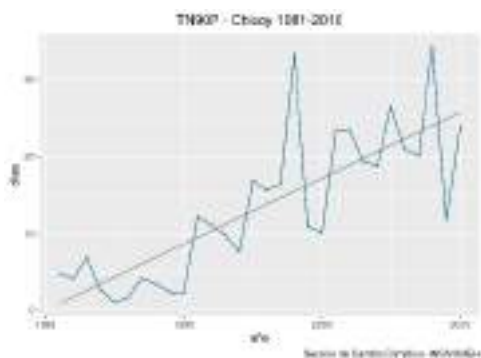
Gráficos 1. Índices representativos – Estación Chixoy



### TN10P



### TN90P

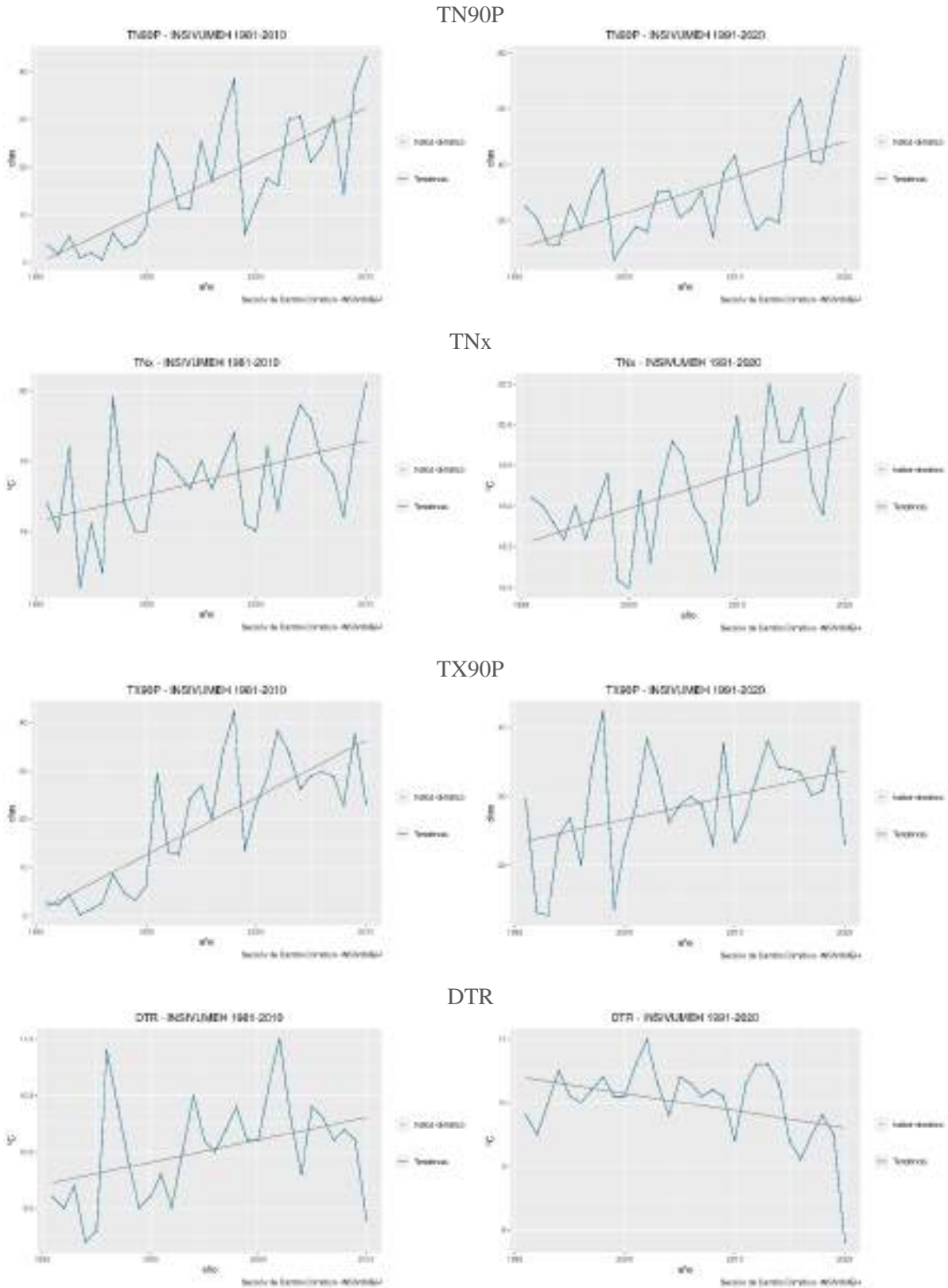


## 1.2 Estación – INSIVUMEH

En la climatología 1981-2010, la estación INSIVUMEH presentó una tendencia estadísticamente significativa para los siguientes índices: DTR (rango diurno de temperatura), R10mm (Días con precipitación por encima de los 10mm), R95p (días muy húmedos), TN90p (noches calientes), TNx (valor mensual máximo de temperatura mínima diaria), TX90p (días calientes) y TXn (valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria), dichos índices presentaron una tendencia creciente. Para la climatología 1991-2020, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa fueron: DTR (rango diurno de temperatura), TN90P (noches calientes), TNx (valor mensual máximo de temperatura mínima diaria), TX10P (días fríos), TX90P (días calientes), TXx (Max Tmax).

Se destaca el comportamiento de los índices TN90P (noches calientes), TNx (Max Tmin) y TX90P (días calientes) los cuales presentan una tendencia positiva estadísticamente significativa para ambas climatologías analizadas. Por otro lado, se muestra el cambio en el comportamiento de la tendencia del índice DTR (rango diurno de temperatura), presentando una tendencia positiva durante la primera climatología y negativa durante el segundo período analizado.

Gráficos 2. Índices representativos – Estación INSIVUMEH

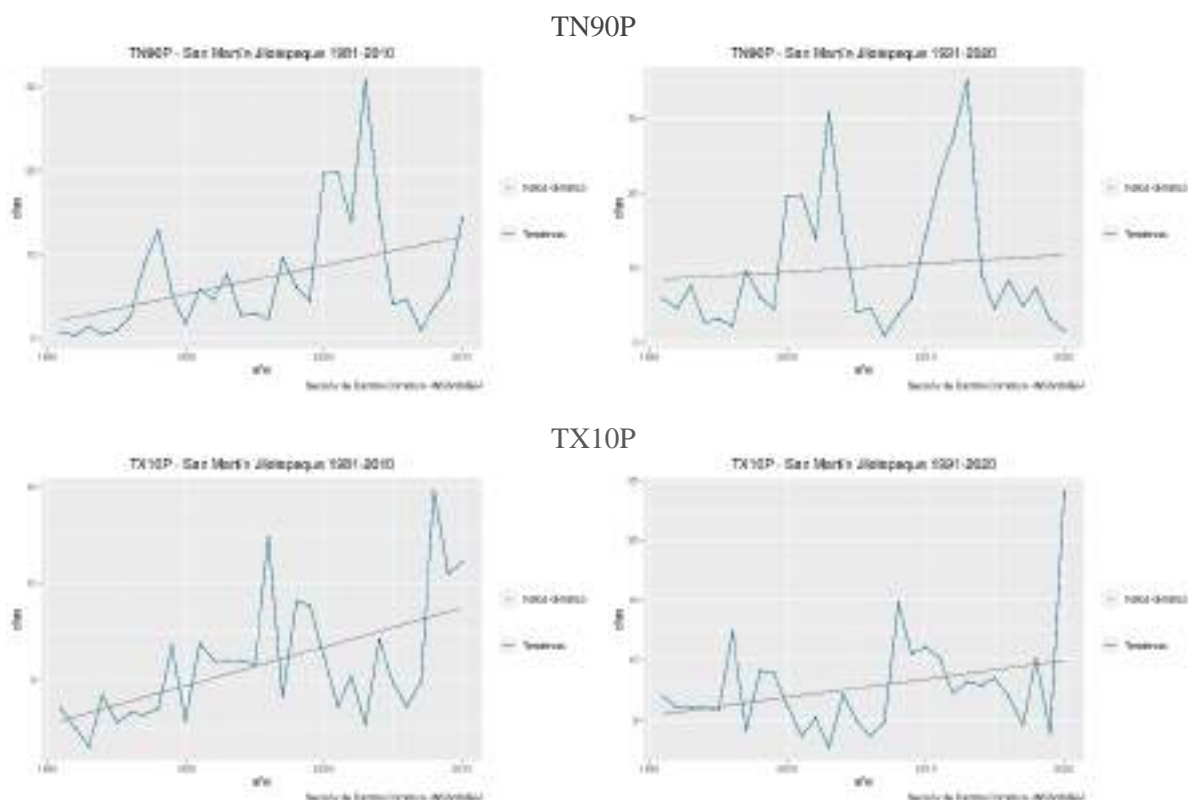


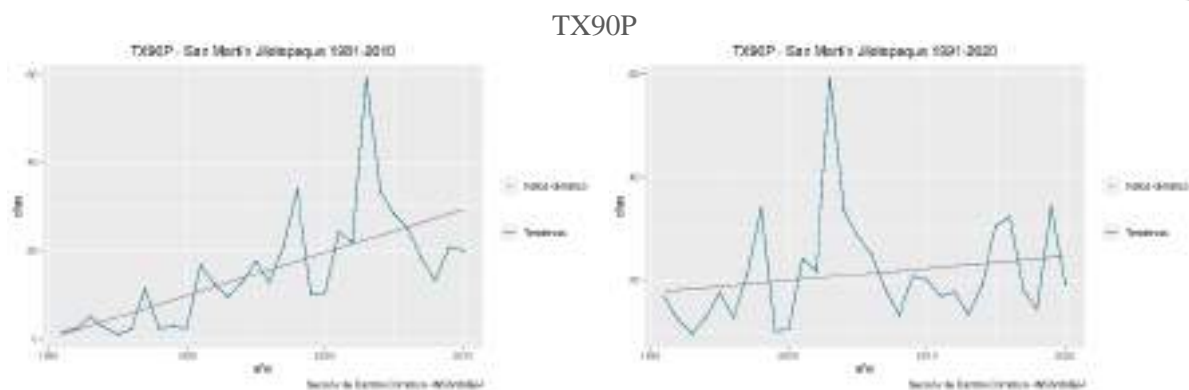
### 1.3 Estación - San Martín Jilotepeque

Para la climatología 1981-2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 5: DTR (rango diurno de temperatura), TN10p (noches frías), TN90p (noches calientes), TX10p (días fríos) y TX90p (días calientes), dichos índices presentan una tendencia creciente. Asimismo, en la climatología 1991-2020, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 4: TN90p (noches calientes), TNx (valor mensual máximo de temperatura mínima diaria), TX10p (días fríos) y TX90p (días calientes), dichos índices presentan una tendencia creciente. Se destaca que los índices TN90p, TX10p y TX90p mantiene la tendencia creciente estadísticamente significativa para ambas climatologías analizadas.

De igual forma se destaca el comportamiento del índice TN10P, el cual presenta una tendencia positiva únicamente durante la climatología del 1981-2010; el mismo escenario se presenta para los índices DTR y TNx, los cuales presentan únicamente tendencias para la climatología 1981-2010 y 1991-2020, respectivamente.

Gráficos 3. Índices representativos – Estación San Martín Jilotepeque

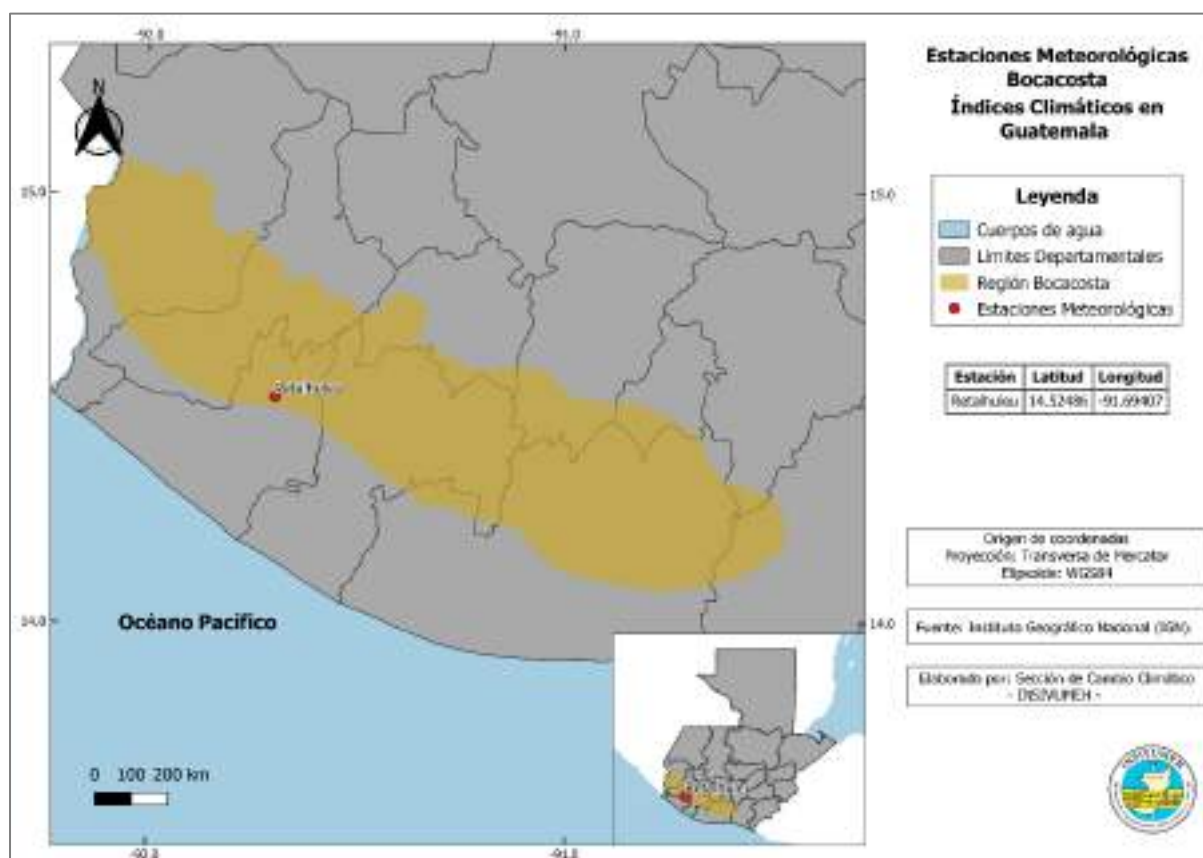




## 2. Bocacosta

La región climática Bocacosta, definida en la Figura 3, se caracteriza por tener un clima semicálido y sin una estación seca bien definida (Bardales et al., 2021). Según los resultados obtenidos de la evaluación de datos faltantes para la región de Bocacosta, se analizó únicamente las series climáticas de la estación Retalhuleu.

Figura 3. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales - Región climática de Bocacosta.



Para la región climática de Bocacosta, se priorizó el análisis de 12 índices para la estación de Retalhuleu. Con fines descriptivos para el presente análisis, en la Tabla 10 y Tabla 11, se presentan los valores promedio de los índices, por climatologías.

Tabla 10. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología 1981-2010 - Bocacosta

Estación	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Retalhuleu	12.5	79.7	689.3	257.7	6.7	6.4	17.4	24.7	8	7.3	25.9	37.9

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Tabla 11. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología 1991-2020 - Bocacosta

Estación	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Retalhuleu	12.3	82.2	733.1	257.9	6.4	11.1	17.8	24.7	11.7	7.8	25.9	37.7

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Asimismo, en la Tabla 12 se observa el comportamiento de la tendencia por índice y los resultados obtenidos del valor de significancia generados a partir de la prueba Mann Kendall para la estación de Retalhuleu.

Tabla 12. Pvalue y comportamiento de tendencia – Bocacosta

Estación	Climatología	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Retalhuleu	1981-2010	(+) 0.3	(+) 0.32	(+) 0.09	(+) 0.31	(+) 0.00	(+) 0.03	(+) 0.93	(-) 0.49	(+) 0.00	(+) 0.06	(-) 0.21	(+) 0.65
	1991-2020	(-) 0.00	(+) 0.35	(+) 0.25	(+) 0.73	(-) 0.84	(+) 0.00	(+) 0.00	(+) 0.22	(+) 0.00	(-) 0.90	(-) 0.32	(-) 0.23

Nota: Tendencia creciente (+), Tendencia decreciente (-), p-value con tendencia estadísticamente significativa

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

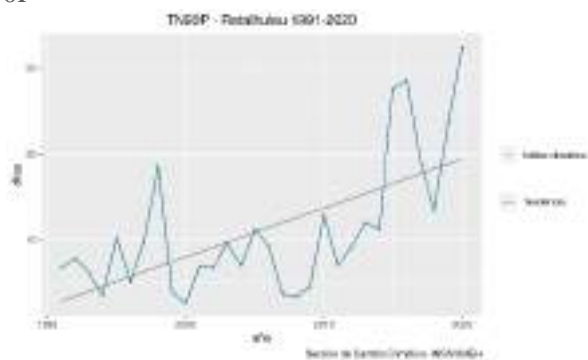
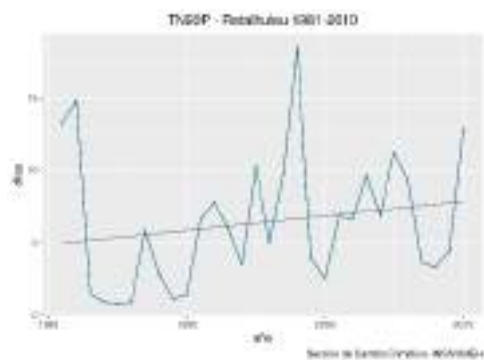
## 2.1 Estación - Retalhuleu

En la climatología de 1981-2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 3: TN10p (noches frías), TN90p (noches calientes) y TX10p (días fríos) presentan una tendencia creciente. Para la climatología 1991-2020, los índices DTR (rango diurno de temperatura), TN90p (noches calientes), TNn (valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria) y TX10p (días fríos) presentaron una tendencia con significancia estadística.

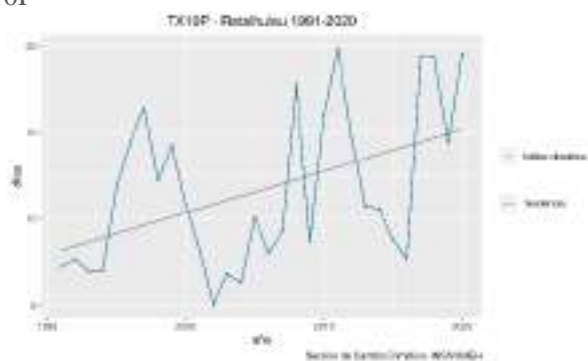
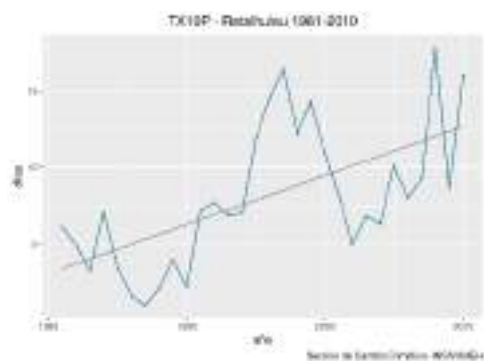
Para el análisis de la estación de Retalhuleu, se destaca el cambio en el comportamiento de los índices DTR y TNn, los cuales muestran una tendencia positiva y negativa, respectivamente, únicamente durante la climatología 1991-2020. Asimismo, el índice TN10p presenta una tendencia positiva únicamente para la primera climatología analizada. Por otro lado, se destacan los índices TN90p (noches calientes) y TX10p (días fríos), debido a que mantienen la significancia estadística durante ambas climatologías.

Gráficos 4. Índices representativos - Estación Retalhuleu

TN90P



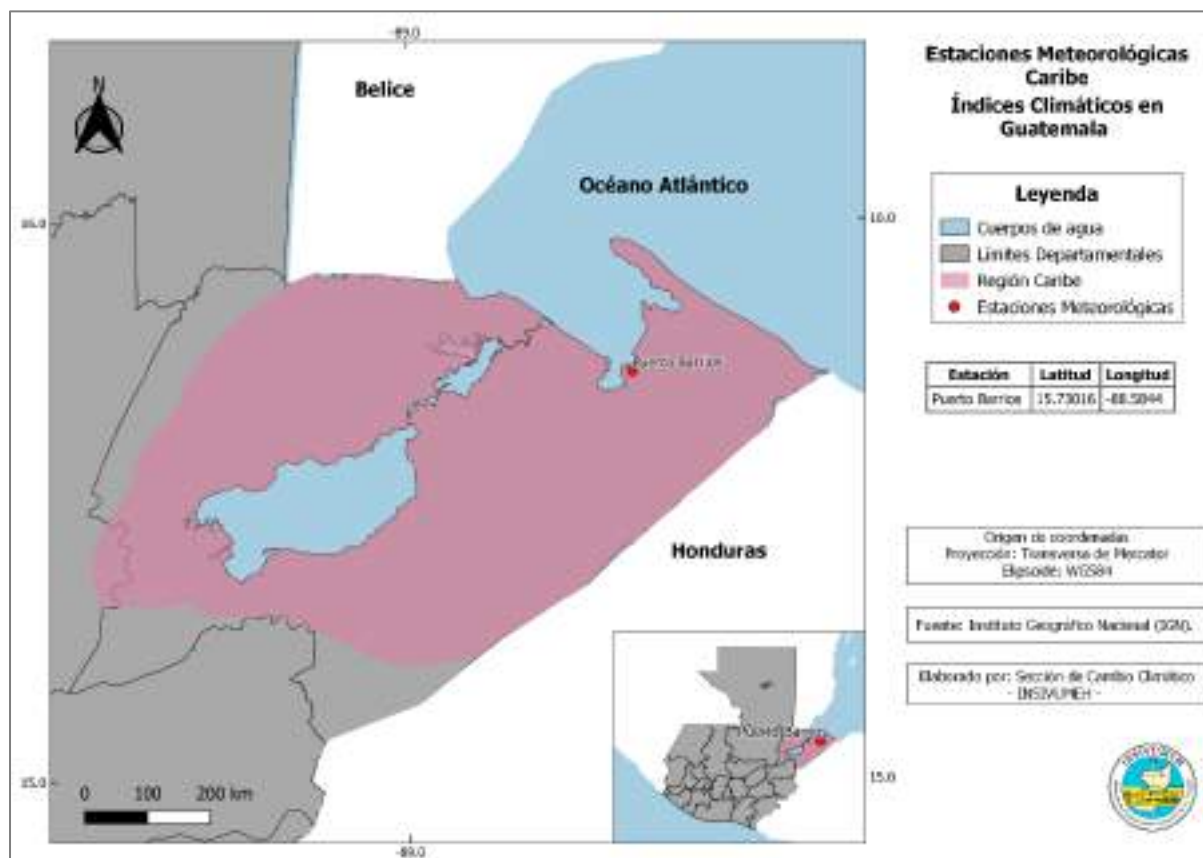
TX10P



### 3. Caribe

La región climática Bocacosta, definida en la Figura 4, se caracteriza por tener un clima cálido variando en el estado de muy húmedos, húmedos y semisecos (Bardales et al., 2021). Para esta región se realizó el análisis con la estación meteorológica convencional de Puerto Barrios.

Figura 4. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales - Región climática del Caribe.



Para la región climática de Caribe, se priorizó el análisis de 12 índices para la estación de Puerto Barrios. Con fines descriptivos para el presente análisis, en la Tabla 13 y Tabla 14, se presentan los valores promedio de los índices, por climatologías.

Tabla 13. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1981-2010 - Caribe

Estación	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Puerto Barrios	8.5	89	879.7	296	3.5	24.3	14.4	26	5.8	18.3	21.2	36.8

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Tabla 14. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1991-2020 - Caribe

Estación	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Puerto Barrios	8.3	89.1	887.9	312.1	3	36.6	14.8	26.4	6.7	25.2	21.5	37.1

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Asimismo, en la Tabla 15 se observa el comportamiento de la tendencia por índice y los resultados obtenidos del valor de significancia generados a partir de la prueba Mann Kendall para la estación de Puerto Barrios.

Tabla 15. Pvalue y comportamiento de tendencia – Caribe

Estación	Climatología	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Puerto Barrios	1981-2010	(-) 0.00	(-) 0.44	(+) 0.9	(+) 0.74	(-) 0.47	(+) 0.00	(+) 0.07	(+) 0.01	(+) 0.00	(+) 0.00	(-) 0.63	(+) 0.25
	1991-2020	(-) 0.01	(-) 0.41	(-) 0.76	(+) 0.96	(-) 0.09	(+) 0.00	(+) 0.71	(+) 0.27	(-) 0.05	(-) 0.01	(-) 0.96	(+) 0.23

Nota: Tendencia creciente (+), Tendencia decreciente (-), p-value con tendencia estadísticamente significativa \*

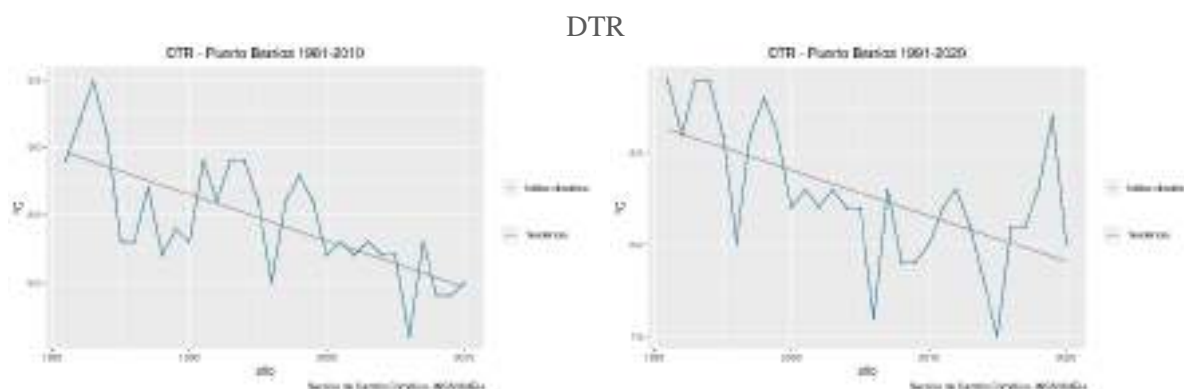
Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

### 3.1 Estación - Puerto Barrios

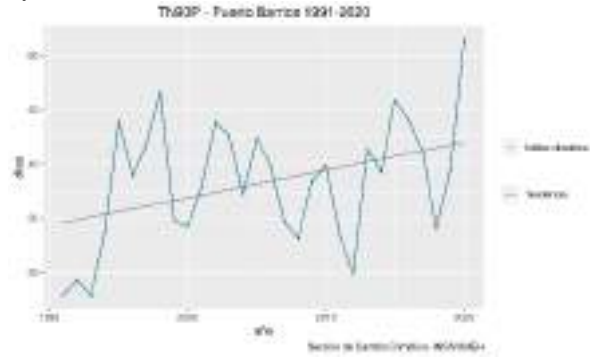
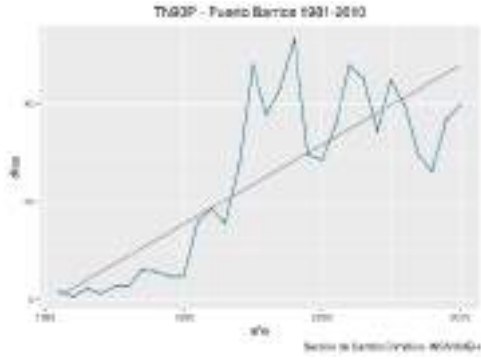
En la climatología de 1981-2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 5: TN90p (noches calientes), TNx (valor mensual máximo de temperatura mínima diaria), TX10p (días fríos) y TX90p (días calientes); estos presentan una tendencia creciente, mientras que el índice DTR (rango diurno de temperatura) presenta una tendencia decreciente. Por otro lado, para la climatología 1991-2020, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 4: TN90p, TX10p, TX90p y DTR.

Se destacan los índices TX10p y TX90p, los cuales presentan una tendencia positiva estadísticamente significativa durante la climatología 1981-2010, y una negativa durante 1991-2020. Por otro lado, los índices TN90p y DTR mantienen el mismo comportamiento de la tendencia durante ambas climatologías, siendo estas positiva y negativa, respectivamente.

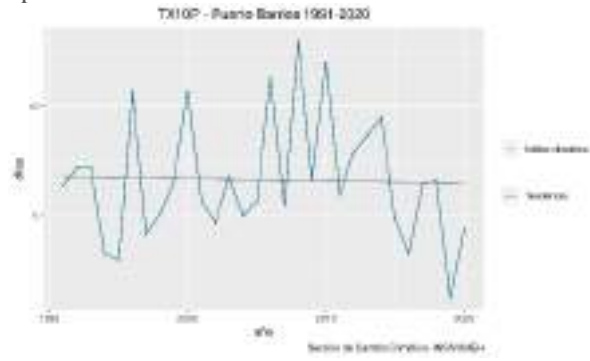
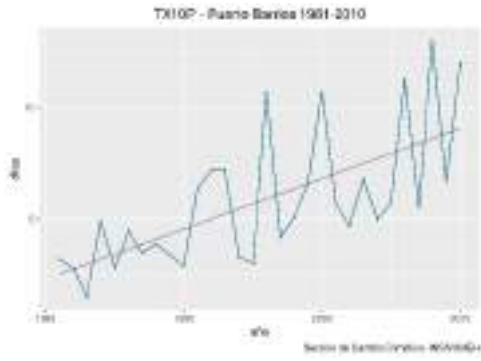
Gráficos 5. Índices representativos - Estación Puerto Barrios



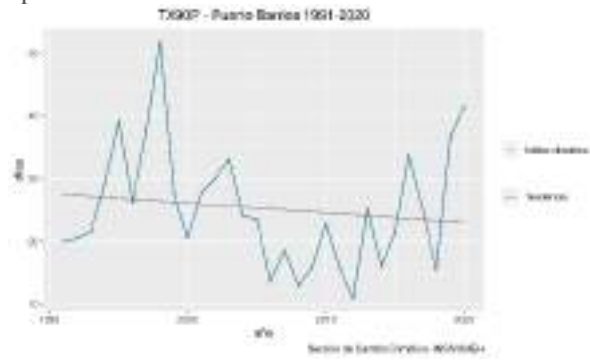
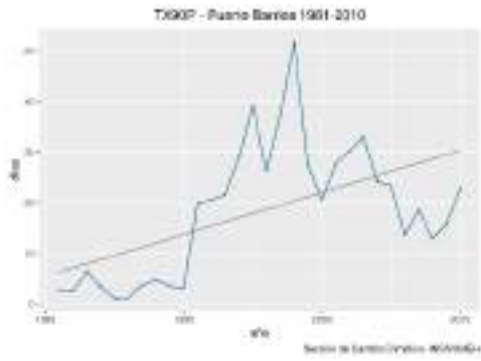
TN90p



TX10p



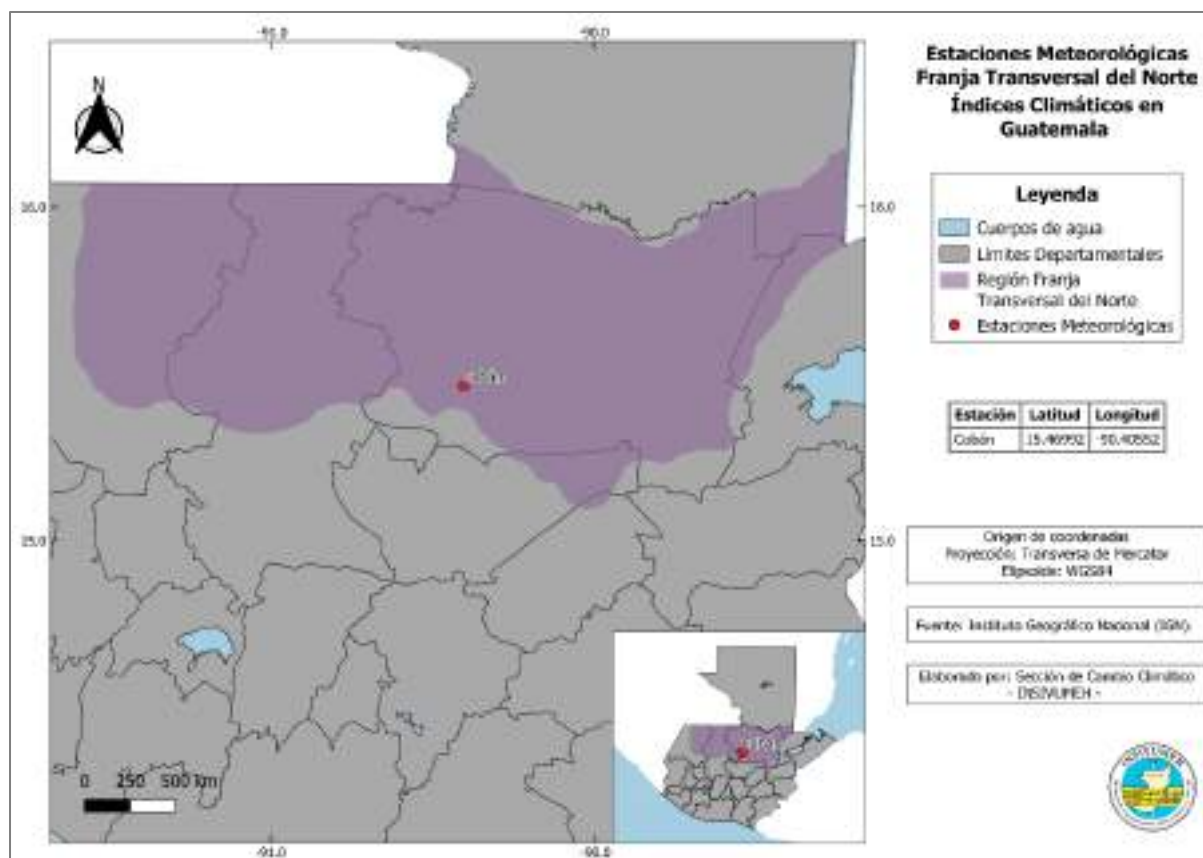
TX90p



## 4. Franja Transversal del Norte

Para el análisis de esta región, se evaluó la estación de Cobán, situada en el departamento Alta Verapaz. Una de las características climáticas de esta región es un clima cálido sin estación bien definida y semicálidos con invierno benigno (Bardales et al., 2021).

Figura 5. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales – Región climática de la Franja Transversal del Norte.



Para la región climática de la Franja Transversal del Norte, se priorizó el análisis de 10 índices para la estación de Cobán. Con fines descriptivos para el presente análisis, en la Tabla 16 y Tabla 17, se presentan los valores promedio de los índices, por climatologías.

Tabla 16. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1981-2010 – Franja Transversal del Norte

Estación	DTR	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Cobán	11.6	184.7	6.6	10.6	2.9	19	6.2	12.9	12.9	33.4

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Tabla 17. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1991-2020 – Franja Transversal del Norte

Estación	DTR	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Cobán	11.9	198.2	8	13.6	3.7	19.1	6.6	19.9	13.5	33.6

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Asimismo, en la Tabla 18 se observa el comportamiento de la tendencia por índice y los resultados obtenidos del valor de significancia generados a partir de la prueba Mann Kendall para la estación de Cobán.

Tabla 18. Pvalue y comportamiento de tendencia – Franja Transversal del Norte

Estación	Climatología	DTR	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Cobán	1981-2010	(+) 0.11	(+) 0.54	(+) 0.01	(+) 0.00	(-) 0.87	(-) 0.69	(+) 0.03	(+) 0.00	(+) 0.44	(+) 0.72
	1991-2020	(+) 0.03	(+) 0.68	(-) 0.03	(-) 0.09	(+) 0.11	(+) 0.33	(-) 0.28	(+) 0.00	(-) 0.51	(-) 0.92

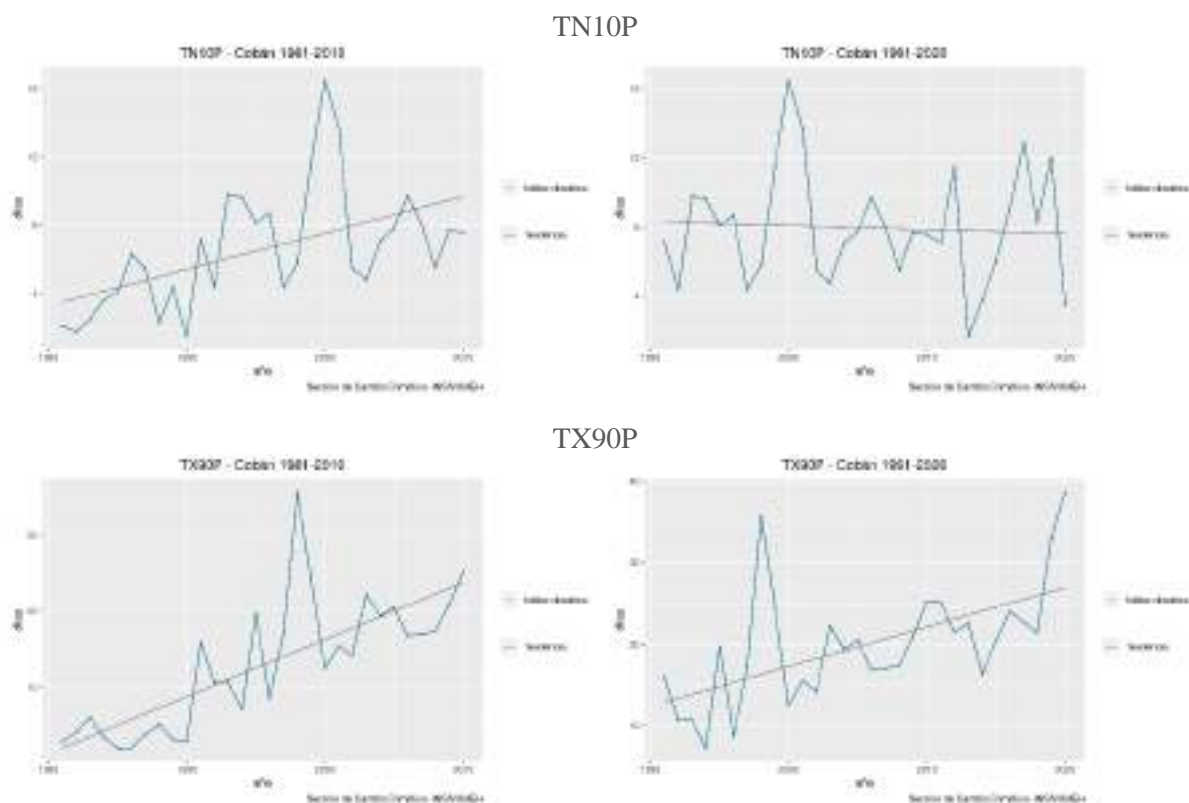
Nota: Tendencia creciente (+), Tendencia decreciente (-), p-value con tendencia estadísticamente significativa

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

#### 4.1 Estación - Cobán

En la climatología de 1981-2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 4: TN10p (noches frías), TX10p (días fríos), TN90p (noches calientes), TX90p (días calientes) presentan una tendencia estadísticamente significativa y creciente. Por otro lado, en la climatología de 1991-2020, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 3: DTR (rango diurno de temperatura) y TX90p (días calientes), con un comportamiento creciente y TN10p (noches frías) con una tendencia decreciente. Se destaca el comportamiento del índice de noches frías (TN10p), el cual presenta un cambio significativo en el comportamiento de la tendencia entre ambas climatologías. Asimismo, el índice de días calientes (TX90p) mantiene el comportamiento creciente y estadísticamente significativo durante ambos períodos analizados.

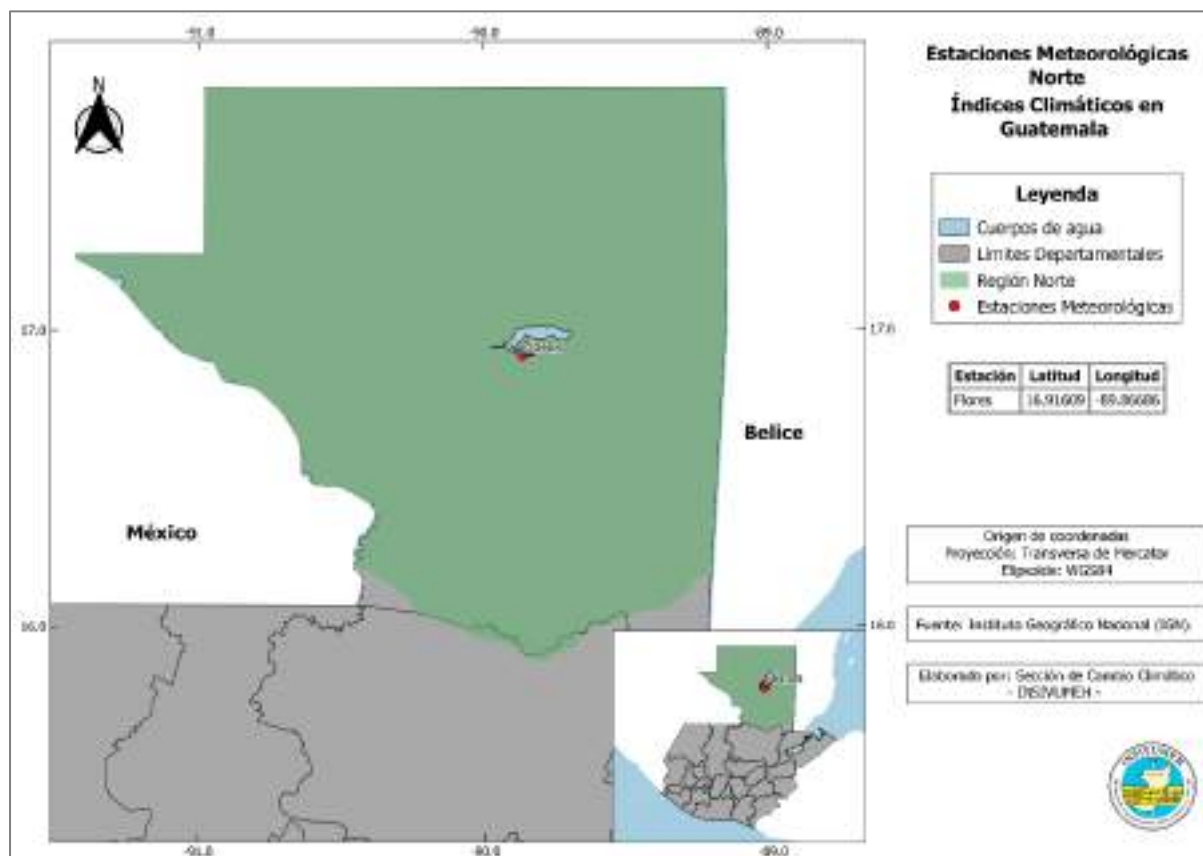
Gráficos 6. Índices representativos - Estación Cobán



## 5. Norte

Para el análisis de índice climáticos de la región climática del Norte, se evaluó la estación meteorológica de Flores. La región climática del Norte presenta un clima cálido, variando entre muy húmedo, y sin estación seca bien definida (Bardales et al., 2021).

Figura 6. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales - Región climática del Norte.



Para la región climática del Norte, se priorizó el análisis de 14 índices para la estación de Flores. Con fines descriptivos para el presente análisis, en la Tabla 19 y Tabla 20, se presentan los valores promedio de los índices, por climatologías.

Tabla 19. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1981-2010 – Norte

Estación	CDD	CWD	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Flores	28.9	9.3	11.8	53	583	167.6	6.6	10.8	11.4	25.7	5.6	21	21	40.1

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Tabla 20. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1991-2020 -Norte

Estación	CDD	CWD	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Flores	29.1	9	12.1	56.7	739.5	185.8	7.4	16.7	11.4	25.9	6.2	31.8	21.5	40.6

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Asimismo, en la Tabla 21 se observa el comportamiento de la tendencia por índice y los resultados obtenidos del valor de significancia generados a partir de la prueba Mann Kendall para la estación de Flores.

Tabla 21. Pvalue y comportamiento de tendencia – Norte

Estación	Climatología	CDD	CWD	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Flores	1981-2010	(+) 0.63	(-) 0.18	(+) 0.00	(+) 0.01	(+) 0.00	(+) 0.00	(+) 0.00	(+) 0.01	(+) 0.86	(-) 0.74	(+) 0.00	(+) 0.00	(+) 0.05	(+) 0.04
	1991-2020	(+) 0.82	(-) 0.67	(+) 0.05	(+) 0.36	(+) 0.07	(+) 0.09	(-) 0.14	(+) 0.00	(+) 0.51	(+) 0.45	(-) 0.15	(+) 0.00	(-) 0.94	(+) 0.03

Nota: Tendencia creciente (+), Tendencia decreciente (-), p-value con tendencia estadísticamente significativa

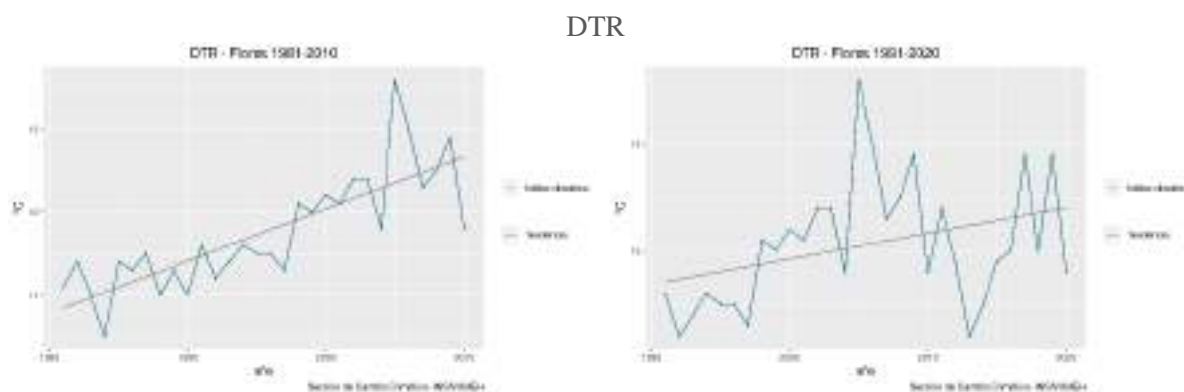
Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

### 5.1 Estación - Flores

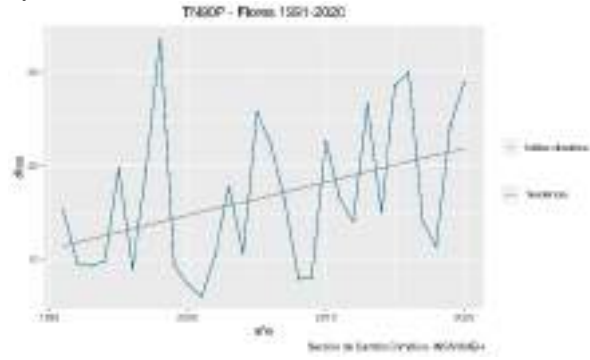
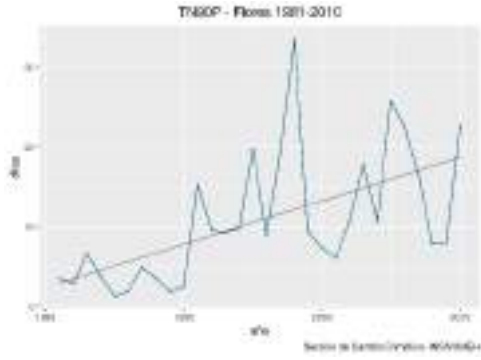
En la climatología de 1981-2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 10: DTR (rango diurno de temperatura), R10mm (número de días con precipitación intensa), R95p (días muy húmedos), Rx5day (cantidad máxima de precipitación en 5 días), TN10p (noches frías), TN90p (noches calientes), TX10p (días fríos), TX90p (días calientes), TXx (valor mensual máximo de temperatura máxima diaria) y TXn (Min Tmax), los cuales presentaron una tendencia creciente. Por otro lado, en la climatología de 1991-2020, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa y creciente son 4: DTR (rango diurno de temperatura), TN90p (noches calientes), TX90p (días calientes) y TXx (valor mensual máximo de temperatura máxima diaria).

Para la estación de Flores, se destaca la representatividad de los índices DTR, TN90P, TX90P y TXx debido a que mantienen un comportamiento creciente durante ambas climatologías analizadas. Por otro lado, los índices relacionados a precipitación (R10mm, R95p, RX5day), así como el TX10p (días fríos) y TN10P (noches frías) presentan únicamente tendencia durante la primera climatología.

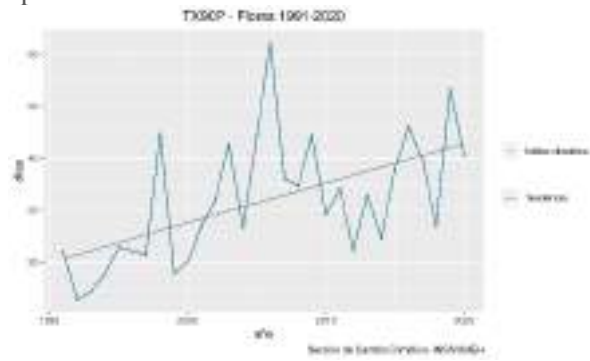
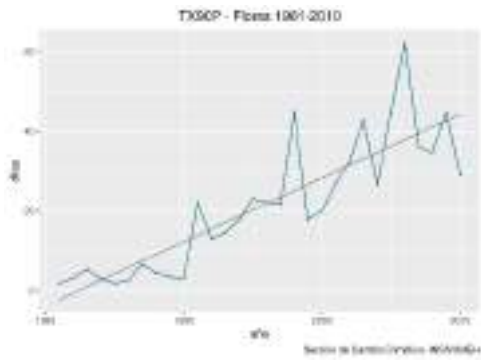
Gráficos 7. Índices representativos - Estación Flores



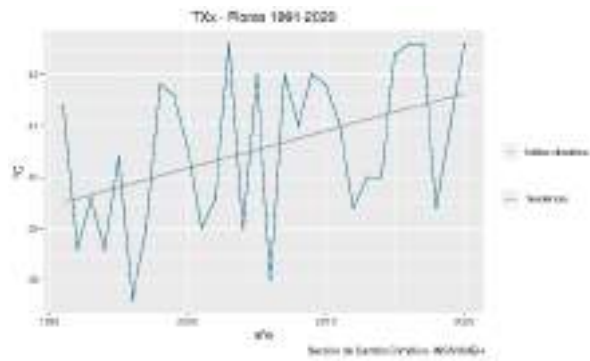
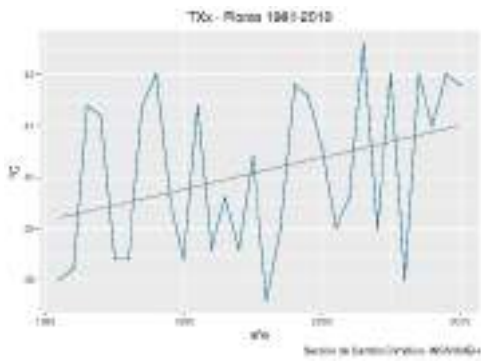
### TN90p



### TX90p



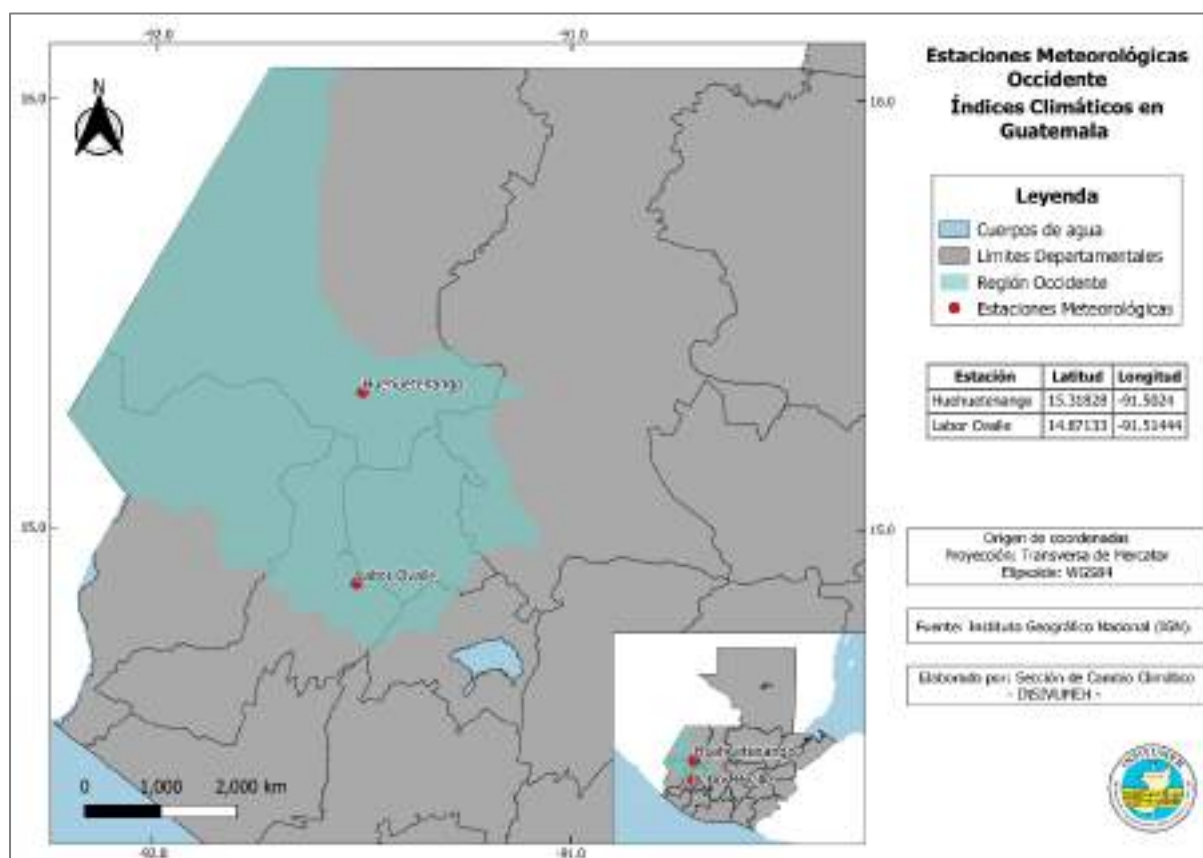
### TXx



## 6. Occidente

Esta región se caracteriza por las lluvias que se presentan de baja a media intensidad, existen climas que varían entre templados y semifríos con invierno benigno, de carácter húmedo y semiseco con invierno seco (Bardales et al., 2021). Las estaciones meteorológicas convencionales analizadas de la región de Occidente fueron Huehuetenango y Labor Ovalle, ubicadas en Huehuetenango y Quetzaltenango respectivamente.

Figura 7. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales – Región climática de Occidente.



Para la región climática de Occidente, se priorizó el análisis de 12 índices para la estación de Huehuetenango y Labor Ovalle. Con fines descriptivos para el presente análisis, en la Tabla 22 y Tabla 23, se presentan los valores promedio de los índices, por climatologías.

Tabla 22. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología 1981-2010 - Occidente

Estación	CDD	DTR	R10mm	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Huehuetenango	83	15.4	35.1	120.2	7.5	8.3	-0.4	16.3	6.5	15.7	16.8	32.5
Labor Ovalle	81.8	15.7	29.6	98.6	6.8	7.4	-6.7	13.6	7.1	12.4	15.3	28

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Tabla 23. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1991-2020 - Occidente

Estación	CDD	DTR	R10mm	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Huehuetenango	83.4	15.2	35	120.5	7.7	14.9	-0.3	16.5	7.6	22.5	17.3	32.8
Labor Ovalle	84.7	15.7	30.1	100.9	6.9	10.3	-5.5	13.8	8.5	20.7	15.4	27.9

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Asimismo, en la Tabla 24 se observa el comportamiento de la tendencia por índice y los resultados obtenidos del valor de significancia generados a partir de la prueba Mann Kendall para las estaciones de Huehuetenango y Labor Ovalle.

Tabla 24. Pvalue y comportamiento de tendencia – Occidente

Estación	Climatología	CDD	DTR	R10mm	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Huehuetenango	1981-2010	(+) 0.13	(+) 0.14	(+) 0.39	(+) 0.08	(+) 0.02	(+) 0.02	(-) 0.07	(-) 0.88	(+) 0.07	(+) 0.00	(+) 0.47	(+) 0.14
	1991-2020	(+) 0.67	(-) 0.01	(+) 0.77	(+) 0.81	(-) 0.67	(+) 0.00	(+) 0.00	(+) 0.00	(-) 0.01	(+) 0.00	(-) 0.71	(+) 0.07
Labor Ovalle	1981-2010	(+) 0.47	(-) 0.58	(+) 0.23	(+) 0.29	(+) 0.01	(+) 0.01	(+) 0.47	(+) 0.89	(+) 0.0	(+) 0.04	(+) 0.12	(-) 0.72
	1991-2020	(-) 0.82	(-) 0.00	(+) 1.00	(+) 0.67	(-) 0.40	(+) 0.00	(+) 0.05	(+) 0.00	(-) 0.03	(+) 0.00	(-) 0.65	(-) 0.99

Nota: Tendencia creciente (+), Tendencia decreciente (-), p-value con tendencia estadísticamente significativa

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

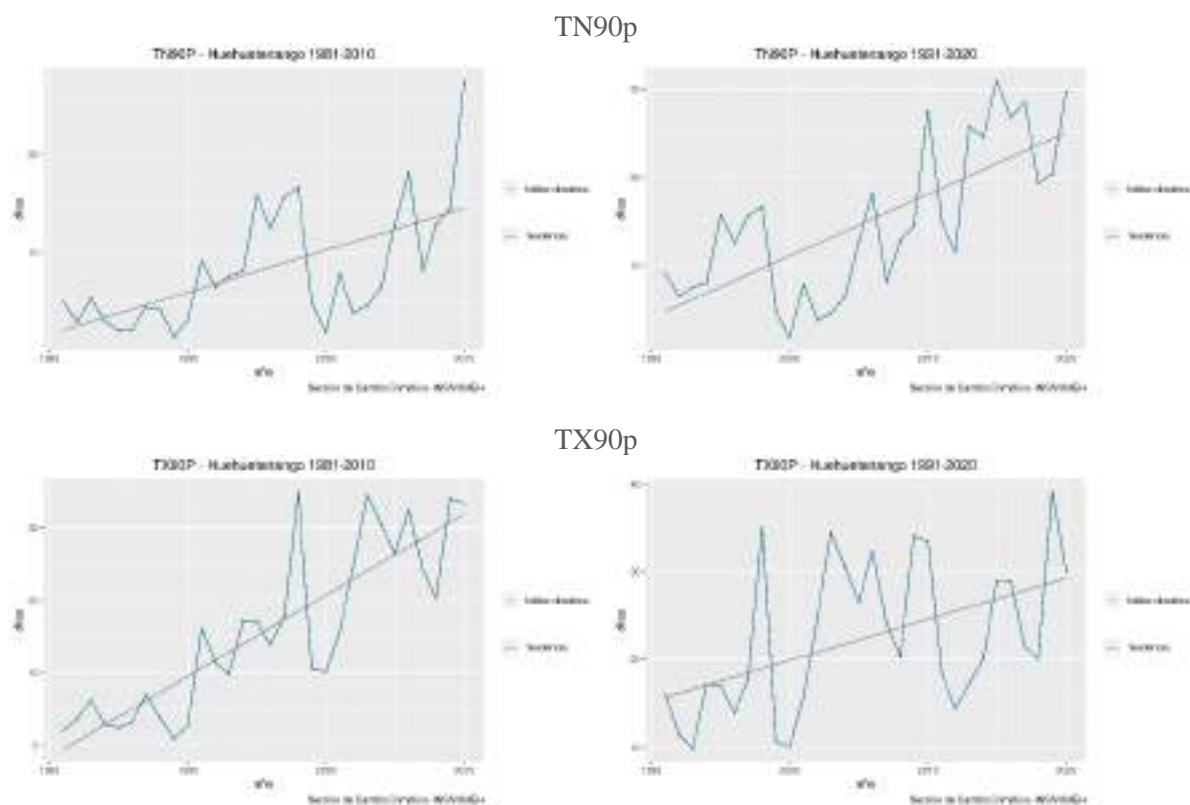
## 6.1 Estación - Huehuetenango

En la climatología de 1981-2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 3: TN10p (noches frías), TN90p (noches calientes), y TX90p (días calientes). Para la climatología 1991-2020, los índices TN90p (noches calientes), TNn (valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria), TNx (valor mensual máximo de temperatura mínima diaria) y TX90p (días calientes) presentan una tendencia creciente estadísticamente significativa y los índices DTR (rango diurno de temperatura) y TX10p (días fríos) presentan una tendencia decreciente.

Es importante destacar el cambio observado en el comportamiento de las tendencias entre ambas climatologías analizadas. Los índices DTR (rango diurno de temperatura) y TX10p (días fríos), no presentan significancia estadística durante el período 1981-2010, sin embargo, en 1991-2020 se logró determinar una tendencia negativa. Un escenario similar se observa con los índices TNn (valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria) y TNx (valor mensual máximo de temperatura mínima diaria), los cuales presentan una tendencia positiva únicamente durante el segundo período analizado. El índice TN10p (noches frías), muestra una tendencia creciente significativa, únicamente durante la primera climatología.

Para ambos períodos analizados, se destaca el comportamiento de los índices relacionados a noches y días calientes, ya que mantienen una significancia estadística durante ambas climatologías, presentando una tendencia positiva.

Gráficos 8. Índices representativos - Estación Huehuetenango



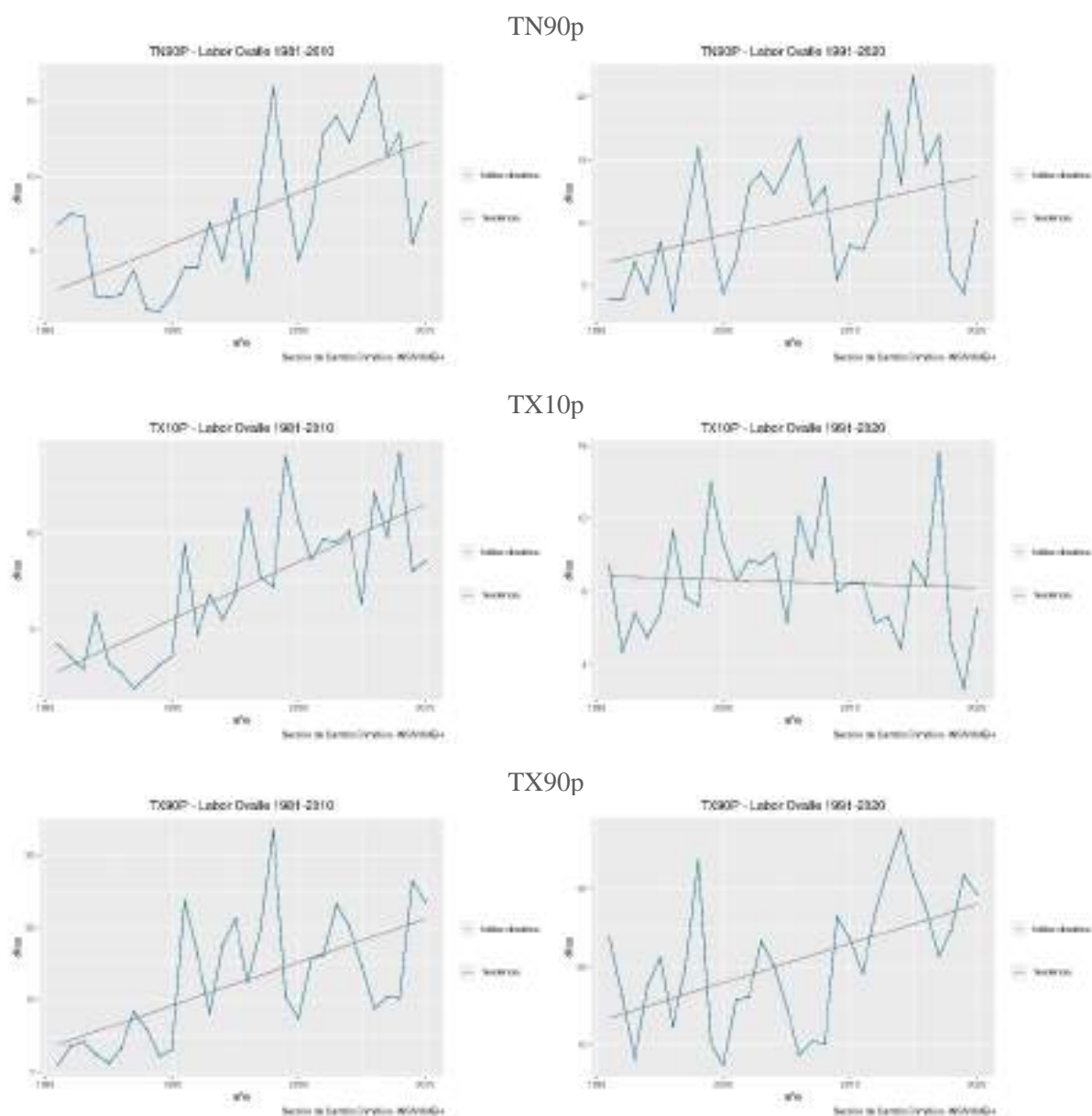
## 6.2 Estación - Labor Ovalle

En la climatología de 1981-2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 4: TN10p (noches frías), TN90p (noches calientes), TX10p (días fríos) y TX90p (días calientes). En la climatología de 1991-2020, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 5: TN90p (noches calientes), TNn (valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria) y TX90p (días calientes) con tendencia creciente; los índices con tendencia decreciente son el DTR (rango diurno de temperatura) y TX10p (días fríos).

Es importante destacar el cambio observado en el comportamiento de las tendencias, entre ambas climatologías analizadas. Los índices DTR (rango diurno de temperatura) y TX10p (días fríos), no presentan significancia estadística durante el período 1981-2010, sin embargo, en 1991-2020 se logró determinar una tendencia negativa. Un escenario similar se observa con los índices TNn (valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria) y TNx (valor mensual máximo de temperatura mínima diaria), los cuales presentan una tendencia positiva únicamente durante el segundo período analizado. El índice TN10p (noches frías), muestra una tendencia creciente significativa, únicamente durante la primera climatología.

Para ambos períodos analizados, se destaca el comportamiento de los índices relacionados a noches y días calientes, ya que mantienen una significancia estadística durante ambas climatologías, presentando una tendencia positiva. Asimismo, el índice relacionado a días fríos (TX10p) presenta una tendencia positiva en 1981-2010, cambiando su comportamiento para la climatología 1991-2020 con una tendencia negativa.

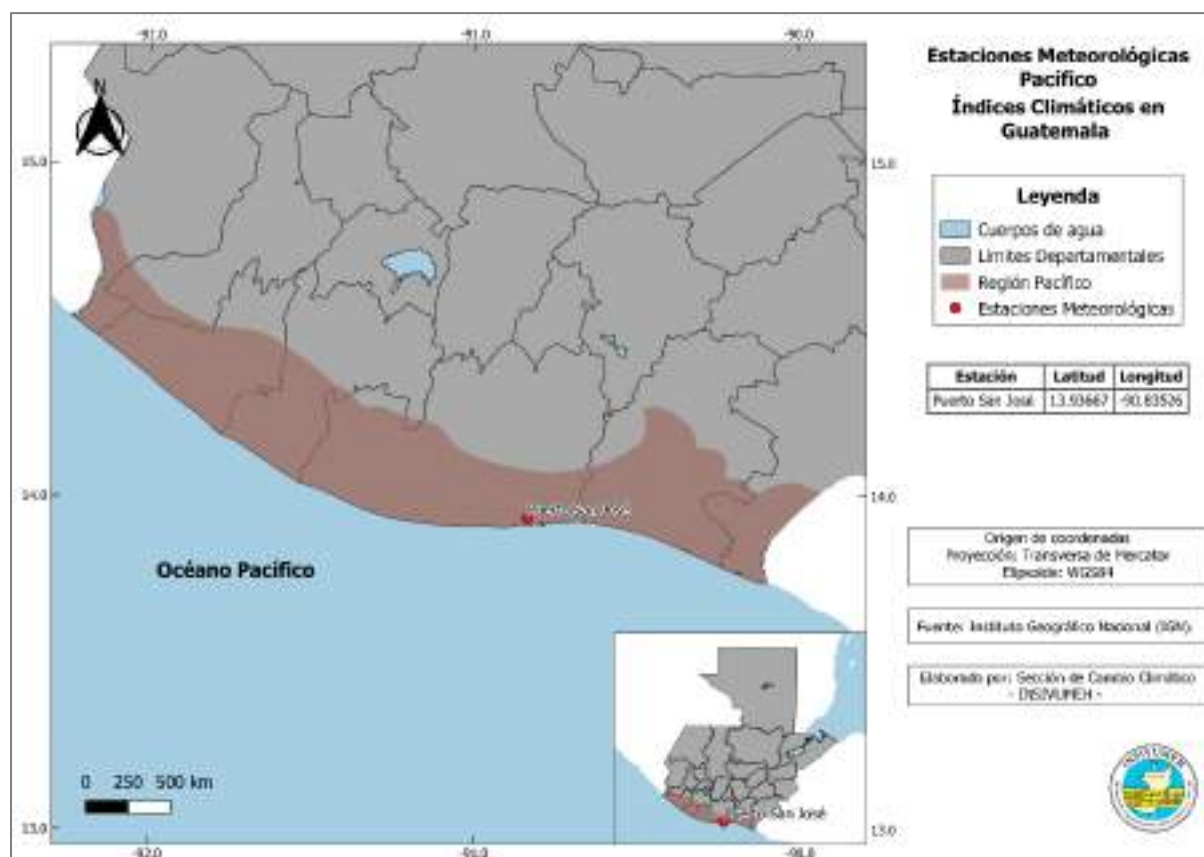
Gráficos 9. Índices representativos - Estación Labor Ovalle



## 7. Pacífico

Como resultado de la aplicación de criterios de selección de estaciones meteorológicas para el cálculo de los índices climáticos de la región del Pacífico, se analizó la estación de Puerto San José.

Figura 8. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales – Región del Pacífico.



Para la región climática del Pacífico, en la climatología de 1981-2010 y de 1991-2020, se priorizó el análisis de 14 índices. Con fines descriptivos para el presente análisis, en la Tabla 25 y Tabla 26, se presentan los valores promedio de los índices, por climatologías.

Tabla 25. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1981-2010 - Pacífico

Estación	CDD	CWD	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Puerto San José	112.2	8.4	11.6	42.9	541.8	267.3	7.3	9.7	14.5	26	9.6	9.1	26.7	37.8

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Tabla 26. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1991-2020 - Pacífico

Estación	CDD	CWD	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Puerto San José	119.1	8.6	11.4	45.1	584.7	290.7	7.2	17.6	14.9	26	10.7	11.9	26.5	38.1

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Asimismo, en la Tabla 27 se observa el comportamiento de la tendencia por índice y los resultados obtenidos del valor de significancia generados a partir del Test Mann Kendall para la estación Puerto San José.

Tabla 27. Pvalue y comportamiento de tendencia – Pacífico

Estación	Climatología	CDD	CWD	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Puerto San José	1981-2010	(+) 0.07	(+) 0.03	(-) 0.12	(+) 0.06	(+) 0.07	(+) 0.24	(+) 0.05	(+) 0.00	(-) 0.8	(-) 0.21	(+) 0.04	(+) 0.00	(-) 0.19	(+) 0.06
	1991-2020	(+) 0.53	(-) 0.60	(-) 0.01	(+) 0.26	(-) 0.74	(-) 0.96	(-) 0.62	(+) 0.00	(+) 0.04	(+) 0.44	(-) 0.14	(+) 0.08	(-) 0.35	(+) 0.32

Nota: Tendencia creciente (+), Tendencia decreciente (-), p-value con tendencia estadísticamente significativa

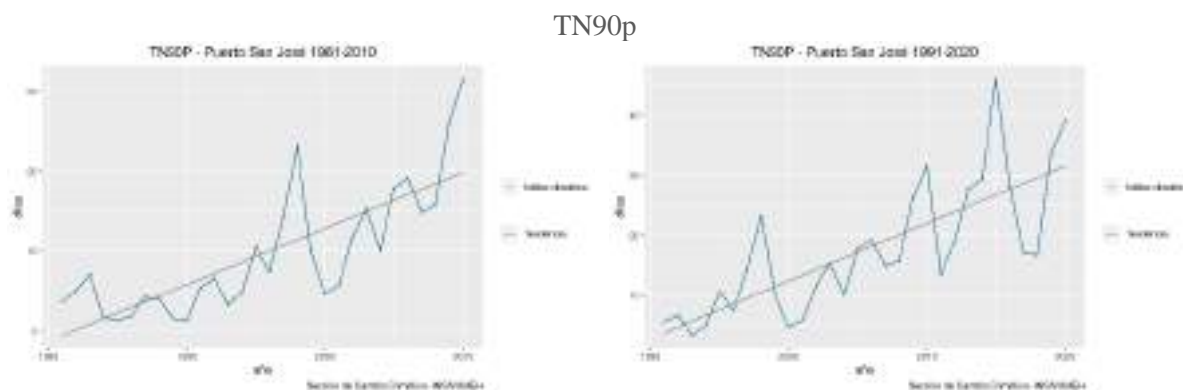
Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

### 7.1 Estación Puerto San José

En la climatología de 1981 - 2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 5: CWD (días húmedos consecutivos), TN10p (noches frías), TN90p (noches calientes), TX10p (días fríos), y TX90p (días calientes). Para el período 1991-2020, únicamente los índices DTR (rango diurno de temperatura), TN90P (noches calientes), y TNn (valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria) presentaron una tendencia significativa.

Se destaca el cambio en el comportamiento de las tendencias entre climatologías analizadas. Tal es el caso de los índices TNn (valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria) y DTR (rango diurno de temperatura), los cuales no presentan una tendencia para la climatología de 1981, sin embargo, el comportamiento cambia para el período 1991-2020, observándose una tendencia creciente. Asimismo, los índices TX10p (días fríos), TX90p (días calientes), TN10p (noches frías) y CWD (días húmedos consecutivos), presentan un comportamiento creciente únicamente durante la climatología 1981-2010. Por otro lado, se destaca el comportamiento del índice relacionado a las noches calientes, el cual presentó una tendencia creciente para ambas climatologías analizadas.

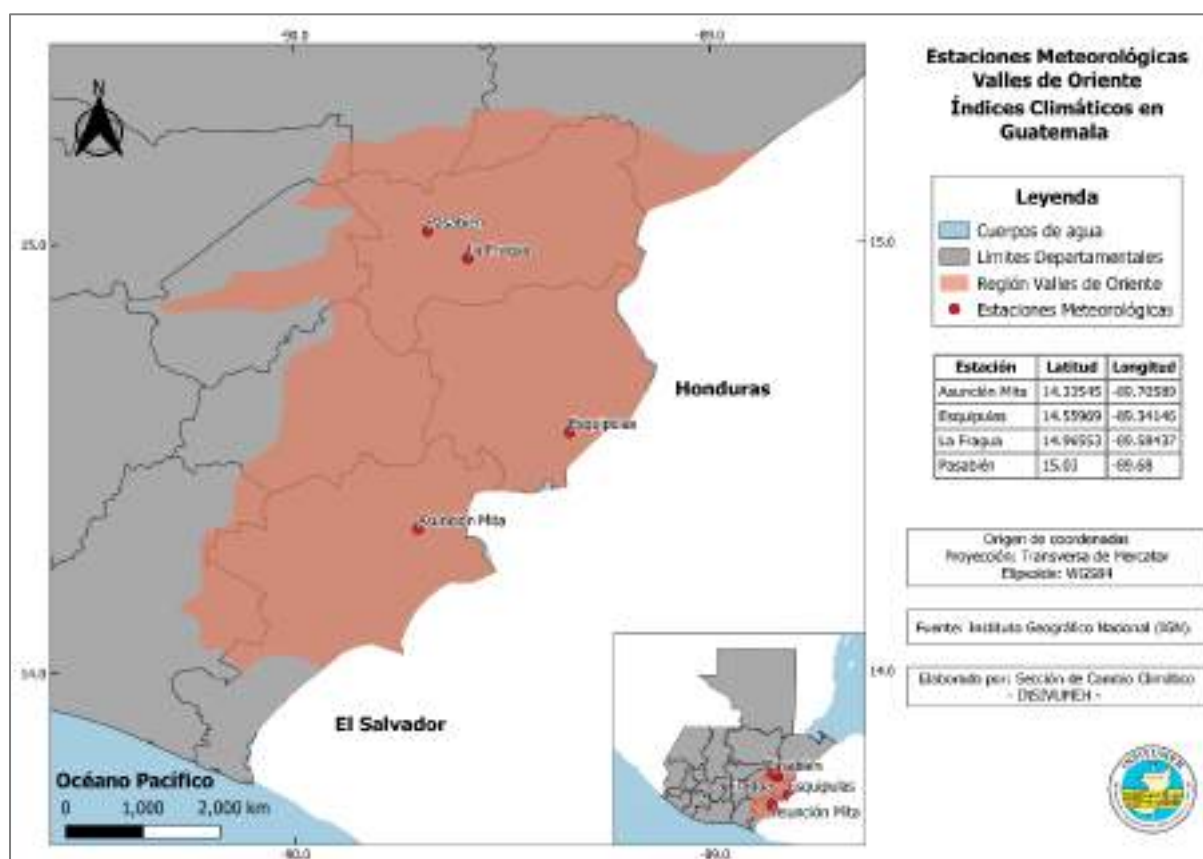
Gráficos 10. Índices representativos - Estación Puerto San José



## 8. Valles de Oriente

Las estaciones meteorológicas convencionales analizadas para la región de Valles de Oriente fueron: Asunción Mita, Esquipulas, La Fragua y Pasabién. Estas estaciones meteorológicas se ubican en Chiquimula, Jutiapa y Zacapa, la característica climática principal de esta región es la deficiencia de lluvia, la región del país donde menos llueve (Bardales et al., 2021).

Figura 9. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas convencionales - Región climática de Valles de Oriente.



Para la región de Valles de Oriente se generaron 14 índices climáticos para cada estación analizada. Con fines descriptivos para el presente análisis, en la Tabla 28 y Tabla 29, se presentan los valores promedio de los índices, por climatologías.

Tabla 28. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1981-2010 – Valles de Oriente

Estación	CDD	CWD	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Asunción Mita	111.9	7.6	12.6	42.2	311.4	155.4	6.8	11.1	13.8	24.8	8.6	8.8	25.3	39
Esquipulas	44.8	11.5	10.3	49.4	364.8	172.4	5.9	9.4	9.1	21.6	7.9	8.4	15.3	35
La Fragua	94.5	7	13.1	24.2	232.5	118.2	11.2	6.4	11.6	26.3	9.1	9.8	25.1	42.1
Pasabién	88.5	7.6	12.9	26.1	277	128.3	8.3	7.7	11.7	25.2	9.3	9.9	24.3	40.2

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Tabla 29. Valores promedio de índices correspondientes a la climatología de 1991-2020 – Valles de Oriente

Estación	CDD	CWD	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Asunción Mita	102.4	7.8	12.5	42.7	331.2	163.4	6.4	18.7	14.6	25	9.8	15.9	25.3	39.1
Esquipulas	42.1	11.9	10.1	49.2	348.5	171.9	5.9	15.9	9.6	21.6	9.1	12.9	15.4	34.9
La Fragua	94.6	6.8	12.8	25.3	278	122	11.2	16	12.1	26.8	11.3	14.2	25.3	42.2
Pasabién	91	7.9	12.9	24.6	278.6	133.1	9.7	11	11.9	25	11.8	14.5	24.6	40.1

Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

Asimismo, en la Tabla 30 se observa el comportamiento de la tendencia por índice y los resultados obtenidos del valor de significancia generados a partir del Test Mann Kendall para las estaciones de la región climática Valles de Oriente.

Tabla 30. Pvalue y comportamiento de tendencia – Valles de Oriente

Estación	Climatología	CDD	CWD	DTR	R10mm	R95p	RX5day	TN10P	TN90P	TNn	TNx	TX10P	TX90P	TXn	TXx
Asunción Mita	1981-2010	(-) 0.99	(+) 0.48	(-) 0.45	(+) 0.13	(+) 0.13	(+) 0.14	(+) 0.04	(+) 0.00	(+) 0.20	(+) 0.62	(+) 0.01	(+) 0.00	(-) 0.12	(+) 0.83
	1991-2020	(-) 0.30	(+) 0.40	(+) 0.47	(+) 0.51	(+) 0.61	(+) 0.20	(-) 0.79	(+) 0.00	(+) 0.29	(+) 0.22	(-) 0.06	(+) 0.00	(-) 0.39	(+) 0.53
Esquipulas	1981-2010	(+) 0.34	(+) 0.95	(-) 0.00	(+) 0.95	(-) 0.82	(+) 0.96	(+) 0.42	(+) 0.00	(+) 0.31	(-) 0.73	(+) 0.00	(+) 0.00	(-) 0.31	(-) 0.32
	1991-2020	(-) 0.04	(+) 0.53	(-) 0.00	(-) 0.90	(-) 0.73	(+) 0.89	(-) 0.58	(+) 0.00	(+) 0.00	(+) 0.01	(-) 0.03	(+) 0.00	(-) 0.46	(+) 0.15
La Fragua	1981-2010	(+) 0.74	(-) 0.39	(-) 0.79	(+) 0.03	(+) 0.04	(+) 0.03	(+) 0.77	(+) 0.05	(-) 0.1	(+) 0.53	(+) 0.00	(+) 0.00	(-) 0.46	(-) 0.10
	1991-2020	(+) 0.80	(-) 0.04	(-) 0.03	(+) 0.98	(+) 0.25	(+) 0.19	(-) 0.57	(+) 0.00	(+) 0.00	(+) 0.74	(+) 0.01	(+) 0.00	(-) 0.30	(+) 0.12
Pasabién	1981-2010	(+) 0.14	(-) 0.91	(-) 0.14	(+) 0.23	(+) 0.04	(+) 0.11	(+) 0.48	(+) 0.00	(+) 0.94	(-) 0.24	(+) 0.00	(+) 0.00	(-) 0.68	(-) 0.64
	1991-2020	(-) 0.79	(+) 0.96	(-) 0.50	(-) 0.76	(-) 0.14	(-) 0.10	(-) 0.09	(+) 0.01	(+) 0.28	(+) 0.11	(+) 0.00	(+) 0.00	(-) 0.22	(-) 0.41

Nota: Tendencia creciente (+), Tendencia decreciente (-), p-value con tendencia estadísticamente significativa

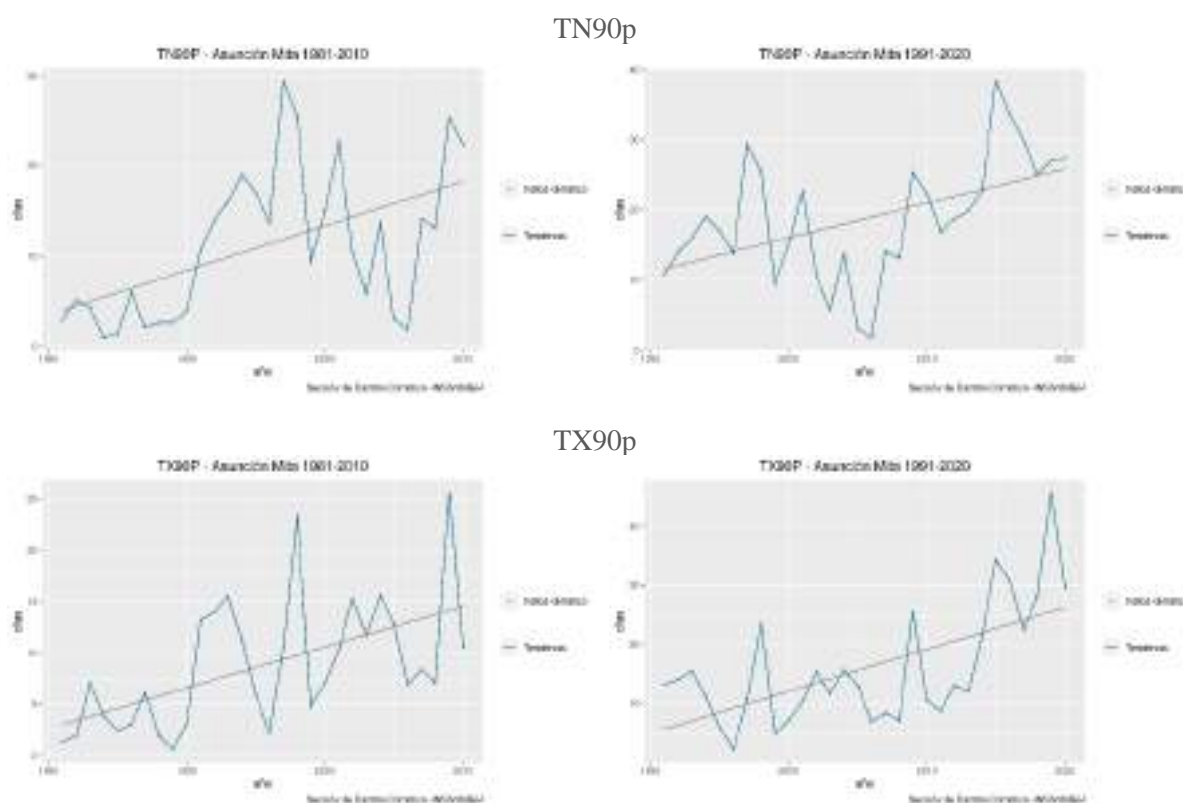
Fuente: Sección de Cambio Climático – INSIVUMEH, 2021

## 8.1 Estación - Asunción Mita

En la climatología de 1981-2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 4: TN10p (noches frías), TN90p (noches calientes), TX10p (días fríos) y TX90p (días calientes) presentando tendencias crecientes. En la climatología de 1991-2020, los índices TN90p (noches calientes) y TX90 (días calientes) presentaron tendencias positivas estadísticamente significativas.

Se destaca el comportamiento de los índices relacionados a las noches frías y días fríos (TN10p, TX10p), los cuales presentaron un comportamiento significativo durante el período 1981-2010, sin embargo, en 1991-2020 no se logró determinar una tendencia significativa. Por otro lado, los índices TN90p (noches calientes) y TX90p (días calientes), presentan una tendencia positiva predominante en ambas climatologías analizadas.

Gráficos 11. Índices representativos - Estación Asunción Mita

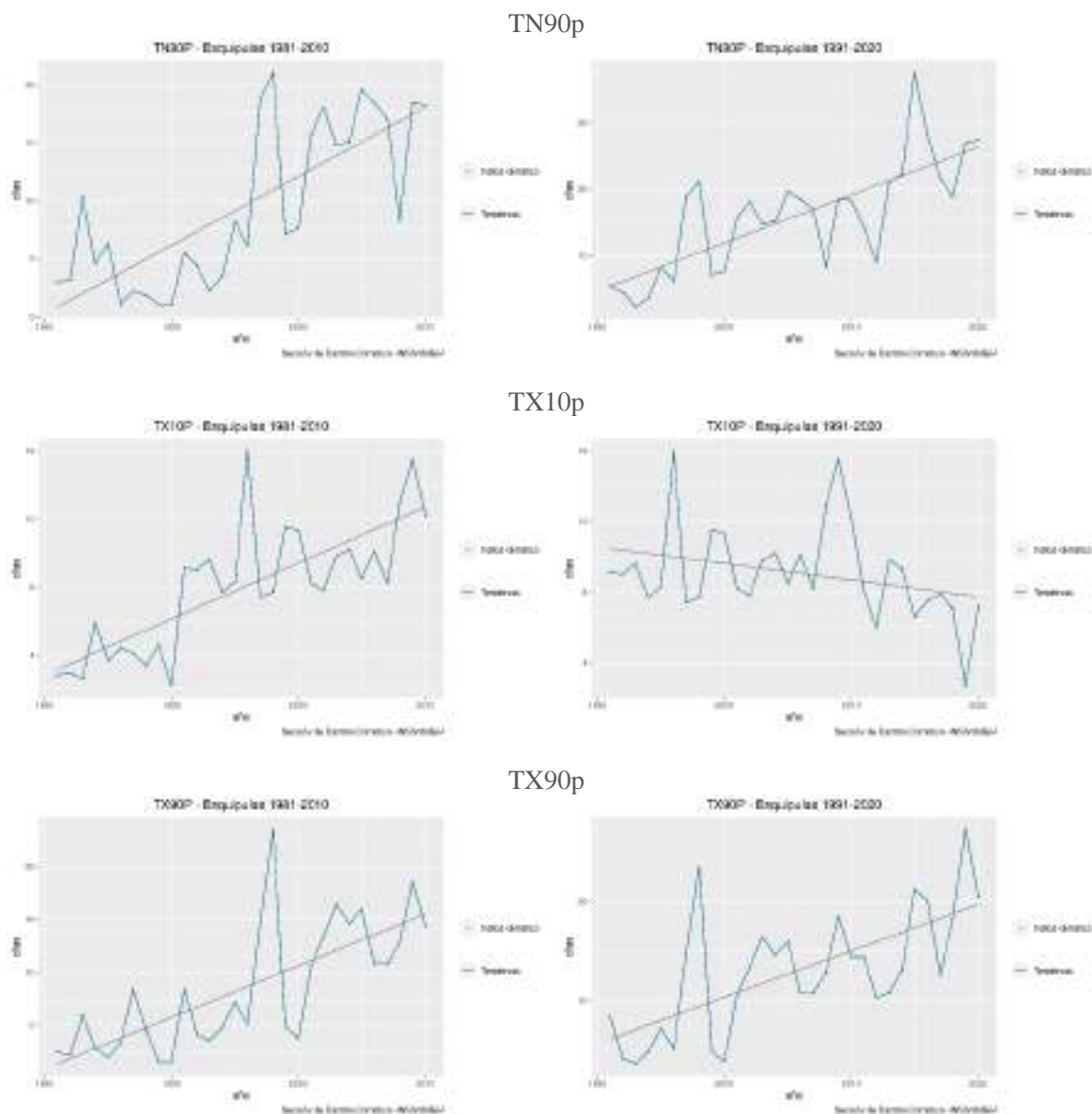


## 8.2 Estación - Esquipulas

En la climatología de 1981-2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 4: DTR (rango diurno de temperatura), TN90p (noches calientes), TX10p (días fríos) y TX90p (días calientes). En la climatología 1991-2020, los índices que presentaron una tendencia significativa son: CDD (días secos consecutivos), DTR (rango diurno de temperatura), TN90p (noches calientes), TNn (valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria), TNx (valor mensual máximo de temperatura mínima diaria), TX10p (días fríos) y TX90p (días calientes).

Se destaca el comportamiento del índice CDD, el cual no presentó una tendencia significativa durante el período 1981-2010, sin embargo, en 1991-2020 se observa una tendencia positiva. El mismo fenómeno se observa para los índices TNn y TXn. El índice relacionado a los días fríos (TX10p), presentó una tendencia positiva en el primer período analizado, pero cambia su comportamiento durante la climatología 1991-2020, mostrando una tendencia negativa. Por otro lado, los índices relacionados a días y noches calientes presentan una tendencia positiva predominante en ambas climatologías analizadas.

Gráficos 12. Índices representativos - Estación Esquipulas

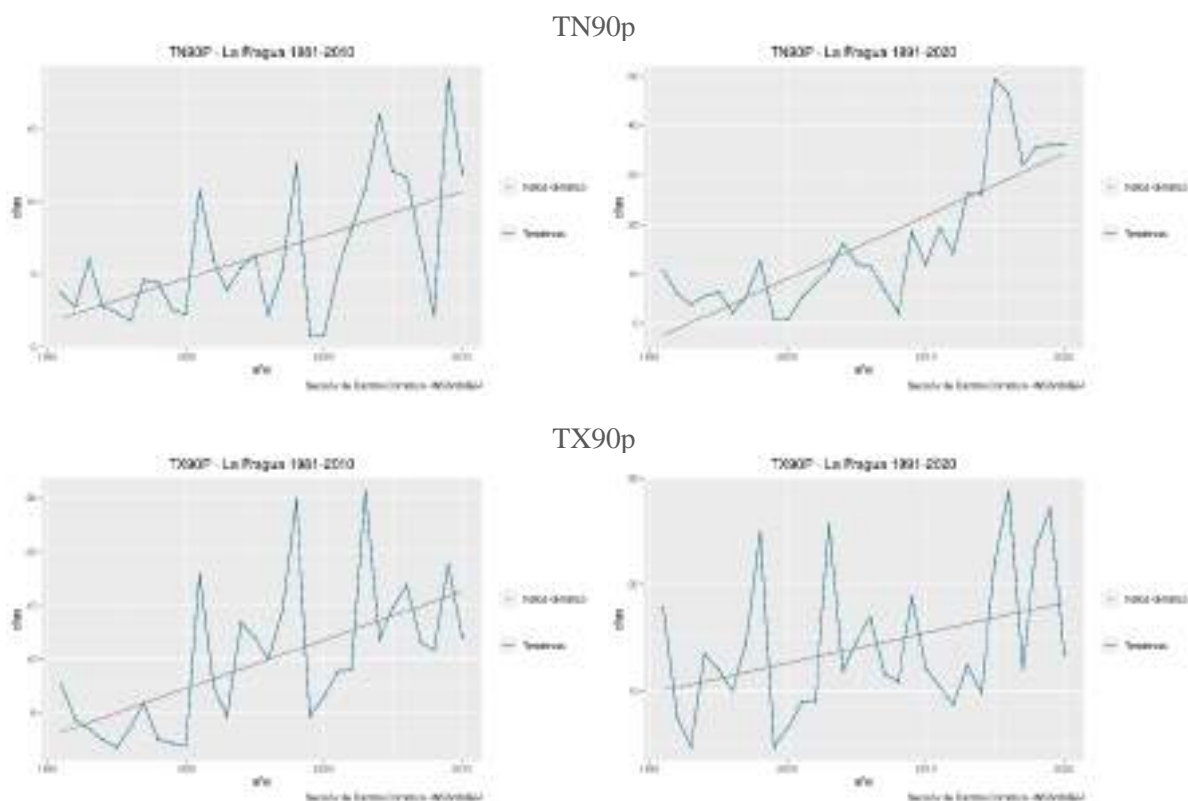


### 8.3 Estación - La Fragua

En la climatología de 1981-2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 4: RM10 (número de días con precipitación intensa), R95P (días muy húmedos), RX5day (máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos), TN90p (noches calientes), TX10p (días fríos) y TX90p (días calientes). En la climatología 1991-2020, los índices que presentaron una tendencia significativa son: CWD (días húmedos consecutivos), DTR (rango diurno de temperatura), TN90p (noches calientes), TNn (valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria), TX10p (días fríos) y TX90p (días calientes).

Se destaca el comportamiento de los índices CWD y DTR, los cuales no presentaron una tendencia significativa durante el período 1981-2010, sin embargo, en 1991-2020 se observa una tendencia negativa para ambos índices. Para el índice TNn no se aprecia una tendencia durante el primer período analizado, sin embargo, en 1991-2020 se logra observar una tendencia creciente significativa. Los índices RM10, RX5day y R95P presentan una tendencia creciente durante la primera climatología, sin embargo, estos cambian su comportamiento en la climatología 1991-2020. Por otro lado, los índices TN90p (noches calientes) y TX90p (días calientes), presentan una tendencia positiva predominante en ambas climatologías analizadas.

Gráficos 13. Índices representativos - Estación La Fragua

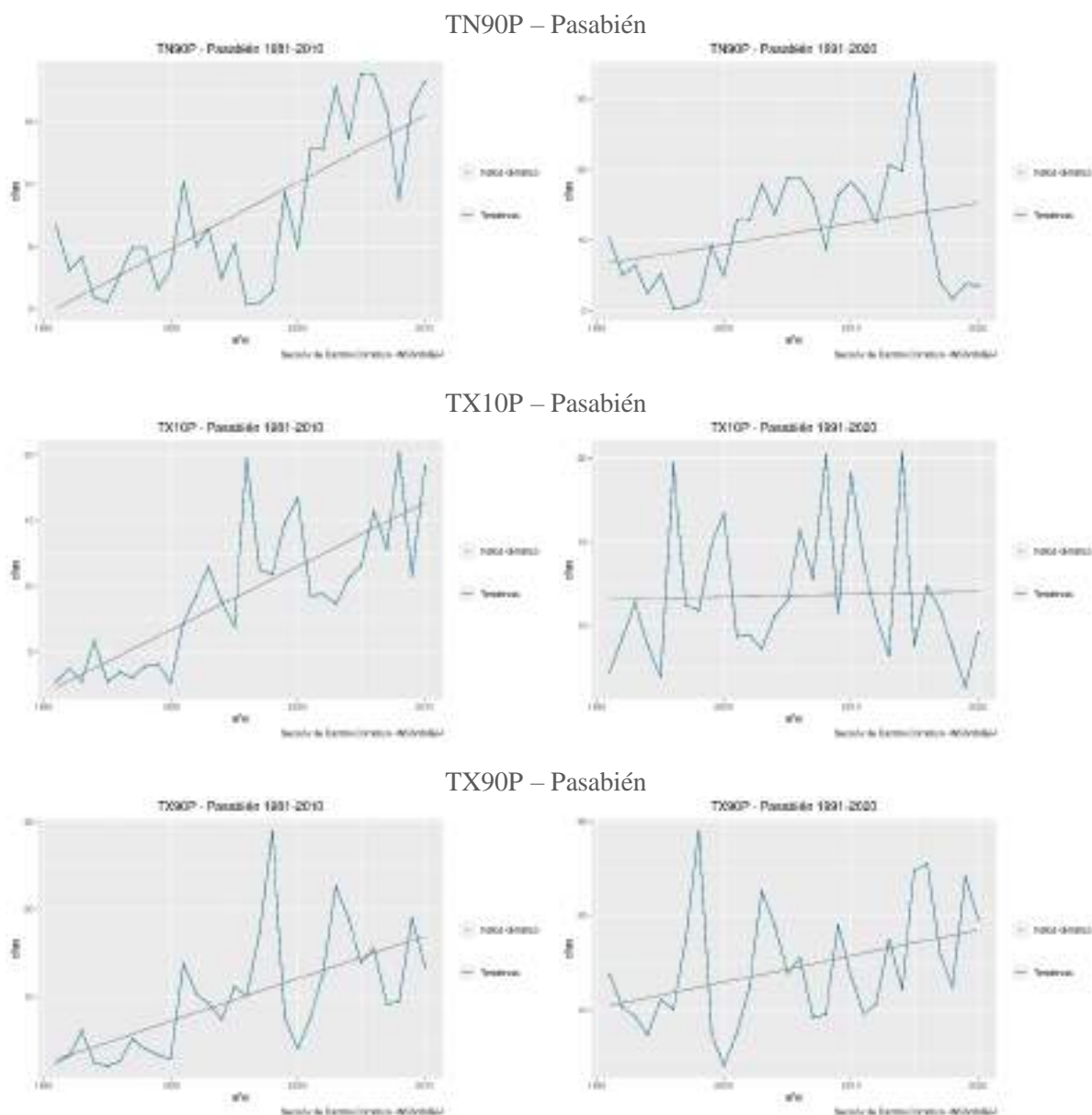


## 8.4 Estación - Pasabién

En la climatología de 1981-2010, los índices que presentaron una tendencia estadísticamente significativa son 4: R95P (días muy húmedos), TN90p (noches calientes), TX10p (días fríos) y TX90p (días calientes). En la climatología 1991-2020, los índices que presentaron una tendencia significativa son: TN90p (noches calientes), TX10p (días fríos) y TX90p (días calientes).

Se destaca el comportamiento del índice R95P (días muy húmedos), presenta una tendencia positiva significativa durante el período 1981-2010, sin embargo, en 1991-2020 no se observa una tendencia significativa. Por otro lado, los índices TN90p (noches calientes), TX90p (días calientes) y TX10p (días fríos), presentan una tendencia creciente significativa para ambos períodos analizados.

Gráficos 14. Índices representativos - Estación Pasabién



## Conclusiones

- Según el análisis de la climatología 1991-2020, se evidencia la tendencia hacia el incremento del valor mensual mínimo de temperatura mínima (TNn), para la región de Occidente, Pacífico y Bocacosta.
- Para la región Franja Transversal del Norte y Pacífico, el índice relacionado a las noches frías (TN10p), presentó una tendencia positiva en la climatología 1981-2010, sin embargo, se observa un cambio significativo en su comportamiento durante el período 1991-2020, evidenciando un comportamiento negativo.
- El índice relacionado a los días fríos (TX10p), presenta una tendencia positiva, en ambas climatologías para el análisis de la región de Bocacosta.
- Se evidencia la tendencia decreciente de los días fríos (TX10p) en la región de Occidente, observando dicha tendencia durante la última climatología analizada 1991-2020.
- Se evidencia la tendencia hacia el incremento del valor mensual mínimo de temperatura mínima (TNn) y valor mensual máximo de temperatura mínima (TNx) en la región de Occidente, observando una tendencia positiva durante la última climatología analizada 1991-2020.
- Se evidencia una tendencia positiva del rango diurno de temperatura (DTR) y el valor mensual máximo de temperatura máxima diaria (TXx) en la región climática Norte.
- Se evidencia la tendencia hacia el incremento de las noches calientes (TN90p) en siete de las ocho regiones climáticas analizadas, siendo estas: Altiplano Central, Bocacosta, Caribe, Norte, Occidente, Pacífico y Valles de Oriente.
- Se destaca la consistencia en los resultados obtenidos en la región de Occidente, ya que ambas estaciones presentaron tendencias con comportamientos similares entre sí; evidenciando un aumento de los días y noches calientes y una disminución de los días fríos para la región.
- Se destaca la consistencia en los resultados obtenidos en la región de Valles de Oriente, ya que ambas estaciones presentaron tendencias con comportamientos similares entre sí; evidenciando un aumento de los días y noches calientes.
- Se evidencia la tendencia hacia el incremento de los días calientes (TX90p) en la región del Altiplano Central, Franja Transversal del Norte, Norte, Occidente y Valles de Oriente.
- Se presentaron en los diferentes índices relacionados a la precipitación, un número reducido de tendencias con significancia estadística, debido probablemente a la cantidad de datos diarios faltantes en las series de las 14 estaciones analizadas.

- La mayoría de los índices analizados, relacionados a la temperatura, presentaron una tendencia al incremento, siendo los más importantes noches y días calientes. Estos mostraron patrones de comportamiento similares y consistentes con tendencia general al calentamiento y estos hallazgos son consistentes con estudios previos en la región y en otras partes del mundo.
- Al evaluar los resultados obtenidos, se destaca que uno de los problemas para su estudio es la escasez y la presencia de lagunas de datos faltantes en las series históricas, que dificultan la caracterización y ratificación de posibles tendencias de las variables climáticas, lo cual repercute directamente en la generación de información.

## Bibliografía

Bardales, W. A., Campos, L., Gómez, R., Ordóñez, S., & Machuca, N. (2021). *Variabilidad y cambio climático en Guatemala*.

[https://insivumeh.gob.gt/wpcontent/uploads/2021/02/Variabilidad\\_y\\_cambio\\_climatico.pdf](https://insivumeh.gob.gt/wpcontent/uploads/2021/02/Variabilidad_y_cambio_climatico.pdf)

Montealegre J., & J. Pabón. 2000: La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña– Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*. 2: 7-21. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

Rodríguez, N., Pabón, J.D., Bernal, N. & J. Martínez. 2010. Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá, D. C., Colombia. 80 p.

Ruiz, J. 2010. Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución (panorama 2011-2100). Nota Técnica IDEAM, IDEAMMETEO/05-2010, Bogotá D.C., 60 p.

Zhang, X., Yang, F. (2004). *RClimDex (1.0) User Manual*.

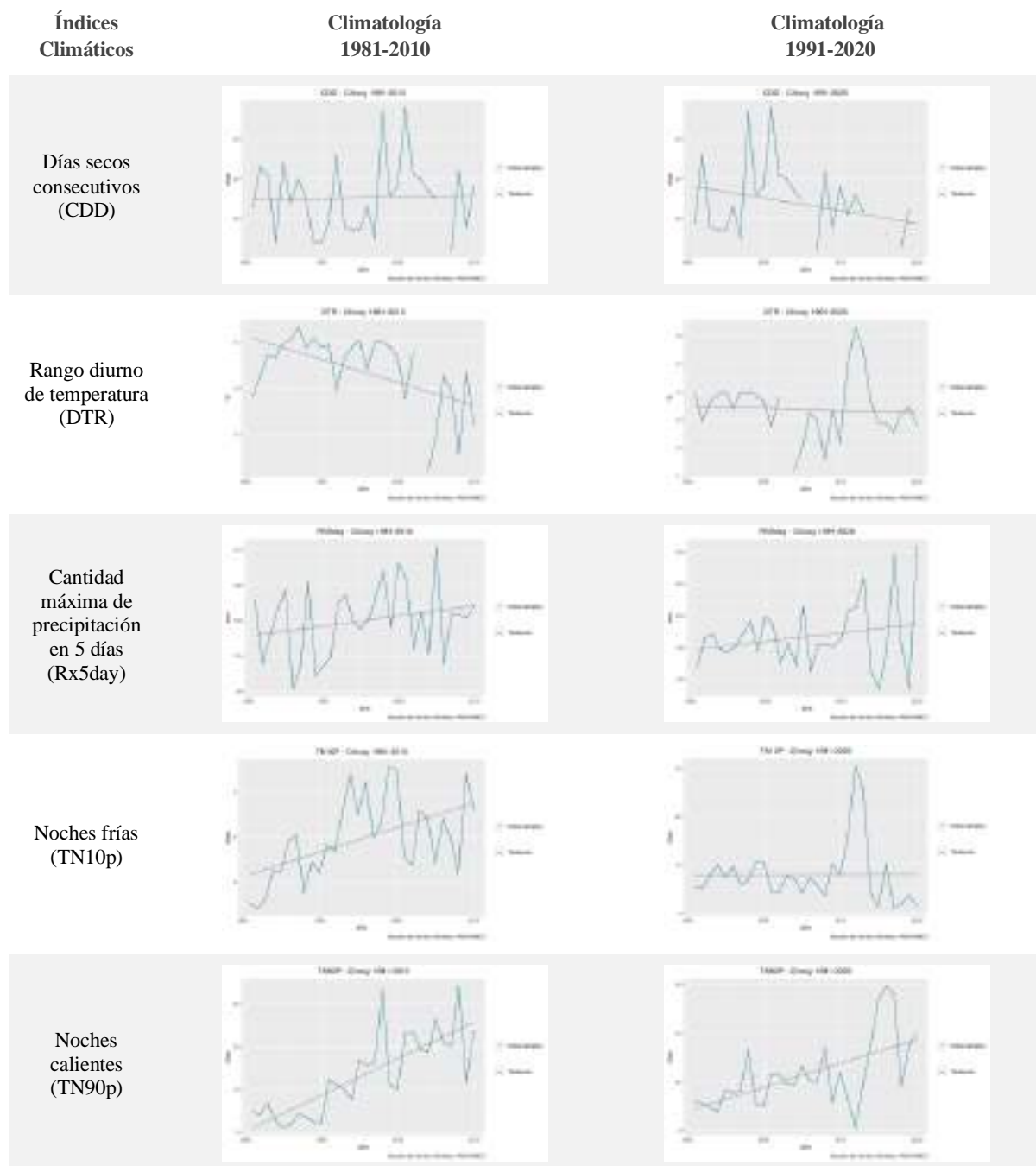
<https://acmad.net/rcc/procedure/RClimDexUserManual.pdf>

## Anexos

Anexo 2. Gráficas de tendencias por índice climático para las 14 estaciones que cumplían con los criterios requeridos. Se incluyen las gráficas con y sin tendencias estadísticamente significativas

### 1. Región Climática Altiplano Central

#### 1.1. Chixoy

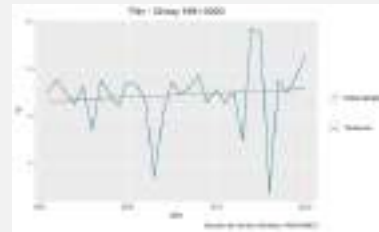
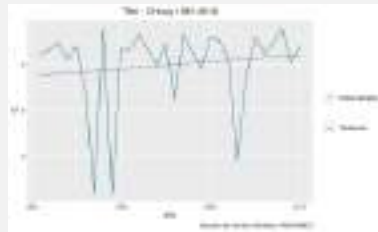


**Índices  
Climáticos**

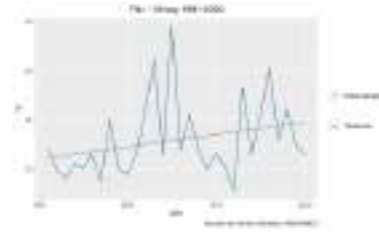
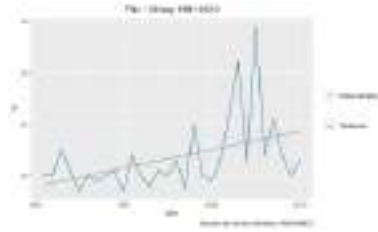
**Climatología  
1981-2010**

**Climatología  
1991-2020**

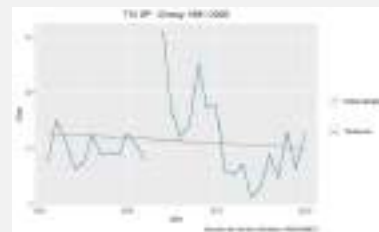
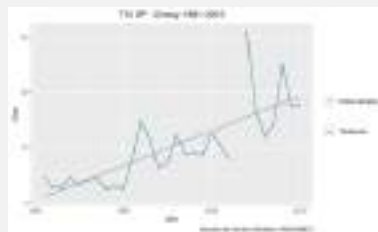
Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNn)



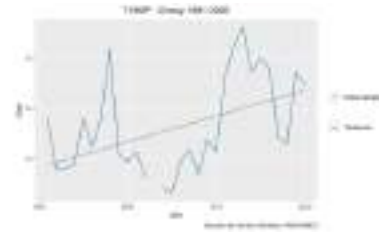
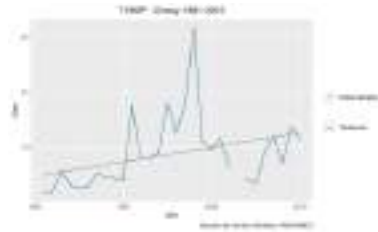
Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNx)



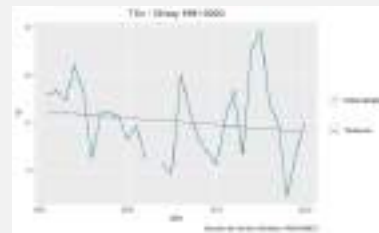
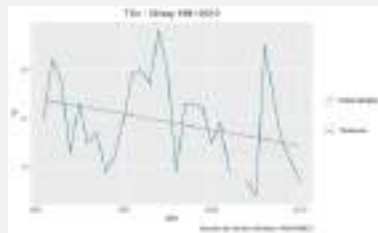
Días fríos  
(TX10p)



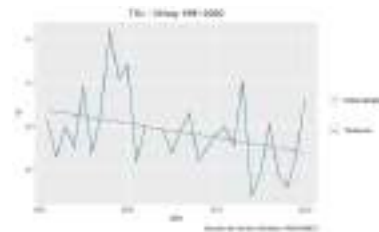
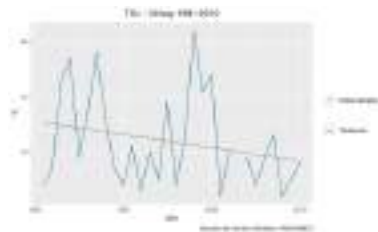
Días calientes  
(TX90p)



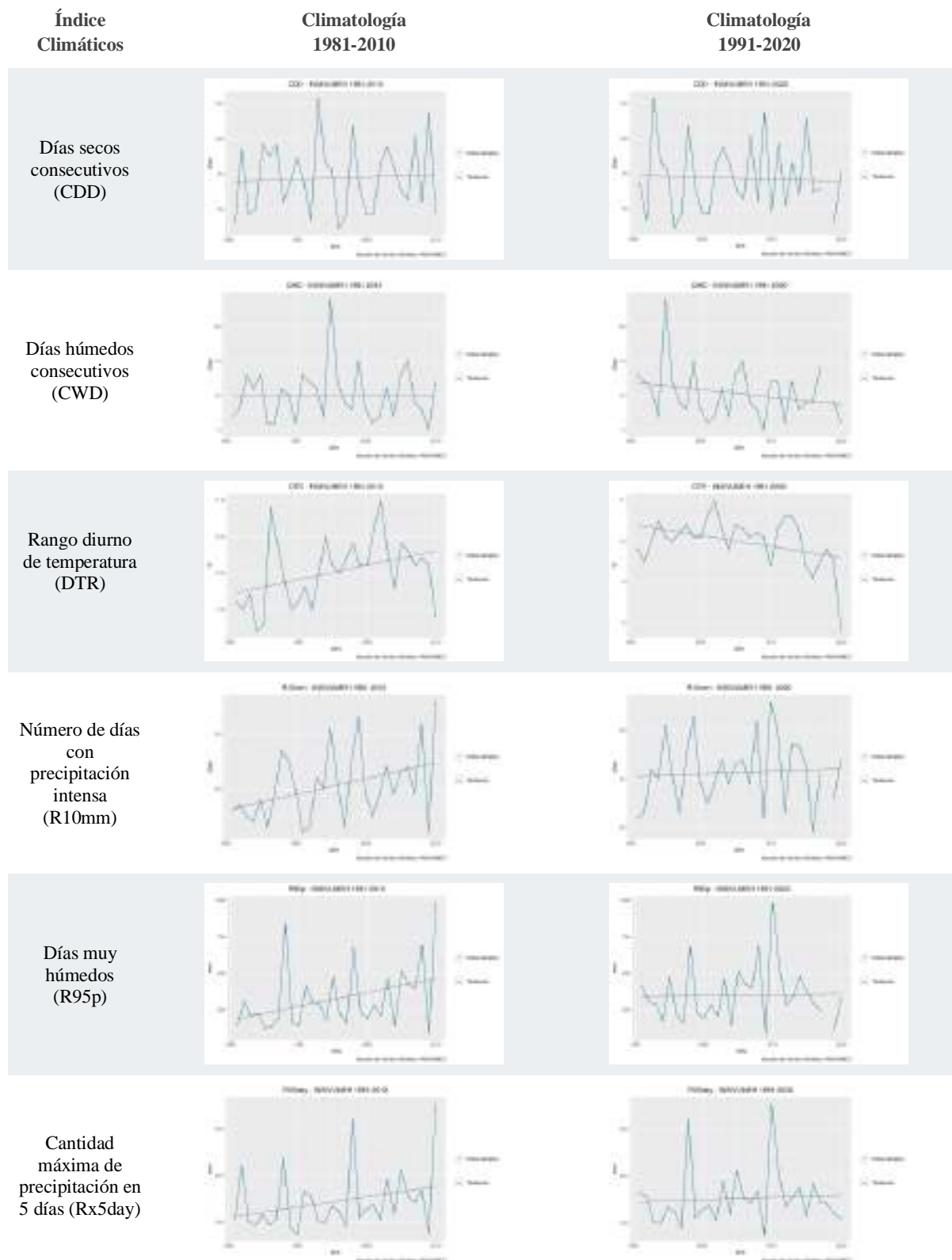
Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXn)



Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXx)



## 1.2. INSIVUMEH

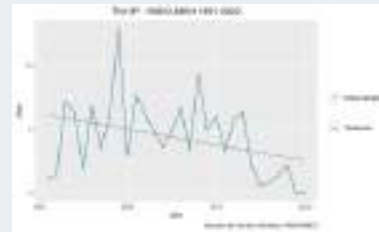
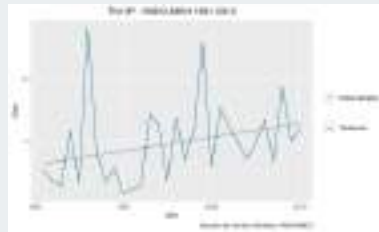


**Índice  
Climáticos**

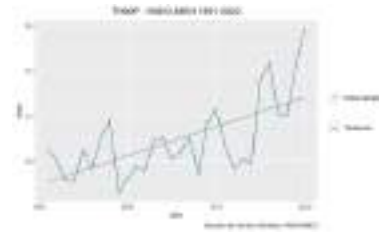
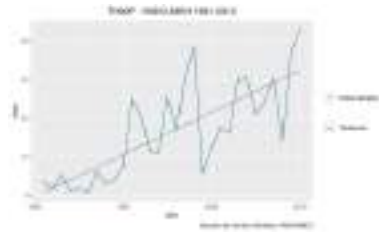
**Climatología  
1981-2010**

**Climatología  
1991-2020**

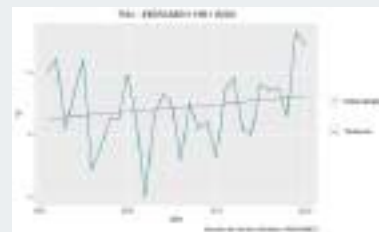
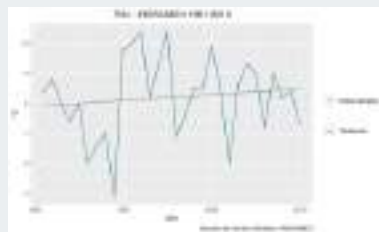
Noches frías  
(TN10p)



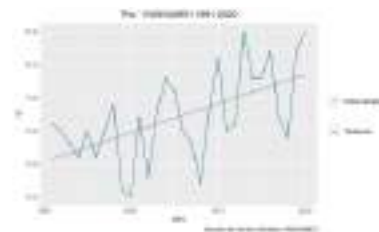
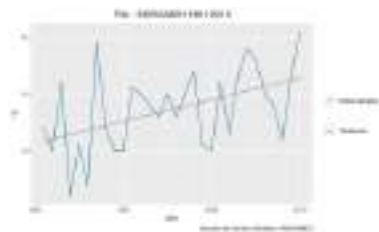
Noches  
calientes  
(TN90p)



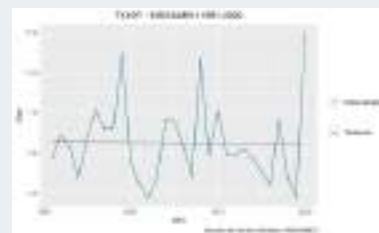
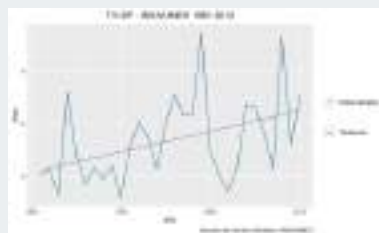
Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNn)



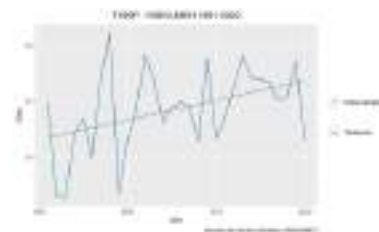
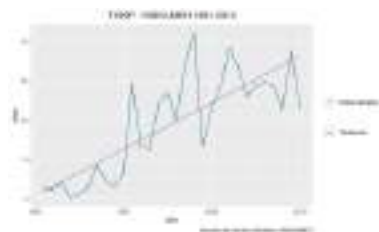
Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNx)



Días fríos  
(TX10p)



Días calientes  
(TX90p)

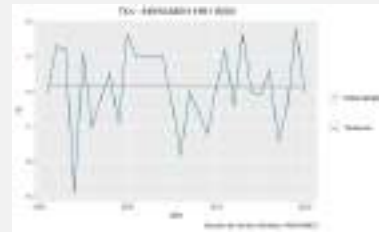
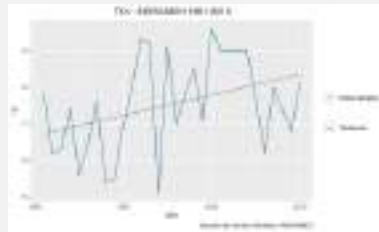


**Índice  
Climáticos**

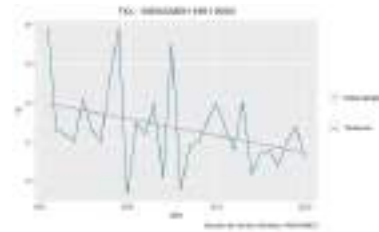
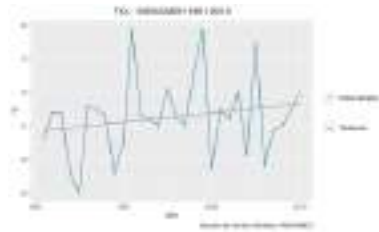
**Climatología  
1981-2010**

**Climatología  
1991-2020**

Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXn)



Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXx)



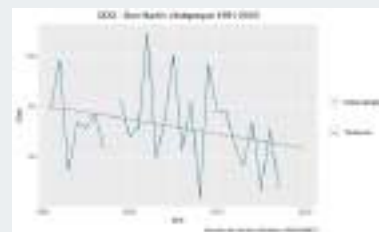
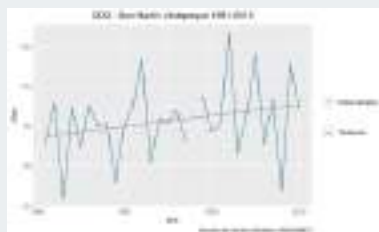
**1.3. San Martín Jilotepeque**

**Índices  
Climáticos**

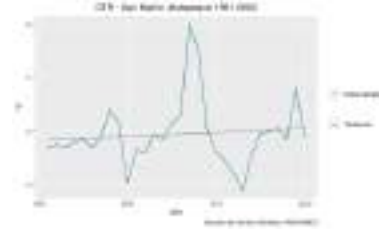
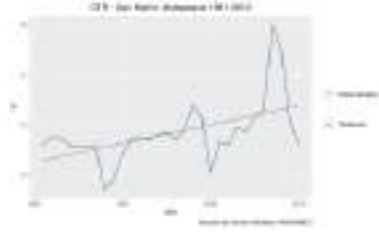
**Climatología  
1981-2010**

**Climatología  
1991-2020**

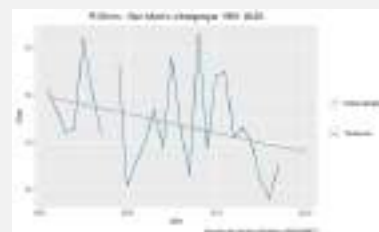
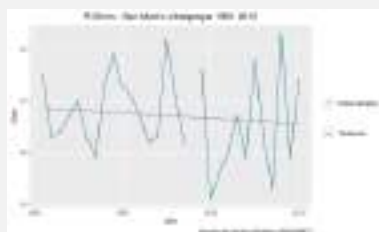
Días secos  
consecutivos  
(CDD)



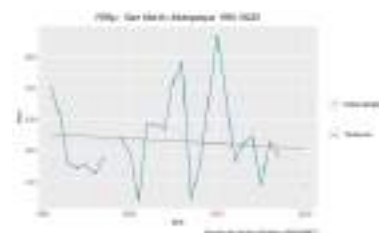
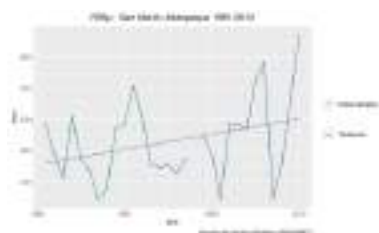
Rango diario  
de temperatura  
(DTR)



Número de días  
con  
precipitación  
intensa  
(R10mm)



Días muy  
húmedos  
(R95p)

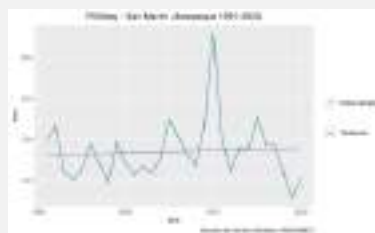
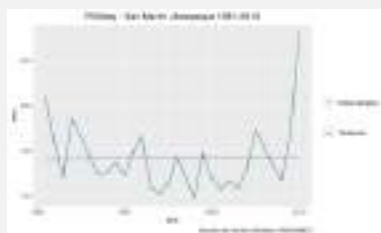


**Índices  
Climáticos**

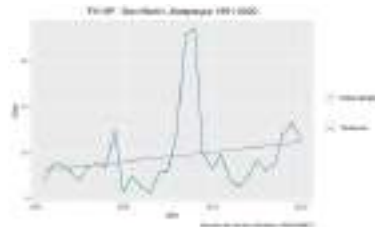
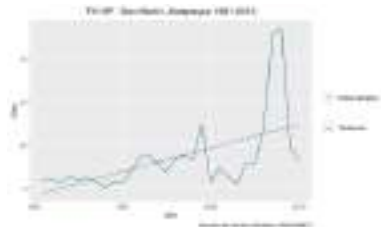
**Climatología  
1981-2010**

**Climatología  
1991-2020**

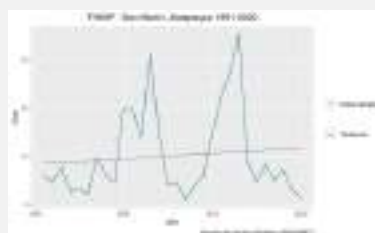
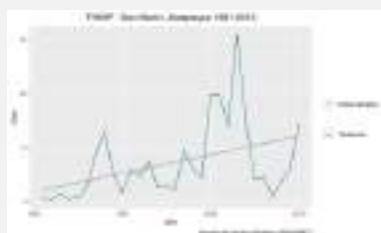
Cantidad  
máxima de  
precipitación  
en 5 días  
(Rx5day)



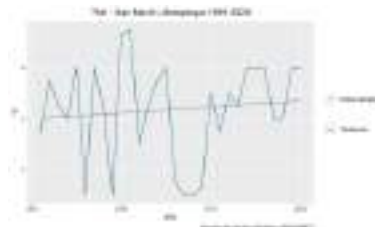
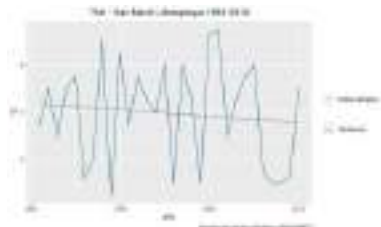
Noches frías  
(TN10p)



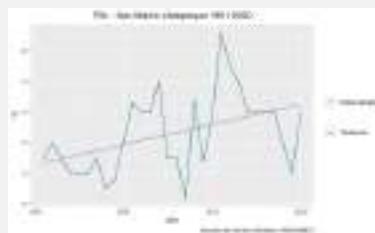
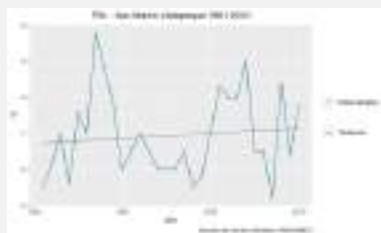
Noches  
calientes  
(TN90p)



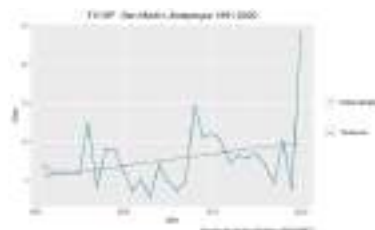
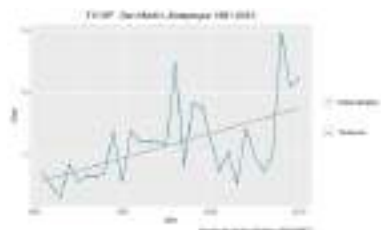
Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNn)



Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNx)



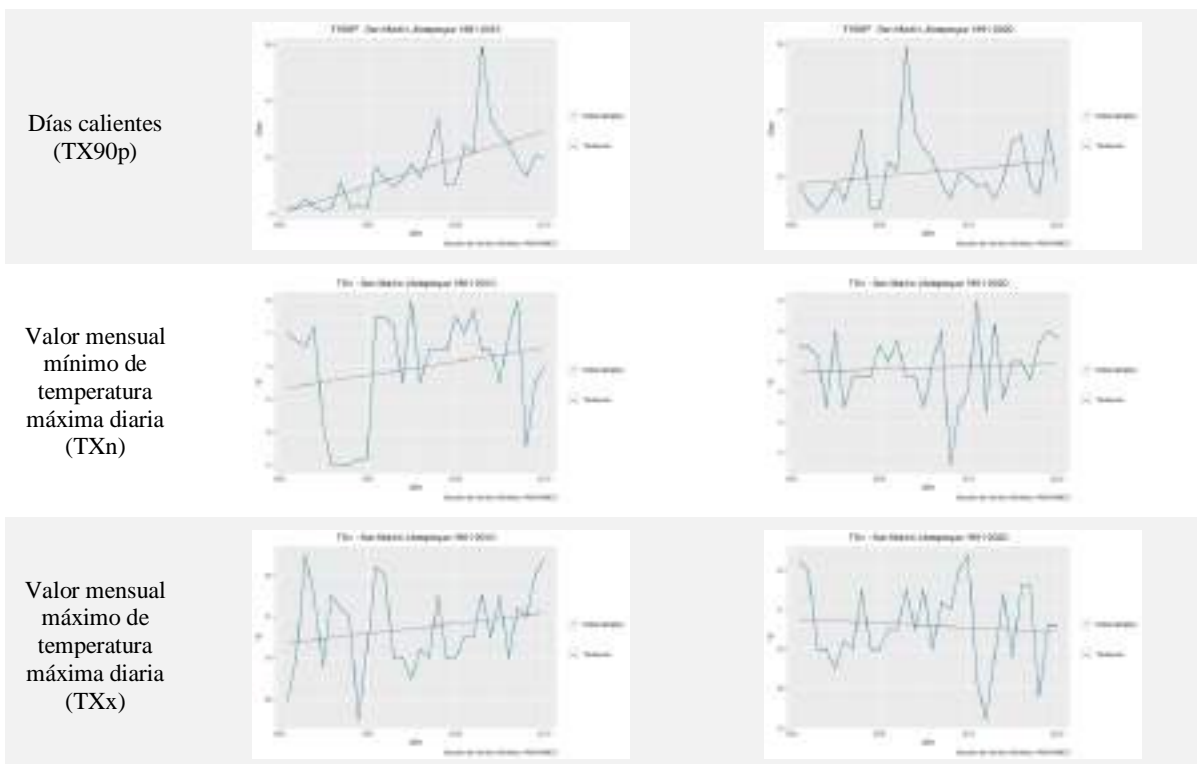
Días fríos  
(TX10p)



**Índices  
Climáticos**

**Climatología  
1981-2010**

**Climatología  
1991-2020**



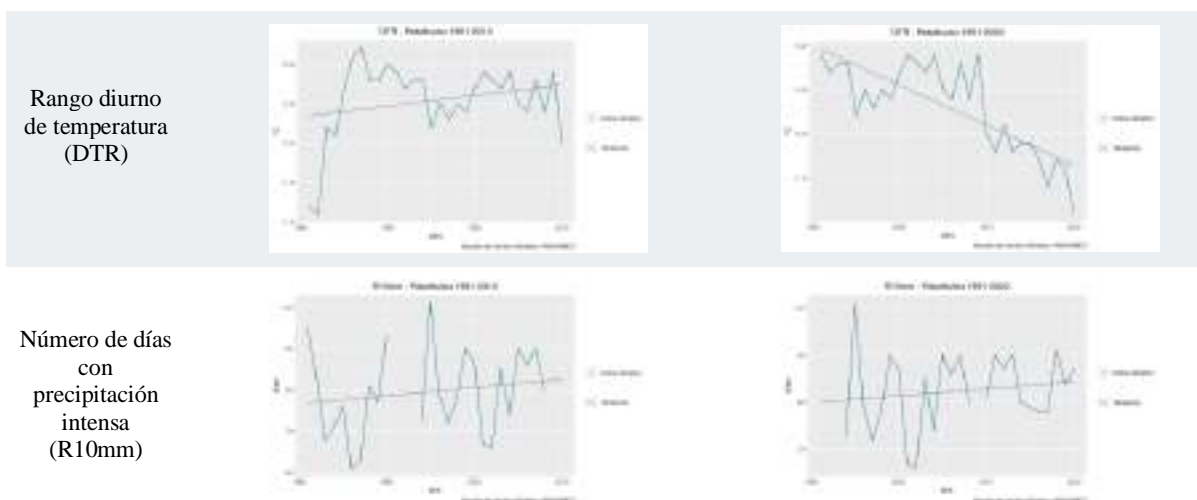
**2. Región Climática Bocacosta**

**2.1. Retalhuleu**

**Índices  
Climáticos**

**Climatología 1981-2010**

**Climatología 1991-2020**

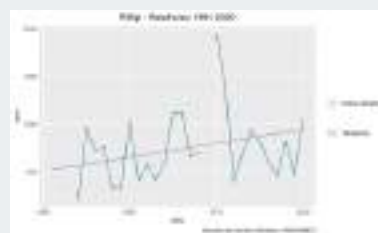
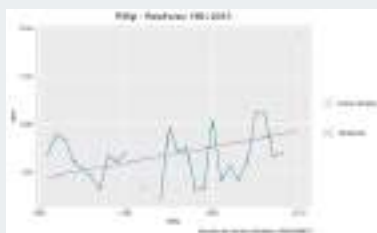


**Índices  
Climáticos**

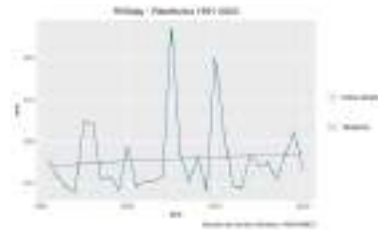
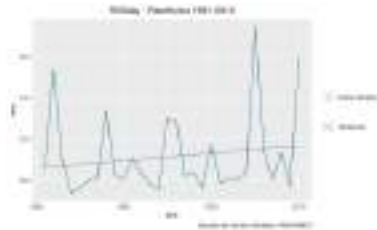
**Climatología 1981-2010**

**Climatología 1991-2020**

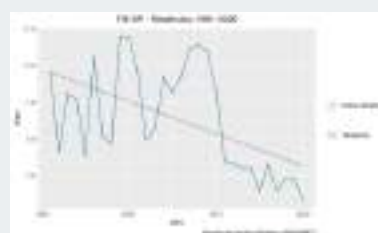
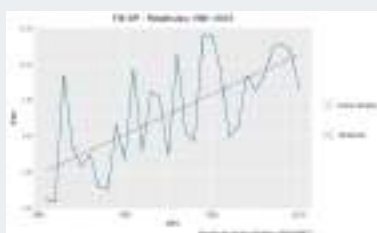
Días muy  
húmedos  
(R95p)



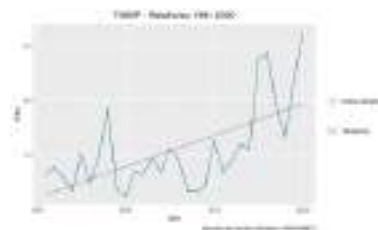
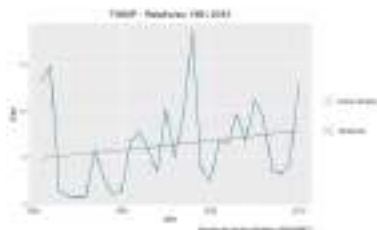
Cantidad  
máxima de  
precipitación  
en 5 días  
(Rx5day)



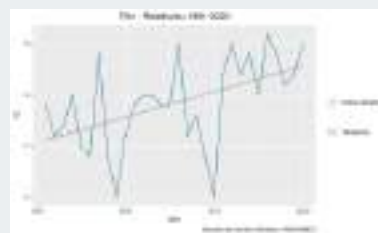
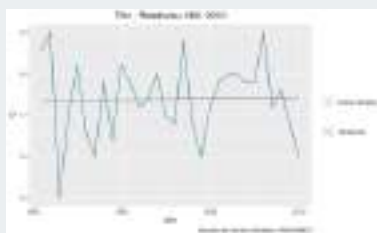
Noches frías  
(TN10p)



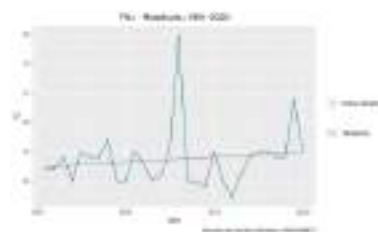
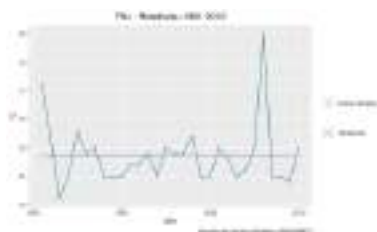
Noches  
calientes  
(TN90p)



Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNn)



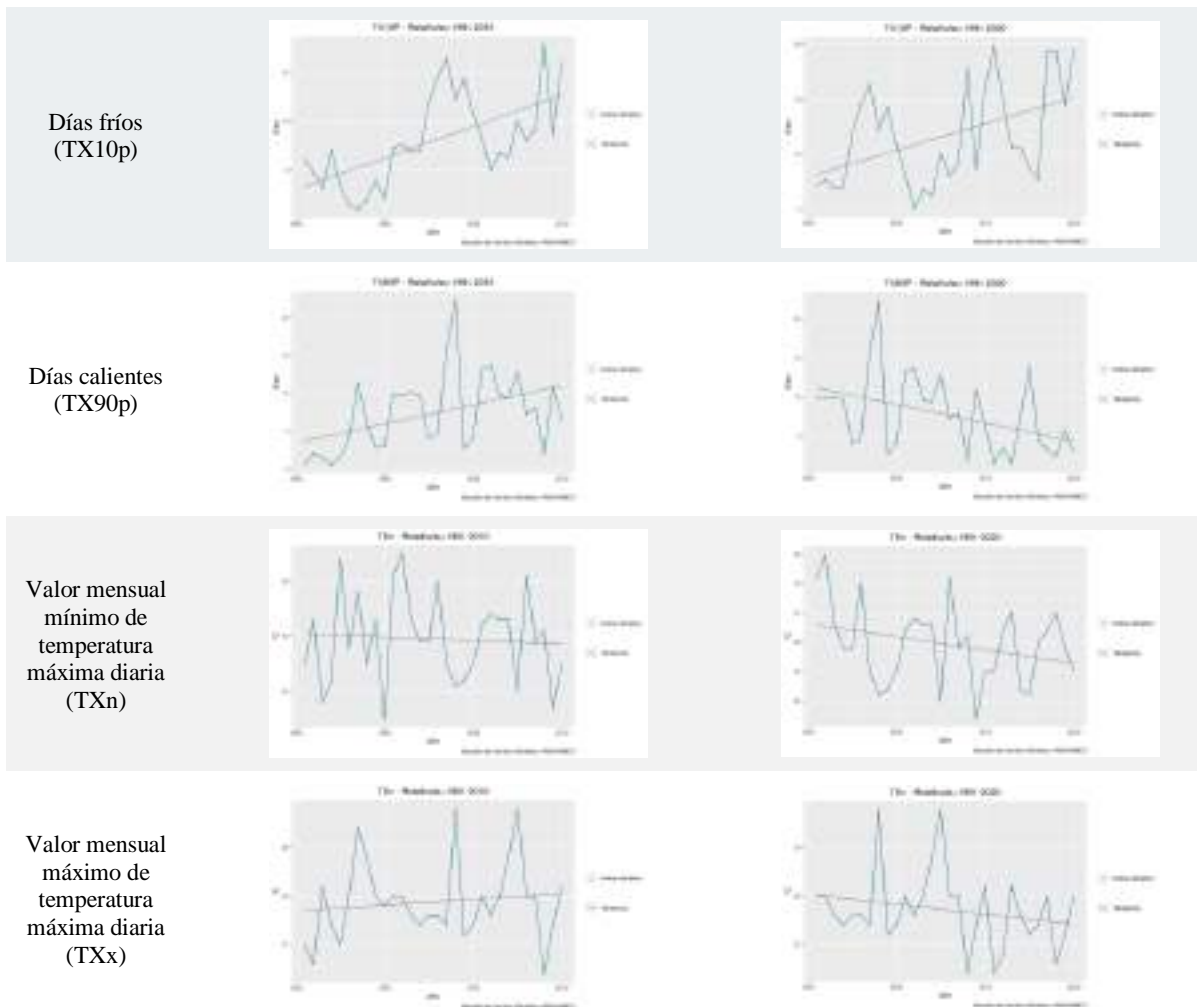
Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNx)



**Índices Climáticos**

**Climatología 1981-2010**

**Climatología 1991-2020**



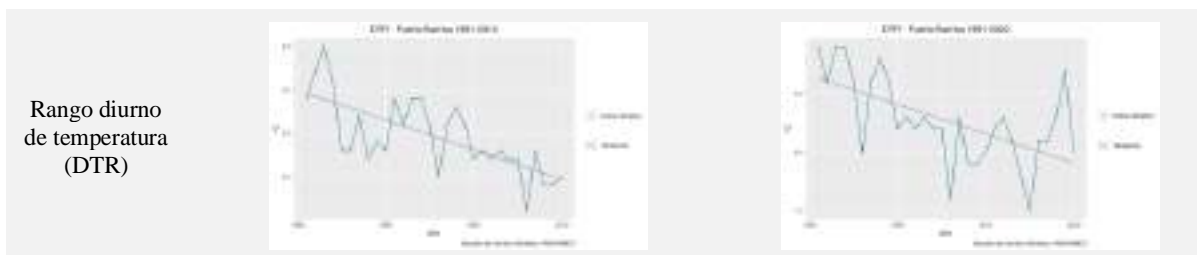
**3. Región Climática Caribe**

**3.1. Puerto Barrios**

**Índices Climáticos**

**Climatología 1981-2010**

**Climatología 1991-2020**

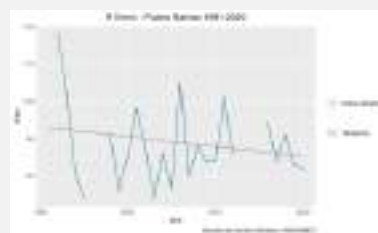
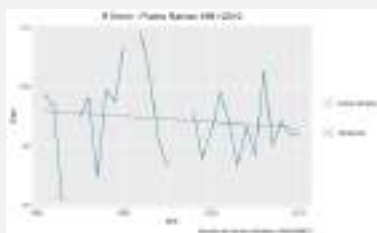


**Índices  
Climáticos**

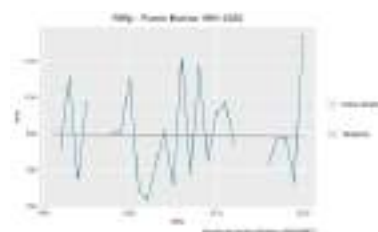
**Climatología 1981-2010**

**Climatología 1991-2020**

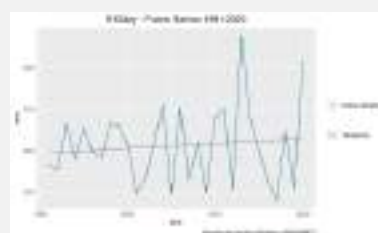
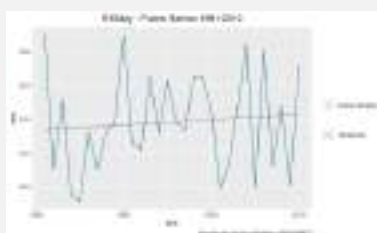
Número de días  
con  
precipitación  
intensa  
(R10mm)



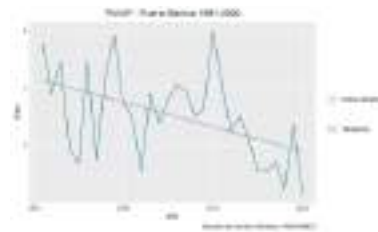
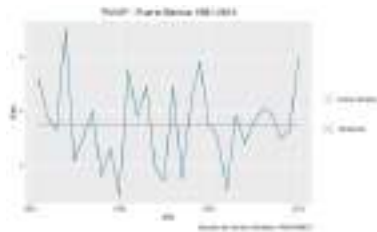
Días muy  
húmedos  
(R95p)



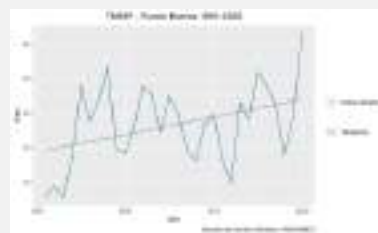
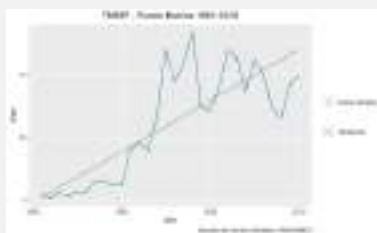
Cantidad  
máxima de  
precipitación  
en 5 días  
(Rx5day)



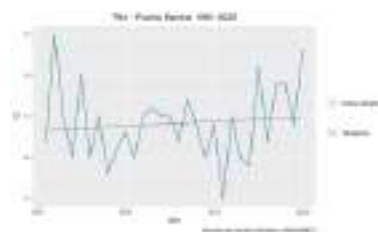
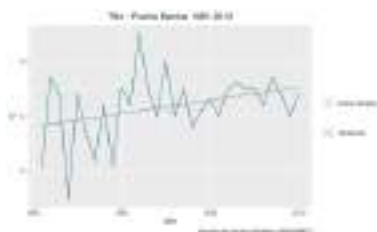
Noches frías  
(TN10p)



Noches  
calientes  
(TN90p)



Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNn)

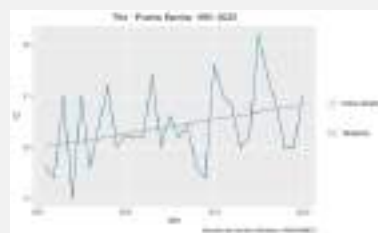
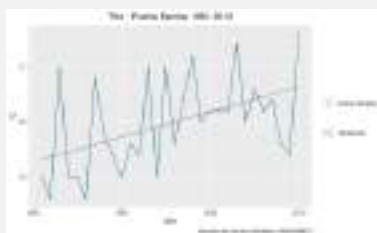


**Índices  
Climáticos**

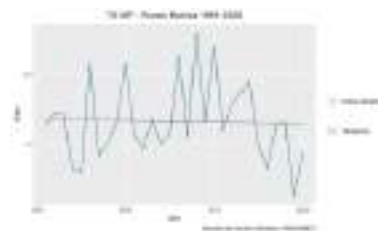
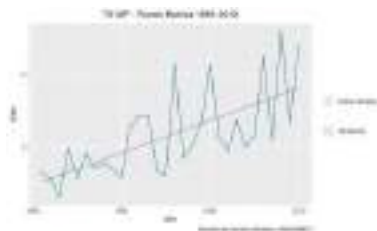
**Climatología 1981-2010**

**Climatología 1991-2020**

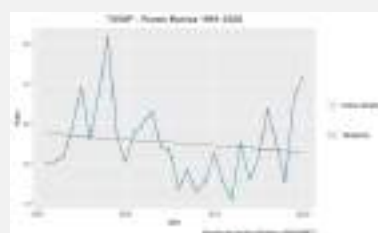
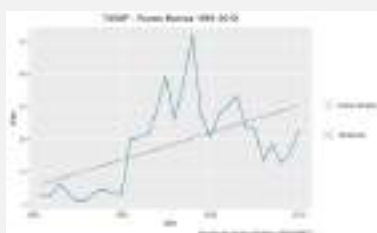
Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNx)



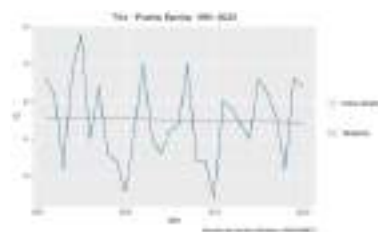
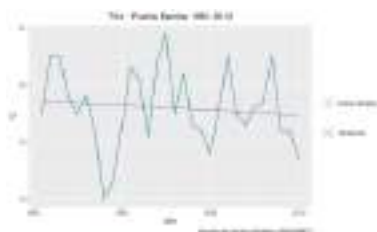
Días fríos  
(TX10p)



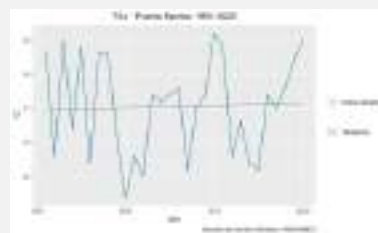
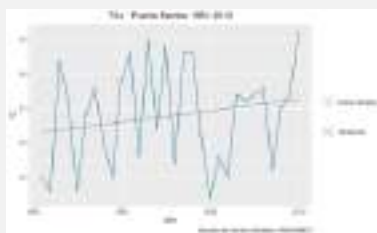
Días calientes  
(TX90p)



Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXn)



Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXx)



## 4. Franja Transversal del Norte

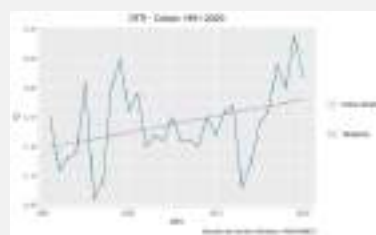
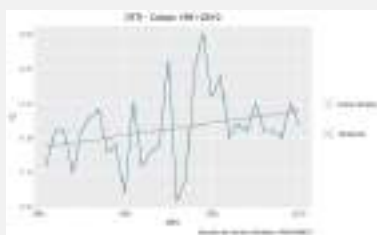
### 4.1. Cobán

#### Índices Climáticos

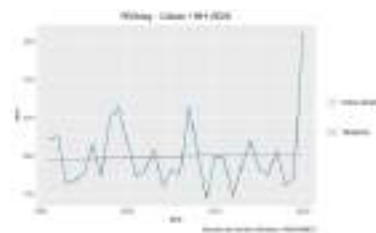
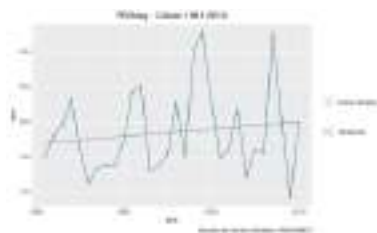
#### Climatología 1981-2010

#### Climatología 1991-2020

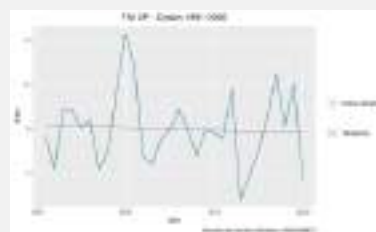
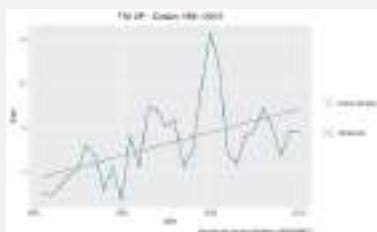
Rango diario de temperatura (DTR)



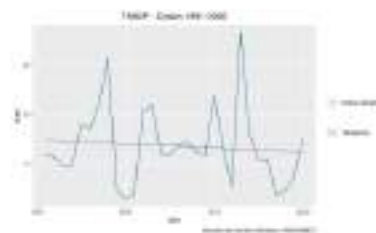
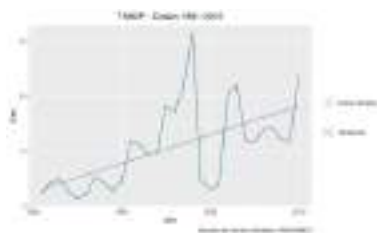
Cantidad máxima de precipitación en 5 días (Rx5day)



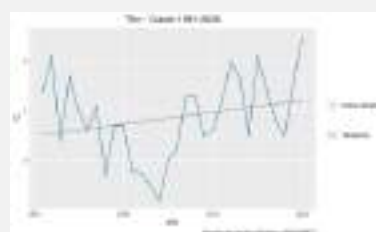
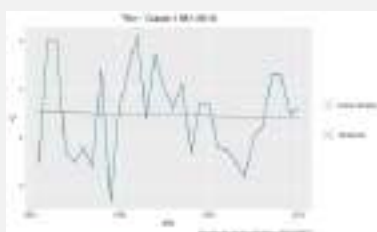
Noches frías (TN10p)



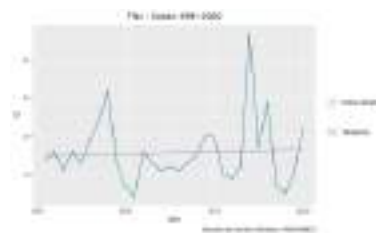
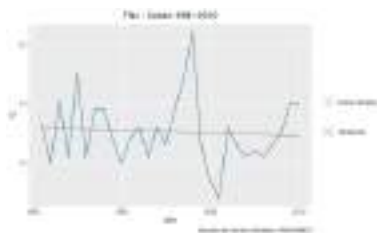
Noches calientes (TN90p)

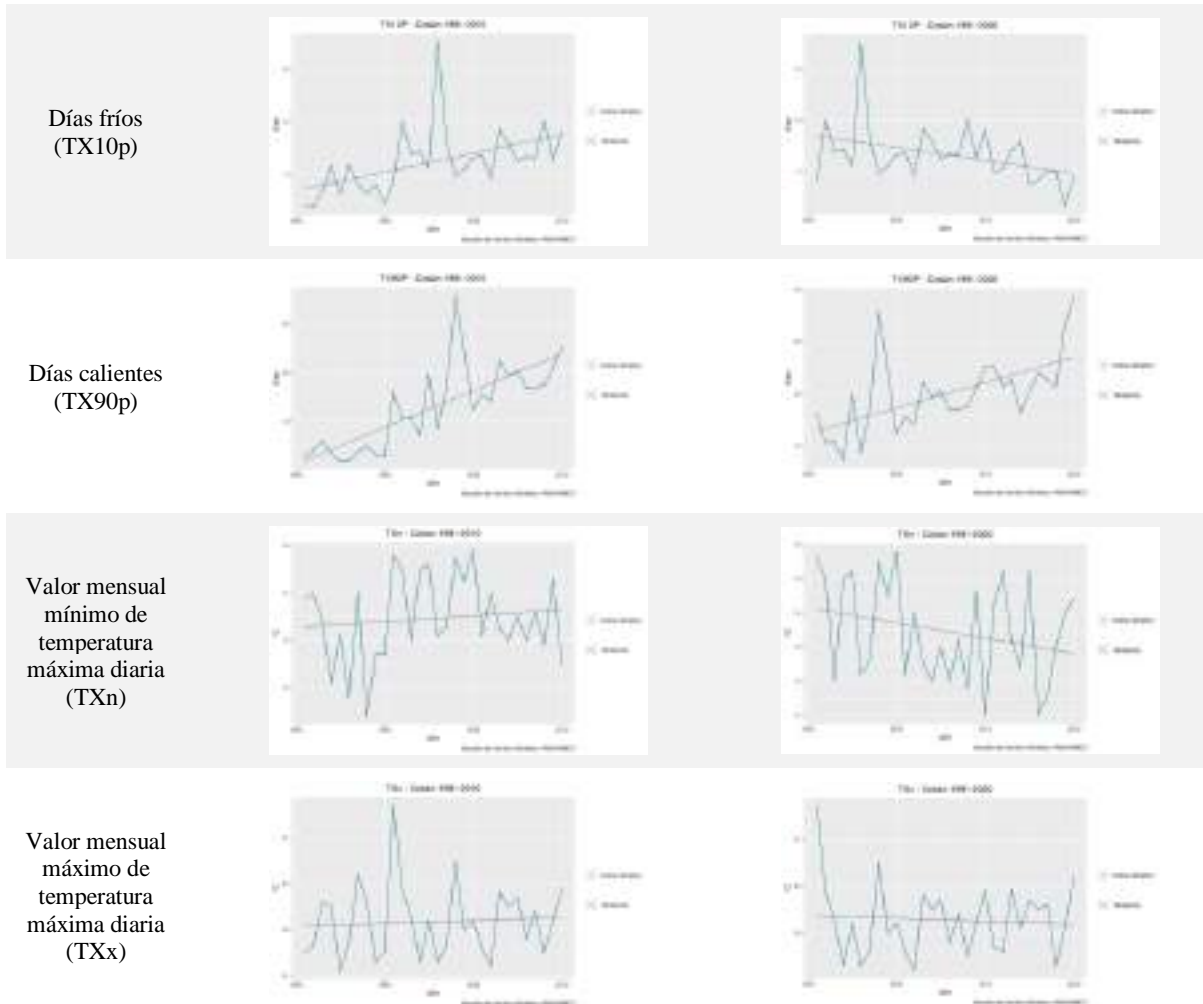


Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria (TNn)



Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria (TNx)





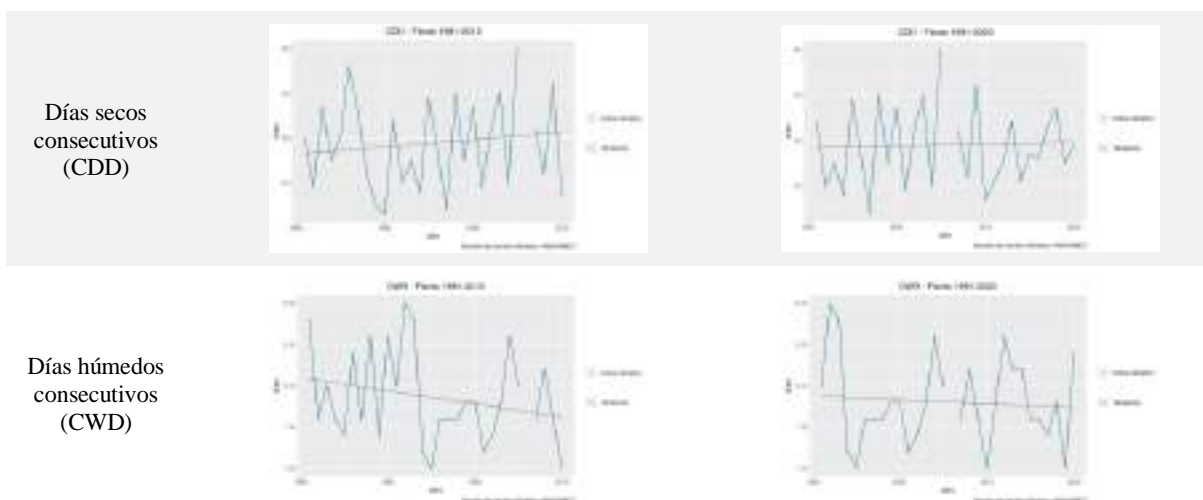
## 5. Norte

### 5.1. Flores

Índices  
Climáticos

Climatología 1981-2010

Climatología 1991-2020

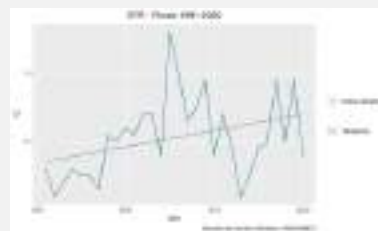
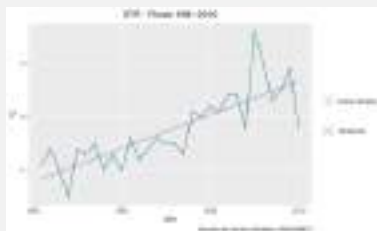


**Índices  
Climáticos**

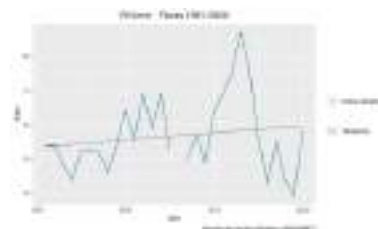
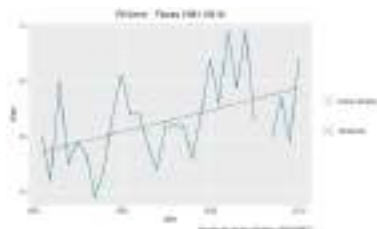
**Climatología 1981-2010**

**Climatología 1991-2020**

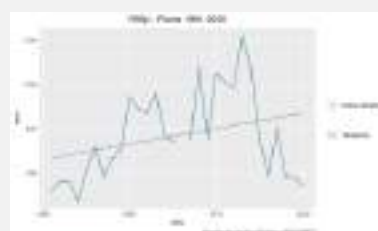
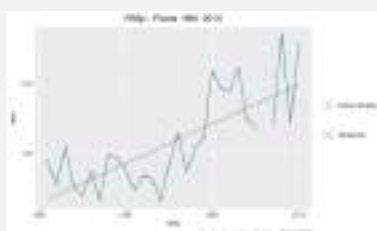
Rango diario de temperatura (DTR)



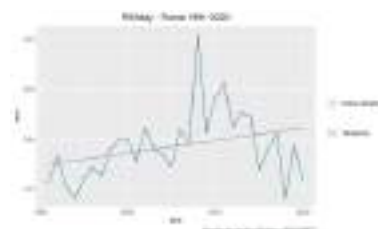
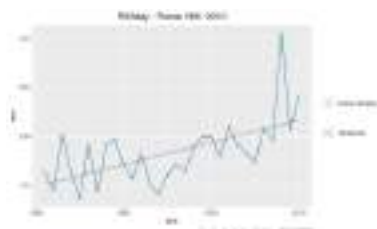
Número de días con precipitación intensa (R10mm)



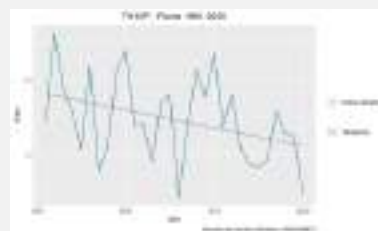
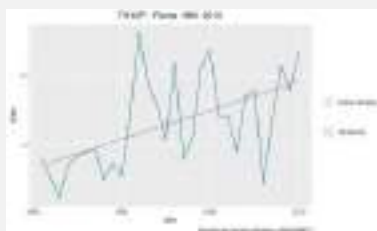
Días muy húmedos (R95p)



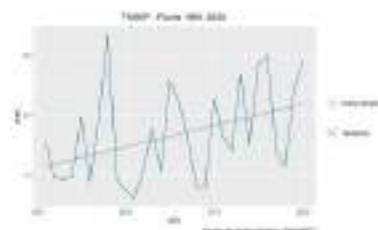
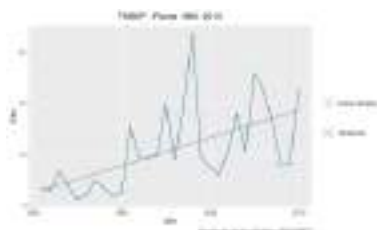
Cantidad máxima de precipitación en 5 días (Rx5day)



Noches frías (TN10p)



Noches calientes (TN90p)

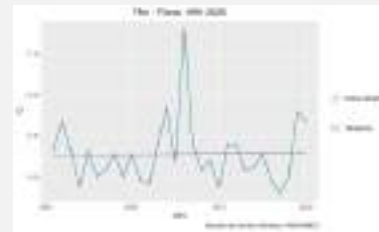
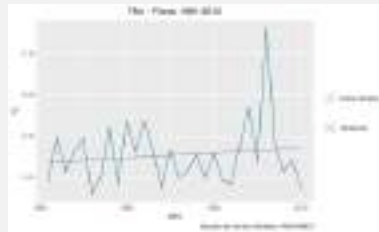


**Índices  
Climáticos**

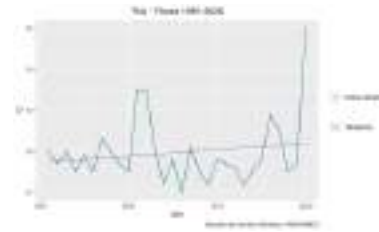
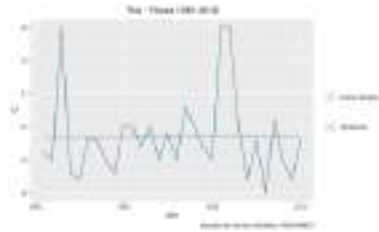
**Climatología 1981-2010**

**Climatología 1991-2020**

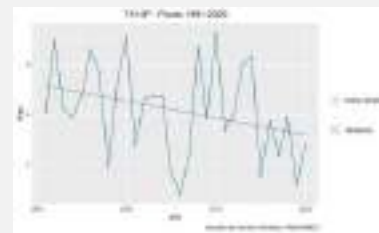
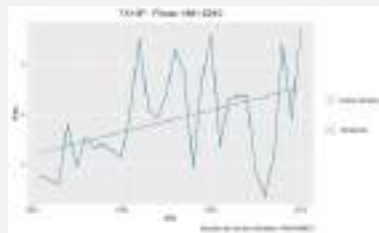
Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNn)



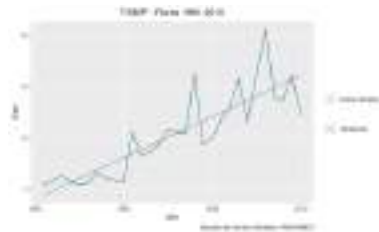
Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNx)



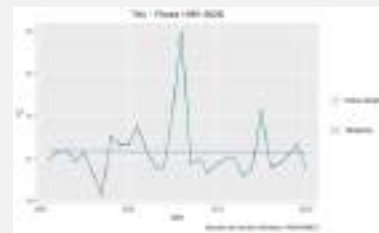
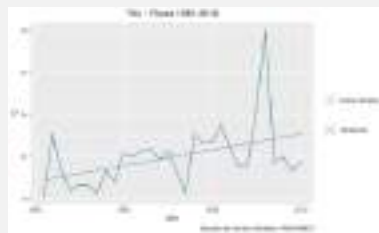
Días fríos  
(TX10p)



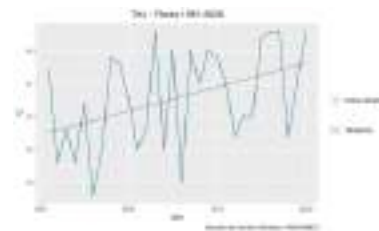
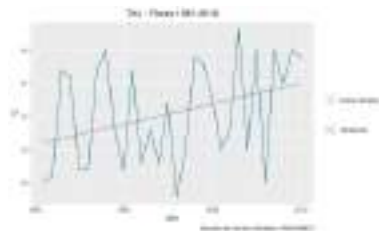
Días calientes  
(TX90p)



Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXn)



Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXx)



## 6. Occidente

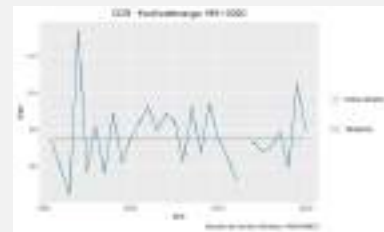
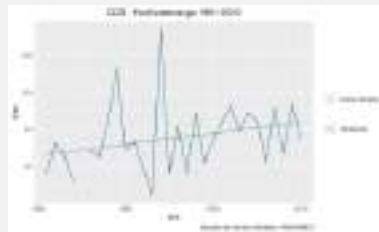
### 6.1. Huehuetenango

#### Índices Climáticos

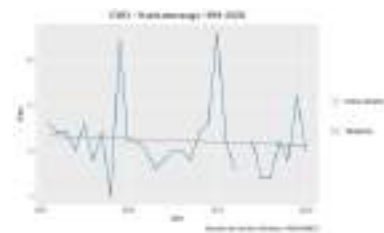
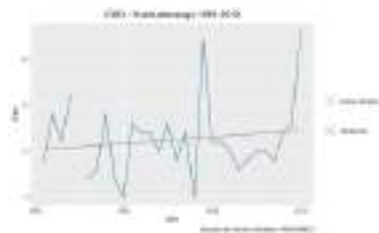
#### Climatología 1981-2010

#### Climatología 1991-2020

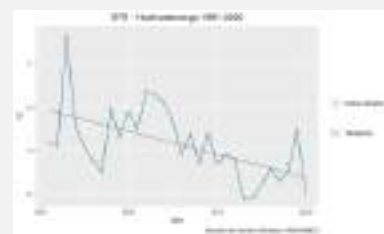
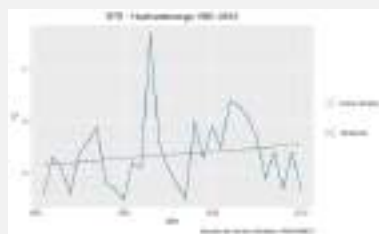
Días secos consecutivos (CDD)



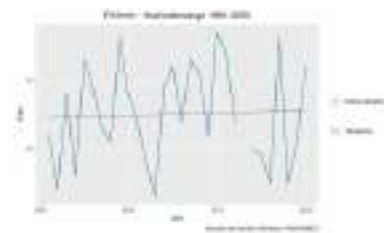
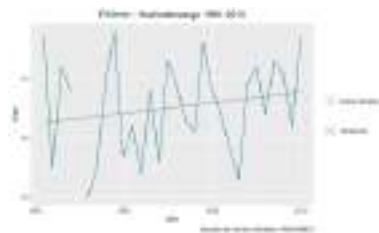
Días húmedos consecutivos (CWD)



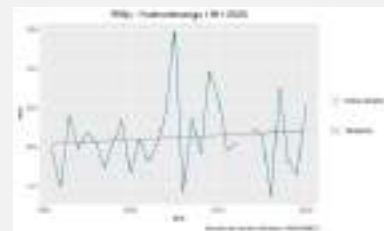
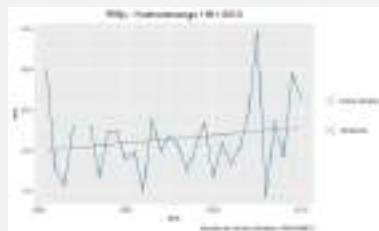
Rango diario de temperatura (DTR)



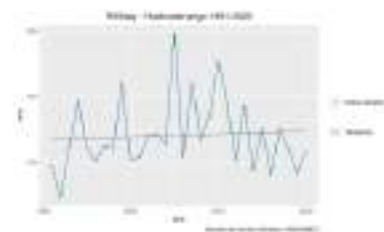
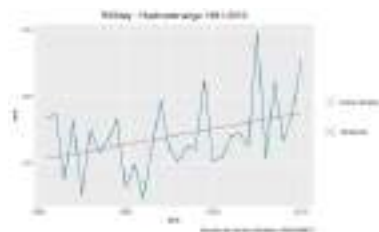
Número de días con precipitación intensa (R10mm)



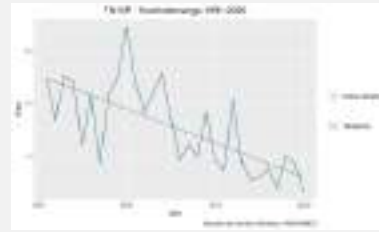
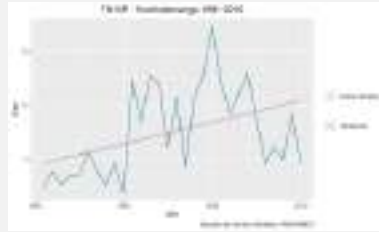
Días muy húmedos (R95p)



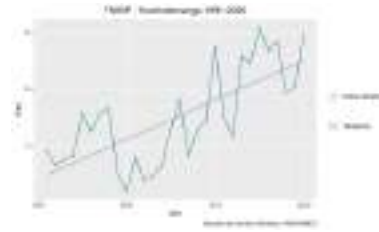
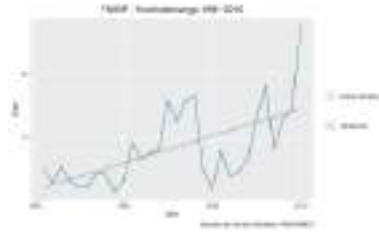
Cantidad máxima de precipitación en 5 días (Rx5day)



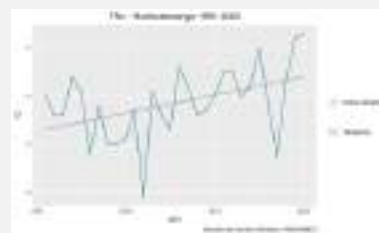
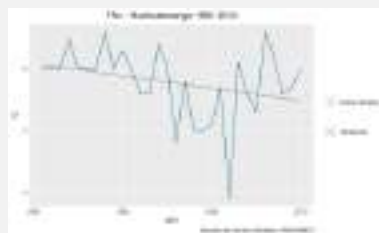
Noches frías  
(TN10p)



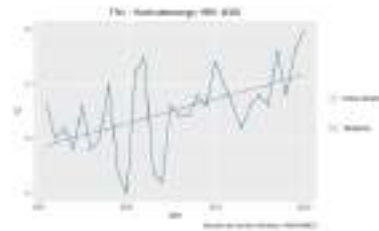
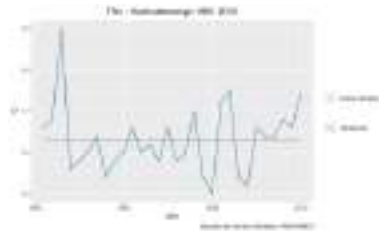
Noches  
calientes  
(TN90p)



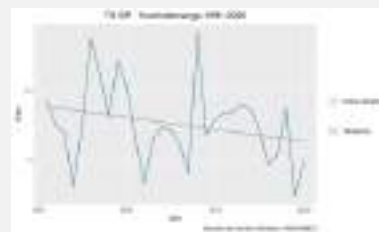
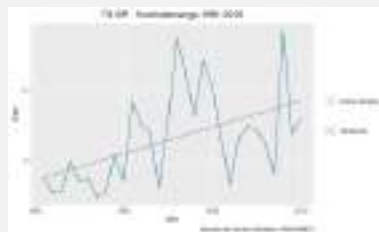
Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNn)



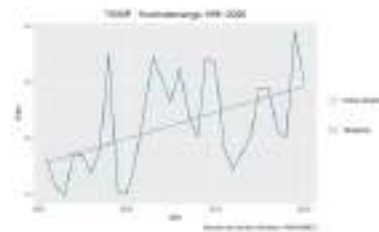
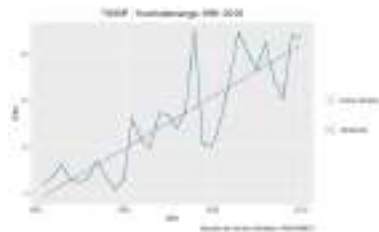
Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNx)



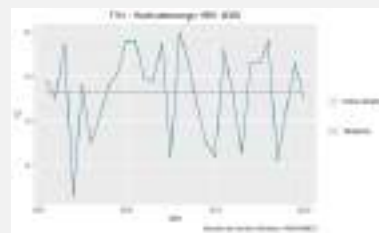
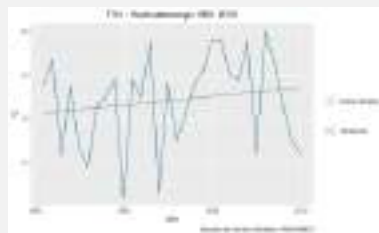
Días fríos  
(TX10p)



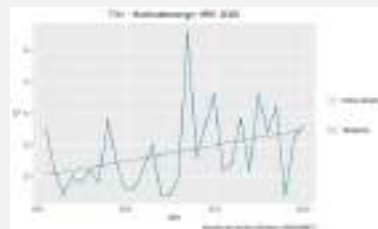
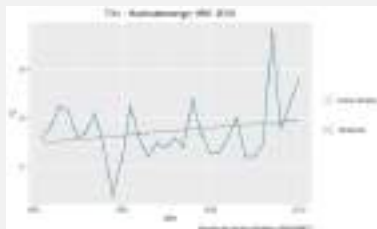
Días calientes  
(TX90p)



Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXn)



Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXx)



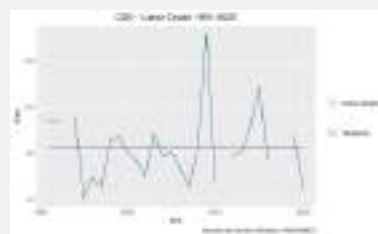
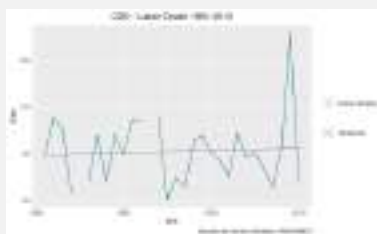
## 6.2. Labor Ovalle

Índices  
Climáticos

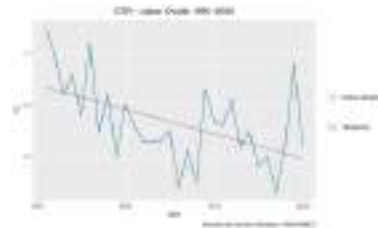
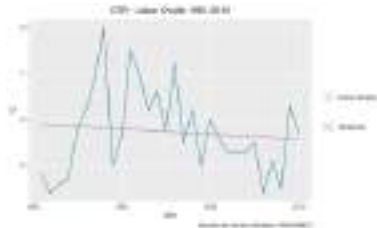
Climatología 1981-2010

Climatología 1991-2020

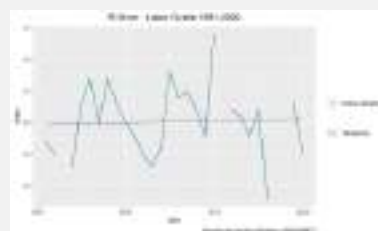
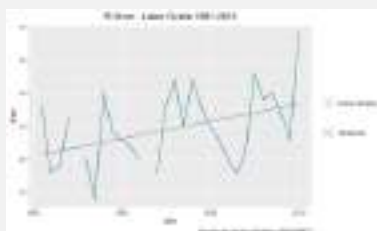
Días secos  
consecutivos  
(CDD)



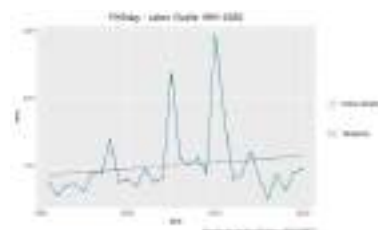
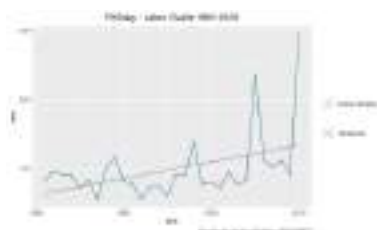
Rango diario  
de temperatura  
(DTR)



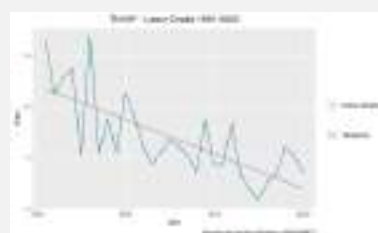
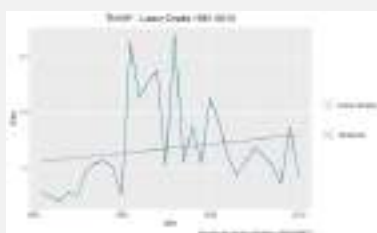
Número de días  
con  
precipitación  
intensa  
(R10mm)



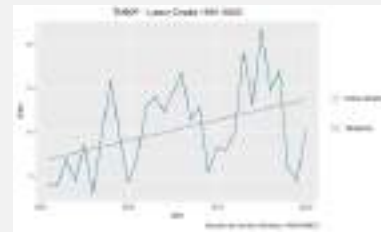
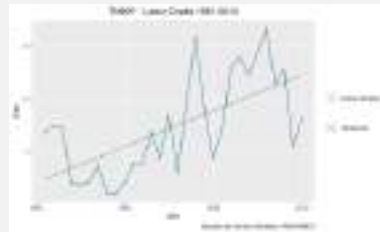
Cantidad  
máxima de  
precipitación  
en 5 días  
(Rx5day)



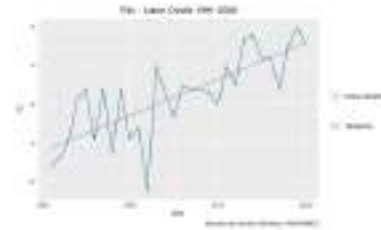
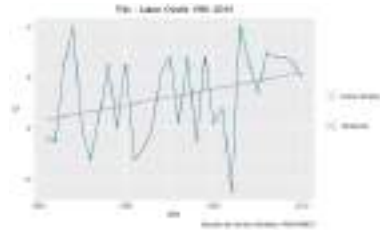
Noches frías  
(TN10p)



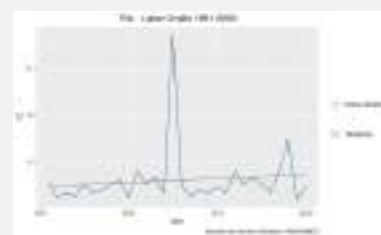
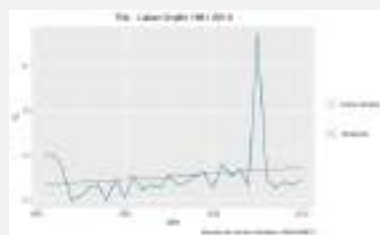
Noches  
calientes  
(TN90p)



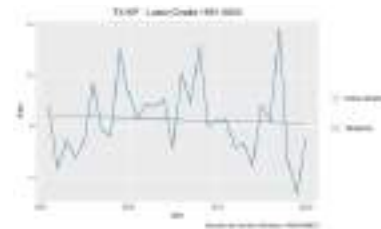
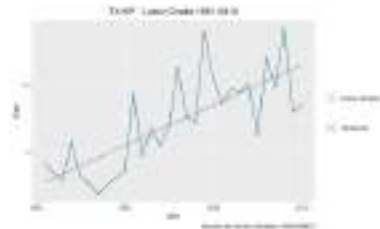
Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNn)



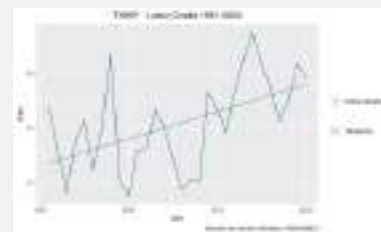
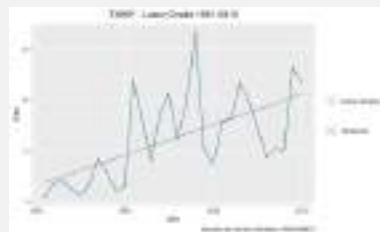
Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNx)



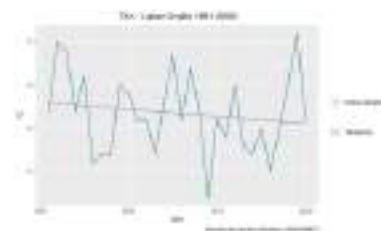
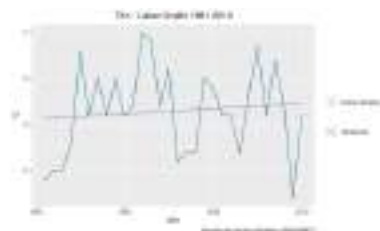
Días fríos  
(TX10p)



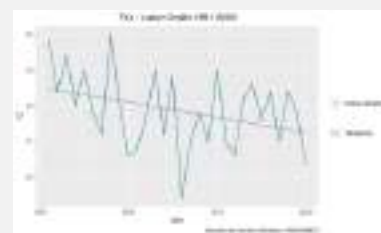
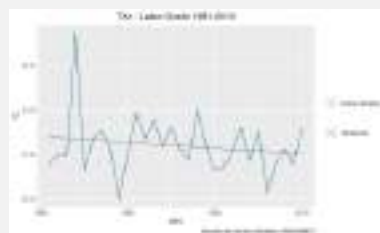
Días calientes  
(TX90p)



Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXn)



Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXx)



## 7. Pacífico

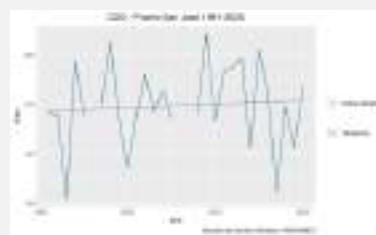
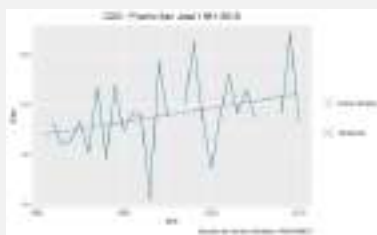
### 7.1. Puerto San José

Índices  
Climáticos

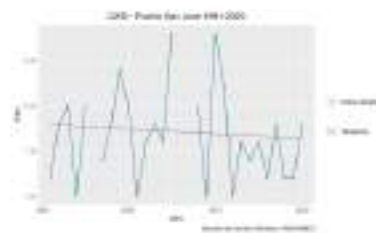
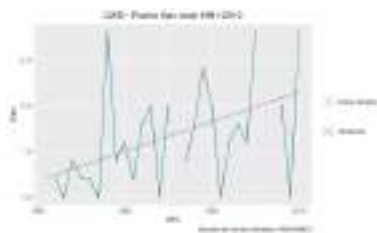
Climatología 1981-2010

Climatología 1991-2020

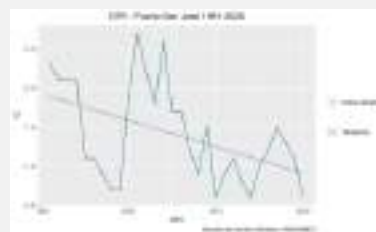
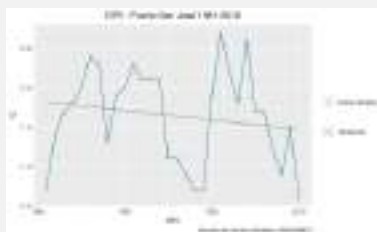
Días secos  
consecutivos  
(CDD)



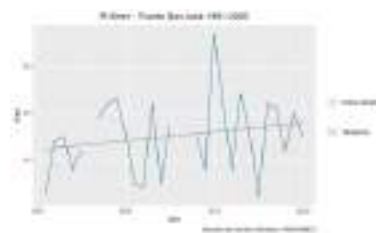
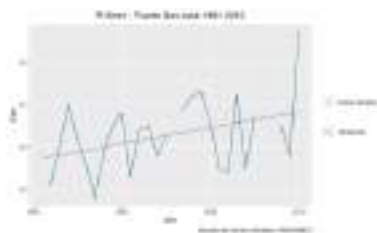
Días húmedos  
consecutivos  
(CWD)



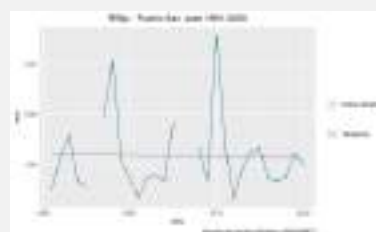
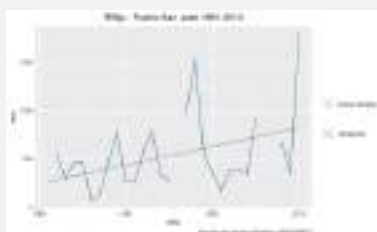
Rango diario  
de temperatura  
(DTR)



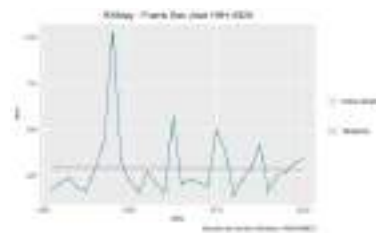
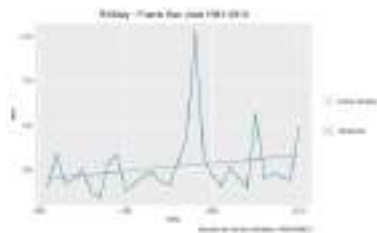
Número de días  
con  
precipitación  
intensa  
(R10mm)



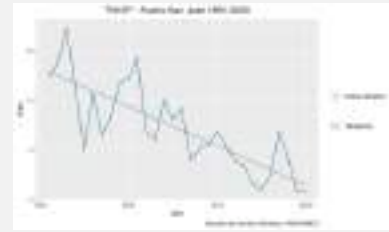
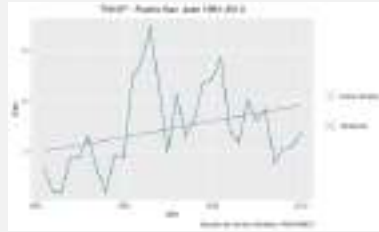
Días muy  
húmedos  
(R95p)



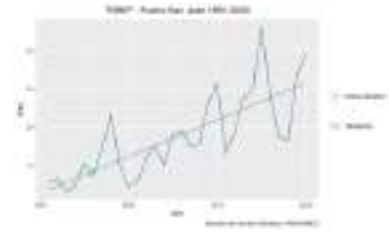
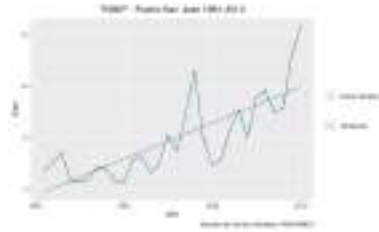
Cantidad  
máxima de  
precipitación  
en 5 días  
(Rx5day)



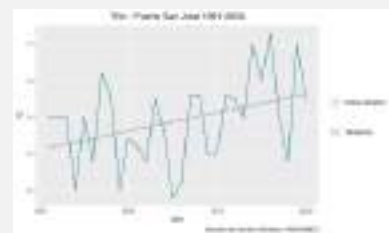
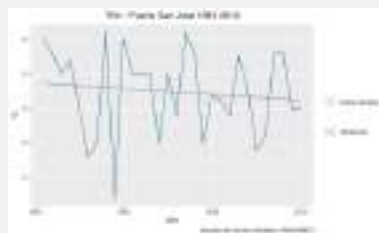
Noches frías  
(TN10p)



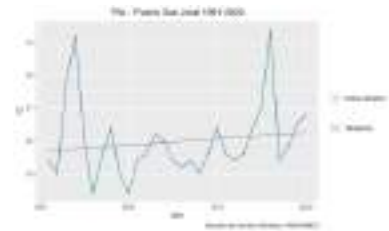
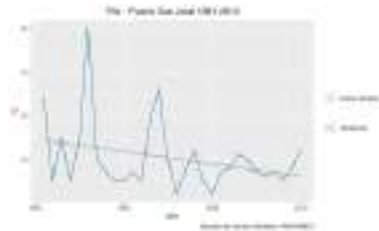
Noches  
calientes  
(TN90p)



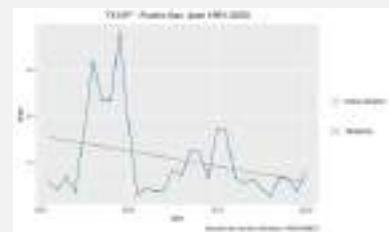
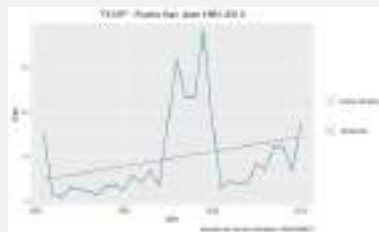
Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNn)



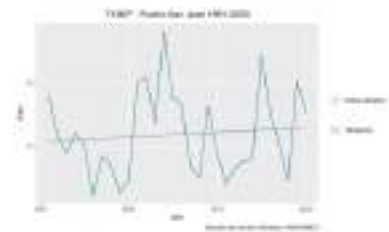
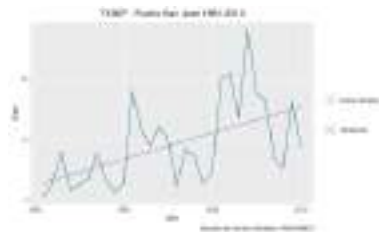
Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
mínima diaria  
(TNx)



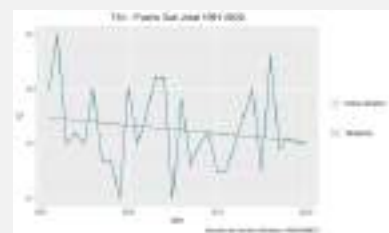
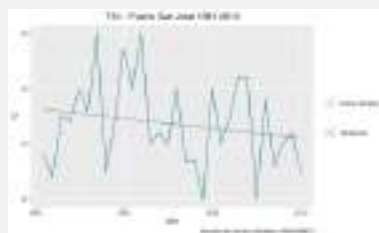
Días fríos  
(TX10p)



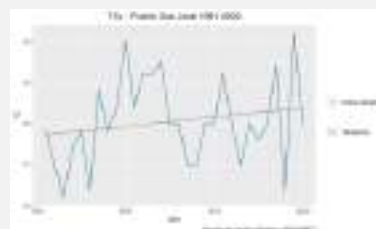
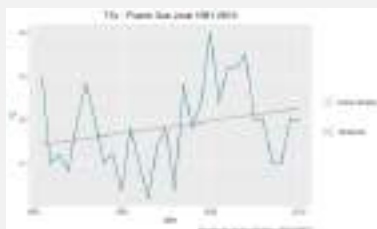
Días calientes  
(TX90p)



Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXn)



Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXx)



## 8. Valles de Oriente

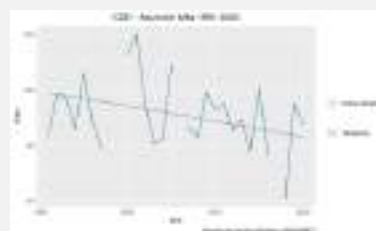
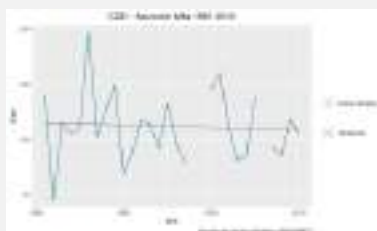
### 8.1. Asunción Mita

Índices  
Climáticos

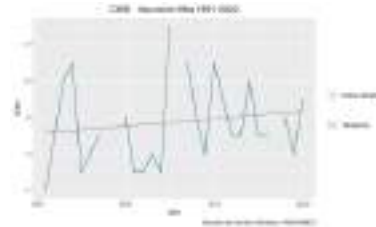
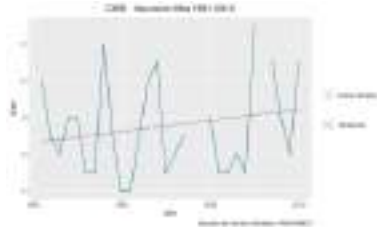
Climatología 1981-2010

Climatología 1991-2020

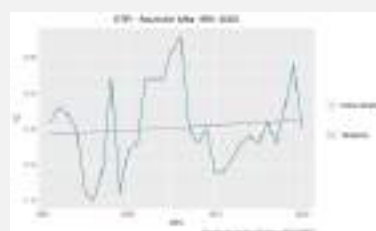
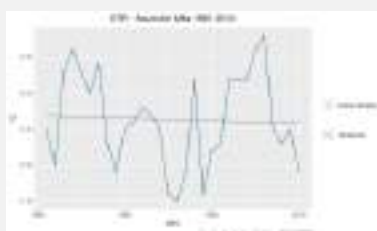
Días secos  
consecutivos  
(CDD)



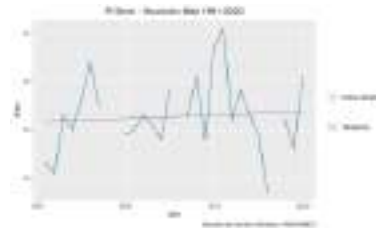
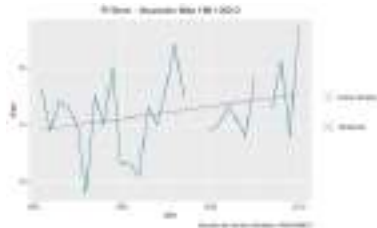
Días húmedos  
consecutivos  
(CWD)



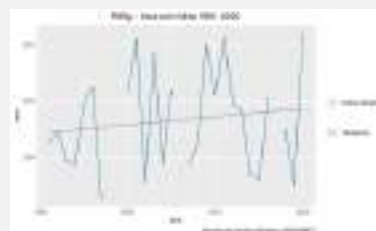
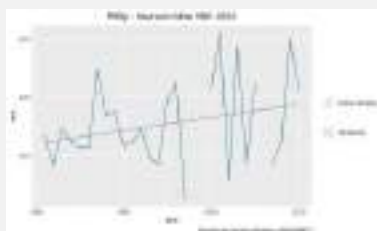
Rango diario  
de temperatura  
(DTR)



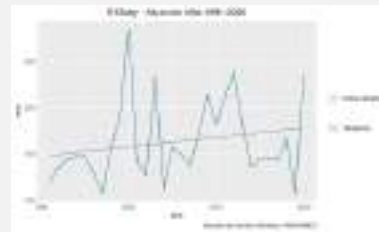
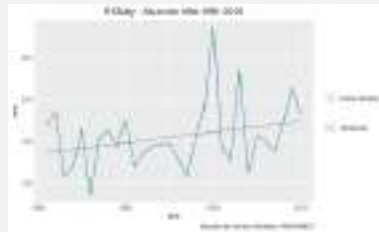
Número de días  
con  
precipitación  
intensa  
(R10mm)



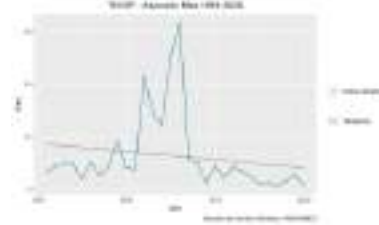
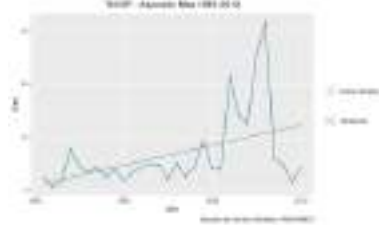
Días muy  
húmedos  
(R95p)



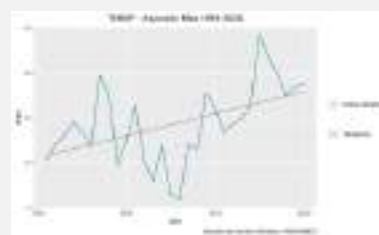
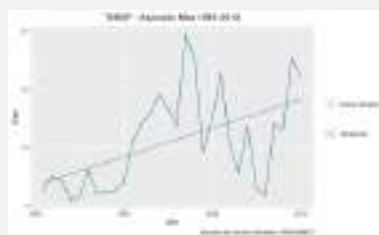
Cantidad máxima de precipitación en 5 días (Rx5day)



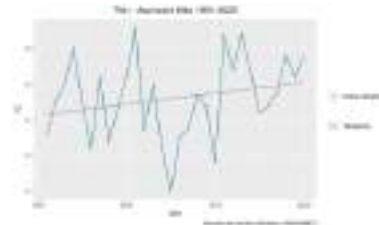
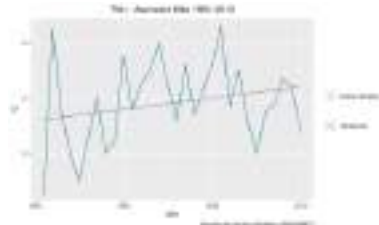
Noches frías (TN10p)



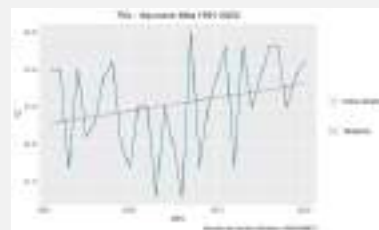
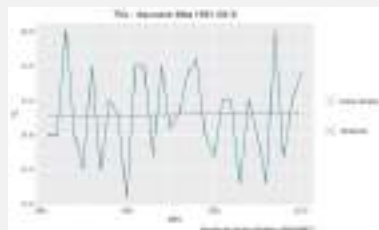
Noches calientes (TN90p)



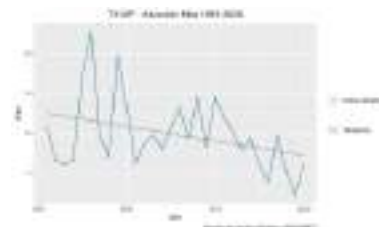
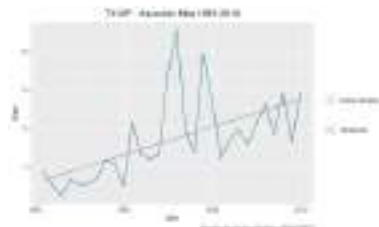
Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria (TNn)



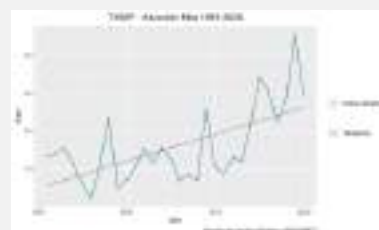
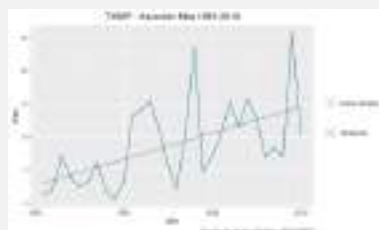
Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria (TNx)



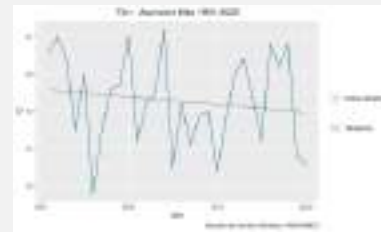
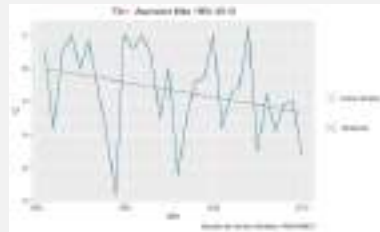
Días fríos (TX10p)



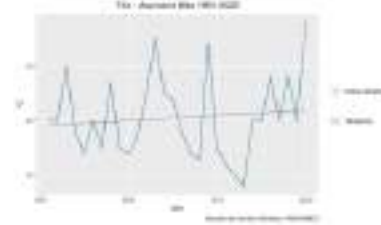
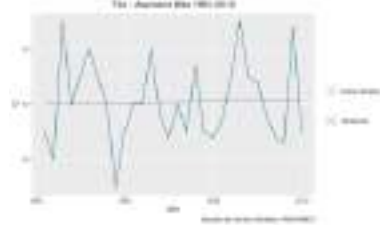
Días calientes (TX90p)



Valor mensual  
mínimo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXn)



Valor mensual  
máximo de  
temperatura  
máxima diaria  
(TXx)



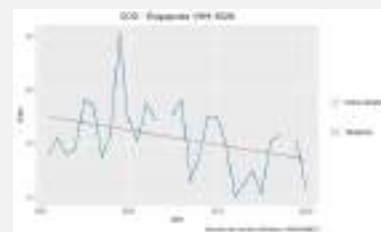
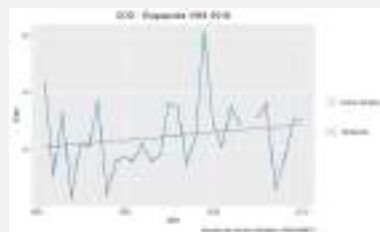
## 8.2. Esquipulas

Índices  
Climáticos

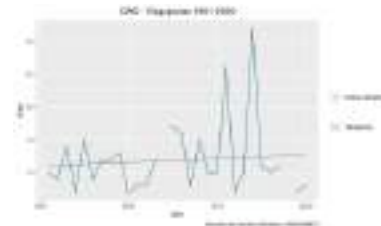
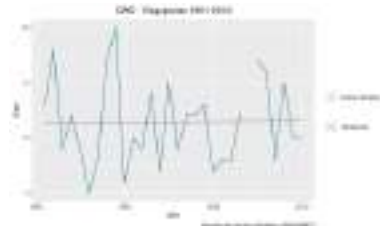
Climatología 1981-2010

Climatología 1991-2020

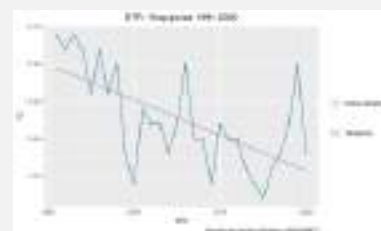
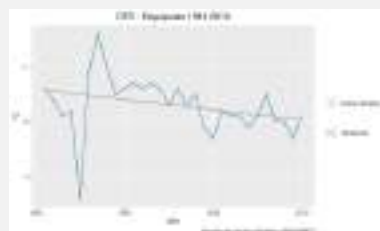
Días secos  
consecutivos  
(CDD)



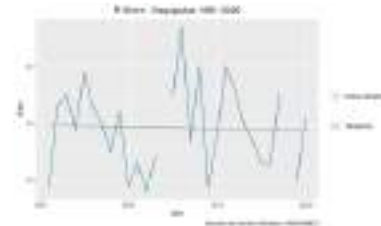
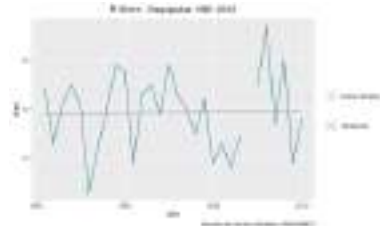
Días húmedos  
consecutivos  
(CWD)



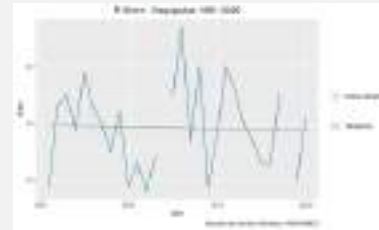
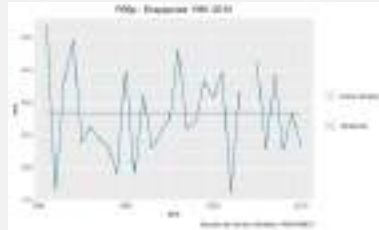
Rango diario  
de temperatura  
(DTR)



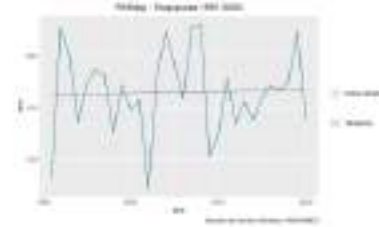
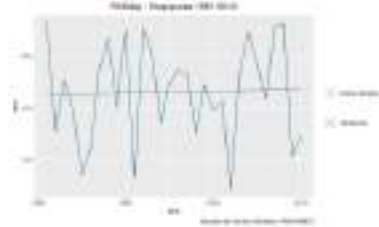
Número de días  
con  
precipitación  
intensa  
(R10mm)



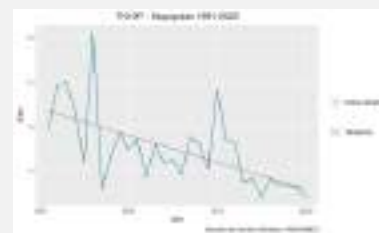
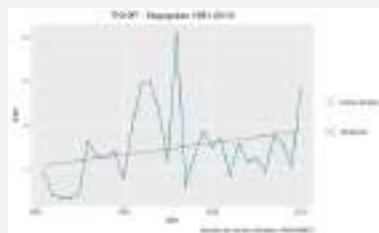
Días muy húmedos (R95p)



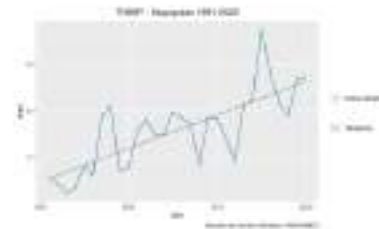
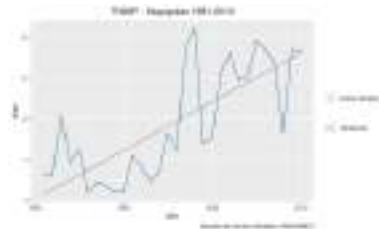
Cantidad máxima de precipitación en 5 días (Rx5day)



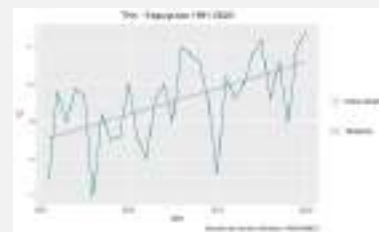
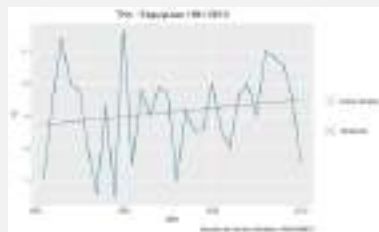
Noches frías (TN10p)



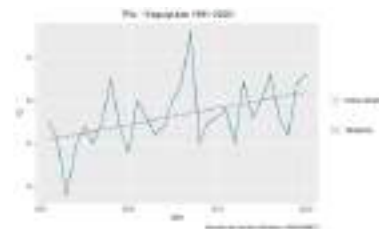
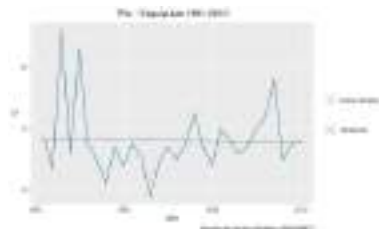
Noches calientes (TN90p)



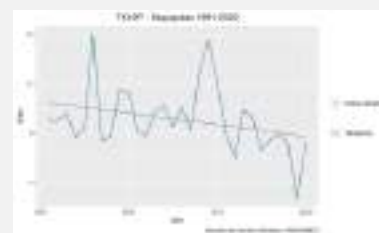
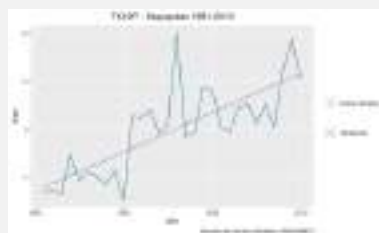
Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria (TNn)

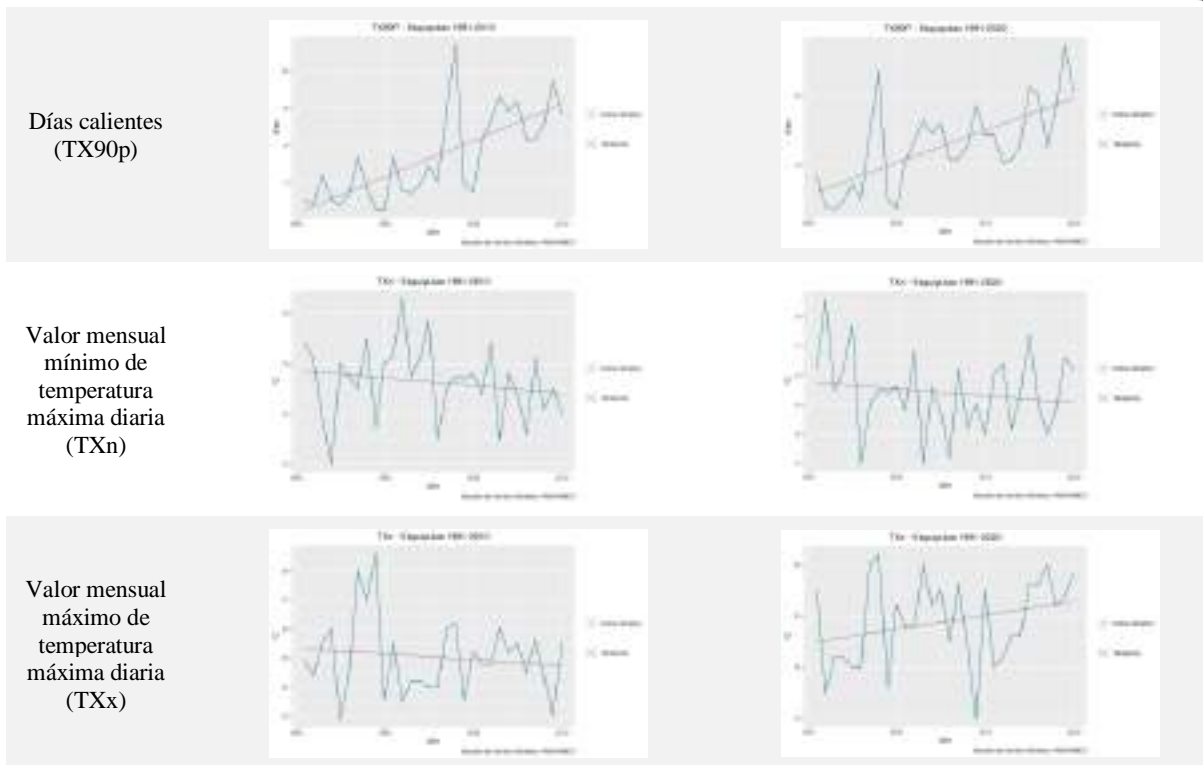


Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria (TNx)



Días fríos (TX10p)



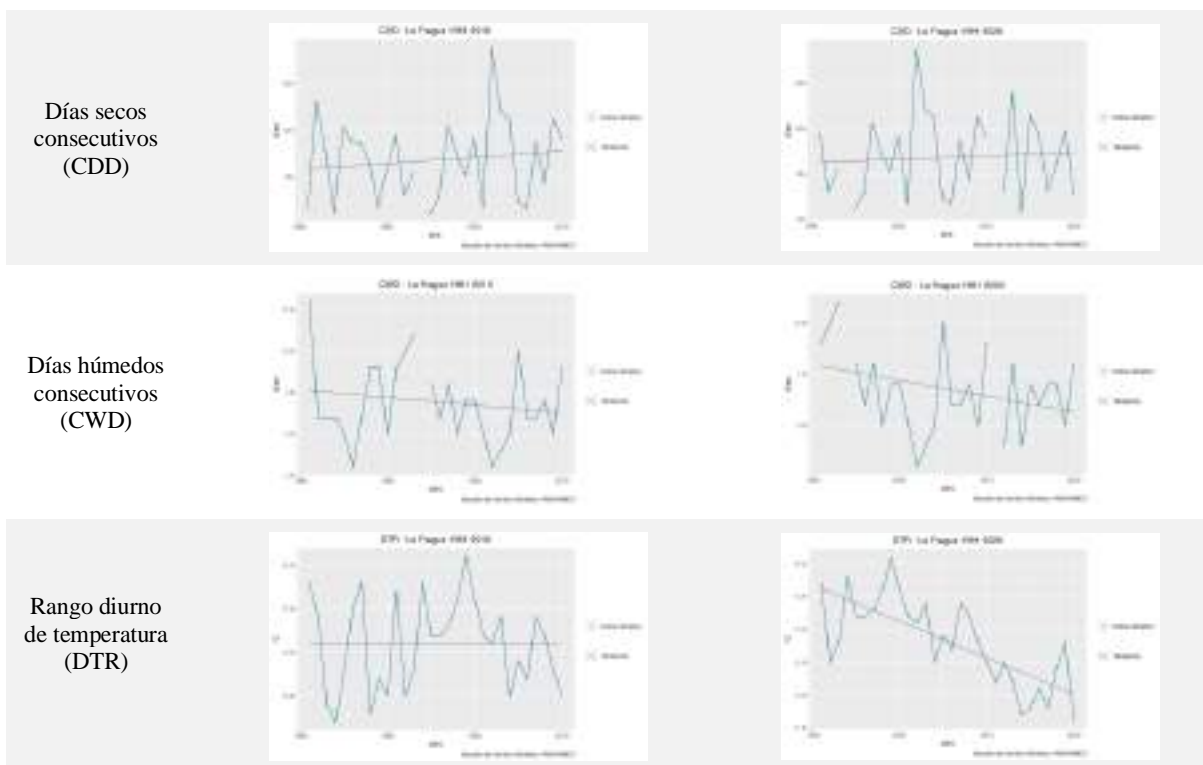


### 8.3. La Fragua

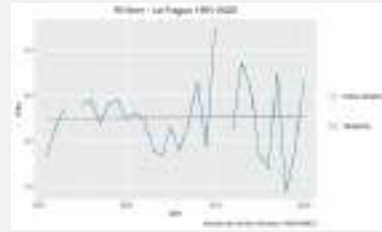
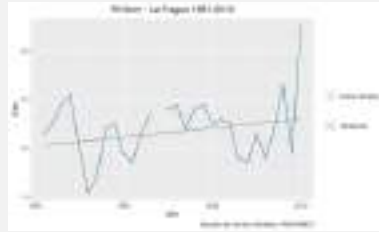
#### Índices Climáticos

#### Climatología 1981-2010

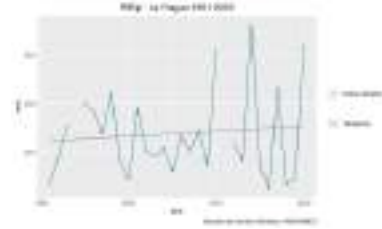
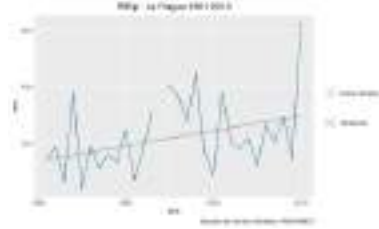
#### Climatología 1991-2020



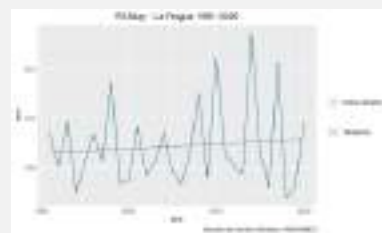
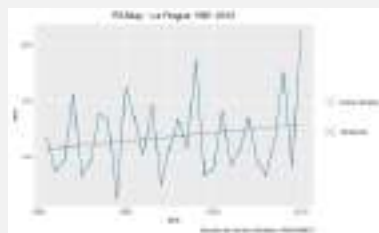
Número de días con precipitación intensa (R10mm)



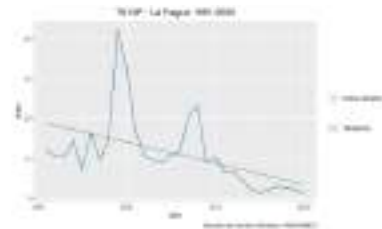
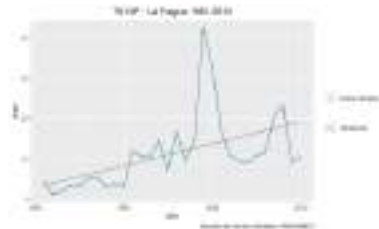
Días muy húmedos (R95p)



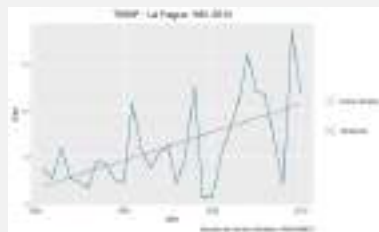
Cantidad máxima de precipitación en 5 días (Rx5day)



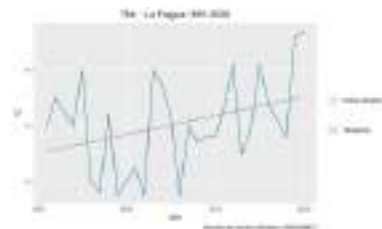
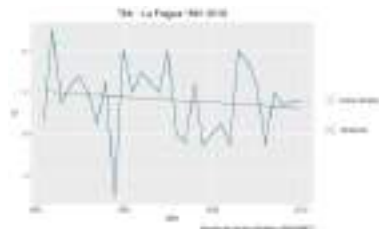
Noches frías (TN10p)



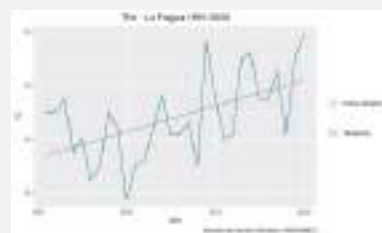
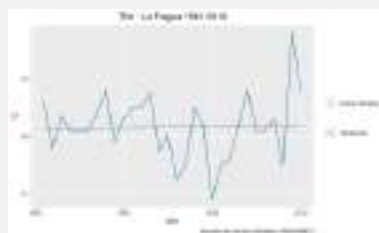
Noches calientes (TN90p)

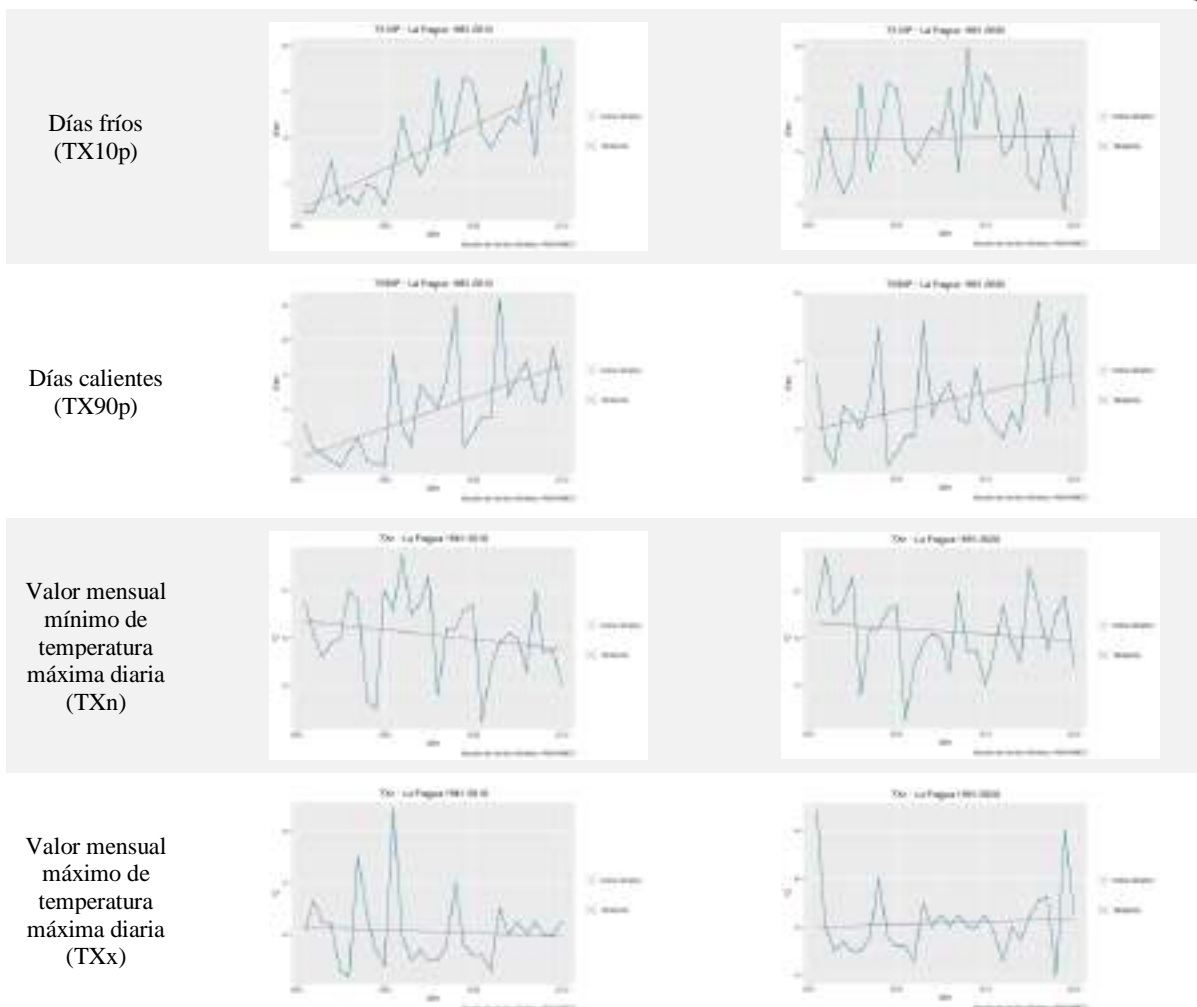


Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria (TNn)



Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria (TNx)



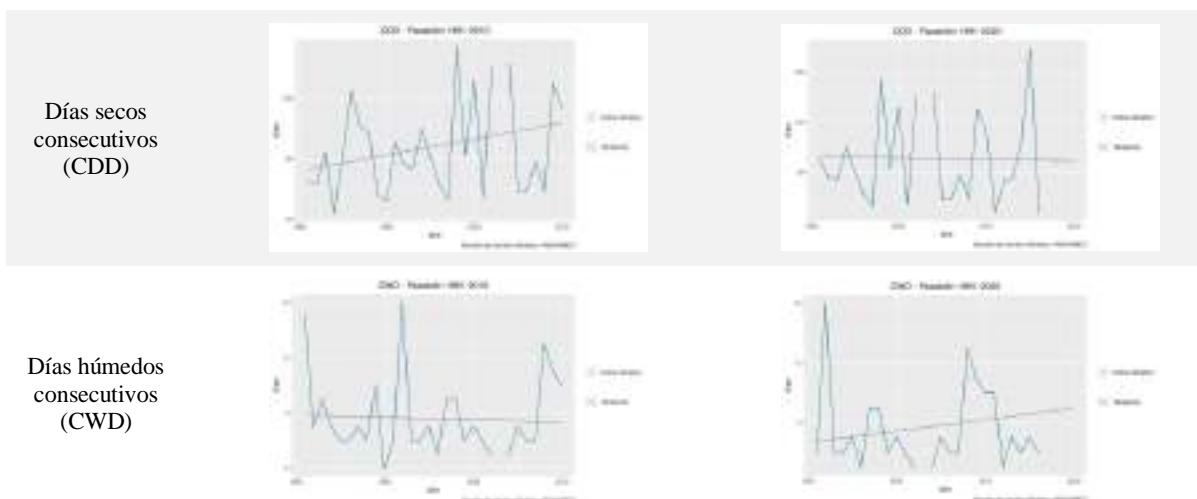


## 8.4. Pasabién

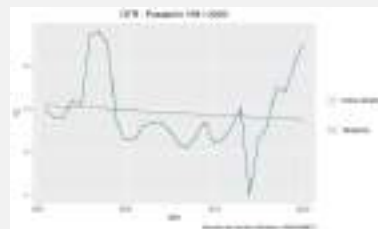
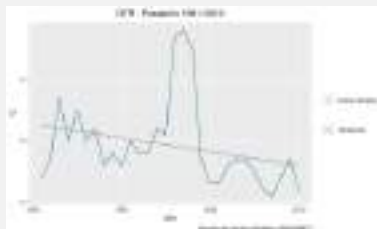
Índices Climáticos

Climatología 1981-2010

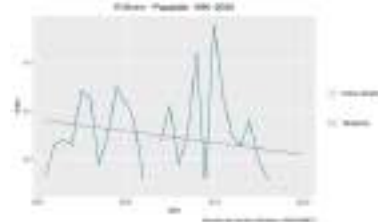
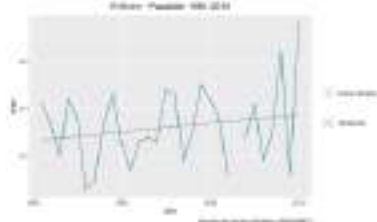
Climatología 1991-2020



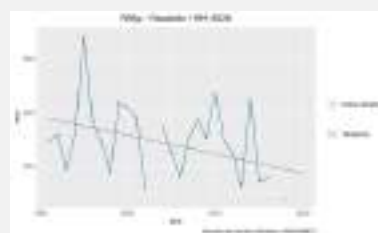
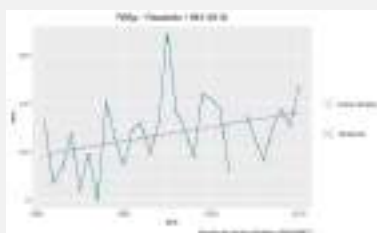
Rango diario de temperatura (DTR)



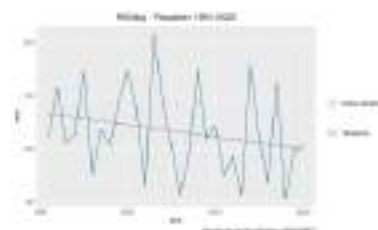
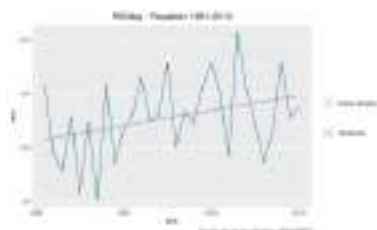
Número de días con precipitación intensa (R10mm)



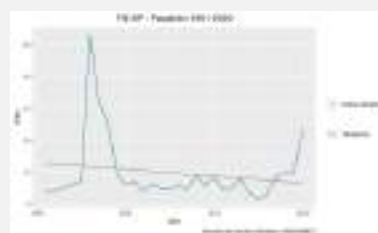
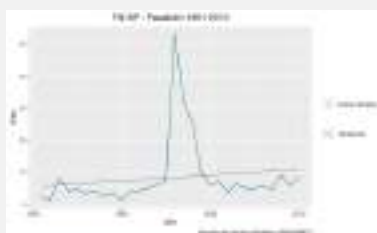
Días muy húmedos (R95p)



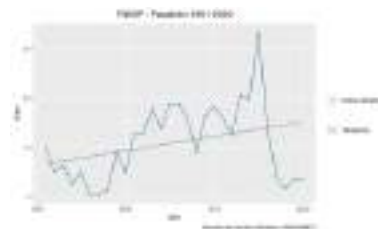
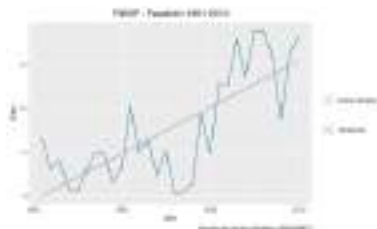
Cantidad máxima de precipitación en 5 días (Rx5day)



Noches frías (TN10p)



Noches calientes (TN90p)



Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria (TNn)

