



Adapt'Action

Estudio de riesgo ante al cambio climático de los sistemas costero-marino de la Republica Dominicana

**Apéndice B:
Análisis climático
Agosto, 2021**

Antonio Arenas, Andrea Tapia, Carol Franco, Laura Rathe,

Revisado por: Catherine Wallis (DAI)

Versión 1, presentada el 18 de agosto de 2021.

Descargo de responsabilidad: Esta asistencia técnica está financiada por la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) en el marco del Fondo Adapt'Action. Este Fondo comenzó en mayo de 2017 y está destinado a ayudar a los países africanos, los PMA y los PEID a implementar sus contribuciones determinadas a nivel nacional, con miras a poner en práctica el Acuerdo Climático de París, mediante la financiación de estudios y actividades prioritarias para la creación de capacidad y asistencia técnica. Los autores asumen toda la responsabilidad por el contenido de este documento. Las opiniones expresadas no reflejan necesariamente las de AFD o sus socios.

Los autores asumen la plena responsabilidad del contenido de este documento. Las opiniones expresadas no reflejan necesariamente las de la AFD o sus socios.

Contenido

- ANÁLISIS HISTÓRICO DE INDICADORES CLIMÁTICOS EXTREMOS PARA LAS COSTAS DE REPÚBLICA DOMINICANA
- INFORME DE DATOS CALIBRADOS, Evaluación de la calibración de datos de temperatura y precipitación para República Dominicana.
- ANÁLISIS DE DATOS: NIVEL DEL MAR
- ANÁLISIS DE DATOS: OLEAJE
- ANÁLISIS DE DATOS: TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR
- ÍNDICES CLIMÁTICOS EXTREMOS PARA LA COSTA DE REPÚBLICA DOMINICANA: PROYECCIONES RCP



18/MAYO/2020

INFORME

ANÁLISIS HISTÓRICO DE INDICADORES CLIMÁTICOS EXTREMOS PARA LAS
COSTAS DE REPÚBLICA DOMINICANA

ANDREA TAPIA

DIRECCIÓN, REVISIÓN Y APROBACIÓN
ANTONIO ARENAS



Índice General

Índice General.....	2
Índice de cuadros	4
Introducción.....	4
Metodología.....	5
Tratamiento base de datos climática.....	5
a. Outliers destacados	5
b. Estadísticas básicas de las estaciones.	5
c. Evaluación de calidad de datos.....	6
Análisis histórico de datos.....	7
Análisis geográfico de datos.....	8
Resultados.....	8
Tratamiento base de datos climática.....	10
a. Datos eliminados	10
b. Estadísticas básicas de las estaciones.	11
c. Evaluación de normalidad y tendencia.	16
Análisis histórico de índices climáticos extremos.....	18
Nivel de análisis 1: con todos los datos.....	18
Temperatura media mensual.....	18
Precipitación media	22
Índices de temperaturas extremas diarias	26
Frecuencia de días fríos (Tx10p).....	26
Indicadores de eventos extremos de precipitación	30
Máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1day).	30
Máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5day).....	33
Porcentaje del total de precipitación explicada por los días muy húmedos los cuales se ubican en el percentil 95 (R95pTOT).	36
Resumen de tendencias por década	39
Nivel de análisis 2: sin datos climáticos de eventos extremos (Anexo 3).....	40
Temperatura media.....	40
Índices de temperaturas extremas diarias	49
Frecuencia de días fríos (Tx10p), escenario 2.....	49
Frecuencia de días calurosos (Tx90p), escenario 2.....	51

Frecuencia de noches calurosas (Tn90p).....	54
Frecuencia de noches frías (Tn10p), escenario 2.	57
Índices de precipitación extremos	60
Máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1day).	60
Máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5day), escenario 2.	63
Porcentaje del total de precipitación explicada por días muy húmedos (R95pTOT), escenario 2.	65
Anexo 1. Registros de precipitaciones superiores a 150 mm por estación (en verde se denotan aquellos registros que se mantuvieron y no fueron eliminados).....	0
Anexo 2. Ubicación de archivos asociados al informe.....	3
Anexo 3. Datos eliminados para el escenario 2.....	4
Anexo 4. Datos por estación en los que se detectó variaciones de 10°C o más en días consecutivos para temperatura máxima y temperatura mínima.	0
Referencias	5

Índice de cuadros

Introducción

Este documento presenta la metodología y resultados obtenidos del análisis de datos climáticos de las estaciones meteorológicas ubicadas en las costas de República Dominicana. La información generada será utilizada para analizar las condiciones climáticas históricas y futuras con el fin de brindar insumos para la toma de decisiones. El análisis de dichos datos comprende una evaluación de la calidad de los datos presentada en el apartado “Tratamiento base de datos climática”, posteriormente se presenta el análisis histórico de datos.

Los datos fueron procesados utilizando diferente software y paquetes informativos con el fin de agilizar y facilitar la información necesaria para generar los gráficos de los índices climáticos extremos. En la sección de metodología se detalla respecto al software y paquetes informativos utilizados para llevar a cabo el análisis de datos climáticos.

En términos generales se muestra un aumento en los indicadores asociados a un incremento en la temperatura y eventos extremos de precipitación en las costas del país durante el periodo 1960-2018. En el Anexo 2 se muestra los respectivos links para acceder a los datos de los indicadores en formato .csv y shapefiles.

Cabe resaltar que se llevó a cabo un análisis histórico de datos bajo dos niveles de análisis: el primero contempla toda la base de datos con su respectiva evaluación de calidad y el segundo se construyó eliminando deliberadamente los datos de precipitación y temperatura acaecidos durante eventos climáticos extremos, los cuales se detallan en el Anexo 3.

Metodología

Existen diferentes herramientas y software para analizar datos climáticos diarios. El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) de Colombia desarrolló una herramienta denominada RCLimTool con el fin de facilitar el análisis estadístico, control de calidad, llenado de datos faltantes, análisis de homogeneidad y cálculo de indicadores de temperatura máxima, mínima y precipitación (Llanos, 2014). Dicha herramienta trabaja en el software estadístico R, el cual cuenta con una base sólida de usuarios e investigadores internacionales.

Por otro lado, existe la herramienta o paquete ClimPact el cual también trabaja en el software estadístico R. Este paquete se encarga de leer datos meteorológicos diarios de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, para entregar la frecuencia, duración y magnitud de eventos climáticos extremos relacionados con los sectores de agricultura, salud y recurso hídrico. Los índices que calcula este paquete han sido **recomendados por el “World Meteorological Organization’s Expert Team on Sector-Specific Climate Indices (ET-SCI)”**.

También se utilizó Excel para dar formato a las bases de datos, utilizar tablas dinámicas y filtros.

Tratamiento base de datos climática

El tratamiento de la base de datos climática contempla dos dimensiones: editar el formato de archivos según lo requerido por las herramientas y/o programas a utilizar para su análisis (Rclim, ClimPact y Excel) y la detección de datos “raros” o “atípicos”, mejor conocidos como “outliers”. La detección de “outliers” se llevó a cabo mediante tres tipos de evaluaciones: “outliers” destacados, estadísticas básicas de las estaciones y calidad de datos:

a. Outliers destacados

Durante la preparación de datos se observó algunos errores que fueron reportados y tratados. Se utilizó filtros inteligentes en Excel para identificar outliers destacados, por ejemplo, registros que reportan temperatura mínima de 0°C, temperatura máxima de 99°C, etc. Todos los “outliers” destacados que fueron deliberadamente eliminados se reportan en la sección de resultados.

b. Estadísticas básicas de las estaciones.

Se alistó los archivos en formato .csv con el formato requerido por la herramienta RCLim de RStudio. Luego, se procedió al análisis de estadísticas básicas de dicha herramienta. No se pudo contemplar el año 2019 dentro del análisis por la gran cantidad de datos faltantes (no registrados) en varias estaciones. Lo anterior ocasionaba errores de ejecución de la herramienta Rclim. Por tanto, ese año no fue contemplado en el análisis.

Las estadísticas básicas de las estaciones corresponden a: cantidad de datos (n), valor mínimo (min), valor máximo (max), el promedio (Media), varianza, desviación estándar (Desv.Est.), mediana, coeficiente de variación (CV%), cantidad de valores faltantes (NA), porcentaje de datos faltantes (NA%). Éstos son calculados realizados a través de la herramienta Rclim.

La evaluación de las estadísticas básicas permite identificar outliers y posteriormente decidir si deben ser eliminados o no. Adicionalmente, las estadísticas básicas, permiten conocer el

comportamiento de las variables de temperatura máxima, mínima y precipitación en el periodo (1960-2018).

c. Evaluación de calidad de datos.

Se utilizó la herramienta Rclim para llevar a cabo el análisis de la calidad de datos y su homogeneidad. El análisis de calidad de datos se refleja en cuatro parámetros:

1. Datos atípicos (%): Porcentaje de datos diarios de una estación que se encuentra fuera del rango establecido por 3 desviaciones estándar. Se calcula para las tres variables (temperatura máxima, mínima y precipitación). Si se detecta que el valor reportado para un día de cualquiera de las tres variables se sale del rango de 3 desviaciones estándar, se considera como dato atípico, o outlier. La determinación de 3 desviaciones estándar es una práctica común para detectar outliers (Hunt, 2007; Leys et al., 2013). Se utiliza como criterio en diferentes áreas de la ciencia. Es común su uso porque, en la estadística clásica, cuando un set de datos muestra una distribución normal aquellas observaciones o registros que estén alejados del promedio por dos o tres desviaciones estándar se considera como atípicos (Seo, 2012).
2. Datos $t_{max} < t_{min}$ (%): Porcentaje de datos diarios en los que se reporta que la temperatura máxima fue menor a la mínima. Los datos identificados como tal serán indicados como NA, es decir son eliminados.
3. Datos variación >10 (%): Únicamente para las variables de temperatura máxima y mínima, ya que hace referencia al porcentaje de datos diarios que presentan una variación de temperatura mayor a 10°C . La variación de 10°C lo establece el programa por defecto como un criterio a considerar para la posible detección de datos atípicos.
4. Datos consecutivos (%): Porcentaje de datos diarios iguales por un periodo mayor a cinco días consecutivos, éstos se identifican como NA, es decir son eliminados.

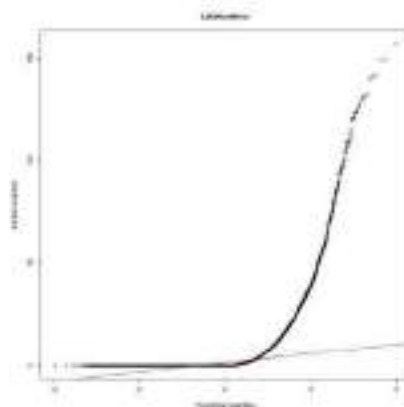
Producto del análisis de calidad, el programa elimina datos que registran valores de temperatura máxima menores a la temperatura mínima y los datos que por un periodo mayor a cinco días registra el mismo valor. Si bien la herramienta calcula el porcentaje de datos diarios atípicos de la variable precipitación, no se considera que sea un criterio importante para identificar outliers porque la precipitación diaria no tiene una distribución normal.

Se registraron todos aquellos valores que fueron eliminados de las bases de datos y sus causas. Se debe indicar que se descartaron los datos de la estación “La Unión Puerto Plata”, ya que únicamente contaba con datos de 1960-1976.

La herramienta Rclim construye gráficos de normalidad QQ, los cuales son presentados para cada una de las estaciones analizadas. Los gráficos de normalidad QQ generados por la herramienta se construyen comparando los datos obtenidos con una distribución teórica. Este tipo de gráficos permite detectar el grado de dispersión de los datos. Es de esperar una tendencia a la distribución normal o forma de campana de Gauss para los datos de temperatura máxima y mínima, no así para los de precipitación (Wilks, 2013). Por tanto, la distribución de las observaciones o datos registrados de temperatura deben mostrarse cerca de la línea teórica de distribución normal.

A manera de ejemplo, en la figura 2 se muestra el gráfico de normalidad QQ de la precipitación, en la que se evidencia una distribución no-normal de datos.

Figura 1. Gráfico normalidad QQ de precipitación para la estación La Unión Aeropuerto.



Otros indicadores de homogeneidad y calidad de los datos que se estimaron fueron el rango de correlación de Spearman y el test de Mann-Kendall, ambos sirven para saber si los datos muestran una tendencia, cualquier que ésta sea. En términos generales, lo que interesa conocer de estos indicadores es si existe o no una tendencia en los datos con el fin de saber si se pueden utilizar para hacer predicciones futuras.

Además, con la herramienta Rclim se rellenó los campos de datos faltantes de las tres variables: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación; entiéndase datos faltantes como aquellos que no se registraron y aquellos que fueron debidamente eliminados producto del análisis outliers destacados, estadísticas básicas y evaluación de calidad de datos.

Análisis histórico de datos

Se utilizó el paquete ClimPact disponible en Rstudio para estimar los índices climáticos extremos: promedio de temperatura mensual y anual, promedio de precipitación acumulada mensual y anual, frecuencia de días calurosos (TX90p), frecuencia de días fríos (TX10p), frecuencia de noches calurosas (Tn90p), frecuencia de noches frías (TN10p), la máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1day), la máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5day), porcentaje del total de precipitación explicada por los días muy húmedos los cuales se ubican en el percentil 95 (R95pTOT). El periodo de referencia establecido fue de 1960-1990.

Cabe destacar que, el paquete ClimPact permite estimar una gran cantidad de índices climáticos extremos, mensuales y anuales. Dado que el paquete estima todos ellos, se cuenta con una mayor cantidad de índices climáticos para todas las estaciones analizadas de las zonas costeras de República Dominicana. El listado completo de los índices que estima el paquete ClimPact se puede encontrar en la página web <https://climpact-sci.org/assets/climpact2-user-guide.pdf>

Se utilizó los parámetros por defecto que sugiere el programa para hacer el cálculo de todos los índices. Los indicadores se calcularon para dos niveles analíticos: el primero contempla los datos completos con el “tratamiento base de datos climática”, el segundo ha sido construido excluyendo datos de eventos hidrometeorológicos extremos históricos conocidos. En el Anexo 3 se muestra el detalle de los datos eliminados para cada estación según el evento registrado. En el segundo nivel analítico se eliminó deliberadamente los datos de temperatura y precipitación, independientemente de su magnitud según lo que se muestra en el Anexo 3. Adicionalmente, se llevó a cabo un proceso de búsqueda de datos extremos que hayan sido rellenados por el paquete Rclim para eliminar aquellos datos de precipitación superiores a 150 mm (USAID, 2013).

Análisis geográfico de datos

Existen diferentes métodos para interpolar datos, los más utilizados son Kriging, IDW y Spline. Dado que, la distancia promedio entre las estaciones es de 63 Km, y se trabaja únicamente con 12 estaciones se deshecha la posibilidad de trabajar con el método de interpolación IDW, el cual considera un peso muy grande a la distancia entre los puntos que se van a interpolar.

El método de interpolación Kriging es complejo porque se debe llevar a cabo un análisis exhaustivo del comportamiento de los datos para poder definir los parámetros óptimos con el fin de llevar a cabo la interpolación. Por su parte, el método Spline es más sencillo que Kriging y se ha creado un algoritmo denominado “Multilevel b-spline” el cual permite mejorar el desempeño del método de interpolación Spline utilizando muestras dispersas e irregulares (Lee et al. 1997). Dado que se cuenta con datos dispersos e irregulares, se procedió a interpolar los índices climáticos extremos anuales utilizando el método Multilevel b-spline.

Posteriormente se utilizó el shapefile de República Dominicana del proyecto GADM¹ para delimitar la línea costera y estimar un área de amortiguamiento o buffer de 25 Km hacia dentro de la isla delimitando así la zona costera. El área de costa luego fue utilizada para recortar los archivos raster producto de la interpolación de datos.

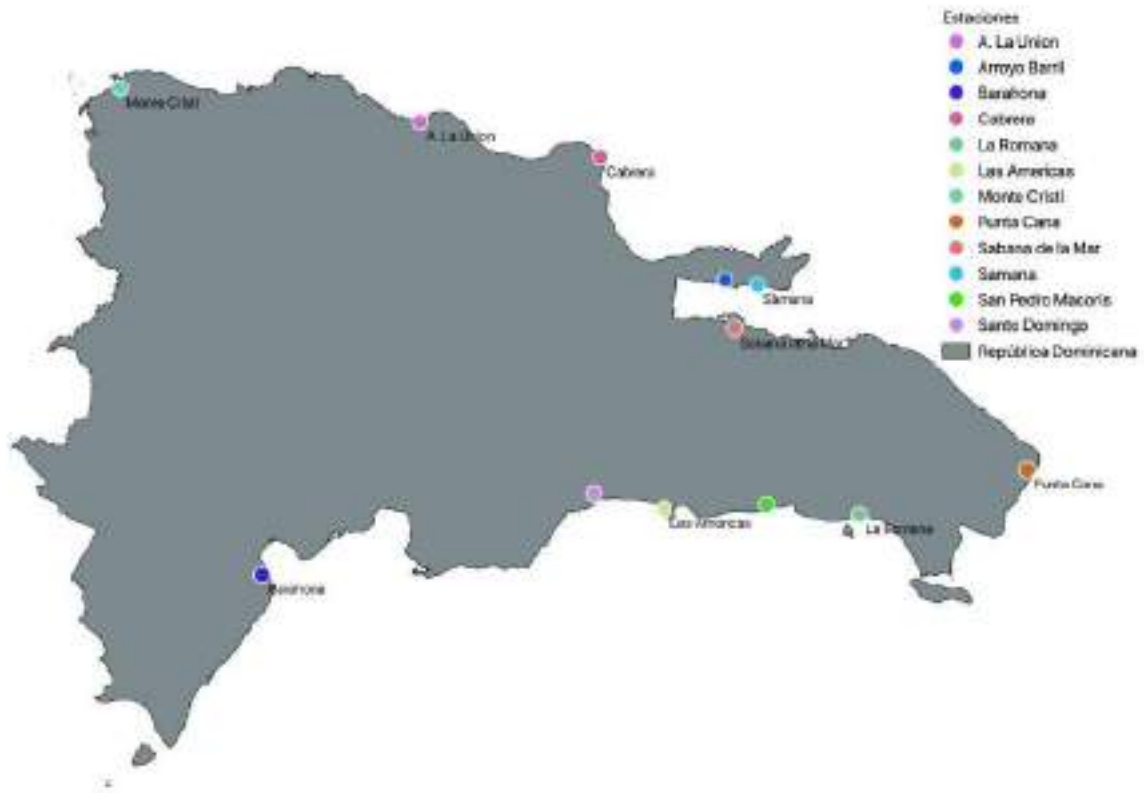
Cabe mencionar que se interpoló los datos de los indicadores climáticos extremos de los dos niveles analíticos mencionados. Se estimó el promedio de los indicadores climáticos extremos para cada década (1990-1999, 2000-2009, 2010-2018) utilizando los datos de los archivos ráster generados con el fin de visualizar las tendencias en mapas y cuadros resumen.

Resultados

En la Figura 1 se puede ver la distribución espacial de las estaciones que se utilizaron para el análisis del periodo 1960-2018.

Figura 2. Ubicación de estaciones utilizadas para el análisis histórico 1960-2018.

¹ <https://gadm.org>



Tratamiento base de datos climática

a. Datos eliminados

Se eliminó datos de temperatura mínima y máxima en algunas estaciones por presentar inconsistencias que se detallan en el cuadro 1. Posteriormente estos datos fueron rellenados utilizando el paquete Rclim.

Cuadro 1. Identificación de datos eliminados por estación y la causa.

Estación	Variable	Fecha(s)	Causa
Arroyo Barril	Temperatura mínima	29-Marzo-2015	Registra un valor de 2.6°C
Catey	Temperatura máxima	24-Enero-2019	Registra un valor de 3.4 °C
	Temperatura mínima	17-Febrero-2015	Registra un valor de 2 °C
La Romana	Temperatura mínima	23-Diciembre-2014	Registra un valor de 165.5 °C
		31-Diciembre 2007	Registra un valor de 2 °C
		6-Diciembre.2019	Registra un valor de 0 °C
Las Américas	Temperatura mínima	27-Junio-2007	Registra un valor de 2.4 °C
Monte Cristi	Temperatura mínima	31-Julio-2007	Registra un valor de 74 °C
		22-Julio-2007	Registra un valor de 73.7 °C
		24-Abril-2019	Registra un valor de 2.2 °C
		11-Mayo-2019	Registra un valor de 2.7 °C
	Temperatura máxima	Abril hasta diciembre 2019	Los datos de temperatura mínima y máxima son iguales. Por los valores es evidente que se trata de temperatura mínima, por lo que únicamente se eliminan los registros de temperatura máxima.
Punta Cana	Temperatura mínima	12-Febrero-2001	Registra un valor de 99.9 °C
Sabana de Mar	Temperatura mínima	31-Mayo-2015	Registra un valor de 0 °C
	Temperatura mínima	Todo el año 1966	Temperatura mínima registrada coincide con los datos de precipitación

b. Estadísticas básicas de las estaciones.

En los cuadros 2 y 3 se muestra los estadísticos generales y el análisis de calidad de datos de la variable temperatura mínima, respectivamente. Con asterisco se han señalado los datos que sobresalen.

Cuadro 2. Estadísticos generales de las estaciones meteorológicas para la variable temperatura mínima del periodo 1960-2018.

Parámetro	A. La Unión	Las Américas	Puerto Plata	Smar	Samana	SPM	Cabrera	Arroyo Barril	Barahona	Catey	Monte Cristi	Punta Cana	Sto Domingo	La Romana
n	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550
Min	10.6	10.3*	15	11.5	14.5	13.6	11.5	12.8	10.5	11.1	13.2	10.8	12.9	12
Max	29.6	34	27	32	29.5	35.2	29	34	32.2	32.5	35.3*	32.7	29.6	31.4
Media	20.648	21.387	21.802	20.655	21.85	22.488	22.707	21.63	22.569	21.439	21.708	23.166	22.211	20.758
Varianza	4.333	3.972	3.453	3.846	4.473	7.962	4.241	2.773	4.069	2.93	3.949	4.646	3.54	4.644
Desv. Est	2.082	1.993	1.858	1.961	2.115	2.822*	2.059	1.665	2.017	1.712	1.987	2.155	1.881	2.155
Mediana	20.8	21.6	22	21	22	22.4	23	21.9	22.6	21.7	22	23.3	22.3	21
CV %	10.081	9.319	8.523	9.495	9.679	12.548	9.069	7.699	8.938	7.984	9.154	9.304	8.471	10.382
NA	6708	1480	17916	840	8852	5545	12182	7009	2744	19001	8026	1913	127	12511
NA %	31.128	6.868	83.137*	3.898	41.077	25.731	56.529	32.524	12.733	88.172*	37.244	8.877	0.589	58.056

En el cuadro anterior se observa que las estaciones Puerto Plata y Catey tienen un porcentaje elevado de datos faltantes, más de 80% lo cual representa aproximadamente 47 años. La estación Monte Cristi presenta el valor más alto de temperatura mínima con 35.3°C, seguido por SPM con 35.2°C, Las Américas y Arroyo Barril, ambos con 34°C. Por su parte, Las Américas despliega el valor más bajo de temperatura mínima con 10.3°C, seguido por Barahona con 10.5°C y La Unión con 10.6°C. La estación que presenta la desviación estándar más alta es SPM con 2.82°C.

Cuadro 3. Información de la evaluación de calidad de la variable temperatura mínima por estación meteorológica en el periodo 1960-2018.

Estación	% Datos atípicos	% Datos tmax<tmin	% Datos variación> 10	% Datos consecutivos	% Total datos NA
A. La Unión	0.14	0	0.08	0.02	31.17
Las Américas	0.65	0	0.05	0.3	7.19
Puerto Plata	0.07	0	0	0.02	83.16*
Smar	0.56	0	0.04	0.79	4.71
Samana	0.11	0	0.01	0.98*	42.06
SPM	0.84*	1*	0.04	0.19	27.38
Cabrera	0.3	0	0.01	0.14	56.68
Arroyo Barril	0.29	0	0.11*	0.46	33.03
Barahona	0.16	0	0.01	0.16	12.9
Catey	0.05	0	0.01	0.09	88.27*
Monte Cristi	0.16	0	0.03	0.19	37.44
Punta Cana	0.67	0	0.06	0	8.94
Sto Domingo	0.29	0	0.02	0.18	0.77
La Romana	0.11	0	0.01	0.41	58.46

Según la información del cuadro anterior el porcentaje de datos diarios atípicos es, por lo general bajo; no obstante, la estación SPM es la que presenta el valor más alto con 0.84%, lo cual representa 181 días dentro del periodo. Un análisis más exhaustivo de los datos que se detectaron como outliers, permitió identificar que, para esa estación, en el año 1993 se registró como temperatura mínima los datos correspondientes a temperatura máxima. Lo anterior llevó a registrarse un número elevado del porcentaje de datos donde la temperatura máxima es menor a la temperatura mínima. El paquete identifica ese tipo de datos y los elimina automáticamente.

En cuanto al criterio “% Datos tmax<tmin”, si bien los datos de la tabla no reflejan registros para la mayoría de las estaciones, el programa sí encontró datos diarios en los que se presentó ese problema. Estos datos son eliminados automáticamente por la herramienta.

Por otra parte, se observan algunos datos que cuentan con una variación de temperatura mayor a 10°C, sin embargo, no se considera que sean datos cuantiosos, el mayor porcentaje se encuentra en la estación Arroyo Barril, con aproximadamente 23 días. Si bien una variación de 10°C en un día puede alertar sobre datos erróneos, no se considera que sea necesario eliminarlos porque no suceden frecuentemente y pueden estar reflejando una situación específica que debe ser analizada. En el Anexo 4 se puede encontrar los listados de días para cada estación y los valores correspondientes a este criterio.

El criterio de “% datos consecutivos” tampoco indica un número elevado de ocurrencias. Todos ellos son eliminados automáticamente por la herramienta.

En los cuadros 4 y 5 se muestra los estadísticos generales y el análisis de calidad de datos de la variable temperatura máxima, respectivamente. Con asterisco se han señalado los datos que destacan.

Cuadro 4. Estadísticos generales de las estaciones meteorológicas para la variable temperatura máxima del periodo 1960-2018.

Parámetro	A. La Unión	Las Americas	Puerto Plata	Smr	Samana	SPM	Cabrera	Arroyo Barril	Barahona	Catey	Monte Cristi	Punta Cana	Sto Domingo	La Romana
n	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550	21550
Mín	20	13.4*	20.7	19.5	20	19.7	16.1	19	18.5	23	20	14.3	20	21.4
Máx	39.8*	39	36.5	39	39.2	36.6	37	39.4	38	38	39.4	39.8*	37.2	37.7
Media	31.144	30.692	29.71	29.813	31.228	30.721	30.064	31.182	30.855	30.227	31.689	29.989	30.82	31.414
Varianza	5.447	4.377	4.657	2.953	3.687	4.053	3.773	2.744	2.425	3.881	5.279	3.416	2.227	3.062
Desv.Est	2.334*	2.092	2.158	1.718	1.92	2.013	1.942	1.657	1.557	1.97	2.298*	1.848	1.492	1.75
Mediana	31.3	31	30	30	31.5	31	30.1	31.4	31	30.5	32	30	31	31.5
CV %	7.494	6.817	7.264	5.764	6.149	6.553	6.461	5.312	5.047	6.517	7.25	6.163	4.842	5.57
NA	6745	1352	17916	489	8692	5799	12400	7270	2804	19111	8399	1730	72	12449
NA %	31.299	6.274	83.137*	2.269	40.334	26.91	57.541	33.735	13.012	88.682*	38.974	8.028	0.334	57.768

En el cuadro anterior, al igual que lo reportado en el análisis estadístico básico de la temperatura mínima, se observa que las estaciones Puerto Plata y Catey tienen un porcentaje elevado de datos faltantes, más de 80%, lo cual representa aproximadamente 47 años. Las estaciones La Unión y Punta Cana reportan el valor más alto del máximo de temperatura registrado con 39.8°C. La Unión lo reportó el día 2 de diciembre de 1994, mientras que Punta Cana lo hizo para el día 22 de noviembre del 2001. Las estaciones La Unión y Monte Cristi presentan el dato más alto de desviación estándar con 2.3°C.

Cuadro 5. Información de la evaluación de calidad de la variable temperatura máxima por estación meteorológica en el periodo 1960-2018.

Estación	% Datos atípicos	% Datos tmax<tmin	% Datos variación> 10	% Datos consecutivos	% Total datos NA
A. La Union	0.49	0	0.08	0	31.32
Las Americas	1.93*	0	0.05	0.31	6.6
Puerto Plata	0.12	0	0	0	83.14*
Smar	0.57	0	0.04	1.53*	3.82
Samana	0.39	0	0.01	1.52*	41.86
SPM	0.93	1*	0.04	0.1	28.47
Cabrera	0.18	0	0.01	0.17	57.72
Arroyo Barril	0.61	0	0.11*	0.26	34.04
Barahona	0.53	0	0.01	0.71	13.74
Catey	0.03	0	0.01	0.02	88.71*
Monte Cristi	0.38	0	0.03	0.22	39.21
Punta Cana	0.38	0	0.06	0.18	8.26
Sto Domingo	0.84	0	0.02	0.22	0.57
La Romana	0.28	0	0.01	0.07	57.84

Según la información del cuadro anterior el porcentaje de datos diarios atípicos es, por lo general bajo. La estación Las Américas es la que presenta el valor más alto con 1.93%, lo cual representa 415 días dentro del periodo de análisis. Se llevó a cabo un escrutinio en la base de datos y se encontró en todos los registros del año 1979, valores de temperatura máxima muy por debajo a otros años y a aquellos registrados por las estaciones cercanas. Por esta razón se procedió a eliminar los datos de temperatura máxima de ese año para la estación Las Américas.

En cuanto al criterio “% Datos tmax<tmin”, si bien los datos de la tabla no reflejan registros para la mayoría de las estaciones, el programa sí encontró datos diarios en los que se presentó ese problema. Estos datos son eliminados automáticamente por la herramienta. Se reitera que para la estación SPM se encontró que en el año 1993 se registraron datos de temperatura máxima menor a la temperatura mínima.

El criterio de “% datos consecutivos” indica un número relativamente elevado de ocurrencias en las estaciones SPM y Samana, con aproximadamente 329 días. Todos ellos son eliminados automáticamente por la herramienta.

En el cuadro 6 se muestra los estadísticos generales de la variable precipitación. Con asterisco se han señalado los datos que destacan

Cuadro 6. Estadísticos generales de las estaciones meteorológicas para la variable precipitación del periodo 1960-2018.

Parámetro	A. La Union	Las Americas	Puerto Plata	Smar	Samana	SPM	Cabrera	Arroyo Barril	Barahona	Catey	Monte Cristi	Punta Cana	Sto Domingo	La Romana
n	21915	21915	21915	21915	21915	21915	21915	21915	21915	21915	21915	21915	21915	21915
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	272.8	292.2	169.7	273.4	239.2	402.6*	214.9	211.4	562.9*	210.1	260.4	257.4	409.3*	415*
Media	4.622	3.495	5.009	6.289	6.52	2.979	5.024	6.031	2.854	7.099	1.77	3.213	4.361	2.939
Varianza	169.005	143.031	215.254	194.739	188.095	118.768	146.752	174.382	174.833	223.53	65.998	97.182	170.093	130.486
Desv.Est	13	11.96	14.672	13.955	13.715	10.898	12.114	13.205	13.222	14.951	8.124	9.858	13.042	11.423
Mediana	0	0	0	0.6	1.3	0	0	0.5	0	1	0	0	0	0
CV %	281.268	342.19	292.904	221.894	210.349	365.83	241.125	218.958	463.295	210.606	458.978	306.819	299.059	388.671
NA	7062	2109	18323	510	1655	6739	7711	7759	2864	18503	8804	1964	1889	13352
NA %	32.225	9.624	83.609*	2.327	7.552	30.751	35.186	35.405	13.069	84.431*	40.173	8.962	8.62	60.926

Los datos extremos de precipitación diaria reportados para las estaciones SPM, Barahona, Santo Domingo y La Romana sugieren ser datos erróneos debido a que las fechas cuando se reportan los datos extremos en las estaciones no coinciden entre sí. Adicionalmente se eliminaron los datos de precipitación de las estaciones que registraron valores superiores a 150 mm que **NO** se explican por un evento hidrometeorológico conocido. El listado de los registros eliminados bajo ese criterio se muestra en el Anexo 1. Es importante recalcar que en todas las estaciones (excepto Barahona, Monte Cristi y Punta Cana) se encontró un evento de precipitación mayor a 150 mm el día 31 de agosto de 1979, el cual corresponde a la ocurrencia de los huracanes Frederic y David.

Cuadro 7. Registros extremos de precipitación detectados en las bases de datos por estación.

Estación	Precipitación	Fecha
SPM	402.6	17-Junio-1970
Barahona	562.9	6-Mayo-1974
Santo Domingo	409.3	22-Setiembre-1998
La Romana	415	22-Setiembre-2008

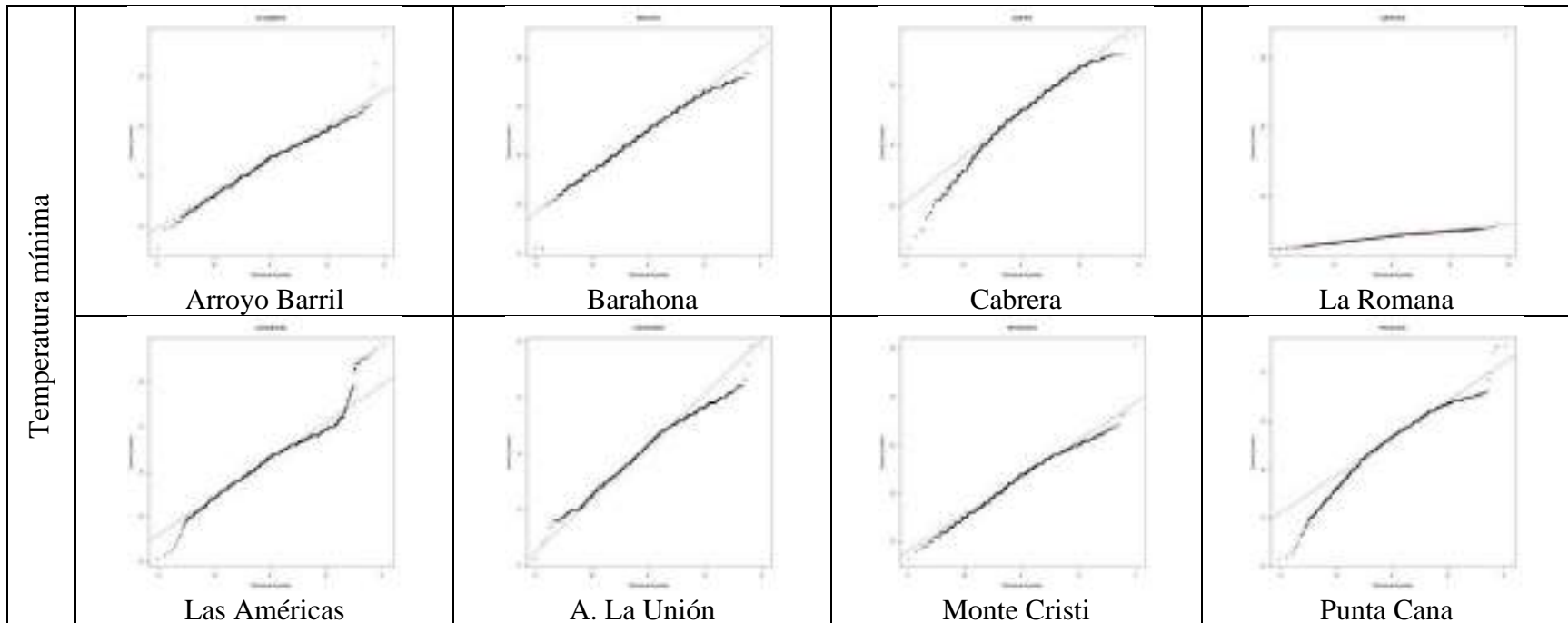
Se procedió a eliminar los valores extremos reportados en el cuadro anterior. Adicionalmente se llevó a cabo una evaluación de los máximos de precipitación de todas las estaciones con el fin de identificar datos posiblemente erróneos, USAID (2013) eliminó todos los datos sobre los 150 mm en su estudio de vulnerabilidad en la República Dominicana, se utilizó este mismo criterio considerando que en todas las estaciones el percentil 0.999 de los datos de precipitación no superan los 130 mm.

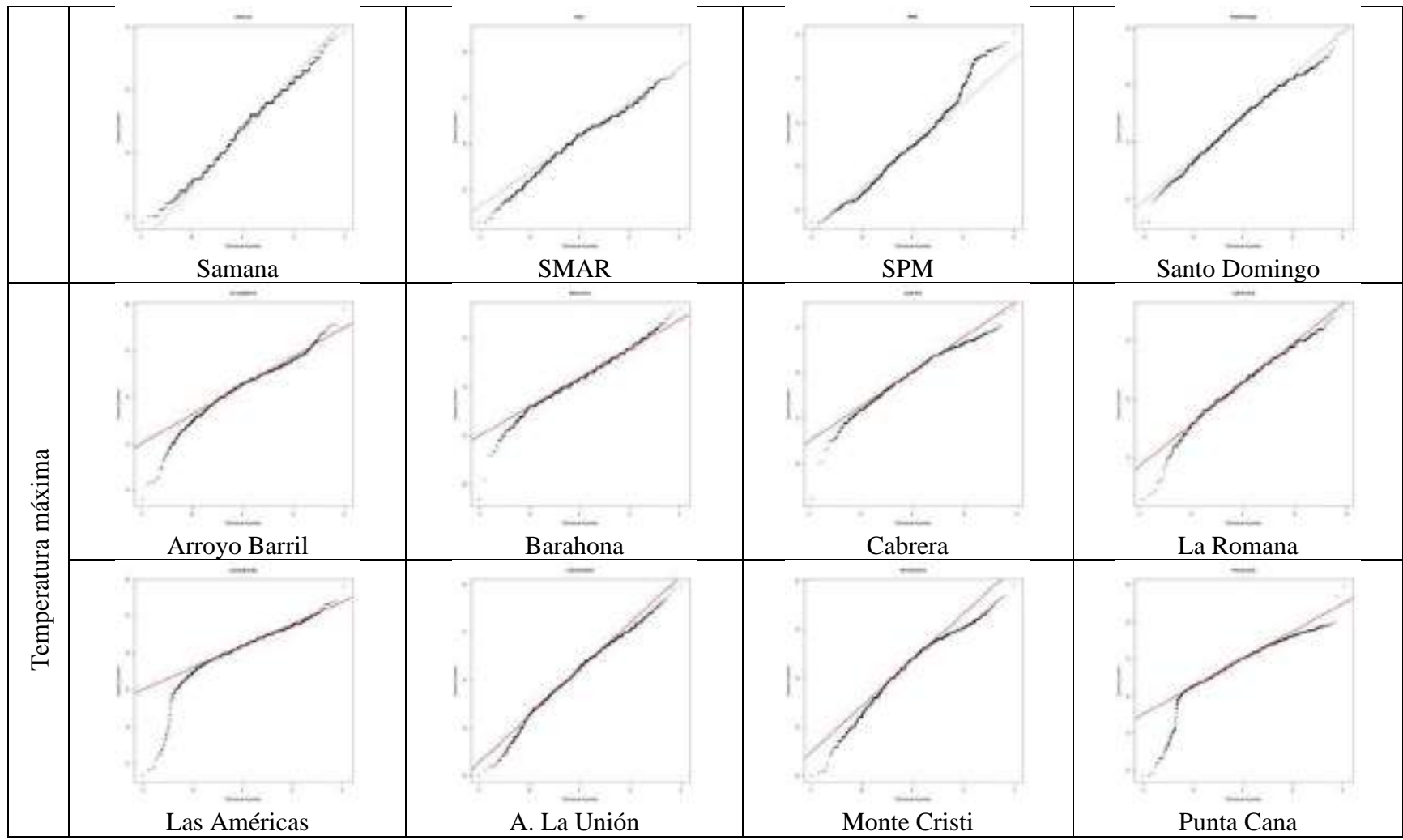
Dado que las estaciones Catey y Puerto Plata presentan vacíos importantes de datos, fueron desechadas para el análisis de normalidad, tendencia y estimación de índices extremos.

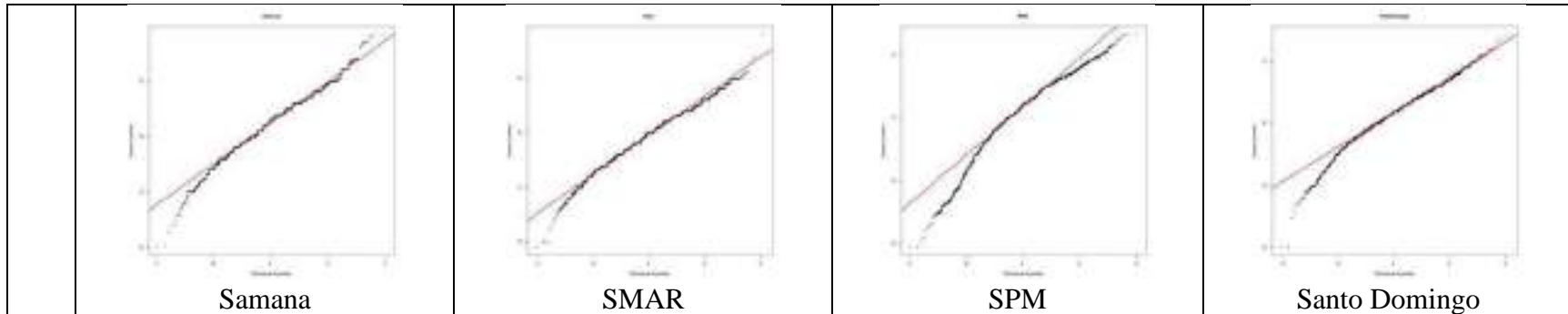
c. Evaluación de normalidad y tendencia.

En el siguiente cuadro se muestra los gráficos de normalidad para cada una de las estaciones de acuerdo con las variables de temperatura mínima y máxima. En una distribución normal o de campana de Gauss de datos, debe de observarse los puntos cercanos a la línea roja. Muchas estaciones muestran una tendencia a la distribución normal o de campana de Gauss, es así como se evidencia mayor concentración de valores con magnitud media y pocos valores en los extremos. Cuando los puntos se alejan de la línea roja indican que no existe una distribución normal de los datos, es decir que hay un incremento en la ocurrencia de valores extremos.

Cuadro 8. Gráficos QQ de normalidad por estación.







Aunque se observa algunas colas en los gráficos QQ, en general se observa una tendencia de normalidad. Por otra parte, tanto la correlación Spearman como el test de Mann-Kendall, indican que todas las estaciones muestran una tendencia para la variable de temperatura mínima, excepto Arroyo Barril. Lo anterior implica que, probablemente los datos de temperatura mínima de la estación Arroyo Barril no muestren marcadas tendencias cuando sean utilizados en el cálculo de índices climáticos extremos.

Sin embargo, para la temperatura máxima sí se muestra una tendencia en todas las estaciones para ambos indicadores (correlación Spearman y test de Mann-Kendall).

Dado que se eliminaron datos outliers o atípicos, se observa cierta normalidad en la distribución de los datos de temperatura mínima y extrema y los indicadores de correlación de Spearman y test de Mann-Kendall demuestran que existe una tendencia en los datos de temperatura mínima y máxima, se considera que se puede utilizar los datos para la estimación de los índices extremos con el relleno de datos faltantes realizado por la herramienta Rclim.

Análisis histórico de índices climáticos extremos

Nivel de análisis 1: con todos los datos.

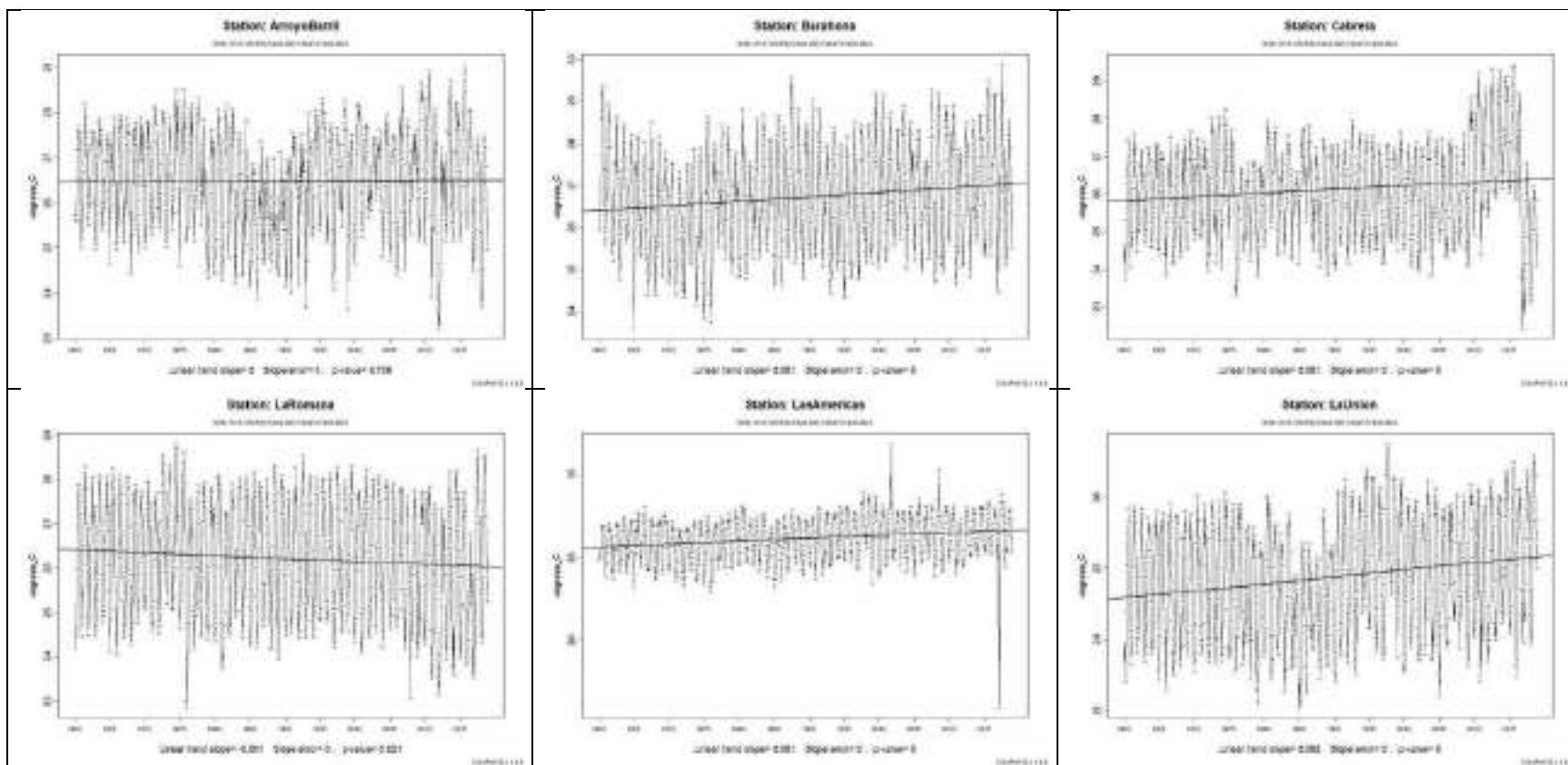
Es importante mencionar que las estaciones que reportan un p-value menor de 0.05, indican un nivel de **confiabilidad del 95%**.

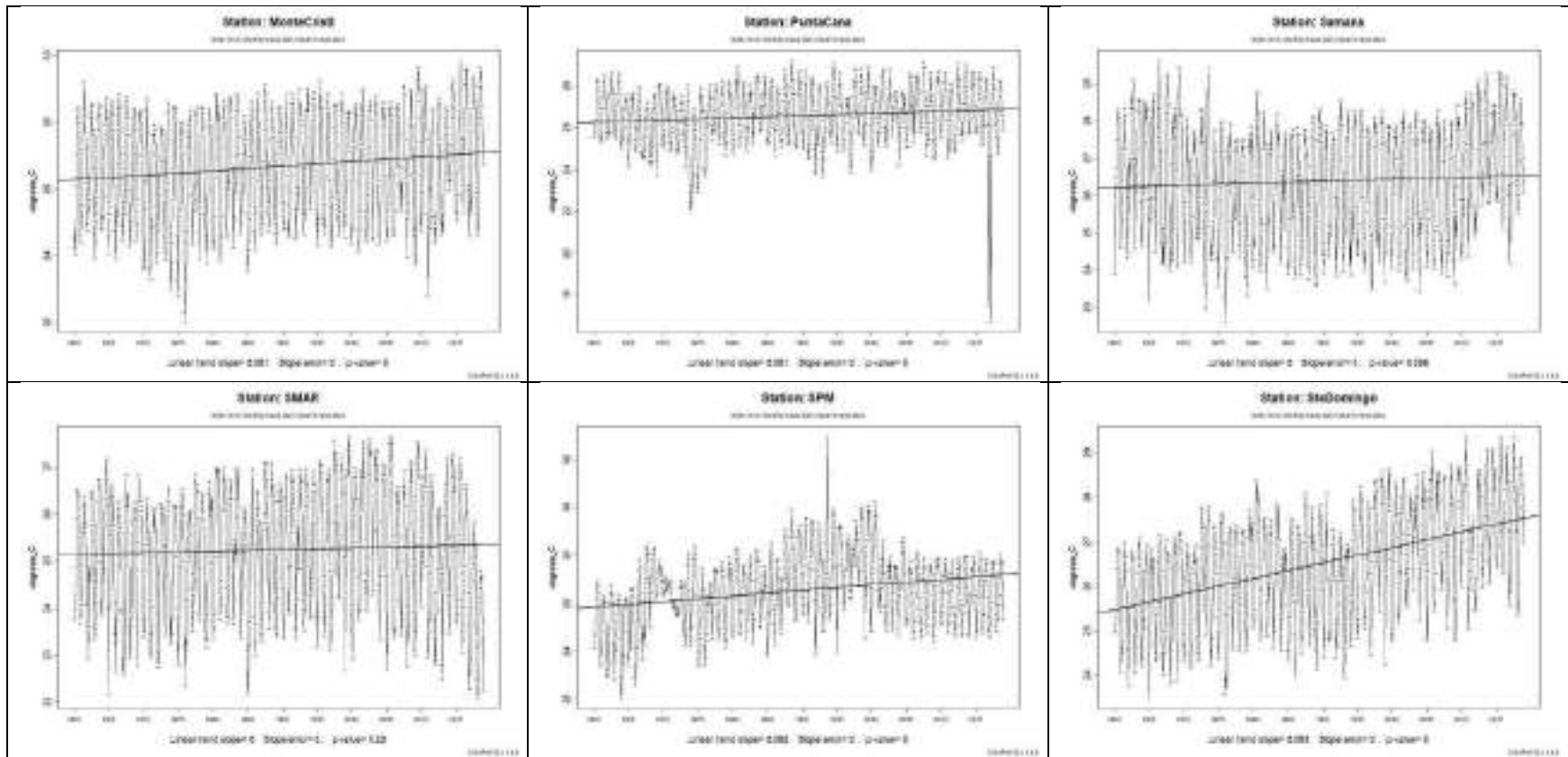
Temperatura media mensual

En el cuadro 9 se muestra los gráficos de *temperatura media mensual* para el período 1960-2018 de cada una de las estaciones. La estación de Santo Domingo presenta el mayor aumento en temperatura con una pendiente de 0.003, lo cual implica un incremento de

2°C para todo el periodo. La estación Arroyo Barril no muestra una tendencia marcada, mientras que la estación La Romana es la única estación que muestra una leve disminución de temperatura de casi 0.7°C para el periodo de análisis.

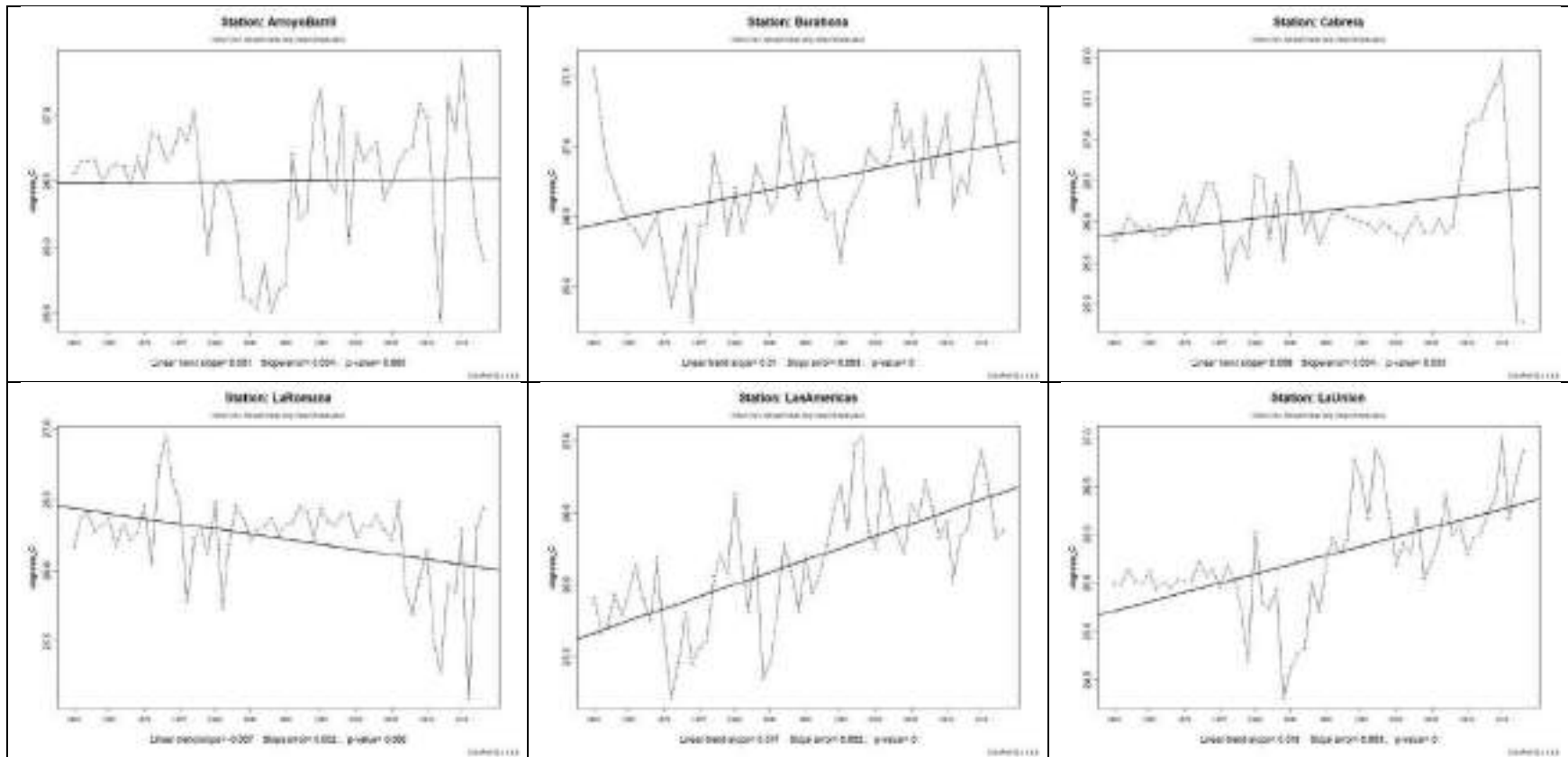
Cuadro 9. Temperatura promedio mensual de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018.

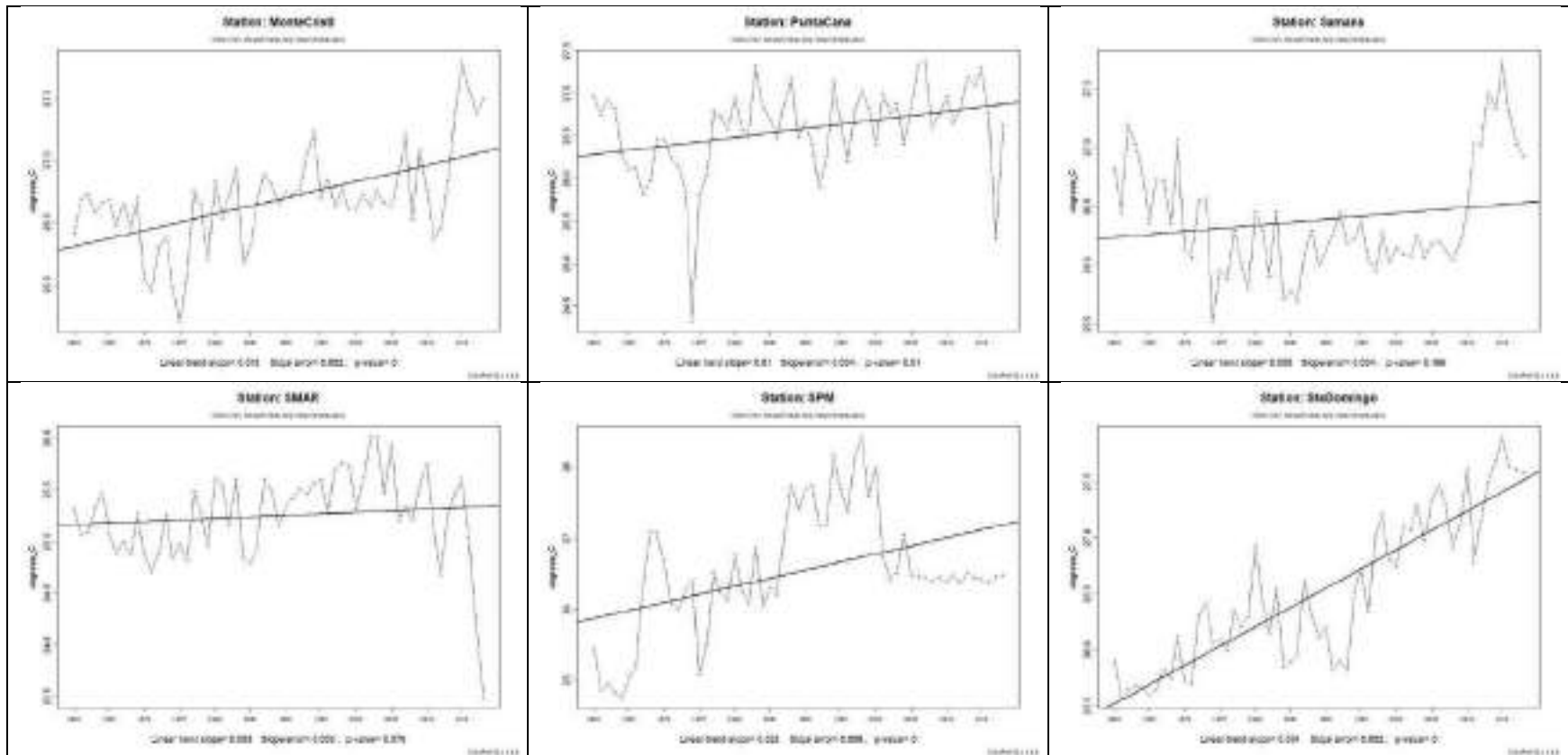




En el cuadro 10 se muestra los gráficos de temperatura promedio anual para el período 1960-2018 de las estaciones. En el cuadro se muestra que la estación Arroyo Barril no muestra diferencia marcada para el período; la estación La Romana muestra una pendiente de 0.007°C para el periodo, expresando una disminución de 0.4°C para el periodo. El resto de las estaciones muestran aumentos temperatura, siendo la estación de Santo Domingo la que muestra la pendiente de mayor aumento con cerca de 0.034 , lo cual implica un aumento en la temperatura de casi 2.0°C para el periodo.

Cuadro 10. Temperatura promedio anual de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018.

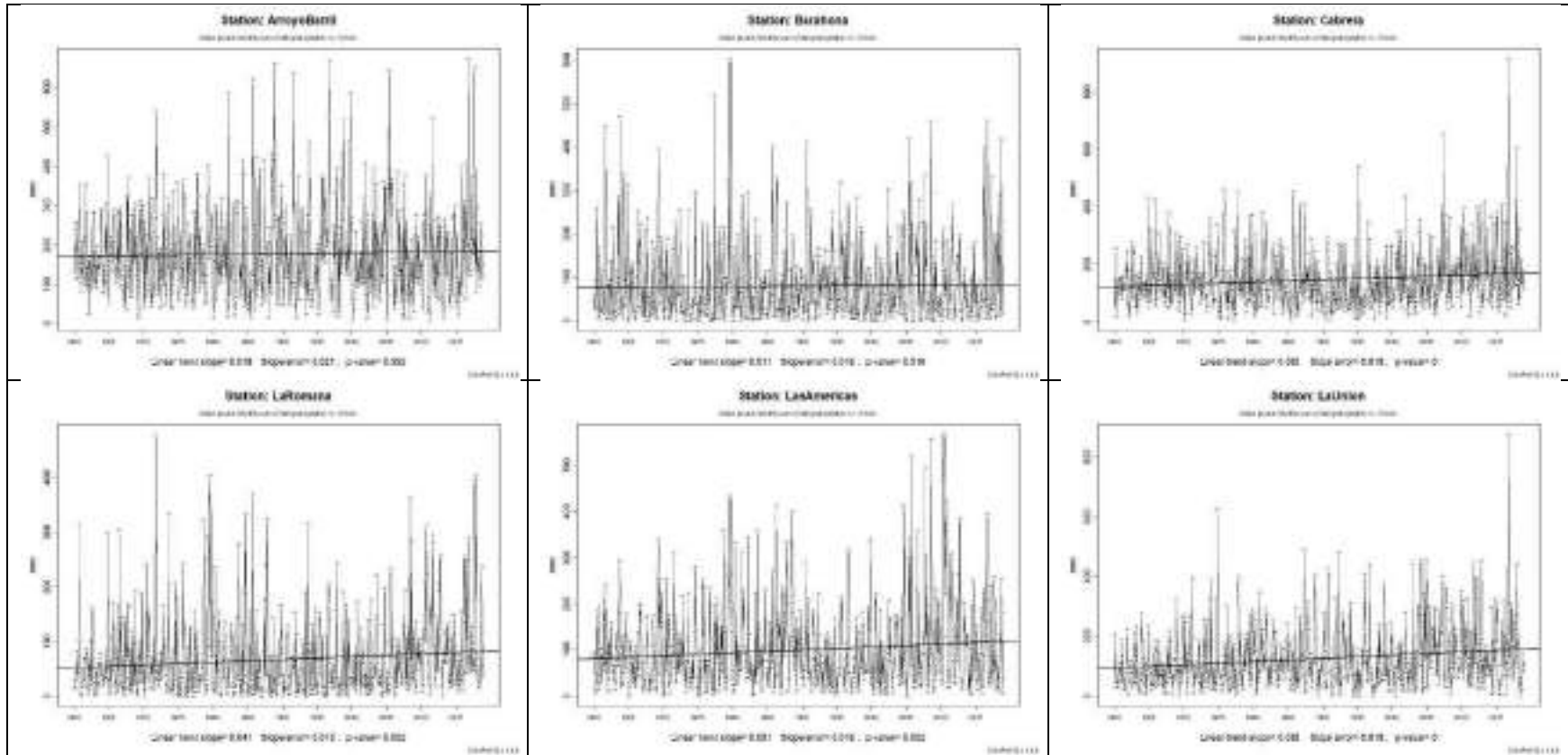


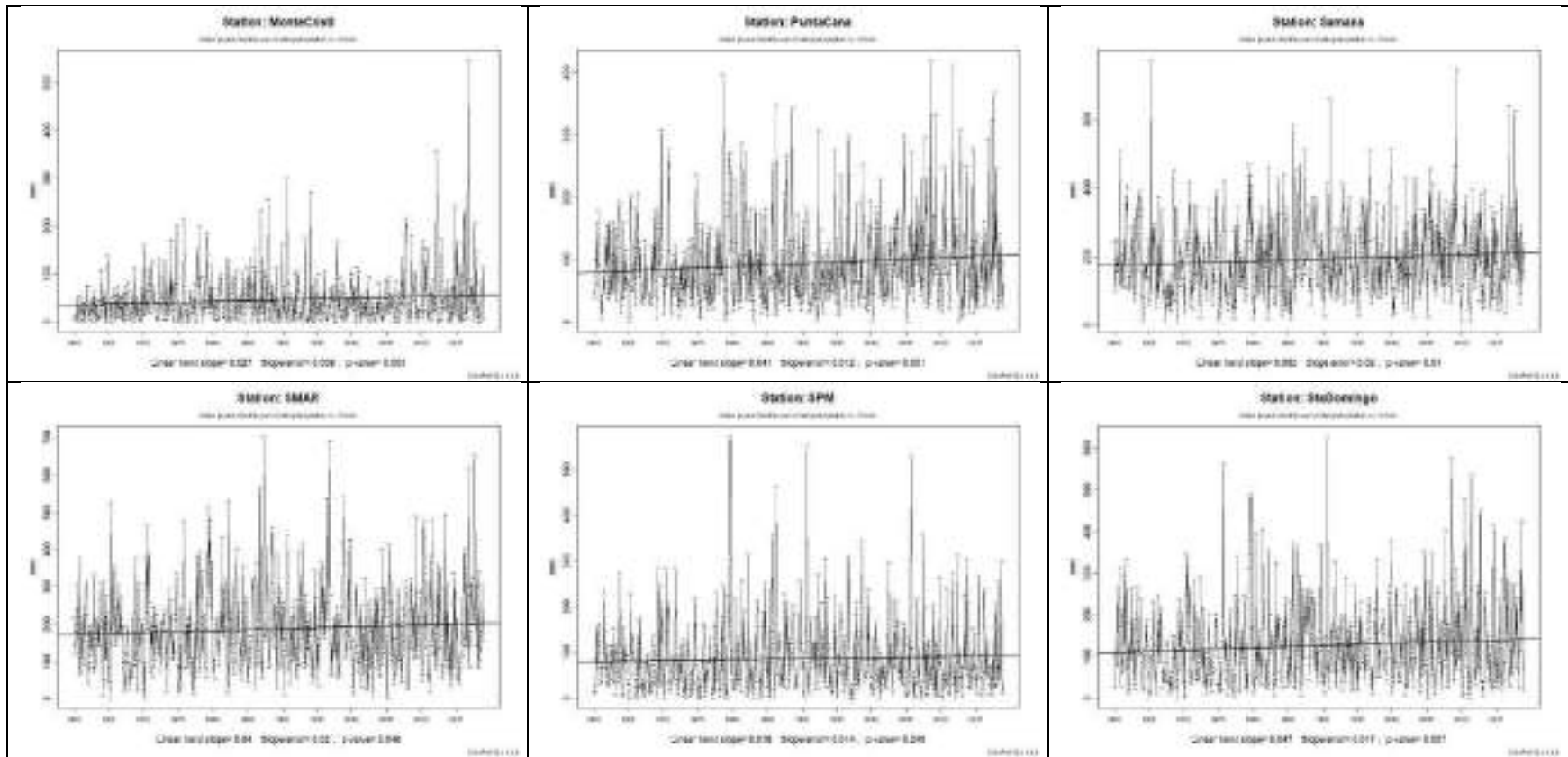


Precipitación media

En el cuadro 11 se muestra los gráficos de *promedio mensual acumulado de precipitación* para cada una de las estaciones, correspondientes al período 1960-2018. En la mayoría de las estaciones no se observan cambios significativos. Las estaciones que parecen mostrar aumento son La Unión y Cabrera sin embargo no se considera significativo, ya que lo anterior implica un aumento de menos de 5 mm más de precipitación en todo el periodo. Ninguna estación muestra una pendiente negativa que implique déficit significativo de precipitación promedio mensual. Se recalca que el análisis de estos datos incluye las Tormentas Ciclónicas.

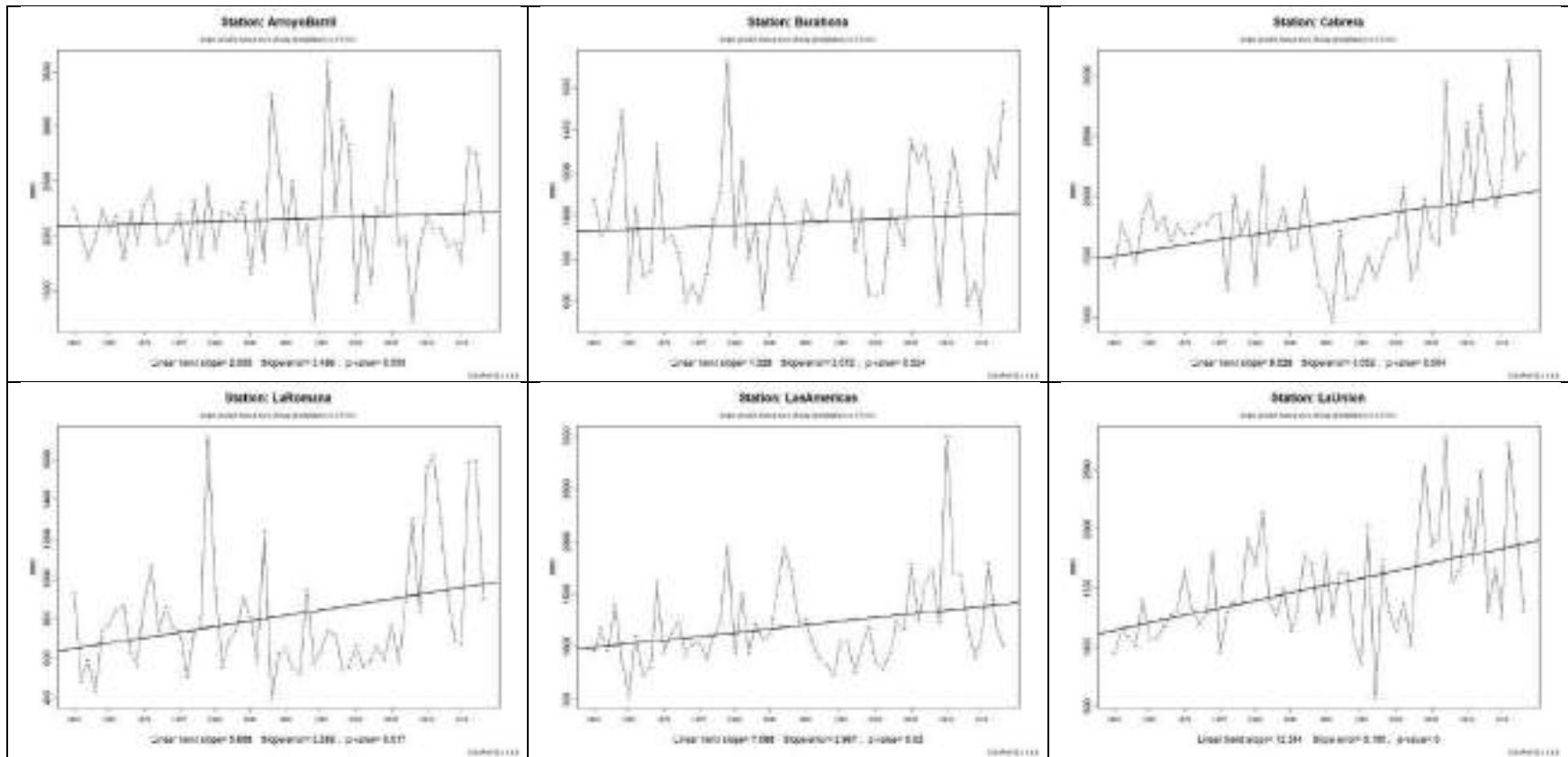
Cuadro 11. Precipitación promedio mensual acumulada de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018.

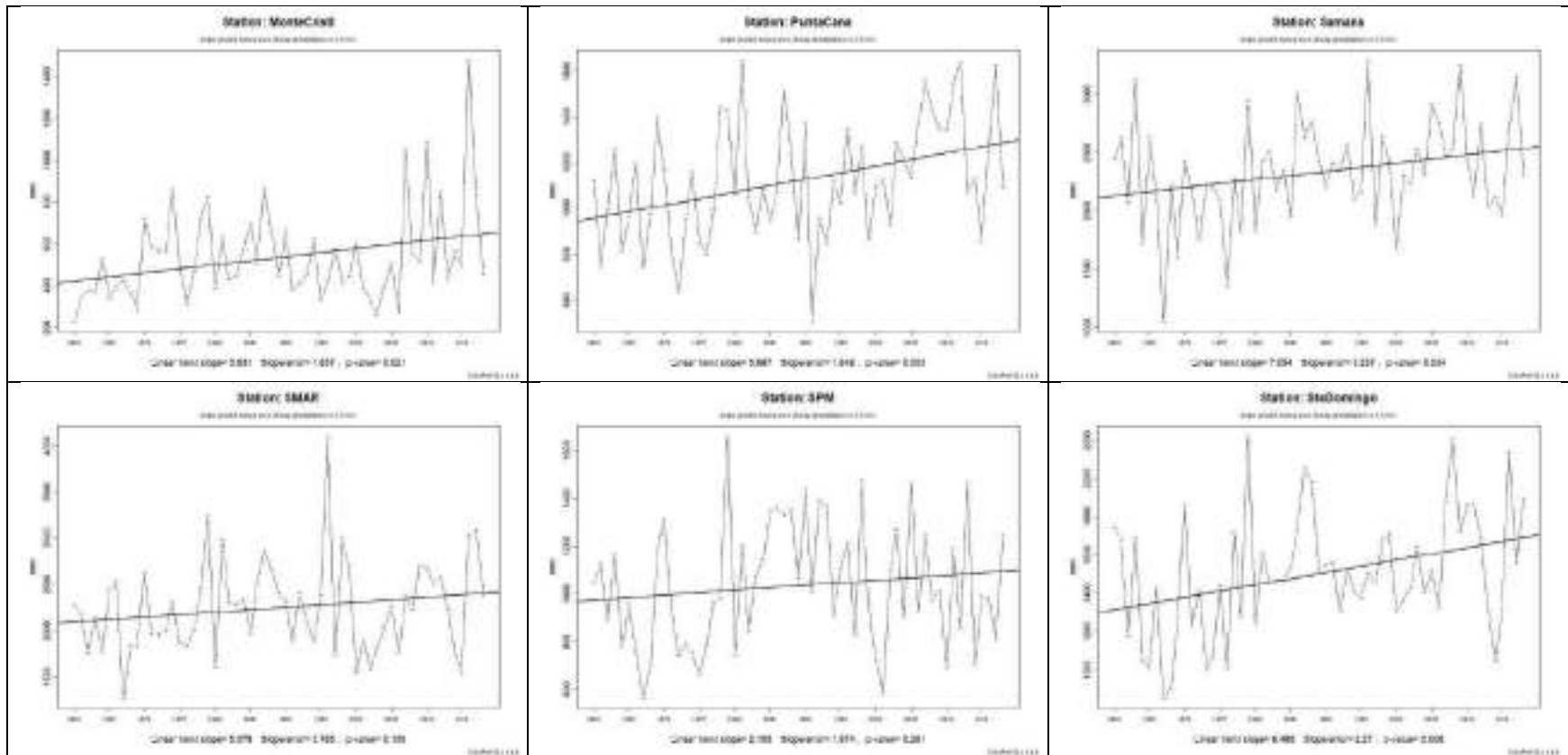




En el cuadro 12 se muestra los gráficos de **precipitación total anual acumulada** para cada una de las estaciones, correspondientes al período 1960-2018. Todas las estaciones muestran aumento; la estación Barahona es la que menor aumento presenta; por su parte, la estación con aumento significativo es La Unión, con cerca de 729 mm en el periodo analizado (cuadro 12). Dado que en todas las estaciones se observa un aumento en la precipitación total anual acumulado, se puede suponer que dicha tendencia se mantendrá en el futuro.

Cuadro 12. Precipitación acumulada anual de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018.





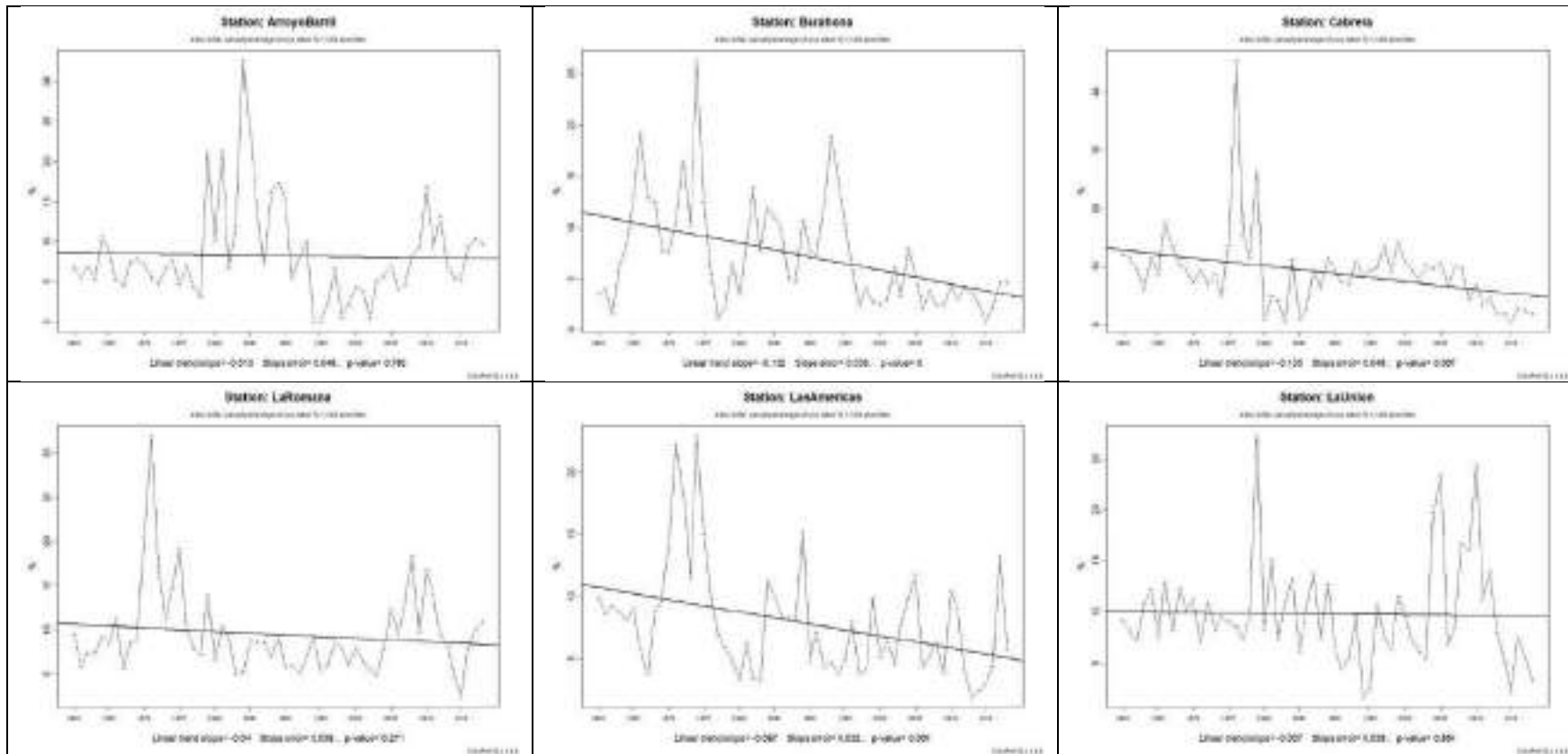
Índices de temperaturas extremas diarias

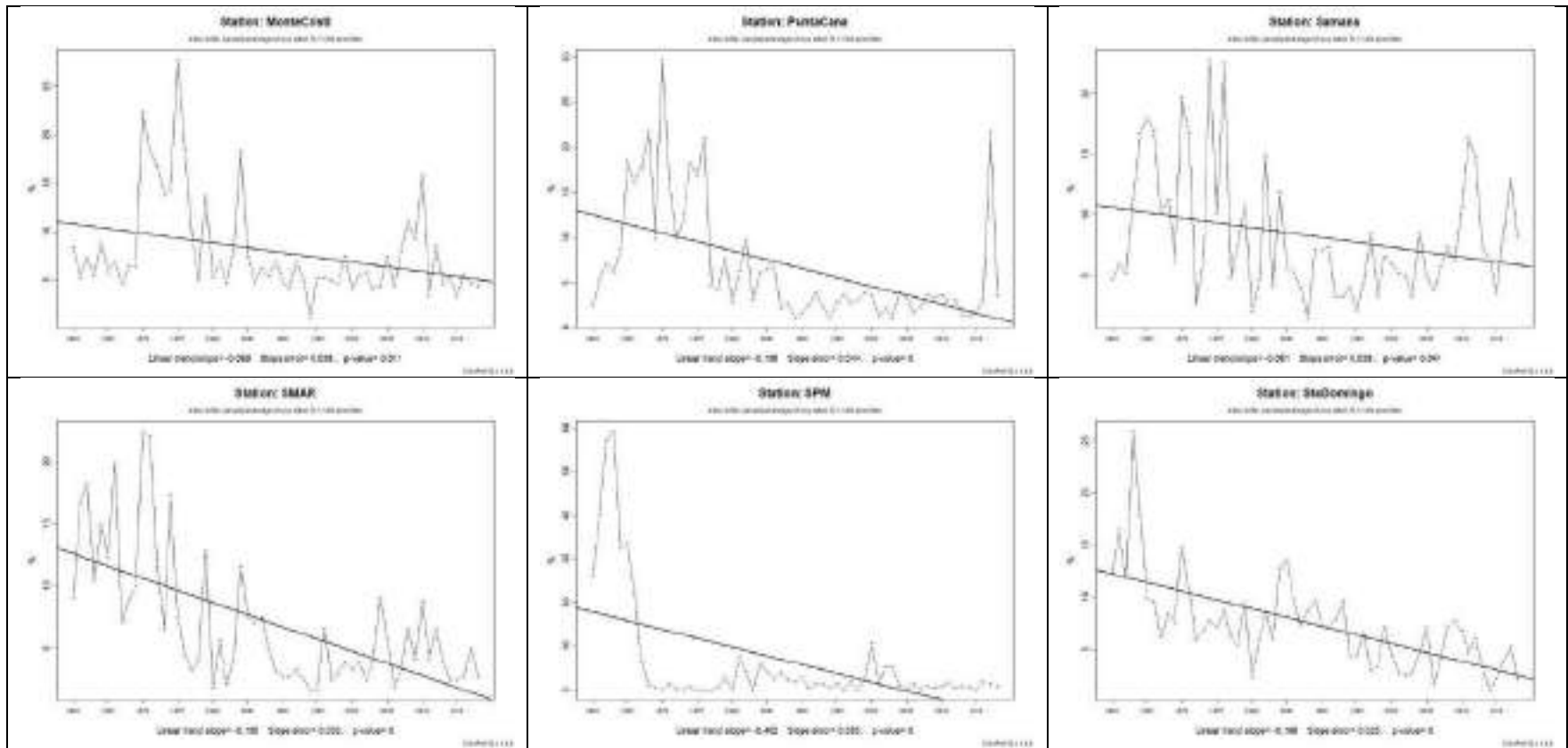
Frecuencia de días fríos (Tx10p)

Se observa una tendencia general a la **disminución en la frecuencia de días fríos en la mayoría de las estaciones** (Cuadro 13), correspondiente al período 1960-2018; sin embargo, hay algunas estaciones en las que esta disminución no es marcada (Arroyo Barril, La Romana y La Unión). La estación SPM presenta la pendiente más aguda con -0.402 (corresponde a aproximadamente una disminución de casi 20%, es decir aproximadamente 73 días), seguido por Punta Cana y SMAR con -0.198 y -0.195 (ambos aproximadamente 11

días), respectivamente. Es decir, éstas son las estaciones donde disminuye significativamente la frecuencia de días fríos en el periodo analizado, incluso en los últimos años se observa de 2 a 0 días fríos en la estación SPM (cuadro 13).


Cuadro 13. Gráficos de frecuencia de días fríos (Tx10p) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018.





En el cuadro 14 se observa el comportamiento de la disminución en la frecuencia de días fríos (Tx10p) a lo largo del periodo en mapas.

Cuadro 14. Mapas de distribución geográfica de la frecuencia de días fríos (Tx10p) en la zona costera desde 1990 hasta 2018.

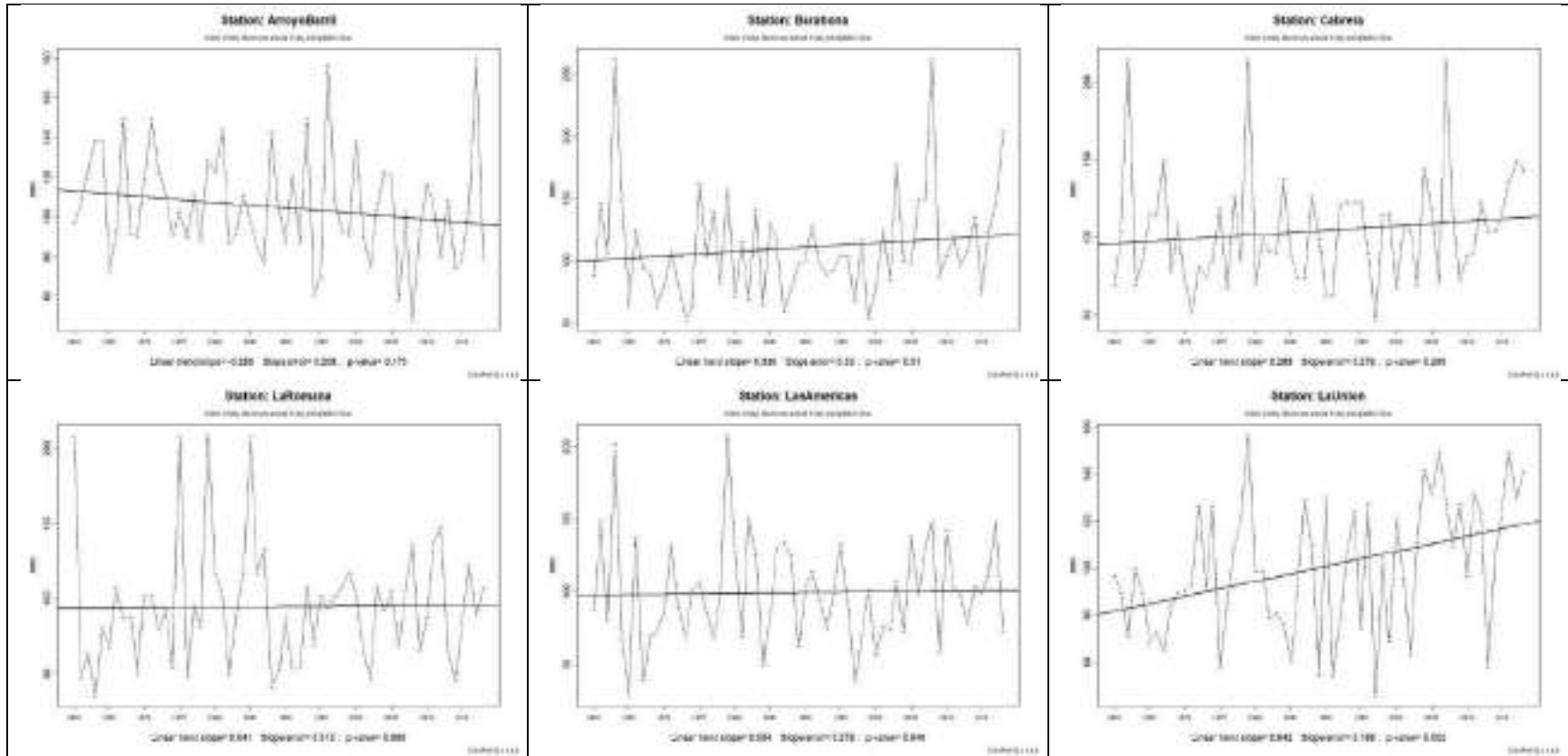
1990	1991	1992	1993	1994	1995
1996	1997	1998	1999	2000	2001
2002	2003	2004	2005	2006	2007
2008	2009	2010	2011	2012	2013
					
2014	2015	2016	2017	2018	Leyenda

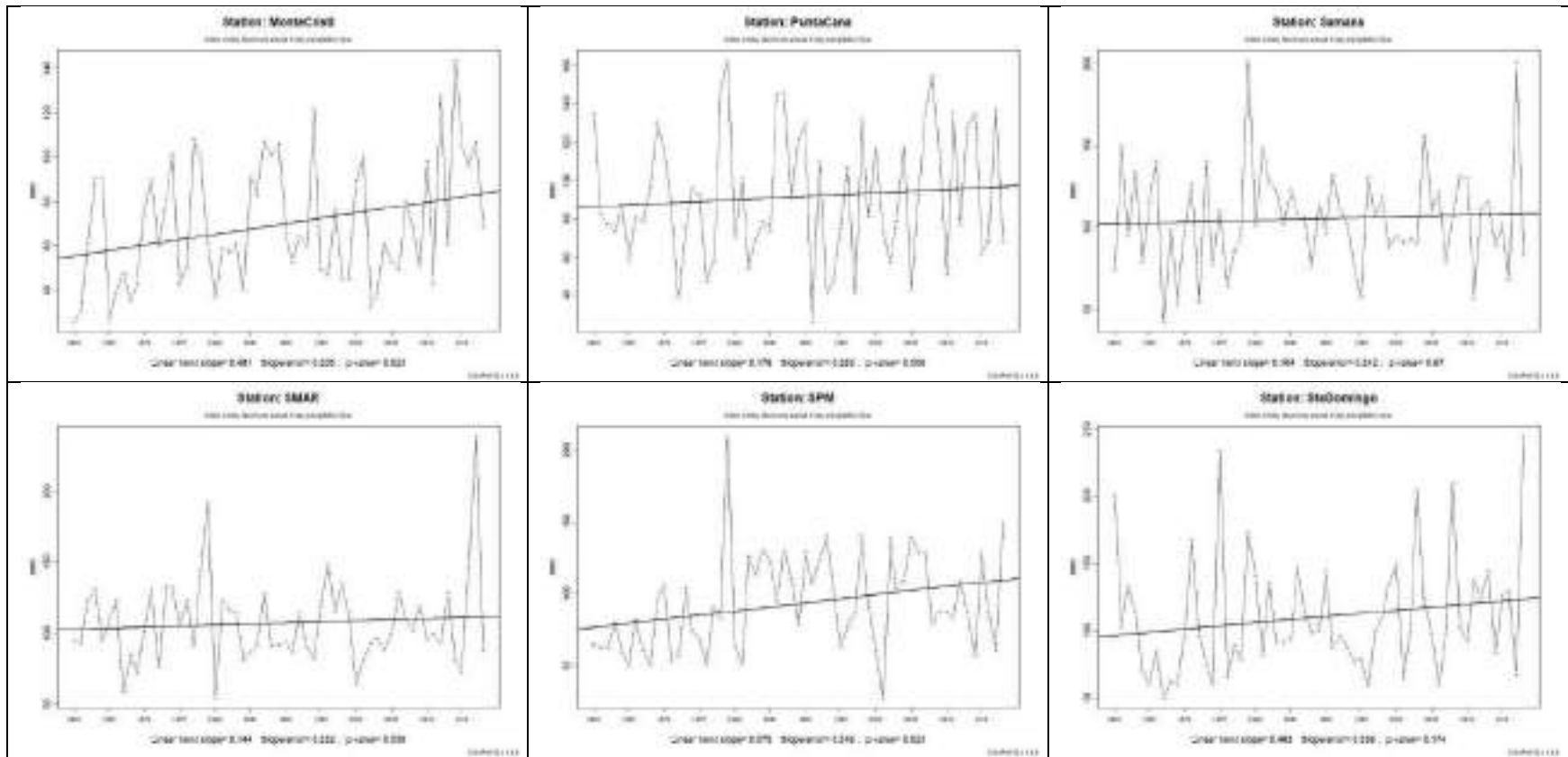
Indicadores de eventos extremos de precipitación

Máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1day).

Las estaciones que no muestran una clara y marcada tendencia son: La Romana y Las Américas. La única estación que muestra una tendencia a la disminución en la máxima cantidad de precipitación que se observa en un día es Arroyo Barril. Las demás estaciones muestran una tendencia a un aumento en la cantidad máxima de precipitación que se registra en un día (Cuadro 21), siendo la estación Barahona la que muestra una pendiente más alta con 0.642 lo cual implica un aumento en la precipitación máxima en un día de cerca de 37 mm más en todo el periodo.

Cuadro 15. Gráficos de máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1day) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018.





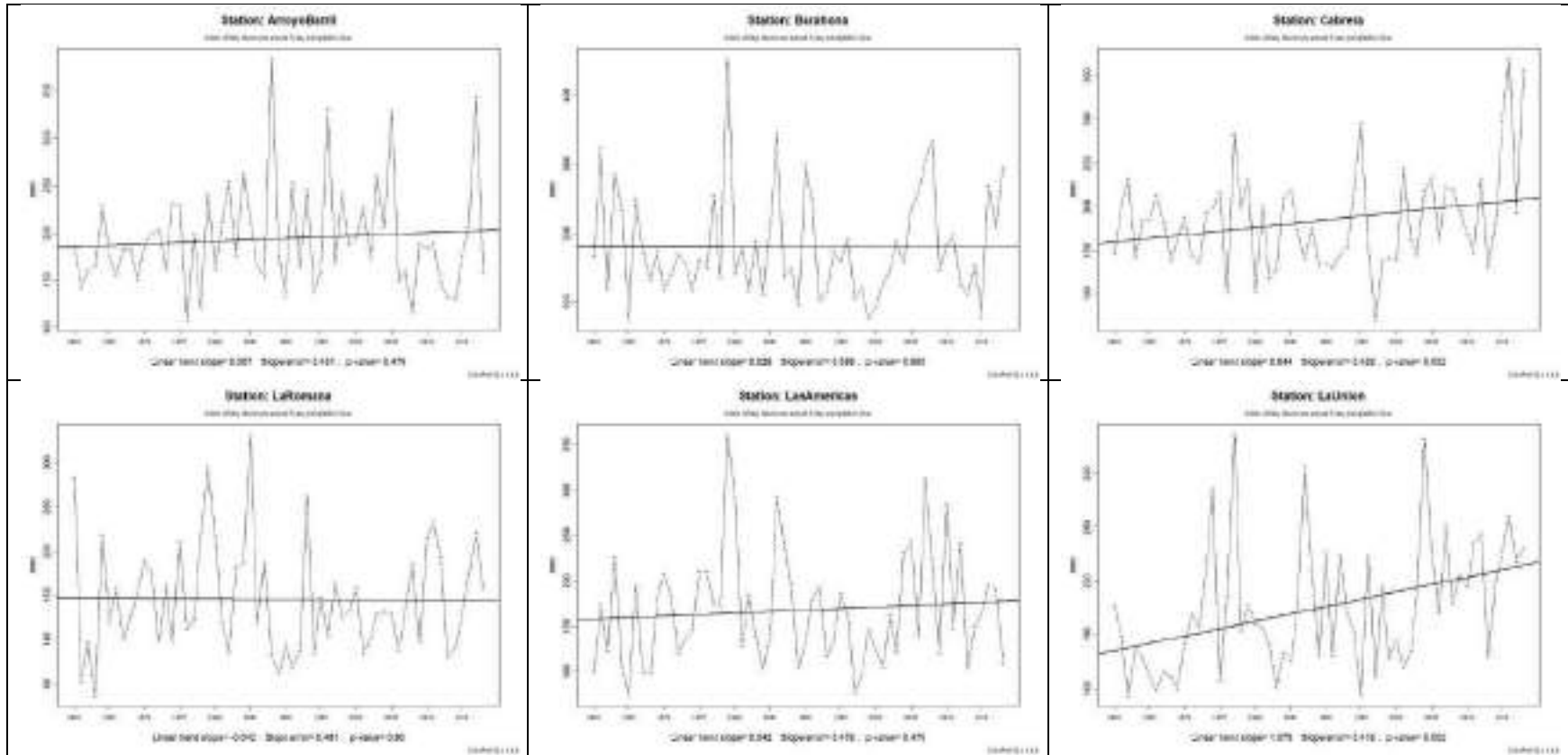
Cuadro 16. Mapas de distribución geográfica de máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1day) en la zona costera desde 1990 hasta 2018.

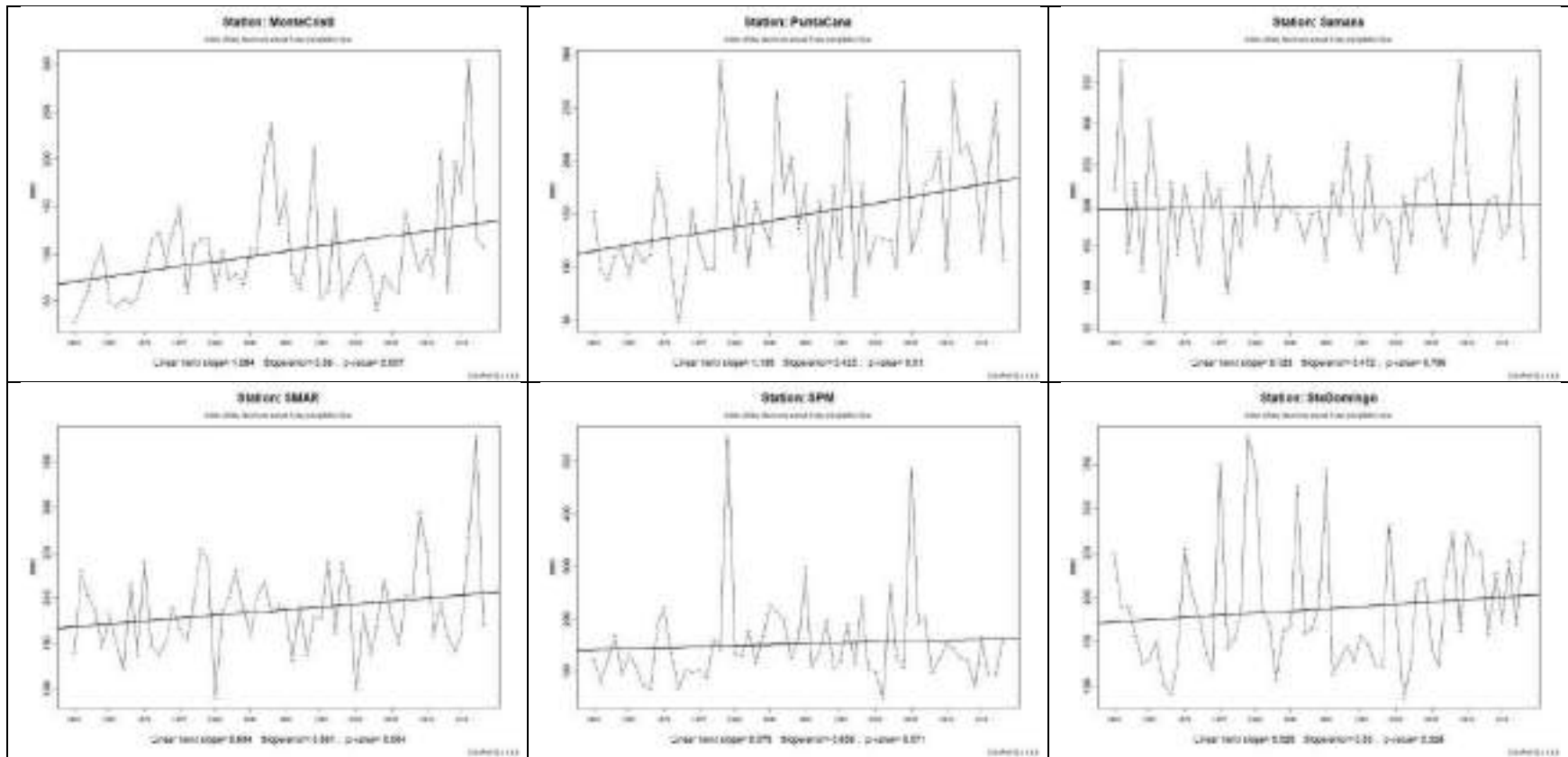
1990	1991	1992	1993	1994	1995
1996	1997	1998	1999	2000	2001
2002	2003	2004	2005	2006	2007
2008	2009	2010	2011	2012	2013
2014	2015	2016	2017	2018	Leyenda

Máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5day).

Las estaciones que no muestran una tendencia clara y marcada son: Barahona, Samana, y SPM. Las demás estaciones muestran una tendencia al aumento, siendo La Unión, Punta Cana y Samana las que muestran una pendiente más pronunciada (Cuadro 23).

Cuadro 17. Gráficos de máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5day) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018.





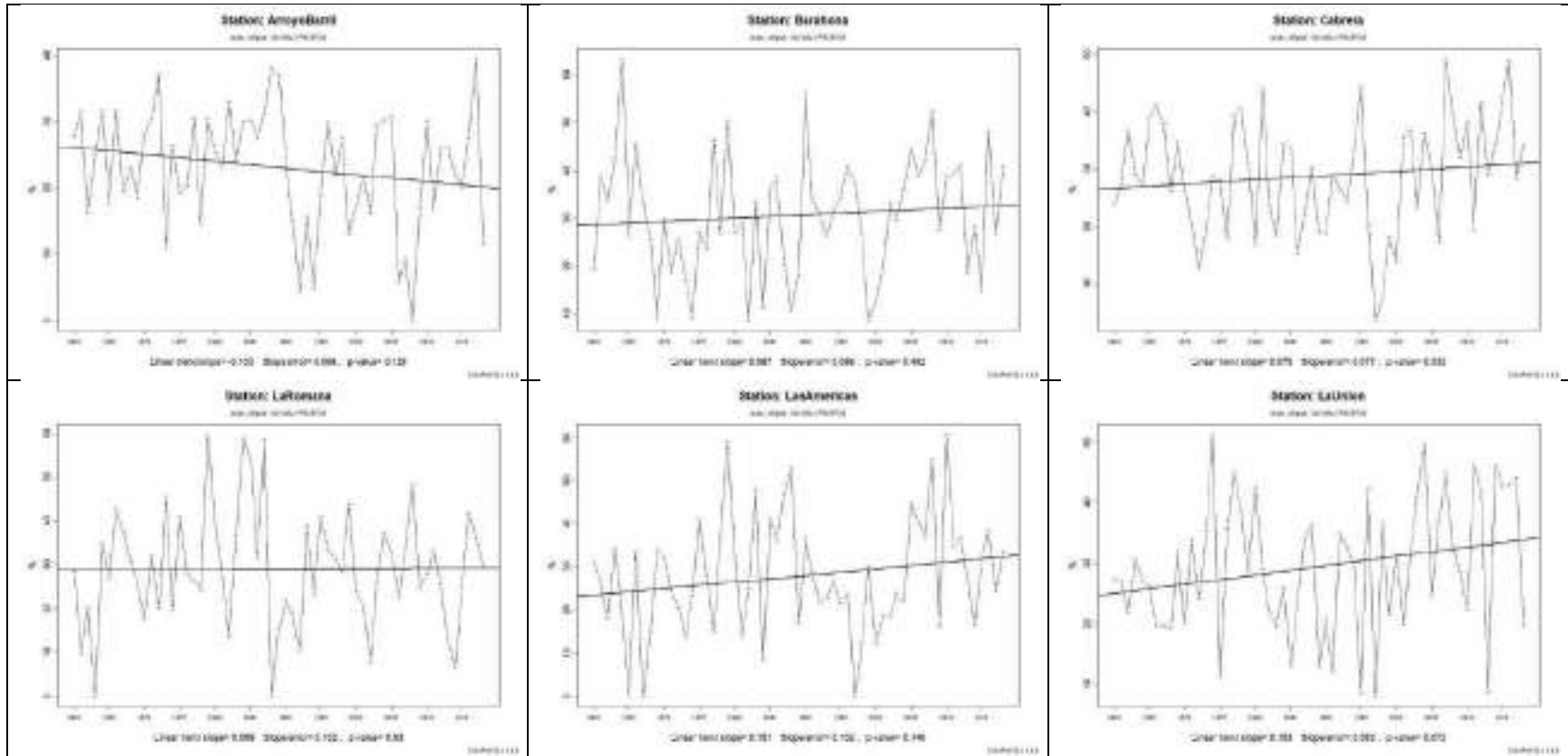
Cuadro 18. Mapas de distribución geográfica de máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5day) en la zona costera desde 1990 hasta 2018.

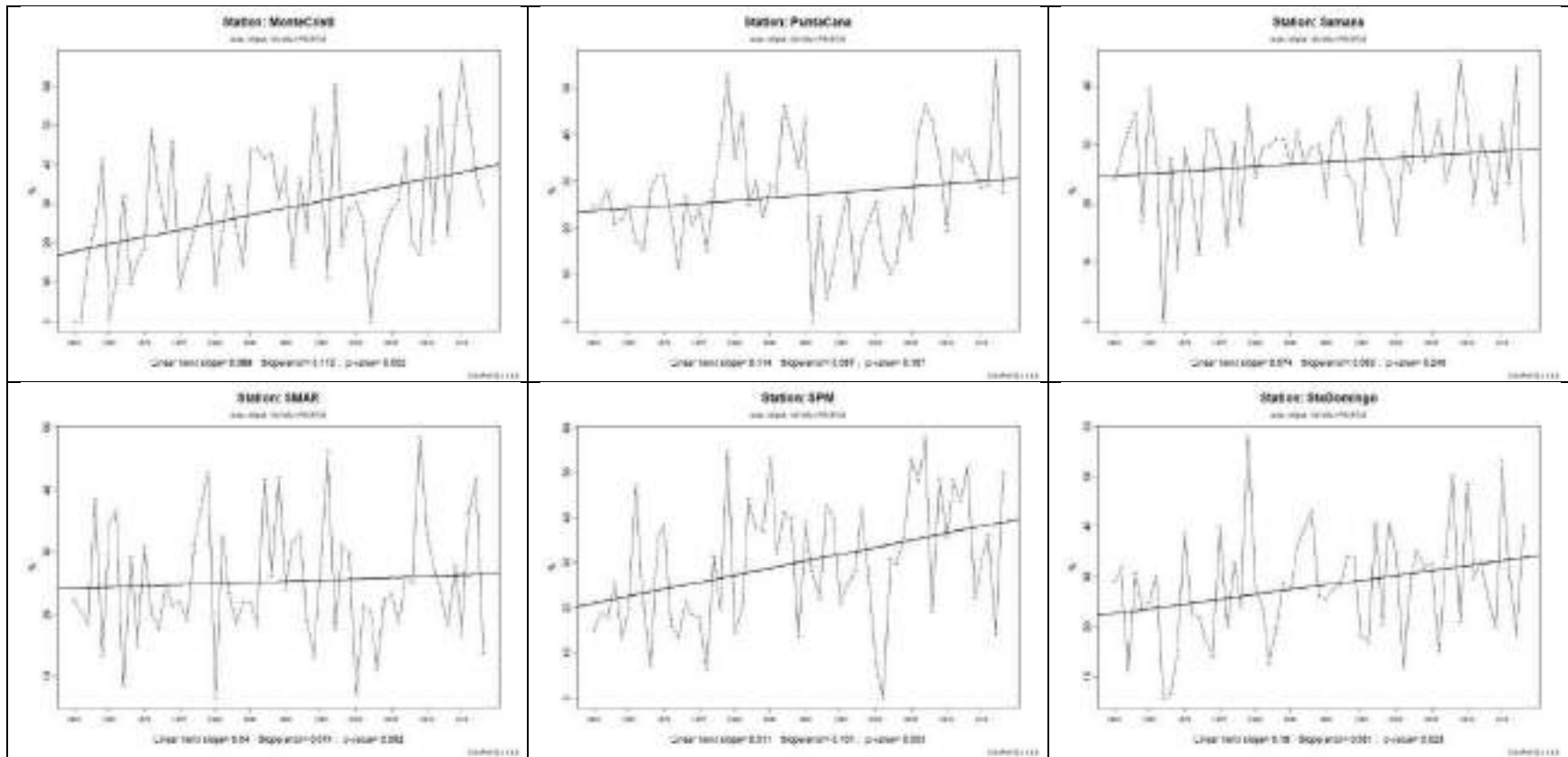
1990	1991	1992	1993	1994	1995
1996	1997	1998	1999	2000	2001
2002	2003	2004	2005	2006	2007
2008	2009	2010	2011	2012	2013
2014	2015	2016	2017	2018	Leyenda

Porcentaje del total de precipitación explicada por los días muy húmedos los cuales se ubican en el percentil 95 (R95pTOT).

La estación La Romana no muestran una tendencia marcada. La estación Arroyo Barril constituye la única estación que muestra una tendencia a la disminución de este tipo de eventos extremos. Las demás estaciones demuestran un aumento, siendo Monte Cristi la estación con el aumento más grande de casi un 22% (Cuadro 25).

Cuadro 19. Gráficos de porcentaje total de precipitación explicada por los días muy húmedos (R95pTOT) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018.





Cuadro 20. Mapas de distribución geográfica de porcentaje total de precipitación explicada por los días muy húmedos (R95pTOT) en la zona costera desde 1990 hasta 2018.

1990	1991	1992	1993	1994	1995
1996	1997	1998	1999	2000	2001
2002	2003	2004	2005	2006	2007
2008	2009	2010	2011	2012	2013
2014	2015	2016	2017	2018	Leyenda

Resumen de tendencias por década

En el cuadro 17 se puede observar las tendencias por década de los índices climáticos extremos, las flechas que se observan dicho cuadro tratan de representar la dirección y magnitud en la tendencia de cada índice, respecto a la década anterior. . La mayoría de los indicadores tiene una tendencia hacia el aumento. El índice que tiene una tendencia fuerte a la disminución es la frecuencia de noches frías (tn10) pero únicamente si se compara el periodo 1990-1999 con 2000-2009.

Cuadro 21. Resumen del promedio de los índices climáticos extremos en la zona costera por década.

Periodo	Rx1d (mm)	Rx5d (mm)	r95ptot (mm)	tn10 (%)	tn90 (%)	tx10 (%)	tx90 (%)
1990-1999	91.04	154.16	26.80	8.00	19.22	6.00	16.70
2000-2009	105.9 ↑	171.89 ↑	28.74 ↑	1.00 ↓	20.98 ↑	6.74 ↑	16.45 ↓
2010-2018	110.28 ↑	185.92 ↑	33.43 ↑	11.63 ↑	30.07 ↑	6.14 ↓	23.92 ↑

Cuadro 22. Mapas de distribución geográfica del promedio de los índices climáticos extremos en la zona costera por década.

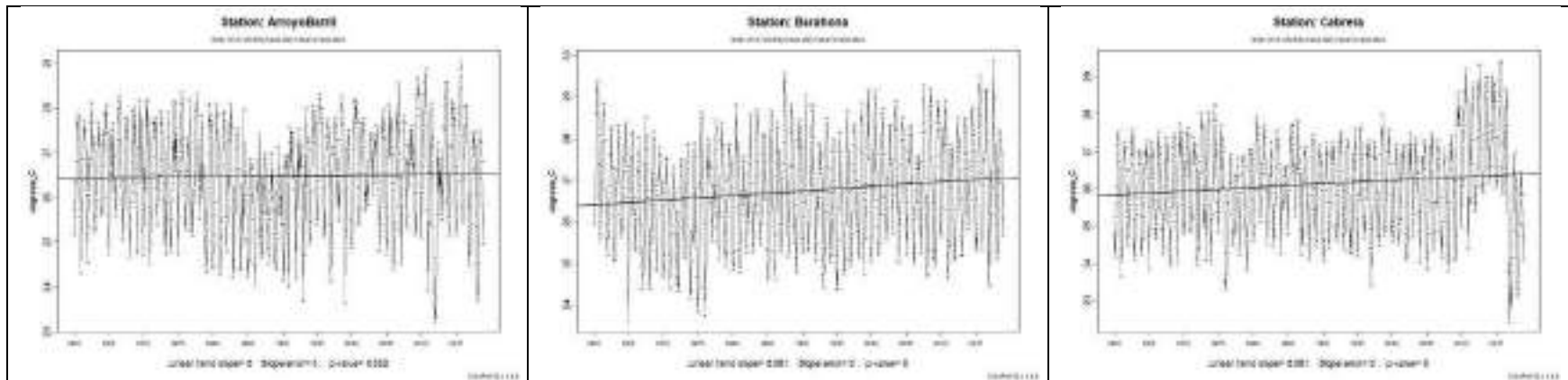
1990-1999	2000-2009	2010-2018
-----------	-----------	-----------

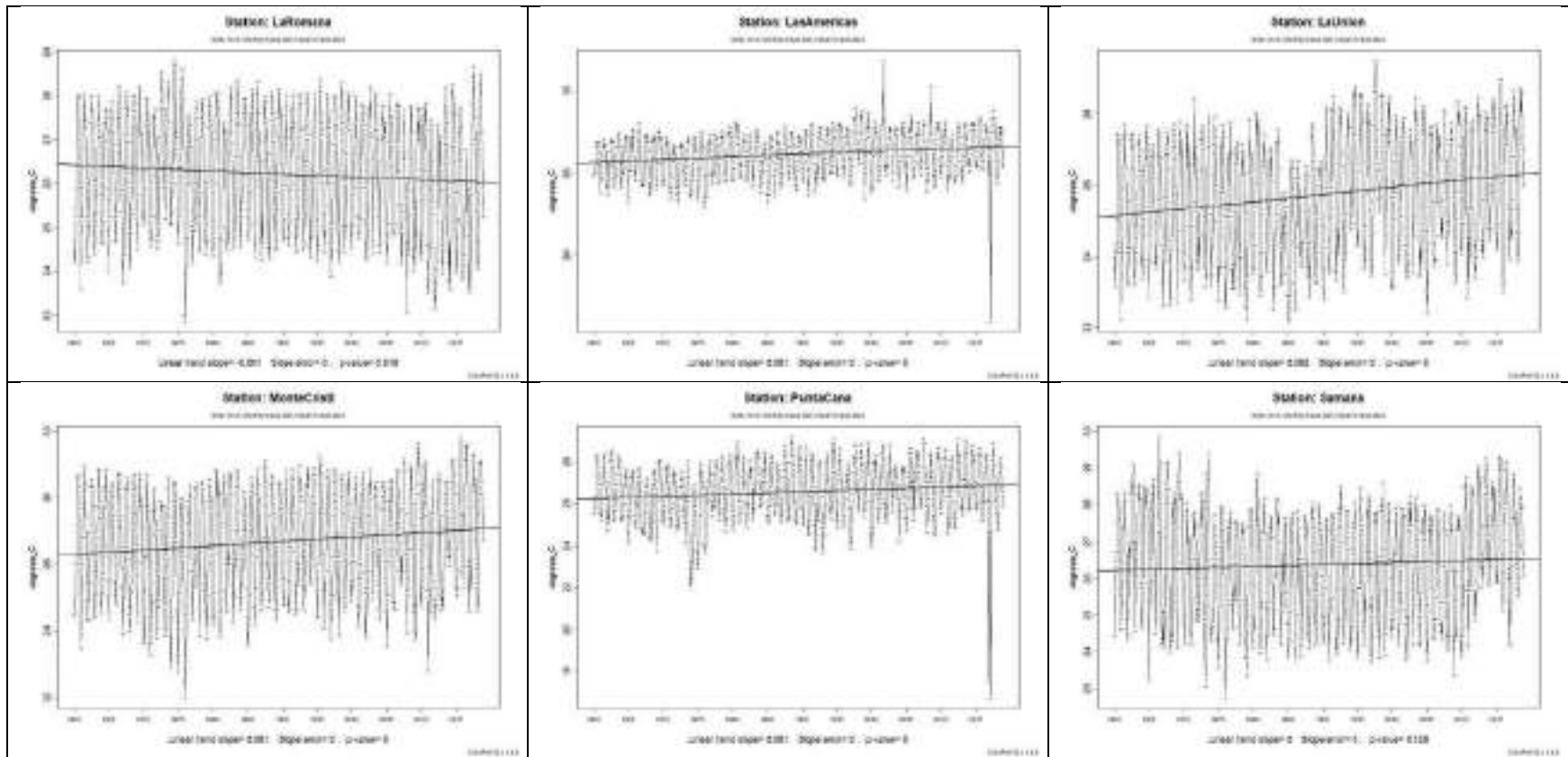
Nivel de análisis 2: sin datos climáticos de eventos extremos (Anexo 3).

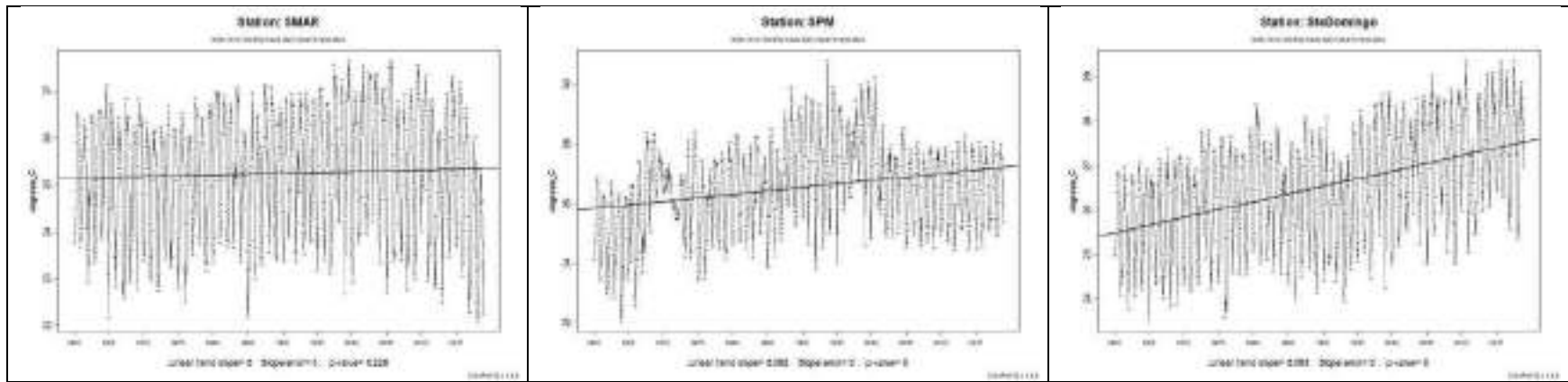
Temperatura media

De acuerdo con los gráficos que se presentan en el cuadro 29 se observa una tendencia al aumento en la mayoría de las estaciones. La estación que no muestra una tendencia clara es Arroyo Barril. La Romana muestra una ligera tendencia a la disminución, sin embargo, dicha tendencia es de muy baja magnitud como para considerarla clara y marcada. Muestra una pendiente de $-0.001\text{ }^{\circ}\text{C}$ por mes, lo cual implica una disminución de 0.7°C para todo el periodo de análisis. Por otra parte, la estación que muestra la mayor magnitud en una tendencia al aumento de temperatura media mensual es Santo Domingo, con 0.003°C por mes, lo cual implica un aumento de 2°C para todo el periodo.

Cuadro 23. Temperatura promedio mensual de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.

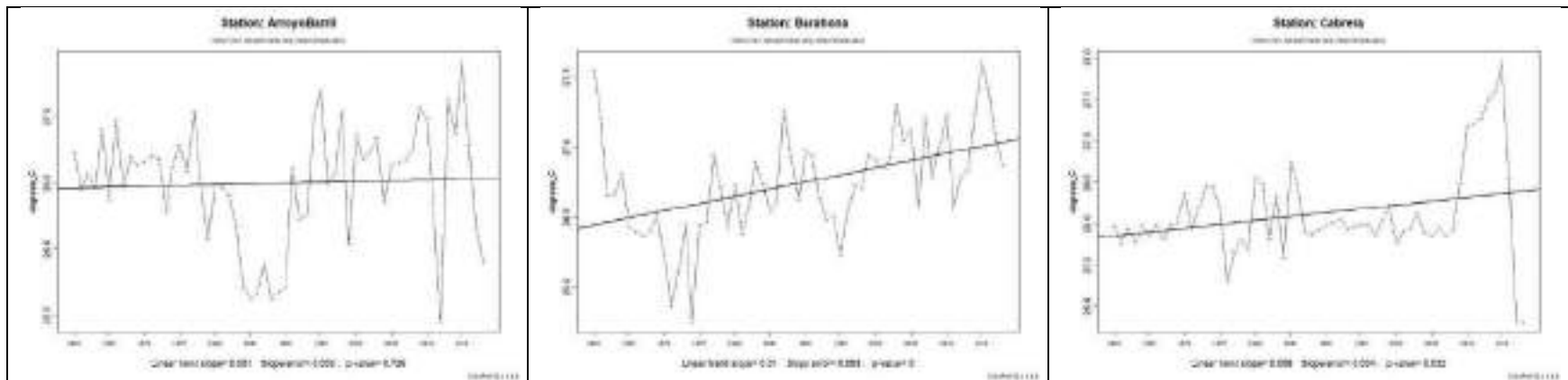


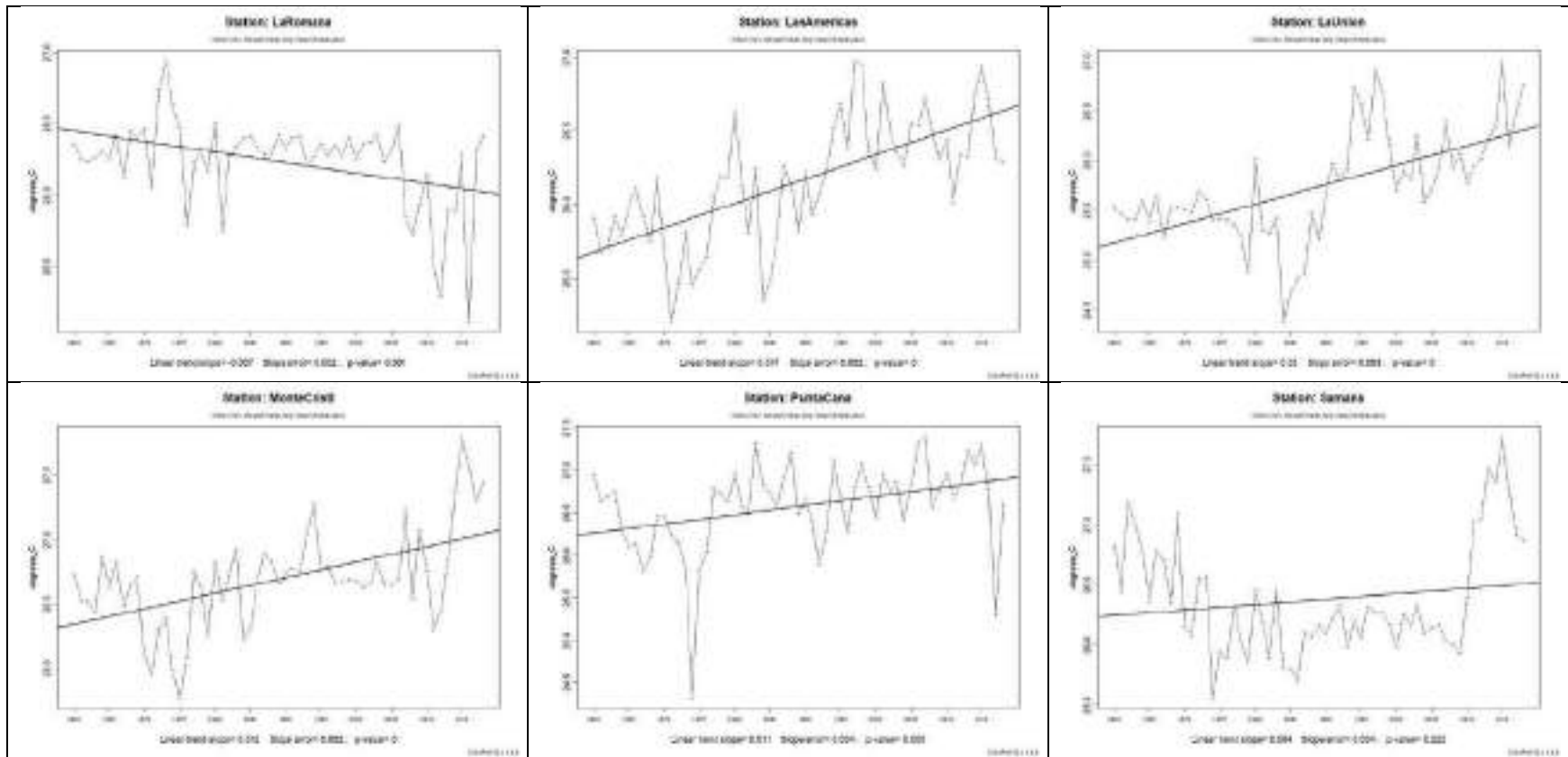


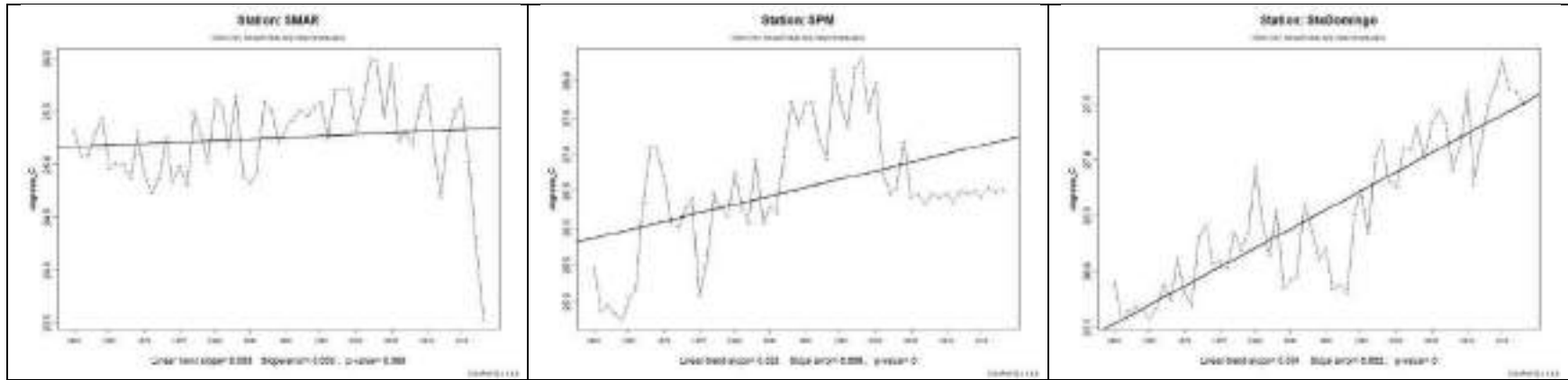


En el cuadro 30 se puede observar los gráficos de temperatura promedio anual, en el cual se evidencia un aumento sostenido en la mayoría de las estaciones, siendo nuevamente Santo Domingo la estación que muestra el mayor aumento con una pendiente de 0.034°C por año, lo cual implica cerca de 2°C para todo el periodo. La estación SPM también muestra un aumento importante de temperatura de 1.3°C para todo el periodo de análisis.

Cuadro 24. Temperatura promedio anual de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.

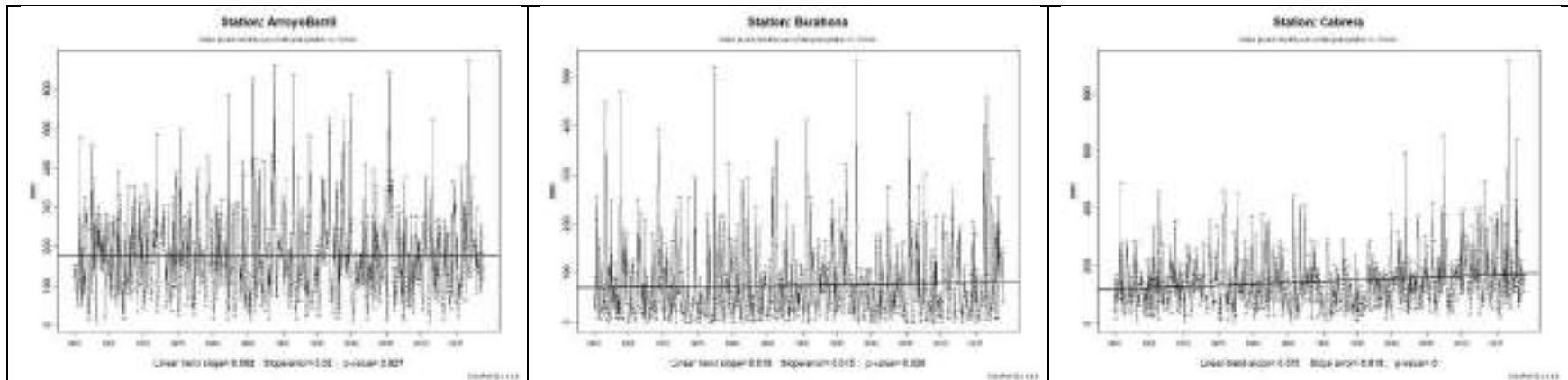


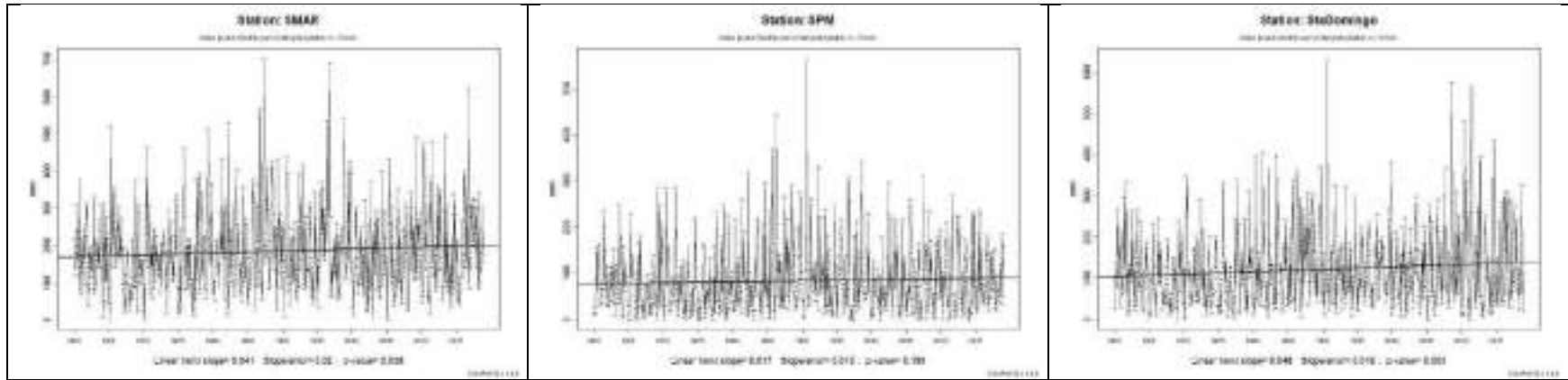




En el cuadro 31 se observa que no existe una clara y marcada tendencia en cuanto a la precipitación promedio mensual en las costas.

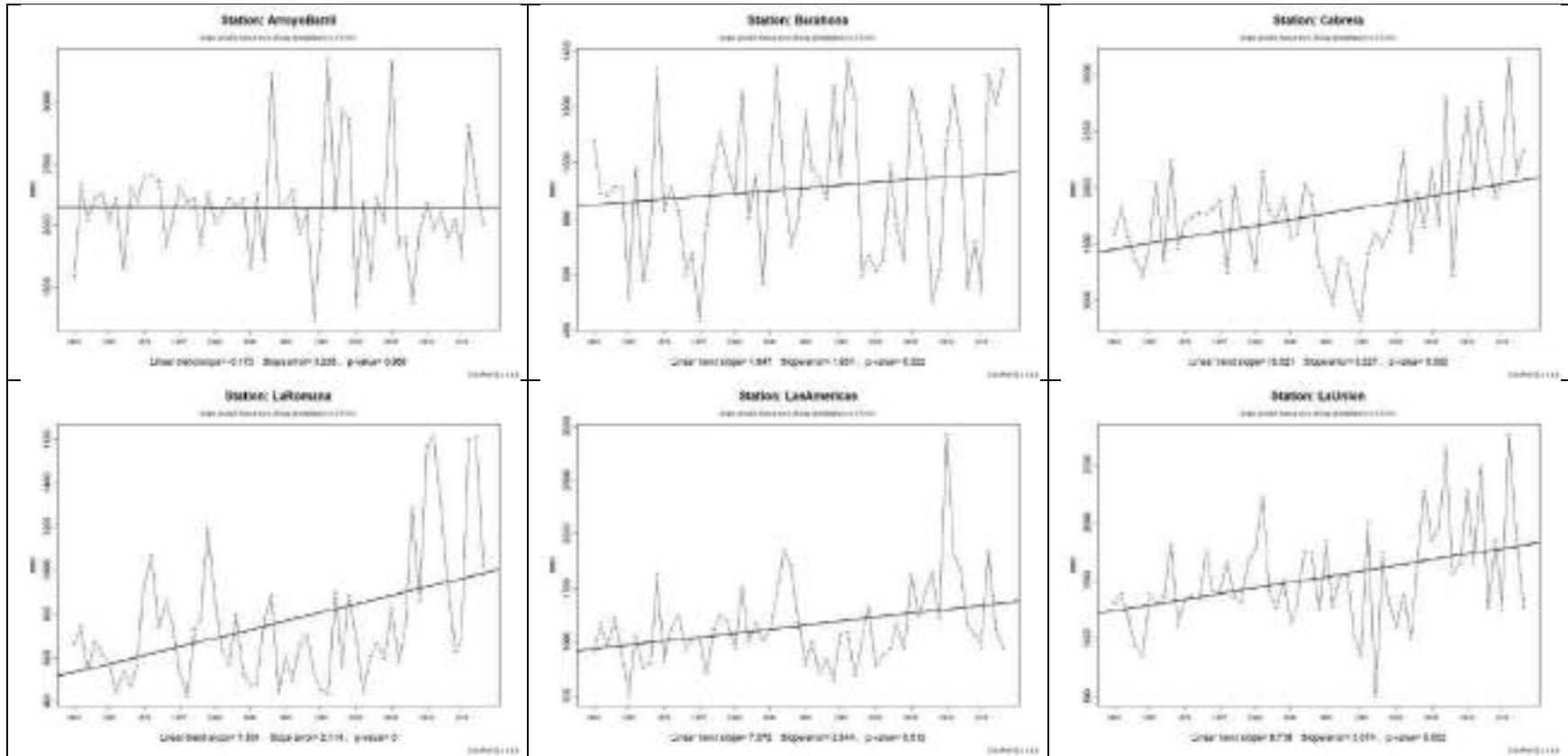
Cuadro 25. Precipitación promedio mensual de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.

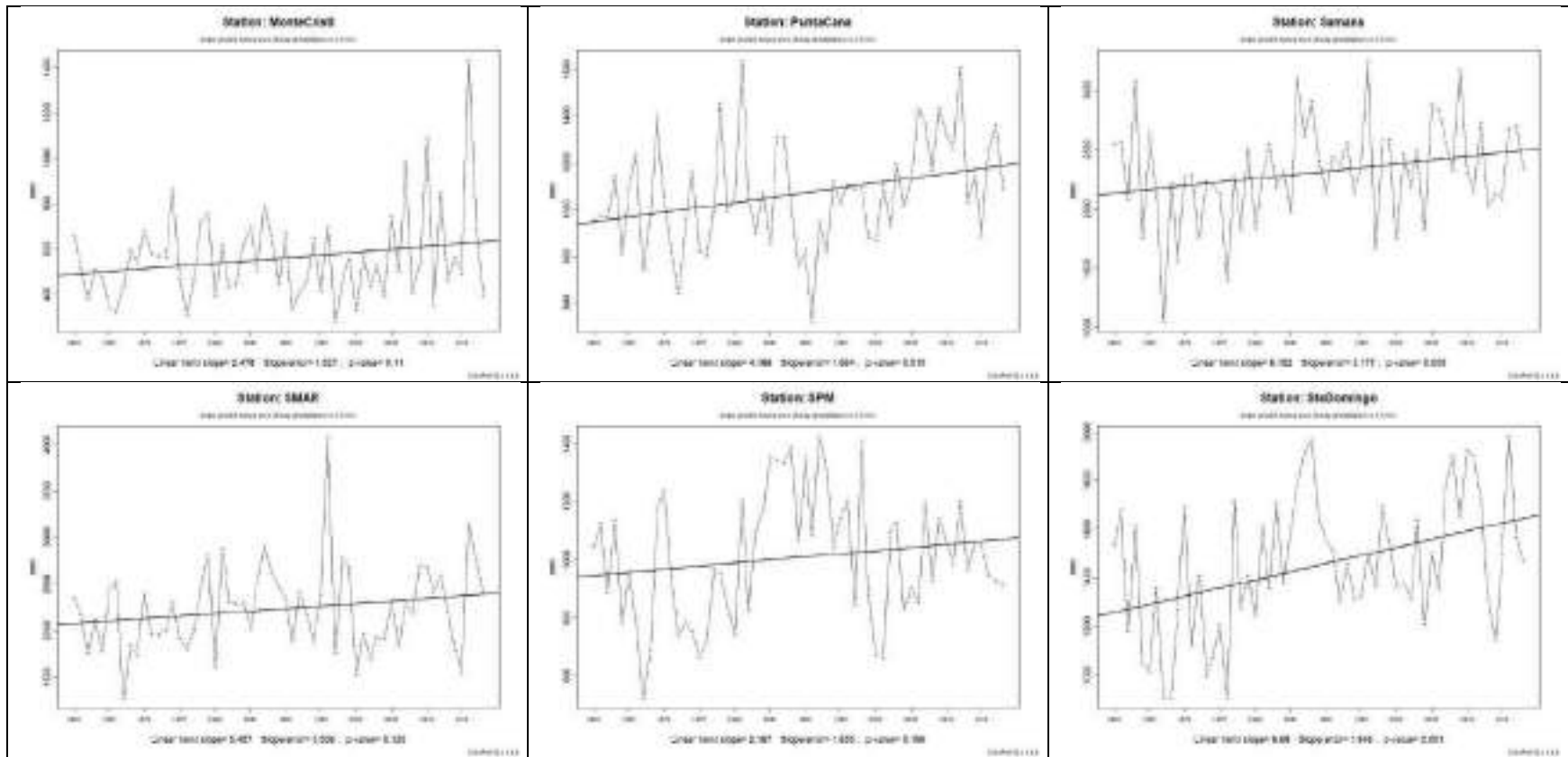




En cuanto a la precipitación promedio anual sí se logra distinguir ciertas tendencias en algunas estaciones (Cuadro 32). La estación Arroyo Barril muestra una tendencia negativa, es decir a la disminución de la precipitación promedio anual, sin embargo ésta no es muy marcada ni clara. Todas las demás estaciones exponen un aumento en la precipitación promedio anual, siendo Cabrera la que indica mayor magnitud con 610 mm más de precipitación entre 1960 y 2018. En magnitud le sigue la estación La Unión, la cual se encuentra cerca de Cabrera.

Cuadro 26. Precipitación promedio anual de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.



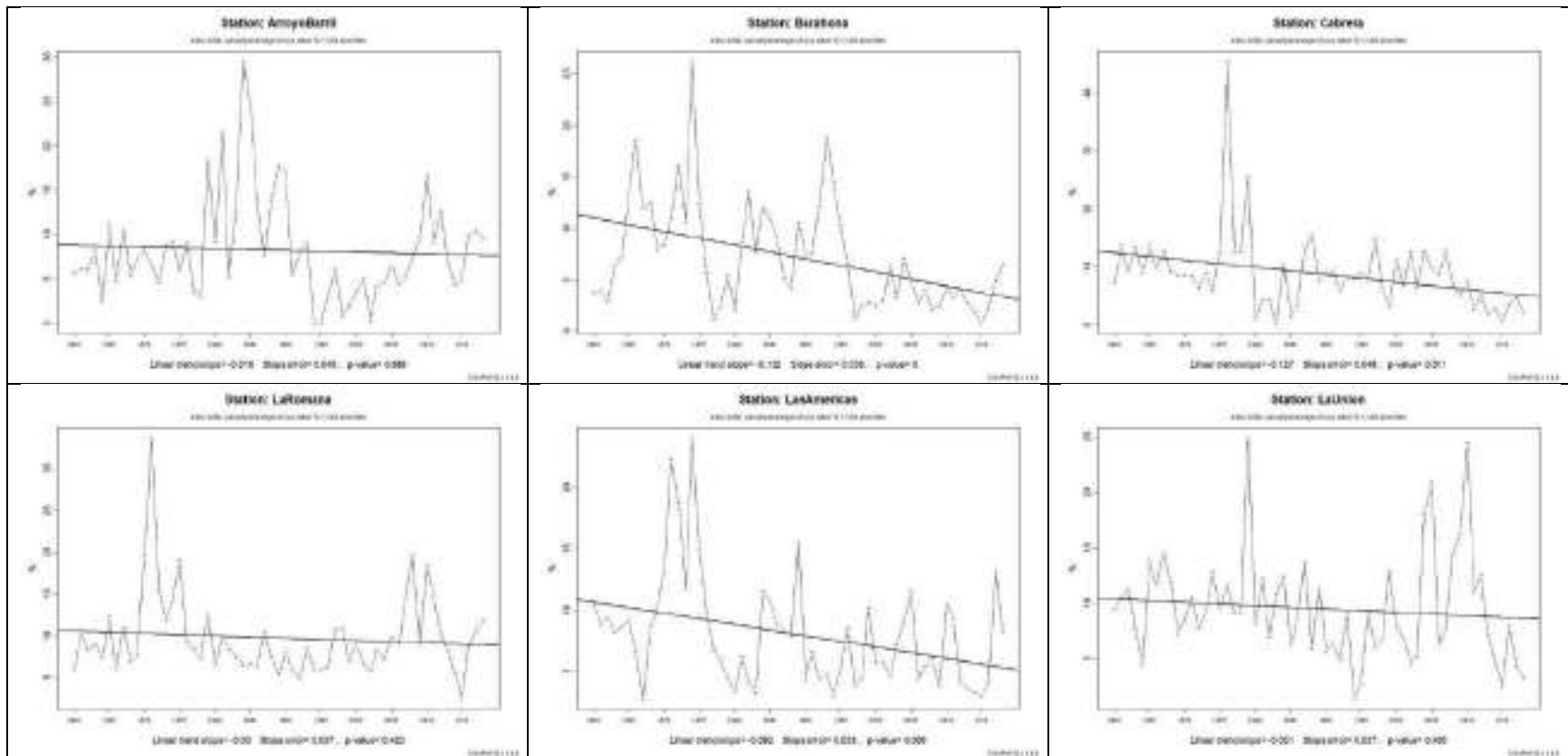


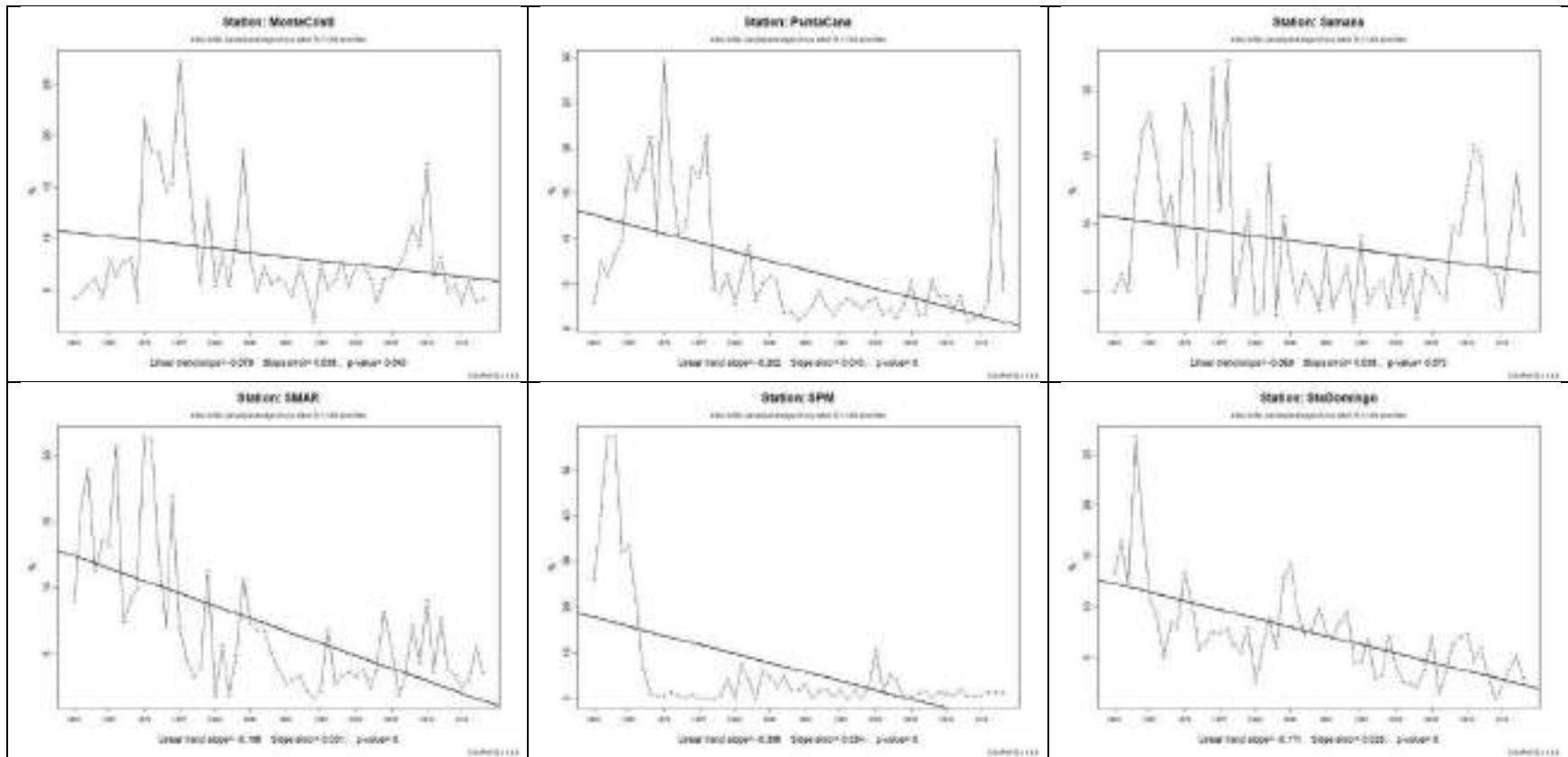
Índices de temperaturas extremas diarias

Frecuencia de días fríos (Tx10p), escenario 2.

Las estaciones Arroyo Barril y La Romana no muestran una tendencia clara y definida. Sin embargo, las demás estaciones demuestran una tendencia en la disminución de la frecuencia de días fríos (Cuadro 33). La estación SPM es la que muestra la disminución más importante con 23% de días menos en todo el periodo.

Cuadro 27. Gráficos de frecuencia de días fríos (Tx10p) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.





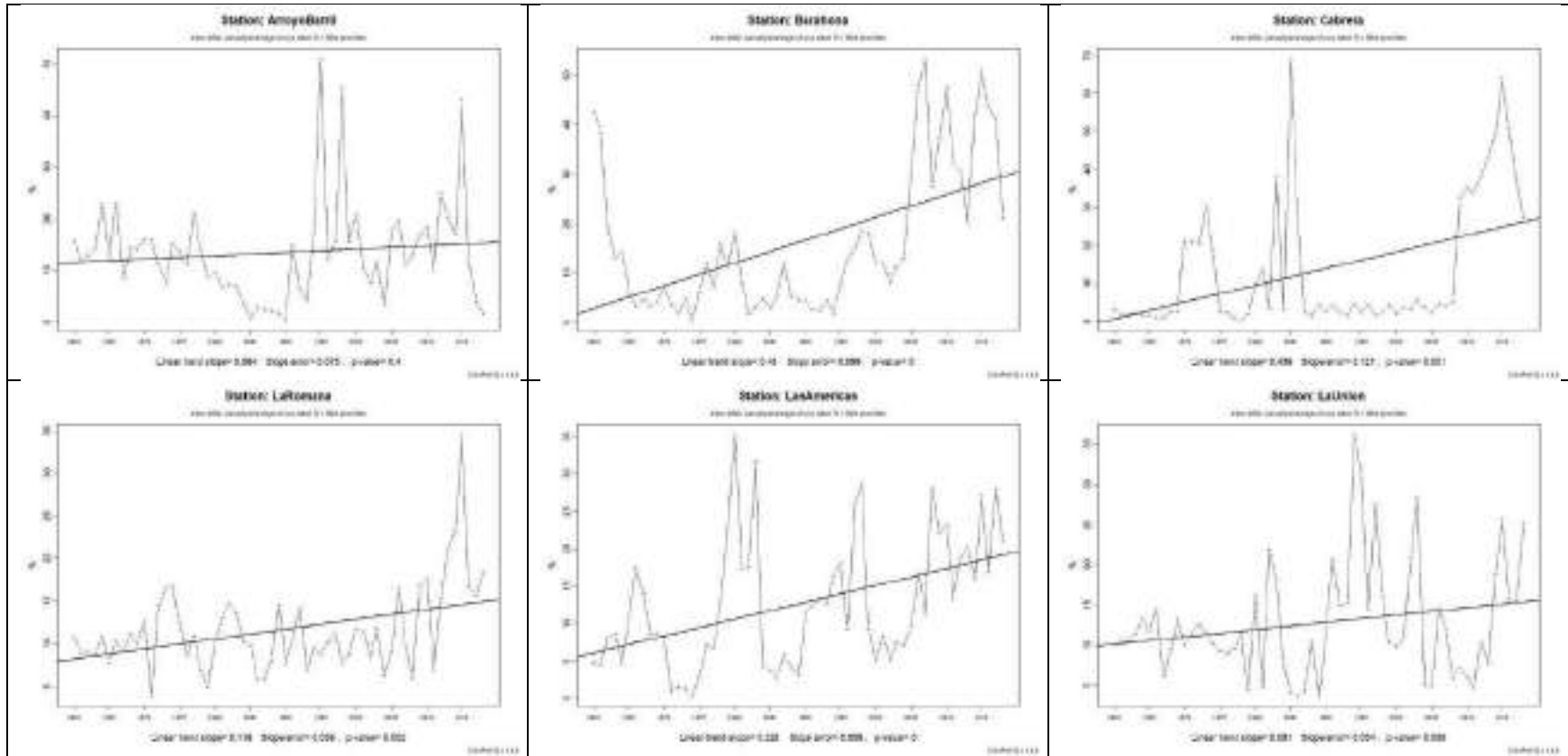
Cuadro 28. Mapas de distribución geográfica de frecuencia de días fríos (Tx10p) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.

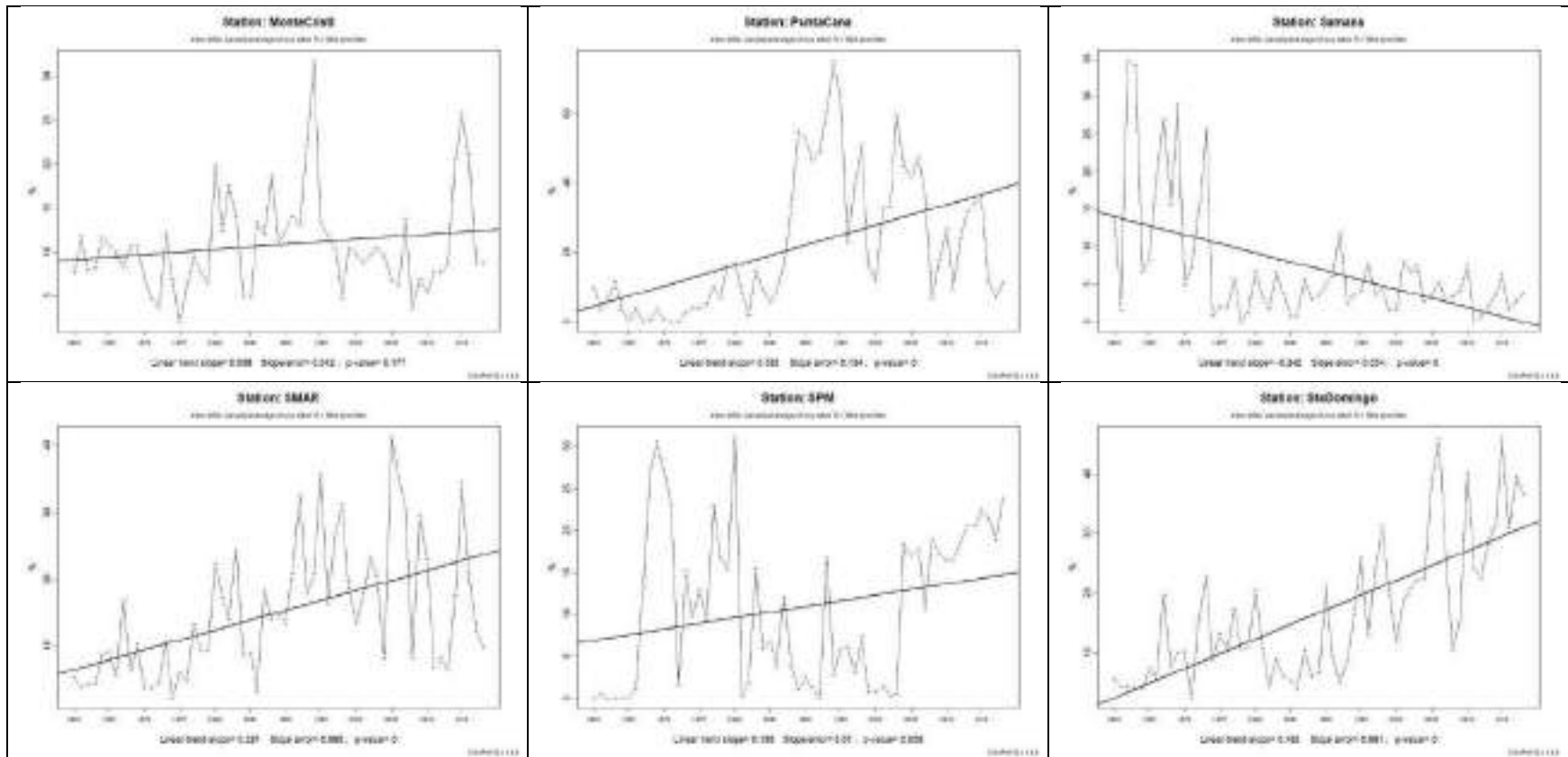
1990	1991	1992	1993	1994	1995
1996	1997	1998	1999	2000	2001
2002	2003	2004	2005	2006	2007
2008	2009	2010	2011	2012	2013
2014	2015	2016	2017	2018	Leyenda

Frecuencia de días calurosos (Tx90p), escenario 2.

En el cuadro 35 se puede observar los gráficos de frecuencia de días calurosos, en los que se observa una tendencia al aumento en la frecuencia de días calurosos en la mayoría de las estaciones, excepto para Samana. En Samana se observa una disminución en la frecuencia de días calurosos que se explica por la gran cantidad de días calurosos en el periodo de referencia, es decir, en los años 1960-1990 se presentaron temperaturas máximas muy elevadas y eso se traduce en una disminución en la frecuencia de días calurosos para el periodo 1990-2018. La estación que muestra el mayor aumento es Punta Cana, con 33%.

Cuadro 29. Gráficos de frecuencia de días calurosos (Tx90p) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.





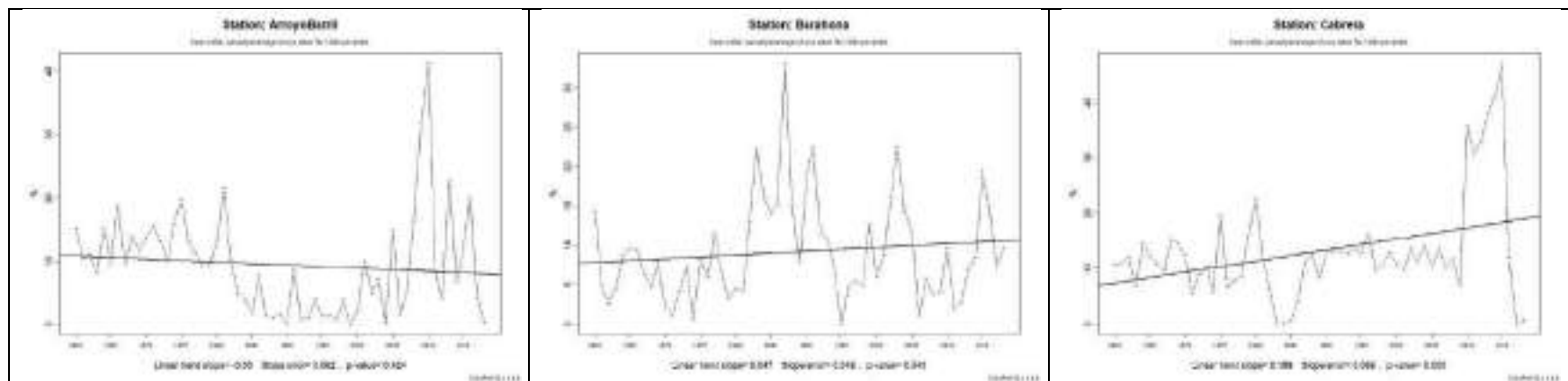
Cuadro 30. Mapas de distribución geográfica de frecuencia de días calurosos (Tx90p) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.

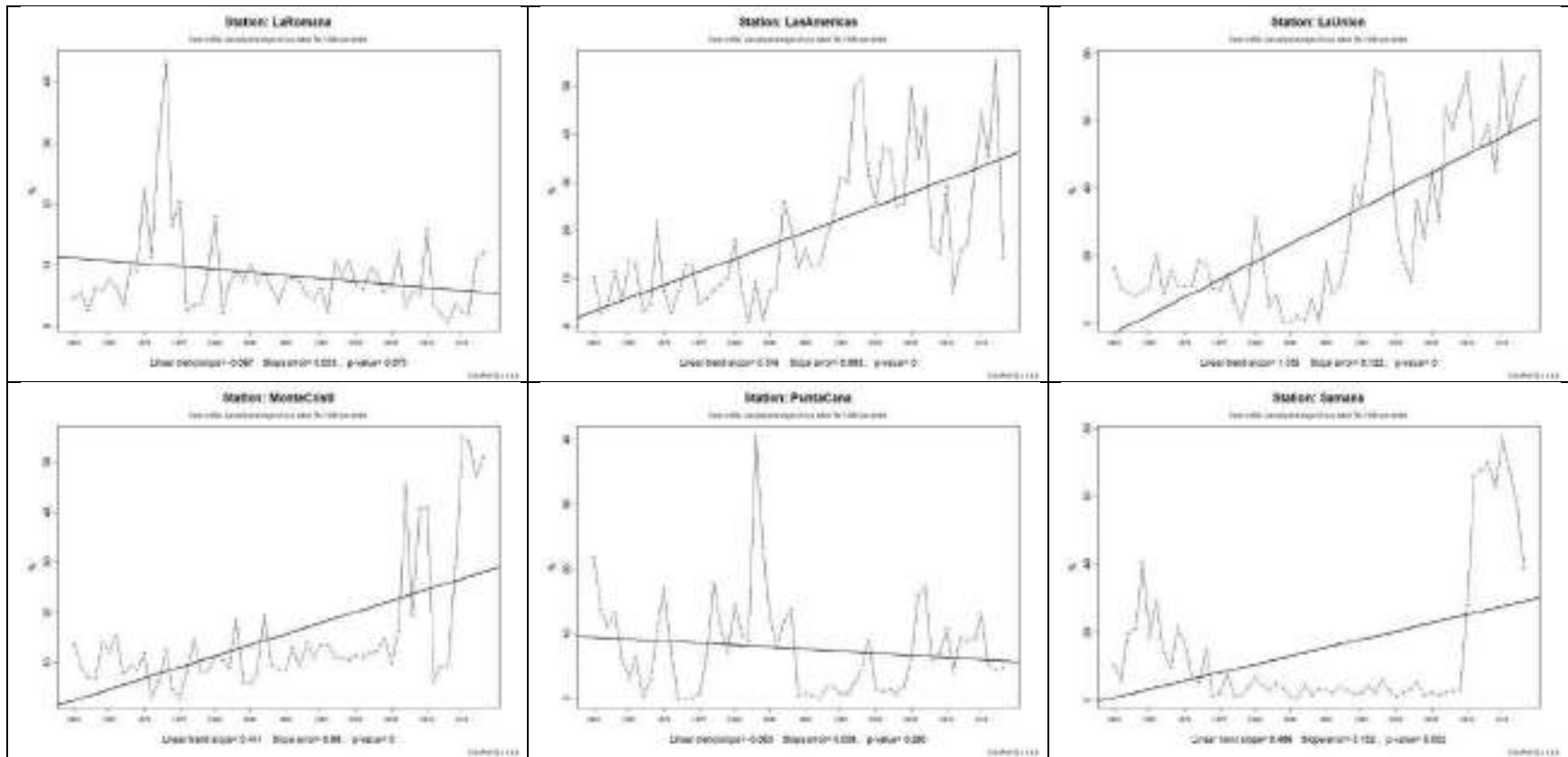
1990	1991	1992	1993	1994	1995
1996	1997	1998	1999	2000	2001
2002	2003	2004	2005	2006	2007
2008	2009	2010	2011	2012	2013
2014	2015	2016	2017	2018	Leyenda

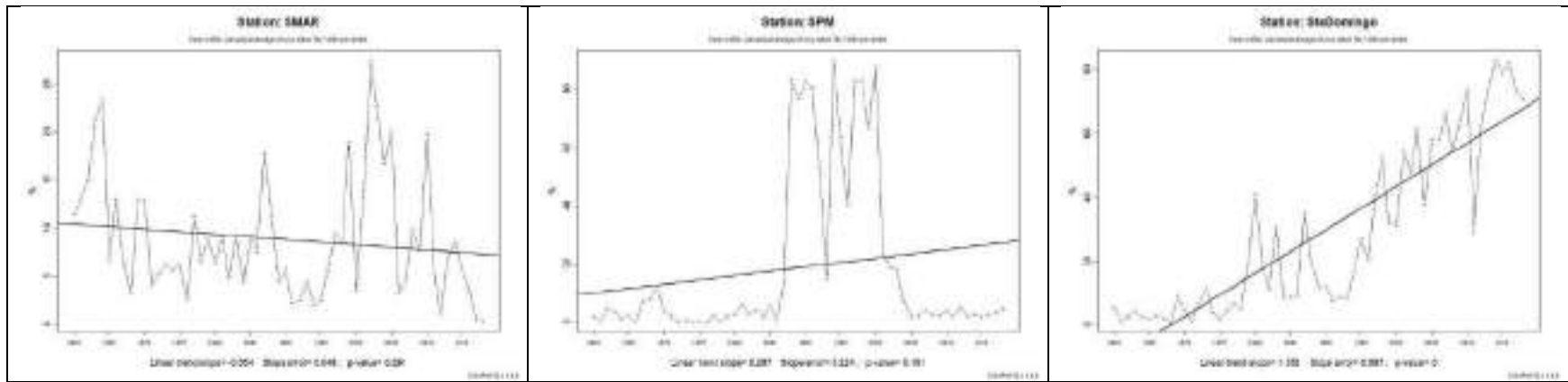
Frecuencia de noches calurosas (Tn90p)

Las estaciones Arroyo Barril, Barahona y Punta Cana no parecen mostrar una marcada tendencia. La Romana despliega una leve tendencia a la disminución en la frecuencia de noches calurosas con -6%, mientras que Santo Domingo muestra una tendencia al aumento en la frecuencia de noches calurosas de poco más de 78% en el periodo de análisis (Cuadro 37).

Cuadro 31. Gráficos de frecuencia de noches calurosas (Tn90p) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.







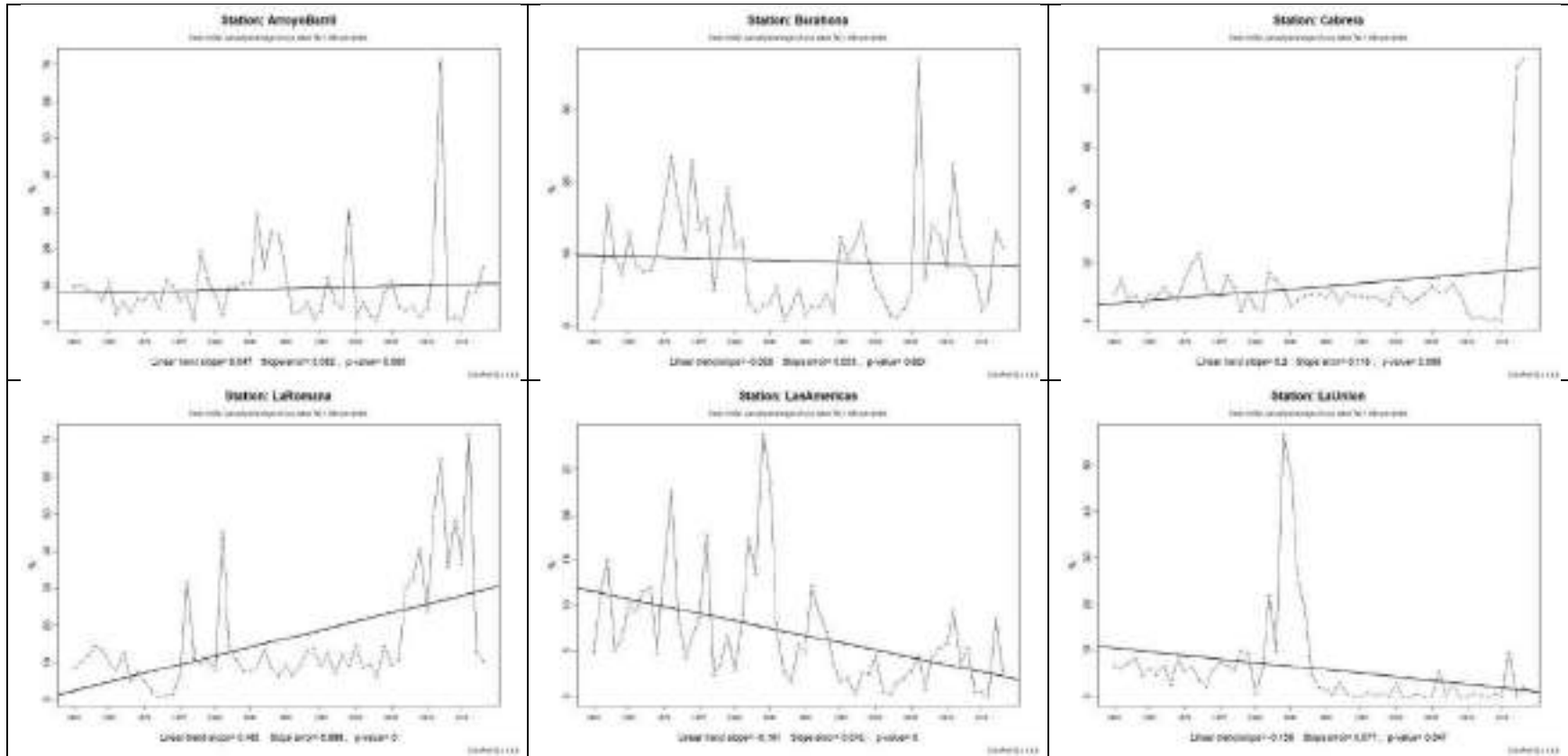
Cuadro 32. Mapas de distribución geográfica de frecuencia de noches calurosos (Tn90p) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.

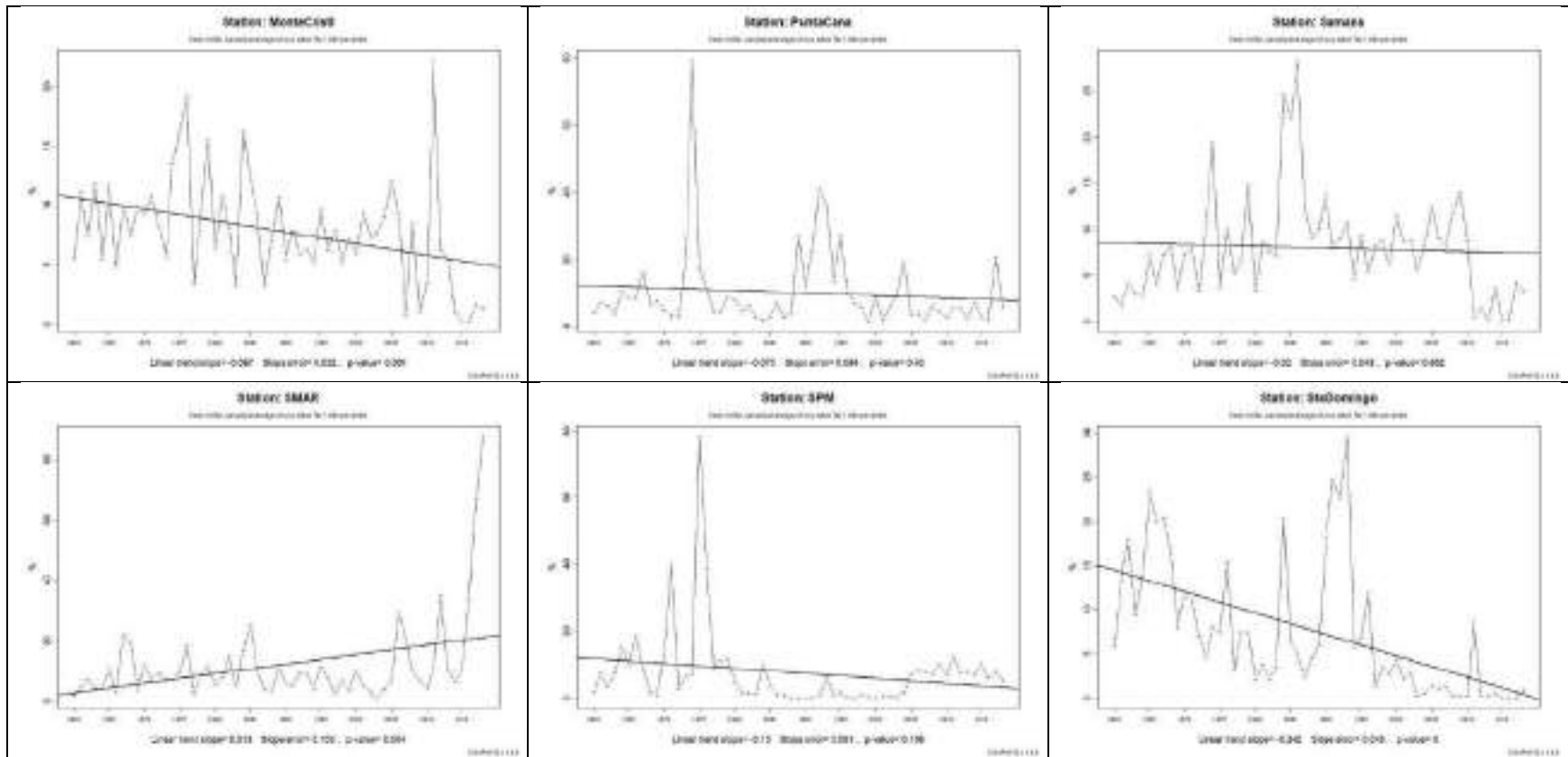
1990	1991	1992	1993	1994	1995
1996	1997	1998	1999	2000	2001
2002	2003	2004	2005	2006	2007
2008	2009	2010	2011	2012	2013
2014	2015	2016	2017	2018	Leyenda

Frecuencia de noches frías (Tn10p), escenario 2.

Las estaciones Arroyo Barril, Barahona, Punta Cana, Samana y SPM muestran tendencias poco definidas (Cuadro 39). Las estaciones Cabrera, La Romana y SMAR despliegan una tendencia al aumento en la frecuencia de noches frías, siendo La Romana la que muestra la mayor magnitud con cerca de 27% más en el periodo de análisis. Se resalta el hecho de que la estación Cabrera muestra la tendencia al aumento debido a la temperatura mínima registrada en los últimos años. Las otras estaciones muestran una tendencia a la disminución en la frecuencia de noches frías, siendo Santo Domingo la que muestra la mayor magnitud con poco más de -14%.

Cuadro 33. Gráficos de frecuencia de noches frías (Tn10p) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.





Cuadro 34. Mapas de distribución geográfica de frecuencia de noches frías (Tn10p) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.

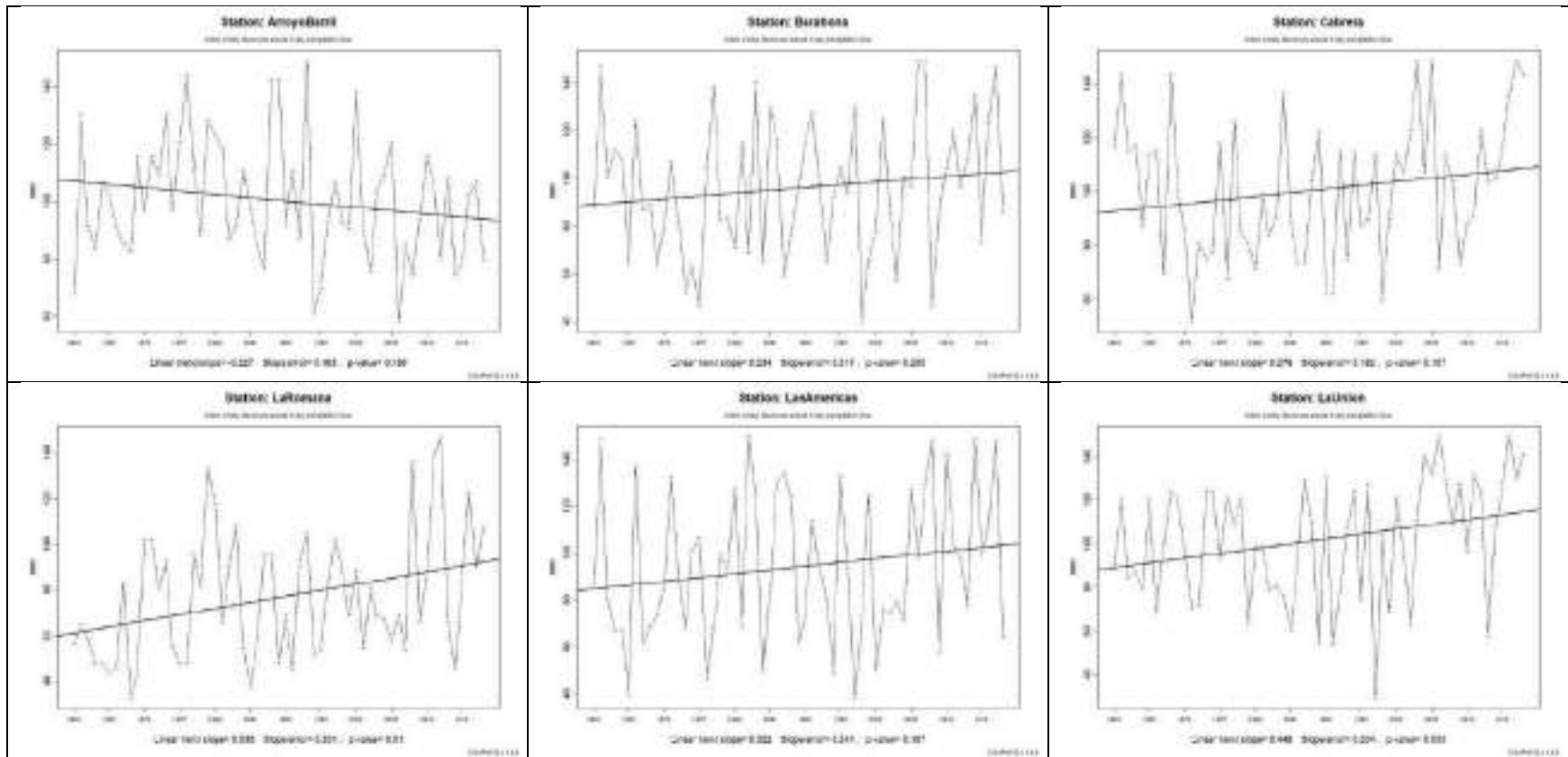
1990	1991	1992	1993	1994	1995
1996	1997	1998	1999	2000	2001
2002	2003	2004	2005	2006	2007
2008	2009	2010	2011	2012	2013
2014	2015	2016	2017	2018	Leyenda

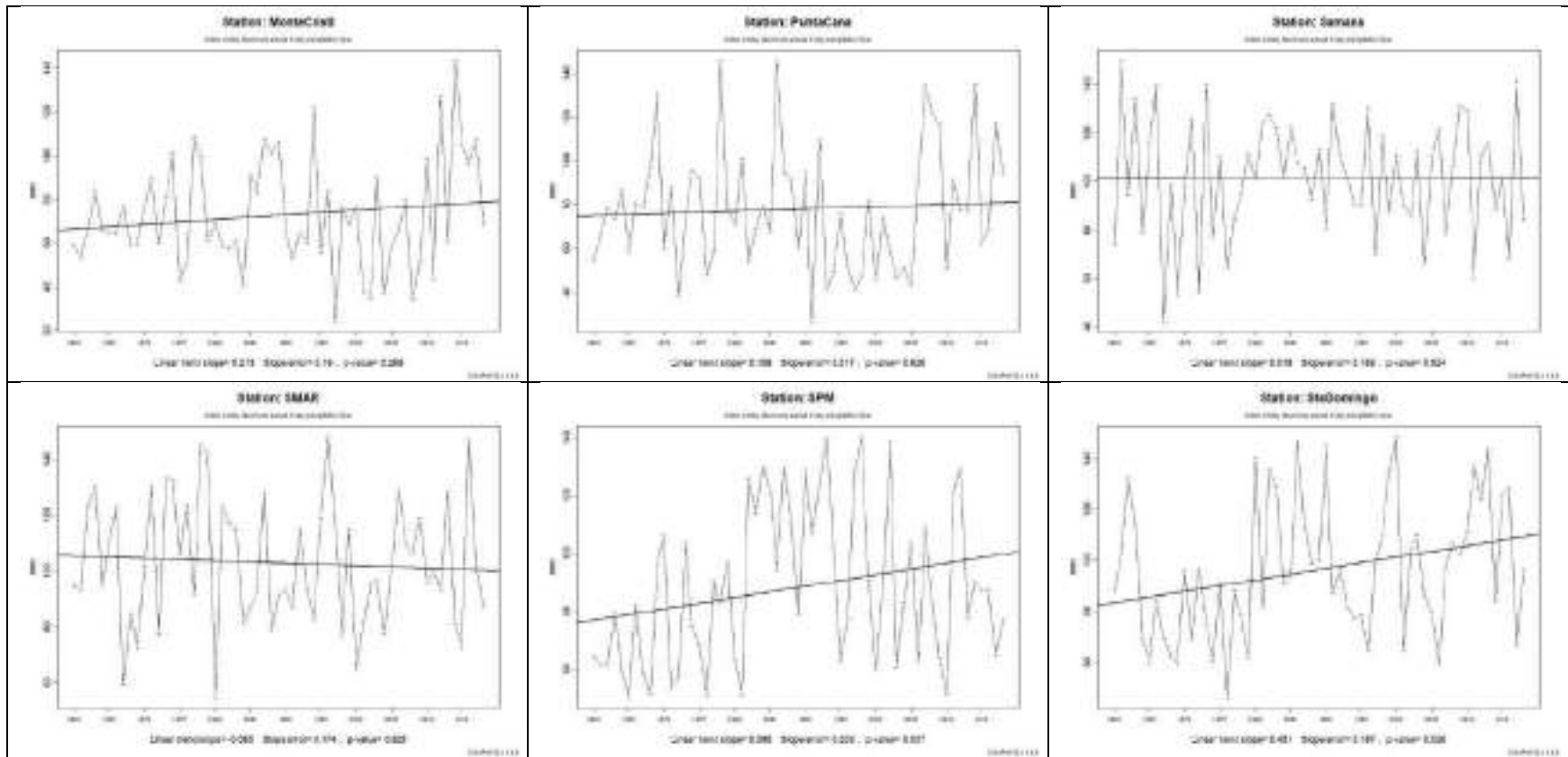
Índices de precipitación extremos

Máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1day).

Las estaciones Arroyo Barril y SMAR muestran una disminución, aunque SMAR despliega una disminución de apenas 5 mm en todo el periodo, y Arroyo Barril de -13 mm. La estación Punta Cana no muestra una marcada tendencia. El resto de las estaciones reporta un aumento en la máxima cantidad de precipitación que se registra en un día, siendo La Romana la que muestra el mayor incremento con 31 mm en todo el periodo (Cuadro 41).

Cuadro 35. Gráficos de máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1day) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.





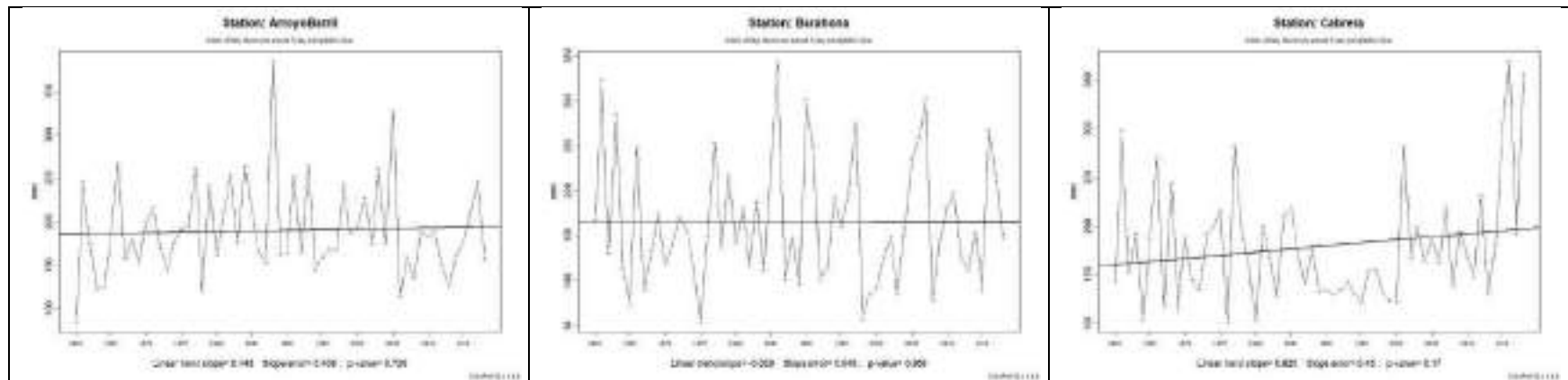
Cuadro 36. Mapas de distribución geográfica de máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1day) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.

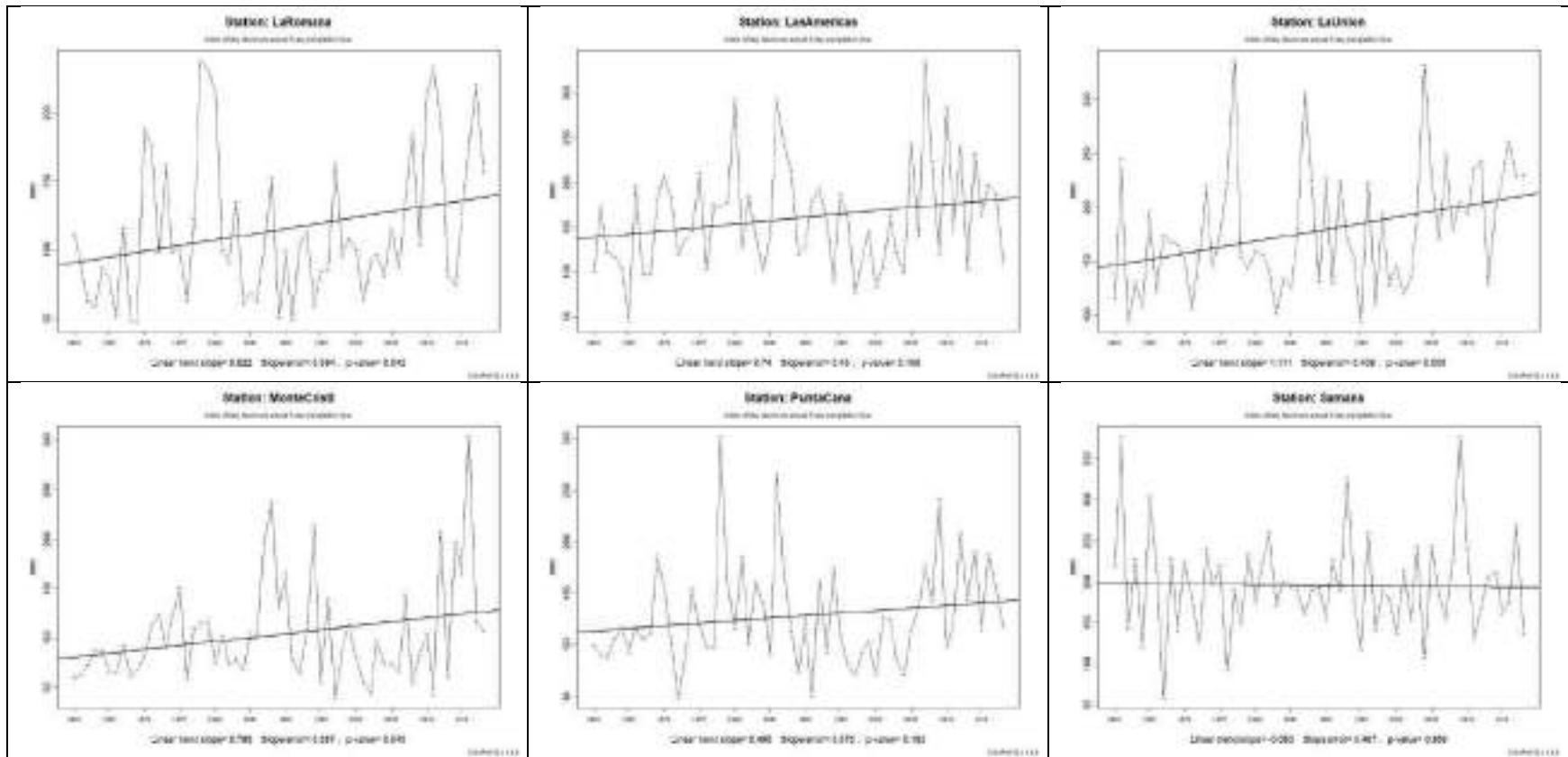
1990	1991	1992	1993	1994	1995
1996	1997	1998	1999	2000	2001
2002	2003	2004	2005	2006	2007
2008	2009	2010	2011	2012	2013
2014	2015	2016	2017	2018	Legenda

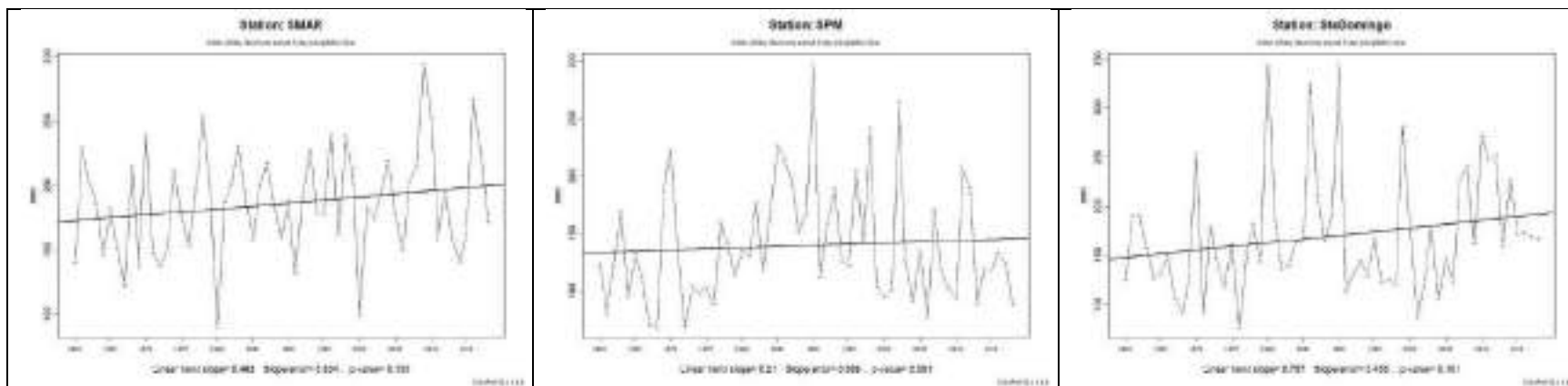
Máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5day), escenario 2.

Las estaciones Arroyo Barril, Barahona, Samana y SPM no muestran una marcada y definida tendencia. El resto de las estaciones muestra un aumento en la cantidad de precipitación que se registra en cinco días consecutivos (Cuadro 43), siendo La Romana la que despliega el mayor aumento con cerca de 48mm.

Cuadro 37. Gráficos de máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5day) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.







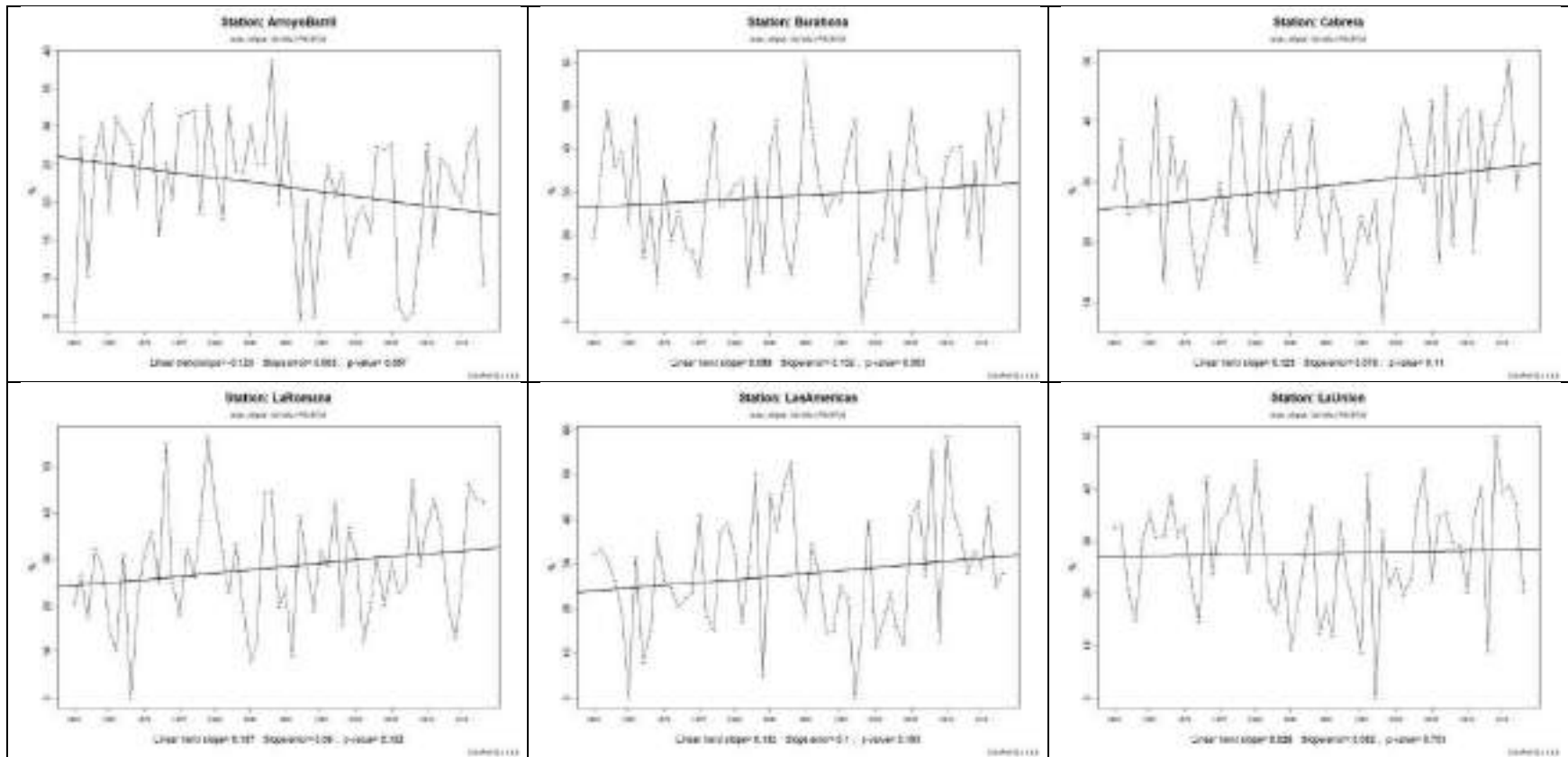
Cuadro 38. Mapas de distribución geográfica de máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5day) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.

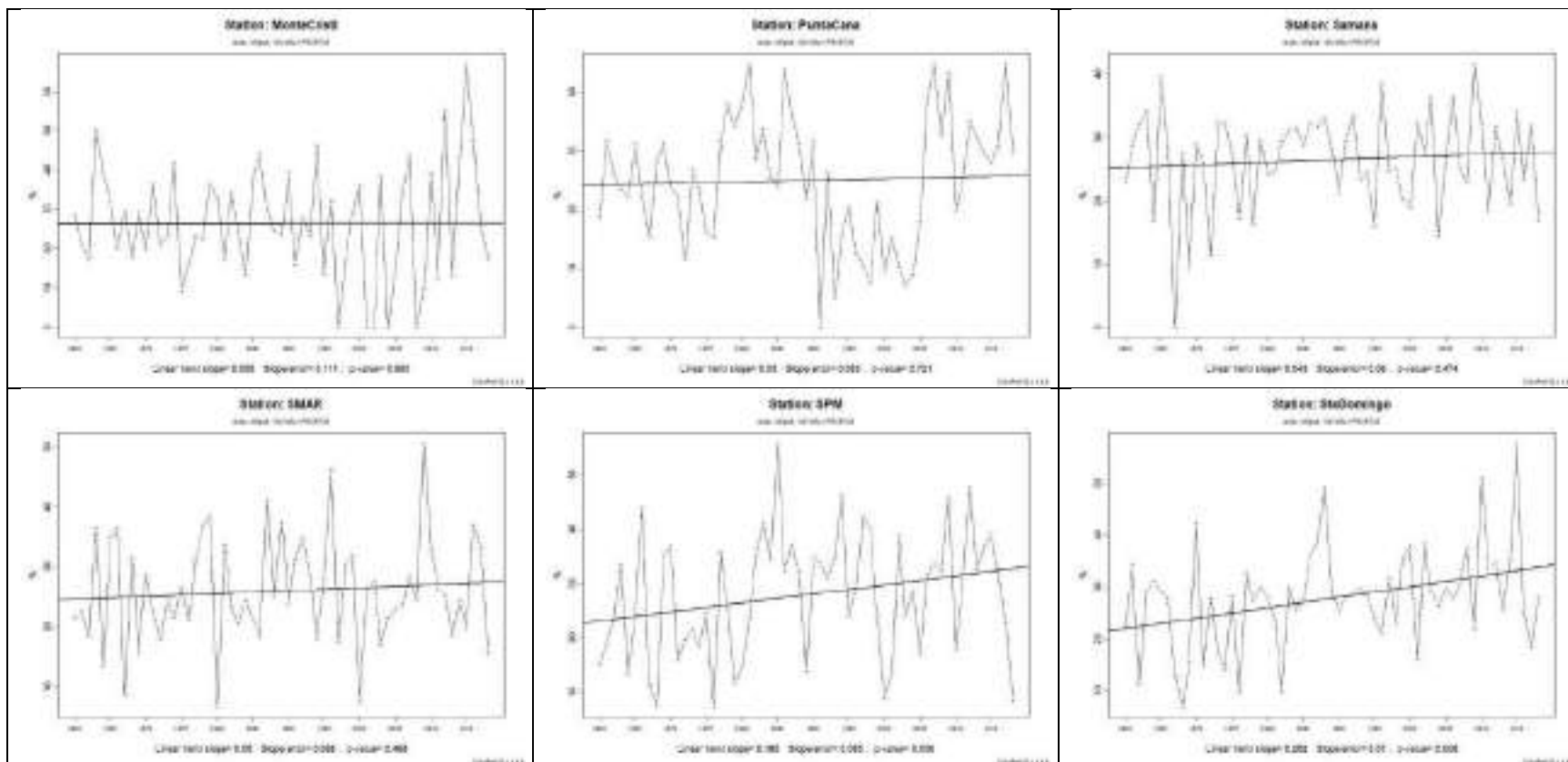
1990	1991	1992	1993	1994	1995
1996	1997	1998	1999	2000	2001
2002	2003	2004	2005	2006	2007
2008	2009	2010	2011	2012	2013
2014	2015	2016	2017	2018	Leyenda

Porcentaje del total de precipitación explicada por días muy húmedos (R95pTOT), escenario 2.

La estación Arroyo Barril es la única que muestra una tendencia negativa. Las estaciones La Unión, Monte Crisi, Punta Cana, Samana y SMAR no muestran una tendencia clara y definida. Las demás estaciones despliegan un aumento en el porcentaje del total de precipitación explicada por días muy húmedos (Cuadro 45), siendo Santo Domingo la que muestra el mayor aumento con cerca del 12%.

Cuadro 39. Gráficos de porcentaje total de precipitación explicada por los días muy húmedos (R95pTOT) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.





Cuadro 40. Mapas de distribución geográfica de porcentaje total de precipitación explicada por los días muy húmedos (R95pTOT) de las estaciones analizadas para el periodo 1960-2018, escenario 2.

1990	1991	1992	1993	1994	1995
1996	1997	1998	1999	2000	2001

2002	2003	2004	2005	2006	2007
2008	2009	2010	2011	2012	2013
2014	2015	2016	2017	2018	Leyenda

Anexo 1. Registros de precipitaciones superiores a 150 mm por estación (en verde se denotan aquellos registros que se mantuvieron y no fueron eliminados).

Estación	Precipitación	Fecha	Evento hidrometeorológico
A. La Unión	272.8	15-Marzo-2018	No
	213.1	7-Noviembre-2011	No
	184.8	8-Noviembre-2016	No
	178.5	17-Abril-2005	No
	175.2	29-Noviembre-2018	No
	170.1	30-Enero-1988	No
	157	31-Agosto-1979	Sí, Frederic y David.
	156	27-October-2006	No
	154.1	24-Marzo-2017	No
	151.7	22-Marzo-2017	No
Las Americas	292.2	22-Junio-2010	No
	291.2	27-Marzo-1998	No
	250.4	13-Setiembre-1985	No
	232.6	17-Junio-1970	No
	232.4	30-Setiembre-2010	No
	229.8	13-Agosto-2009	No
	210.2	23-Mayo-2004	No
	208.4	31-Agosto-1979	Sí, Frederic y David
	201.6	27-Setiembre-1963	Sí, Edith
	177.8	23-Agosto-1962	No
	175.9	4-Julio-2011	No
	173.2	4-Noviembre-2010	No
	171.1	21-Julio-2010	No
	154.7	24-Junio-2010	No
Sabana de la Mar	273.4	3-5-1965	No
	238.6	21-9-2017	Sí, María
	231.2	21-4-1979	No
	207.1	27-4-2016	No
	192.1	11-11-2016	No
	191.7	31-8-1979	Sí, Frederic y David.
	188.9	17-8-2017	No
	186.4	24-4-1961	No
	172.3	31-8-1982	No
	171.6	18-11-1975	No
	154	26-10-1974	No
	154	20-4-1979	No
153.9	6-7-1982	No	
Samana	239.2	17-8-2017	No
	217.9	29-4-2017	No
	201.9	31-8-1979	Sí, Frederic y David.
	200.6	20-9-2017	Sí, María
	192.5	23-1-2009	No
	192	10-2-2009	No
	180.5	12-11-1996	No
	174.2	11-11-2016	No
	169.6	28-8-1964	No
	161.2	8-5-2009	No
158.7	23-5-2009	No	

Estación	Precipitación	Fecha	Evento hidrometeorológico
	158.2	20-4-1979	No
	155.5	16-9-2004	Sí, Jeanne
SPM	230	28-9-1999	No
	209.7	6-9-1979	Sí, Frederic y David
	195.2	8-12-1987	No
	194.5	11-3-1989	No
	184.4	31-8-1979	Sí, Frederic y David
	174.8	26-7-1971	No
	164.4	15-9-1968	No
	151.8	16-9-1975	Sí, Eloise
Cabrera	214.9	31-8-1979	Sí, Frederic y David
	163.9	8-11-1979	No
	152.9	25-5-1981	No
	152.3	12-11-2017	No
Arroyo Barril	211.4	17-8-2017	No
	179.7	21-9-2017	Sí, María
	176.3	31-8-1979	Sí, Frederic y David
	176	12-11-1996	No, pero se dejó el dato porque se observó alta precipitación en estaciones aledañas.
Barahona	396	23-4-2017	No
	306	9-12-1987	No
	264	4-10-2016	No
	262.3	26-8-2008	Sí, Fay
	253.7	24-10-2012	No
	248.6	3-10-1963	No
	236.4	24-8-2012	No
	226.3	14-11-1994	No
	224	4-10-1963	No
	218.1	8-12-1987	No
	216.2	29-10-2007	No
	212.5	14-3-1983	No
	203.4	9-3-1989	No
	203.1	7-9-2008	Sí, Ike
	201.4	13-11-1994	No
	183.8	10-12-1975	No
	179.6	16-6-1972	No
	178.3	5-8-1980	No
	176.6	6-12-2003	Sí, Odette
	174.4	25-8-2012	No
	171.5	29-4-1992	No
	164.8	13-8-1981	No
	161.5	17-9-1975	Sí, Eloise
156.8	6-9-1979	Sí, Frederic y David	
155.6	30-10-2007	No	
153.5	17-6-1972	No	
150.3	23-5-2004	No	
Monte Cristi	260.4	8-11-2012	No
	239.6	9-11-2012	No
Punta Cana	257.4	7-5-2016	No

Estación	Precipitación	Fecha	Evento hidrometeorológico
	228.3	15-5-1992	No
	184.5	6-11-1969	No
	170	22-9-2008	No
	168.2	25-10-1978	No
	164.6	24-8-1964	No
	162.8	5-9-1979	Sí, Frederic y David
	157.4	4-5-1982	No
	155.8	10-10-1964	No
	154.8	14-2-2015	No
	154.5	2-9-2008	Sí, Ike
	151.4	9-1-1996	No
Santo Domingo	244.2	9-7-2018	Sí, Beryl
	243	23-5-1977	No
	235.5	18-8-1995	No
	233.7	16-9-1975	Sí, Eloise
	209.7	15-8-2008	Sí, Fay
	204	6-12-2003	Sí, Odette
	200.7	19-9-1960	Sí, Florence
	198.1	18-8-1988	No
	189.3	3-6-1986	No
	189.1	23-5-2004	No
	188.1	4-7-2011	No
	186.1	18-2-1989	No
	182.1	6-10-1995	No
	179	13-9-1985	No
	172.8	31-8-1979	Sí, Frederic y David
	172.5	9-12-1987	No
	170.2	3-10-2016	No
	166.8	25-8-1971	Sí, Doria
	166.2	28-10-2007	No
	161.1	22-7-2010	No
158.2	4-8-2011	No	
152.2	18-11-1985	No	
La Romana	218.4	25-10-1978	No
	209.3	31-8-1979	Sí, Frederic y David
	207.8	16-9-1975	Sí, Eloise
	160.7	23-8-2014	No
	156.8	23-9-2008	No
	151.1	26-8-2016	No

Anexo 2. Ubicación de archivos asociados al informe.

Archivos	Ubicación	Descripción
Indicadores por estación formato .csv	https://drive.google.com/drive/folders/1HHHdpeBAFQnUF_P_1e0dtOaJ-ZPFvr2Q9?usp=sharing Carpeta indicadores escenario 1 Carpeta indicadores escenario 2	Los archivos se encuentran en dos subcarpetas: Escenario 1 y Escenario 2. Cada archivo cuenta con un nombre asociado al indicador: frecuencia de días calurosos (TX90p), frecuencia de días fríos (TX10p), frecuencia de noches calurosas (Tn90p), frecuencia de noches frías (TN10p), la máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1day), la máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5day), porcentaje del total de precipitación explicada por los días muy húmedos los cuales se ubican en el percentil 95 (R95pTOT).
Shapefiles	https://drive.google.com/open?id=1asj2v7oELCeTpm4quWjvTgNyQdtH64G1 Carpeta shapes escenario 1 Carpeta shapes escenario 2.	Los archivos se encuentran en dos subcarpetas: Escenario 1 y Escenario 2. Cada archivo cuenta con un nombre asociado al indicador similar a lo indicado anteriormente: frecuencia de días calurosos (TX90p), frecuencia de días fríos (TX10p), frecuencia de noches calurosas (Tn90p), frecuencia de noches frías (TN10p), la máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1day), la máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5day), porcentaje del total de precipitación explicada por los días muy húmedos los cuales se ubican en el percentil 95 (R95pTOT).

Anexo 3. Datos eliminados para el escenario 2.

Evento	Sector*	Fechas
Florence	Norte	17 set - 26 set 1960
Frances	Norte y este	30 set - 10 oct 1961
Edith	Todo	23 set - 29 set 1963
Inez	Sur y Este	21 set - 11 oct 1966
Beulah	Sur	5 set - 22 set 1967
Kara	Norte	7 oct - 19 oct 1969
Sin nombre	Todo	23 set - 11 oct 1970
Doria	Norte	20 ago - 29 ago 1971
Sin nombre	Norte	2 set - 11 set 1974
Eloise	Norte y este	13 set - 24 set 1975
Sin nombre	Sur y Norte	3 oct - 12 oct 1976
Sin nombre	Norte	8 jul - 13 jul 1979
Claudette	Todo	15 jul - 29 jul 1979
David	Todo	25 ago - 8 set 1979
Frederic	Todo	29 ago - 15 set 1979
Gert	Norte y este	7 set - 15 set 1981
Debby	Norte	13 set - 20 set 1982
Lili	Norte y este	12 dic - 24 dic 1984
Isabel	Todo	7 oct - 15 oct 1985
Emily	Todo	20 set - 26 set 1987
Chris	Todo	21 ago - 30 ago 1988
Cindy	Todo	14 ago - 17 ago 1993
Hortense	Norte y este	3 set - 16 set 1996
Grace	Norte	14 oct - 17 oct 1997
Georges	Todo	15 set - 01 oct 1998
Debby	Norte y este	19 ago - 24 ago 2000
Helene	Sur y este	15 set - 25 set 2000
Mindy	Norte	10 oct - 14 oct 2003
Odette	Todo	04 dic - 09 dic 2003
Jeanne	Todo	13 set - 29 set 2004
Alpha	Sur	22 oct - 24 oct 2005
Chris	Norte	01 ago - 06 ago 2006
Olga	Todo	10 dic - 16 dic 2007
Fay	Todo	15 ago - 28 ago 2008
Ike	Norte	01 set - 15 set 2008
Henri	Norte	6 oct - 11 oct 2009
Irene	Norte y este	21 ago - 30 ago 2011
Gabrielle	Norte y este	4 set - 13 set 2013
Bertha	Todo	29 jul - 9 ago 2014

Evento	Sector*	Fechas
Irma	Norte	30 ago - 13 set 2017
María	Norte y este	16 set - 2 oct 2017
Beryl	Todo	4 jul 17 jul 2018

* Las estaciones consideradas según los sectores indicados son:

- Norte: Monte Cristi, Aeropuerto La Unión, Cabrera, Samana, SMAR y Arroyo Barril
- Sur: Barahona, Sto Domingo, Las Américas, SPM, La Romana
- Este: Punta Cana
- Todo: Todas las estaciones

Anexo 4. Datos por estación en los que se detectó variaciones de 10°C o más en días consecutivos para temperatura máxima y temperatura mínima.

Variable	Día	Mes	Año	Valor °C	Día	Mes	Año	Valor °C
Temperatura mínima	Arroyo Barril				Barahona			
	15	12	2005	29.2	1	2	2000	10.5
	16	12	2005	18.4	2	2	2000	21.5
	4	12	2008	31.2	25	11	2010	18.5
	5	12	2008	20.9	26	11	2010	30.5
	6	7	2013	23.5	27	11	2010	17.2
	7	7	2013	34	Cabrera			
	La Romana				19	11	2018	19
	20	2	2006	18.8	20	11	2018	29
	21	2	2006	31.4	Las Américas			
	22	2	2006	18.2	2	1	1991	11.4
	8	8	2007	22	3	1	1991	22.1
	9	8	2007	12	La Unión			
	10	8	2007	22	7	12	2004	29.6
	22	12	2014	16	8	12	2004	19.4

Variable	Día	Mes	Año	Valor °C	Día	Mes	Año	Valor °C
	23	12	2014	165.5	Monte Cristi			
	24	12	2014	17	15	7	2007	24.3
	Punta Cana				16	7	2007	13.2
	26	8	2005	32.7	17	7	2007	24.6
	27	8	2005	22.1	26	7	2007	24.8
	20	10	2005	22	27	7	2007	35.3
	21	10	2005	32.6	Samana			
	22	10	2005	22	7	11	1986	29
	SMAR				8	11	1986	19
	11	3	1995	24	SPM			
	12	3	1995	13.8	31	1	1983	30.4
	18	3	2002	25	1	2	1983	18.5
	19	3	2002	14	20	6	1993	21.2
	20	3	2002	25.5	21	6	1993	32.3
	Santo Domingo							
	15	3	2018	23				
	16	3	2018	13				

Variable	Día	Mes	Año	Valor °C	Día	Mes	Año	Valor °C
Temperatura Máxima	Arroyo Barril				Barahona			
	24	2	1977	20.7	19	12	2014	31.5
	25	2	1977	31.2	20	12	2014	18.5
	20	7	1980	21.4	21	12	2014	30.5
	21	7	1980	32	Cabrera			
	9	12	1984	30	3	3	2010	31
	10	12	1984	19	4	3	2010	16.1
	11	12	1984	29	La Romana			
	29	1	1986	35	1	8	2007	34.4
	30	1	1986	25	2	8	2007	23.6
	9	3	1994	22.4	3	8	2007	34.4
	10	3	1994	32.4	Las Américas			
	19	3	1994	32.7	15	8	1993	36
	20	3	1994	22.3	16	8	1993	25.1
	21	3	1994	32.6	10	5	2009	31.4
	5	7	2009	32	11	5	2009	20
	6	7	2009	21.2	28	2	2017	32

Variable	Día	Mes	Año	Valor °C	Día	Mes	Año	Valor °C
	7	7	2009	32.2	1	3	2017	19
	29	8	2010	32.6	31	3	2017	17
	30	8	2010	22.4	1	4	2017	31.6
	26	4	2015	26.1	La Unión			
	27	4	2015	36.1	20	12	1994	21.9
	2	5	2015	35.8	21	12	1994	33.3
	3	5	2015	25.6	10	11	2001	20
	Monte Cristi				11	11	2001	30
	1	1	2007	21.2	25	3	2003	32.5
	2	1	2007	31.6	26	3	2003	21.6
	29	4	2007	34.8	7	9	2003	33.5
	30	4	2007	24	8	9	2003	22.6
	29	6	2012	33.7	9	9	2003	33
	30	6	2012	22.9	26	12	2003	39.5
	1	7	2012	34.4	27	12	2003	29
	Punta Cana				28	12	2003	28
	1	2	1995	31.1	29	12	2003	38.4

Variable	Día	Mes	Año	Valor °C	Día	Mes	Año	Valor °C
	2	2	1995	20.6	30	12	2003	27.5
	3	2	1995	31	30	9	2010	33.5
	16	4	1995	32	1	10	2010	22.9
	17	4	1995	21.8	21	1	2016	33
	18	4	1995	32	22	1	2016	23
	16	4	2010	29.3	Samana			
	17	4	2010	18.4	18	1	2011	20.2
	18	4	2010	29	19	1	2011	30.5
	30	4	2012	29	SMAR			
	1	5	2012	18.5	2	5	1968	31.1
	2	5	2012	28.5	3	5	1968	21.1
	31	3	2017	17.9	4	5	1968	31.4
	1	4	2017	29.2	19	4	2003	30
	SPM				20	4	2003	19.5
	15	11	1987	32.6	4	7	2007	31.8
	16	11	1987	22.3	5	7	2007	21.6
	10	11	1992	31.4	14	4	2009	20

Variable	Día	Mes	Año	Valor °C	Día	Mes	Año	Valor °C
	11	11	1992	20.5	15	4	2009	30
	13	4	1994	31.6	Santo Domingo			
	14	4	1994	21.5	10	2	2006	31
	2	8	1996	32.6	11	2	2006	20
	3	8	1996	21.7	15	2	2006	30.6
	4	8	1996	32.3	16	2	2006	20

Referencias

Hunt, B.G. (2007). Climatic outliers. En: International Journal of Climatology, 27, 139-156. Disponible en: <http://www.aari.ru/docs/pub/070119/hun07.pdf>

Lee, S., Wolberg, G., Shin, S.Y. (1997). Scattered data interpolation with multilevel b-splines. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 3, 3. Disponible en: <http://csweb.engr.cuny.cuny.edu/~wolberg/pub/tvcg97.pdf>

Leys, C, Ley, C., Klein, O., Bernard, P, Licata, L. (2013). Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. En: Journal of Experimental Social Psychology. 49, 764-766.

Llanos Herrera, L. (2014). RCLIM Tool: Manual del usuario. Cnetro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Ruras (MADR); Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Cali, Colombia. Disponible en: <https://ccafs.cgiar.org/es/publications/rclim-tool-manual-del-usuario-y-video#.XreJIS-ZNZg>

Seo, S. (2002). A review and comparison of methods for detecting outliers in univariate data sets. Tesis Maestría. Kyunghee University. Disponible en: <http://d-scholarship.pitt.edu/7948/1/Seo.pdf>

USAID. (2013). Dominican Republic Climate Change Vulnerability Assessment Report. Disponible en: <https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1862/Dominican%20Republic%20Climate%20Change%20Vulnerability%20Assessment%20Report.pdf>

Wilks. Análisis estadístico de datos climáticos: Distribuciones paramétricas de probabilidad. Disponible en: http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/Analisis_Estadistico_de_Datos_Climaticos/2013/Distribuciones_Probabilidad_2013.pdf



INFORME DE DATOS CALIBRADOS

Evaluación de la calibración de datos de temperatura
y precipitación para República Dominicana.

Elaborado por Andrea Tapia
Dirección, supervisión y aprobación de Antonio Arenas

Introducción

La estimación de índices climáticos extremos requiere de un análisis de calibración con el fin de obtener mejores resultados. Según Falconer et al. (2020) si bien las proyecciones climáticas globales pueden ofrecer un panorama sobre el futuro, éste es muy general y no es aplicable a escalas locales, por lo que es necesario llevar a cabo el proceso de calibración de datos. De esta manera, la información obtenida por modelos calibrados podrá ofrecer un mejor detalle de las proyecciones con el fin de poder tomar decisiones conducentes al manejo sostenible de los recursos naturales.

En este documento se reporta la metodología utilizada para calibrar los datos climáticos de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación para las costas de República Dominicana de 6 modelos diferentes, utilizando información de 12 estaciones. Se presenta posteriormente los resultados obtenidos de la evaluación de la información desagregada por estación climática y variable para seleccionar el mejor modelo a utilizar para las proyecciones de los escenarios RCP45 y 85.

Metodología

Se descargó los datos de los modelos CCSM4 (CCSM4), CNRM-CM5 (CNRM), MIROC5 (MIROC), MPI-ESM-LR (MPI), MRI-CGCM3 (MRI) y NorESM1-M (Noresm) para República Dominicana desde la página web de la NASA *del proyecto NEX-GDDP*. De acuerdo con las especificaciones del software CMhyd (que ofrece 8 métodos para calibrar y reducir la escala de modelos globales o regionales de cambio climático), se preparó los archivos de los modelos y los datos de las 12 estaciones de República Dominicana facilitados por la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET): Aeropuerto La Unión, Arroyo Barril, Barahona, Cabrera, La Romana, Las Américas, Monte Cristi, Punta Cana, Samana, SMAR, SPM y Santo Domingo.

Existen varios métodos utilizados para calibrar y reducir la escala de modelos climáticos globales o regionales. Los métodos como “lineal scaling”, “local intensity scaling” “Delta-change” son conocidos como métodos basado en la media, mientras que “daily translation” “Quantile mapping” y “SDM” son métodos basado en la distribución.

Chen et al. (2013) encontraron que los métodos basado en la distribución muestran consistentemente mejores resultados que aquellos que se basan en la media. Por otra parte y de acuerdo con Switanek et. al (2017), el SDM constituye un método superior a Quantile mapping (QM) y Quantile delta mapping (QDM) porque SDM tiene la capacidad de preservar los cambios proyectados de los modelos. Dado lo anterior, para llevar a cabo la calibración y reducción de escala, se utilizará el modelo Distribution mapping (SDM) of precipitation and temperature.

Los datos calibrados de los modelos serán empleados para estimar los índices climáticos extremos; por lo tanto, interesa conocer (i) la correlación entre los datos observados y calibrados, (ii) y la capacidad de los datos calibrados para registrar eventos extremos. Por esta razón se estimó el coeficiente de correlación de Pearson para los datos diarios de temperatura máxima y

mínima para cada modelo, y el error porcentual absoluto de los datos extremos mensuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. Esto es, el error porcentual absoluto del máximo de temperatura máxima, el mínimo de temperatura mínima y el máximo de precipitación.

Box 1
Se trabajó con los datos observados y calibrados del periodo 1960 al 2005, ya que, si bien los datos observados cuentan con registros desde 1960 hasta el 2018, la información del periodo histórico de <i>los modelos NEX-GDDP</i> van desde 1950 hasta 2005, por lo que el traslape útil entre los datos observados y modelados, corresponde a 1960-2005.

El coeficiente de correlación de Pearson se utiliza para conocer el grado de relación entre dos variables, en este caso entre los datos observados de las estaciones y los datos calibrados de los modelos ubicados geográficamente en la estación a evaluar. Dicho índice puede tomar valores entre cero y uno, donde cero representa que no existe ninguna relación y uno indica que la relación entre las variables es perfecta. Cabe resaltar que, *la precipitación no es una variable que se pueda evaluar utilizando este coeficiente debido a su distribución no-normal, a diferencia de los datos de temperatura que tienen una tendencia hacia la normalidad.*

Por otra parte, se calculó el error porcentual absoluto como:

$$\text{Error porcentual absoluto} = \frac{|\text{valor observado} - \text{valor calibrado}|}{\text{valor observado}} * 100$$

El error porcentual absoluto se obtuvo para cada mes desde 1960 hasta 2005. Se estimó el promedio para todo el periodo, por tanto, se identifica como error porcentual absoluto medio.

Con el fin de poder evaluar el coeficiente de correlación de Pearson y el error porcentual absoluto medio de los datos se procedió a ponderar los valores para obtener una calificación de la siguiente manera:

1. Transformación porcentual del coeficiente de correlación de Pearson, esto es multiplicar por 100 cada valor de correlación de Pearson (%CP)
2. Se restó a 100 el error porcentual absoluto medio y se calculó el valor absoluto para las variables de temperatura máxima y mínima (100-EPAm).
3. En el caso de la precipitación se hizo un análisis diferenciado para cada estación, donde el modelo con el valor más alto de error fue castigado con un cero, y para los demás modelos se estimó un valor proporcional a la magnitud del error porcentual absoluto medio (Proporcional100-EPAm). Este tratamiento diferenciado con los datos de precipitación fue necesario para poder estandarizar los valores, ya que el error porcentual absoluto medio en todas las estaciones fue mayor a 100%.

4. Dado que la precipitación no cuenta con un valor para el coeficiente de correlación de Pearson, se dio un mayor peso al error porcentual absoluto medio de esta variable. De esta manera, el peso de los factores considerados fue:
 - a. 0.167 para %CP de los datos diarios de temperatura máxima y mínima; y 100-EPAm de los datos extremos mensuales de la temperatura máxima y mínima.
 - b. 0.344 para el Proporcional100-EPAm precipitación mensual extrema.
5. Se multiplicó los datos de %CP, 100-EPAm y Proporcional100-EPAm por los pesos indicados en el punto 3, y luego se sumaron.

La ponderación de los datos fue reportada para cada modelo como “Calificación”, donde un valor de 100 indica un modelo perfecto, y 0 un modelo inadecuado. Para cada estación se ha destacado con color verde los modelos que han obtenido la calificación más alta.

Resultados

En el siguiente cuadro se muestra el resumen de los estadísticos calculados para las variables de temperatura mínima, máxima y precipitación. En el cuadro se resalta en verde el o los modelos que obtuvieron la calificación más alta.

Cuadro 1. Resumen de los estadísticos calculados para las variables de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) y precipitación (Pcp) con su respectiva nota de acuerdo con las respectivas estaciones.

Estación	Modelo	Coeficiente Pearson		Error porcentual absoluto medio			Calificación
		Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Pcp	
ALaUnion	CCSM4	0.50	0.56	4.36	8.53	149.87	51
	CNRM	0.49	0.55	4.12	8.08	159.64	68
	MIROC	0.51	0.59	3.94	7.51	155.36	70
	MPI	0.50	0.56	4.59	7.52	134.40	72
	MRI	0.50	0.53	4.94	10.11	144.33	69
	Noresm	0.50	0.55	4.46	7.97	149.71	70
ArroyoBarril	CCSM4	0.35	0.47	4.77	9.78	227.08	65
	CNRM	0.36	0.47	4.62	9.23	230.68	65
	MIROC	0.35	0.50	5.52	9.37	255.41	63
	MPI	0.35	0.48	4.76	9.28	212.47	67
	MRI	0.36	0.47	4.87	9.42	225.52	65
	Noresm	0.36	0.47	4.78	9.98	221.51	66
Barahona	CCSM4	0.46	0.32	4.58	9.35	172.54	67
	CNRM	0.43	0.30	4.95	9.36	225.41	61
	MIROC	0.47	0.30	4.16	8.96	190.71	65
	MPI	0.49	0.30	3.76	8.11	191.61	66

Estación	Modelo	Coeficiente Pearson		Error porcentual absoluto medio			Calificación
		Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Pcp	
	MRI	0.44	0.32	4.97	10.04	197.32	64
	Noresm	0.48	0.33	4.02	8.69	178.11	67
Cabrera	CCSM4	0.45	0.43	6.61	13.91	176.26	66
	CNRM	0.44	0.41	5.98	12.51	182.74	65
	MIROC	0.46	0.47	6.65	14.20	209.23	64
	MPI	0.46	0.44	6.67	13.18	161.50	68
	MRI	0.45	0.42	6.51	13.05	175.81	66
	Noresm	0.45	0.43	6.84	13.63	181.14	66
LaRomana	CCSM4	0.47	0.59	4.28	8.41	146.24	71
	CNRM	0.47	0.56	4.01	7.64	160.28	68
	MIROC	0.48	0.62	5.21	8.12	146.23	71
	MPI	0.48	0.61	4.29	7.87	149.43	71
	MRI	0.48	0.60	4.15	8.32	149.75	70
	Noresm	0.48	0.58	4.23	8.16	148.55	70
LasAmericas	CCSM4	0.41	0.55	4.98	8.66	180.26	71
	CNRM	0.39	0.55	4.69	8.50	213.39	67
	MIROC	0.42	0.58	5.68	8.03	228.34	67
	MPI	0.41	0.56	5.28	7.58	175.50	72
	MRI	0.41	0.55	4.65	8.71	186.67	70
	Noresm	0.41	0.54	5.01	8.06	178.53	71
MonteCristi	CCSM4	0.53	0.59	3.93	9.43	109.20	72
	CNRM	0.52	0.57	3.70	9.70	123.80	69
	MIROC	0.53	0.60	3.43	8.93	115.64	72
	MPI	0.53	0.58	4.18	8.17	108.99	72
	MRI	0.52	0.56	3.77	9.27	120.61	70
	Noresm	0.53	0.57	4.13	8.42	119.64	70
PuntaCana	CCSM4	0.52	0.25	3.87	9.89	140.27	65
	CNRM	0.50	0.24	3.72	9.37	163.17	61
	MIROC	0.54	0.24	4.19	9.09	158.74	63
	MPI	0.53	0.21	2.84	9.94	143.84	64
	MRI	0.55	0.25	4.28	10.54	149.61	64
	Noresm	0.68	0.28	3.17	9.31	150.45	68
Samana	CCSM4	0.50	0.59	4.39	8.69	198.81	72
	CNRM	0.51	0.55	4.21	8.36	207.98	70
	MIROC	0.51	0.62	5.06	8.17	228.20	70
	MPI	0.50	0.60	4.25	7.94	190.60	73

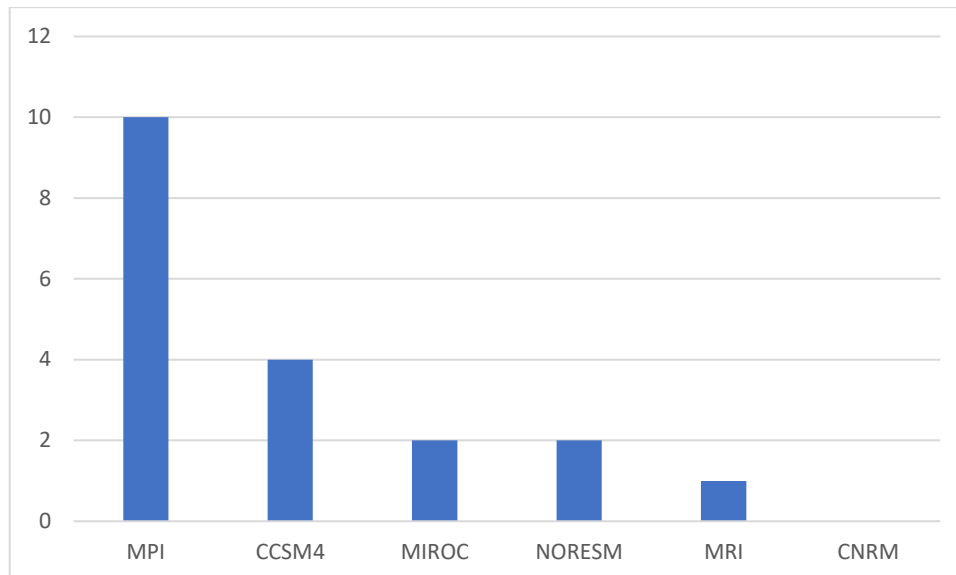
Estación	Modelo	Coeficiente Pearson		Error porcentual absoluto medio			Calificación
		Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Pcp	
	MRI	0.51	0.60	4.25	8.54	192.18	73
	Noresm	0.51	0.59	4.40	8.53	211.63	71
SMAR	CCSM4	0.45	0.52	7.01	7.88	225.93	68
	CNRM	0.46	0.50	6.48	7.84	232.10	68
	MIROC	0.46	0.54	8.06	7.02	255.09	66
	MPI	0.45	0.53	7.08	7.11	213.10	70
	MRI	0.46	0.52	6.35	8.90	221.93	69
	Noresm	0.45	0.51	7.26	7.64	229.85	68
SPM	CCSM4	0.36	0.40	4.98	12.11	181.71	63
	CNRM	0.36	0.42	4.51	9.77	197.77	63
	MIROC	0.37	0.44	5.73	9.07	210.89	62
	MPI	0.36	0.41	4.80	10.12	171.38	66
	MRI	0.36	0.40	5.03	12.76	184.62	63
	Noresm	0.36	0.39	4.75	10.33	174.82	65
StoDomingo	CCSM4	0.39	0.51	5.24	9.86	192.21	71
	CNRM	0.38	0.49	4.84	10.65	250.53	65
	MIROC	0.40	0.55	5.72	9.83	268.57	65
	MPI	0.39	0.52	5.67	8.91	199.98	71
	MRI	0.39	0.51	4.91	9.65	207.44	70
	Noresm	0.39	0.50	5.29	9.50	207.08	69

En el cuadro 1 anterior se pudo observar que algunas estaciones muestran un comportamiento similar entre los modelos, como por ejemplo en el caso de la estación La Romana, donde tres modelos resultaron con una nota similar.

Por otra parte, en un análisis del promedio de la diferencia entre el valor máximo de precipitación observado y calibrado de todas las estaciones se observó que, en términos generales, todos los modelos sobre estimaron la precipitación máxima por mes en el periodo de análisis.

En la figura 1 se muestra la cantidad de veces que cada modelo fue considerado bueno, es decir que obtuvo la calificación más alta en cada estación.

Figura 1. Cantidad de veces que un modelo calificó como bueno.



El modelo MPI fue el que tuvo mejores resultados en la mayor cantidad de estaciones (diez de 12 estaciones), específicamente en Aeropuerto La Unión, Arroyo Barril, Cabrera, La Romana, Las Américas, Monte Cristi, Samana, SMAR, SPM y Santo Domingo. Por esta razón fue seleccionado como el modelo óptimo para estimar los índices climáticos extremos para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 en las costas de República Dominicana.

Referencias

Chen, J., Brissette, F. P., Chaumont, D., Braun, M. (2013). Finding appropriate bias correction methods in downscaling precipitation for hydrologic impact studies over North America. In: Water Resources Research. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20331>

Falconer, L., Saetre Hjollo, S., Telfer, T.C., McAdam, B.J., Hermansen, O., Ytteborg, E. (2020). The importance of calibrating climate change projections to local conditions at aquaculture sites. In Aquaculture, 514, 1. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734487>

Switanek, Matthew & Troch, Peter & Castro, Christopher & Leuprecht, Armin & Chang, Hsin-I & Mukherjee, Rajarshi & Demaria, Eleonora. (2017). Scaled distribution mapping: A bias correction method that preserves raw climate model projected changes. Hydrology and Earth System Sciences. 21. 2649-2666. 10.5194/hess-21-2649-2017.

Informe: Análisis de datos

Nivel del mar

Elaborado por Andrea Tapia.

Dirección, supervisión y aprobación de Antonio Arenas



Introducción

En el presente documento se presentan los resultados obtenidos del análisis de información de datos de nivel de mar para República Dominicana. Dicho análisis se realizó en tres dimensiones: Histórico, RCP 4.5 y RCP 8.5.

En la sección de metodología se detalla la información de las bases de datos, software y métodos de análisis utilizados para cada una de las dimensiones contempladas. En la sección de resultados se resume el análisis y se indica los links donde se pueden obtener las capas (ráster y/o vector) resultado.

Metodología

Histórico

Se llevó a cabo una búsqueda de bases de datos para obtener información del aumento del nivel del mar histórico. La información con mejor resolución espacial y una buena documentación respecto a la calidad de los datos se obtuvo de la página web de “Climate Data Store” (CDS).¹ Dicha información (sea level daily gridded data for the global ocean from 1993 to present), se encuentra en formato raster NetCDF y se analizó los datos denominados “sea level anomaly”, los cuáles se refieren a la altura del agua sobre la superficie media del mar respecto al periodo de referencia de 1993-2012, tienen una resolución espacial de 0.25°.

Los datos son diarios² y con ellos se llevó a cabo un recorte para el área de interés y se calculó el promedio anual para luego estimar las anomalías para las décadas 1990-2000, 2000-2010, 2010-2020. Los datos disponibles inician en el año 1993 y finalizan a mediados de 2019, por esta razón la década de 1990-2000 solo examina 7 años (1993-1999) mientras que la década 2010-2020 registra 9 años (2010-2018).

¹ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>

² Esto implica que se puede hacer un análisis de datos por mes y año.

La documentación de la base de datos de CDS se puede encontrar en la página web <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-sea-level-global?tab=overview>.


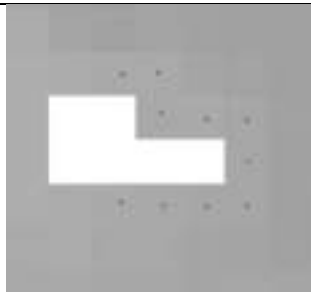
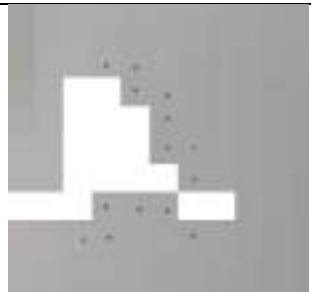
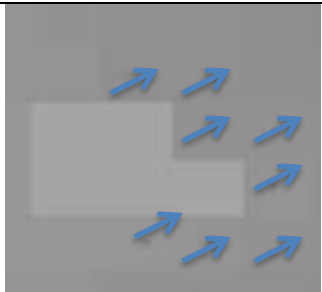
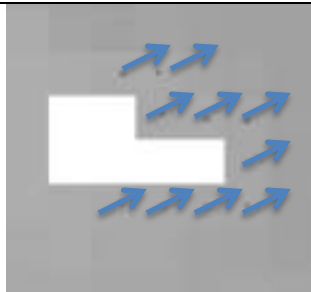
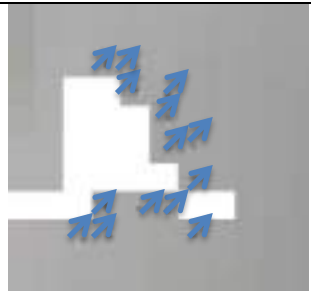

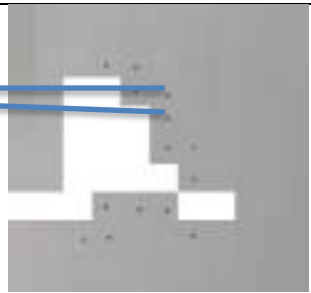
Los datos promediados se procesaron con base en un área de amortiguamiento (buffer) de 25 Km alrededor de República Dominicana, con el fin de captar la información cercana a las costas considerando la resolución espacial de las bases de datos. Los datos se disponen de forma diaria, por lo que se estimó primero el promedio mensual, luego anual y finalmente el promedio para cada década utilizando álgebra de mapas de QGIS.

Con el fin de analizar la información obtenida de la base de datos CDS se descargó los datos de nivel del mar de estaciones in-situ desde la página web UHSLC (Univerisity of Hawaii Sea Level Center), específicamente aquellos datos considerados “research quality”. La estación Punta Cana cuenta con registros desde el 16 de junio de 2010 hasta 31 de diciembre de 2018. Por su parte, la estación Puerto Plata cuenta con registros desde el día 22 de junio de 2010 hasta el 4 de setiembre de 2017.

RCP 4.5 y 8.5

Se descargó los datos de los modelos NorESM-1, MPI-ESM-LR, MRI-CGCM3, HadGEM2 y GISS-E2-R de CMIP5 para lograr estimar un promedio con la mayor cantidad de modelos utilizados en República Dominicana. Todos los modelos descargados cuentan con un sistema de referencia diferente y resoluciones espaciales diversas, por esta razón se decidió estimar el centroide de los pixeles más cercanos a la costa de República Dominicana como datos puntuales para cada modelo, utilizando QGIS. Con la herramienta “Sample raster values” se extrajo los datos de dichos puntos y se exportaron en tablas con formato .csv para ser analizadas posteriormente en Excel. Con el fin de obtener la información geo-espacial se procedió a hacer un pareo entre los centroides extraídos. En la Figura 1 se observa un esquema que ejemplifica lo anterior.

Figura 1. Anomalías del nivel del mar respecto a la media de referencia (1993-2012) para República Dominicana (metros).

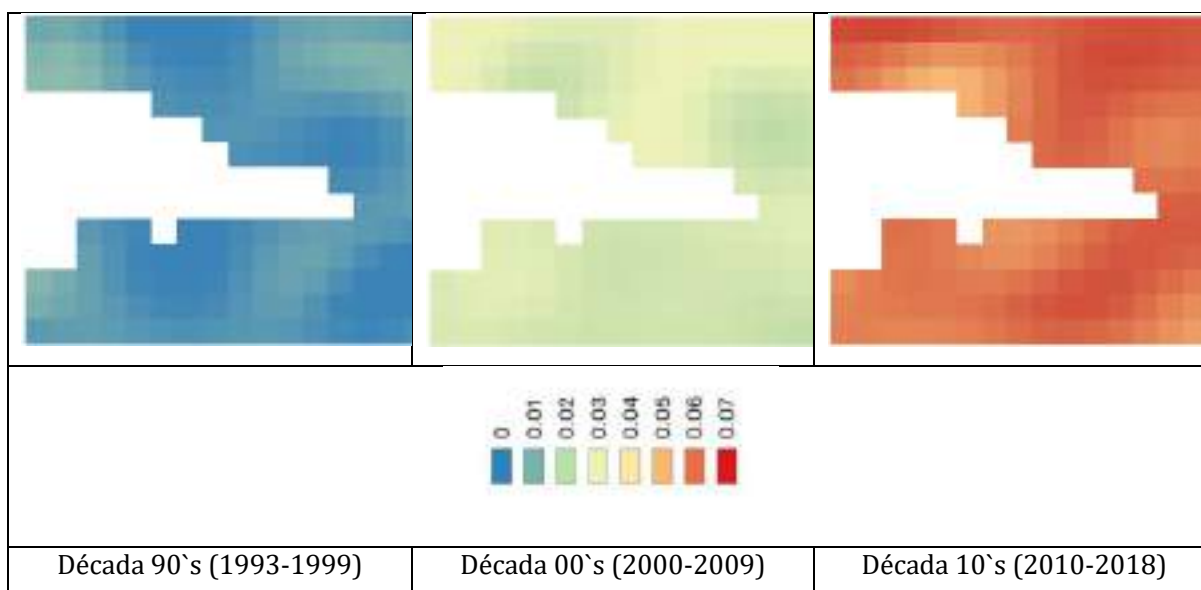
Paso 1. Estimación de centroides para cada modelo			
	GISS	HadGEM2	Noresm
Paso 2. Extracción de datos por centroide			
	GISS	HadGEM2	Noresm
Paso 3. Pareo entre centroides			
	GISS		Noresm

Resultados

Histórico

En el Anexo 1 se muestra el link desde el cual se puede descargar los datos de nivel del mar por década. Se observa un aumento progresivo de las anomalías del nivel del mar respecto a la media de referencia (1993-2012)³. En la Figura 2 se muestra el detalle espacial por década.

Figura 2. Anomalías del nivel del mar respecto a la media de referencia (1993-2012) para República Dominicana (metros).



Los datos de anomalías de nivel del mar en un área de amortiguamiento alrededor de República Dominicana se muestran en el cuadro 1.

³ La base de datos disponibles a través de la plataforma CDS reporta las anomalías de nivel de mar respecto a la referencia 1993-2012

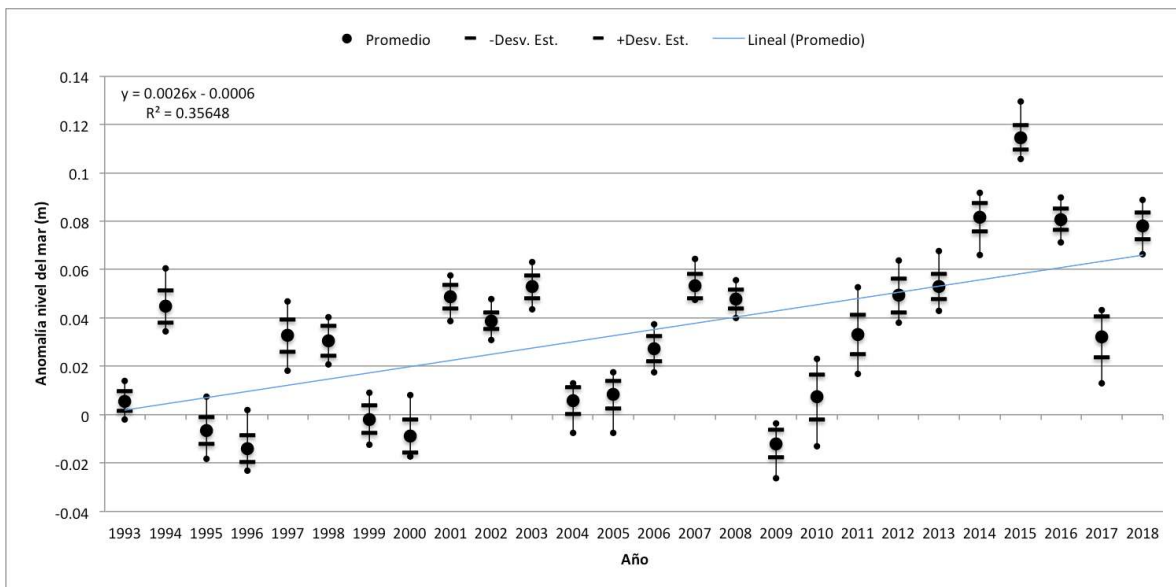
Cuadro 1. Resumen de anomalías de nivel del mar respecto al periodo 1993-2012 para República Dominicana.

Periodo	Valor mínimo (m)	Valor promedio (m)	Valor máximo (m)
1993-1999	0.00	0.00	0.01
2000-2009	0.02	0.03	0.03
2010-2018	0.05	0.06	0.06

No existe un Modelo de Elevación Digital sub-métrico, y dado que los datos sugieren una anomalía menor a un metro, la elaboración de un mapa con los datos históricos no es posible.

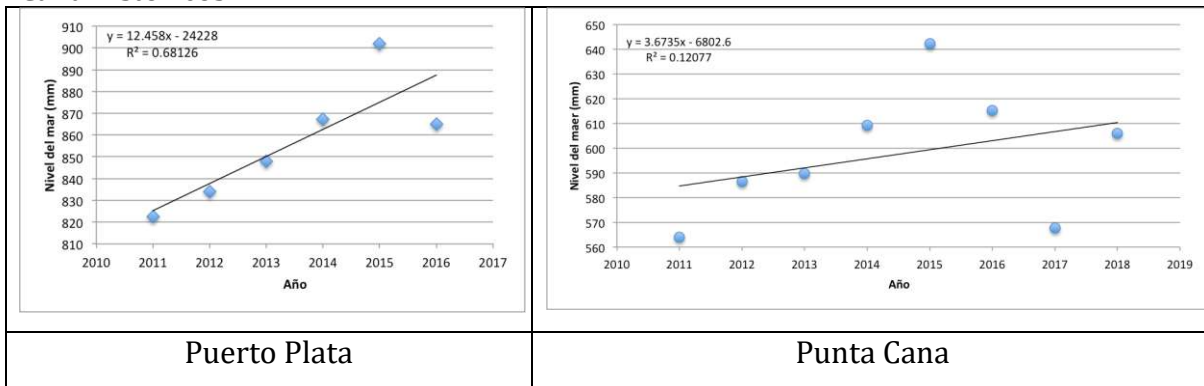
En la Figura 3 se observa el análisis anual de los datos, en los que se advierte una fluctuación que llaman la atención y deben ser analizados con mayor profundidad, especialmente en aquellos años donde se registran valores altos. Se observa una tendencia a un aumento en la anomalía de 0.0026 metros al año (pendiente de la ecuación), sin embargo el r^2 que registra sugiere que dicho aumento no es estrictamente lineal ($r^2 < 0.7$) respecto al tiempo. En la Figura se puede apreciar el dato promedio estimado (círculo grande), acompañado de los valores mínimos y máximos (círculos más pequeños), los valores de desviación estándar (guiones), la línea de tendencia y su respectiva ecuación con el reporte de r^2 .

Figura 3. Anomalías anuales del nivel del mar respecto al periodo 1993-2012 registrado en las costas de República Dominicana para los años 1993 hasta 2018.



En la Figura 4 se presenta gráficos de nivel del mar de las estaciones de medición Puerto Plata y Punta Cana.

Figura 4. Gráficos de nivel del mar de las estaciones de medición Puerto Plata y Punta Cana históricos.



- *La estación Punta Cana contempla dos años más de datos que Puerto Plata, los cuales influyen en el comportamiento de los datos (expresados en la línea de tendencia). Esto es evidente si se compara los valores de la pendiente y el r^2 de ambos gráficos.*

De esta manera, Punta Cana muestra un comportamiento similar al encontrado en el análisis de datos históricos de CDS, con un valor r^2 y de pendiente bajos, así como la fluctuación. La pendiente para el periodo 2011-2018 de Punta Cana corresponde a 0.0037 metros, comparados con la pendiente de 0.0026 metros del periodo 1993-2019 de la base de datos CDS.

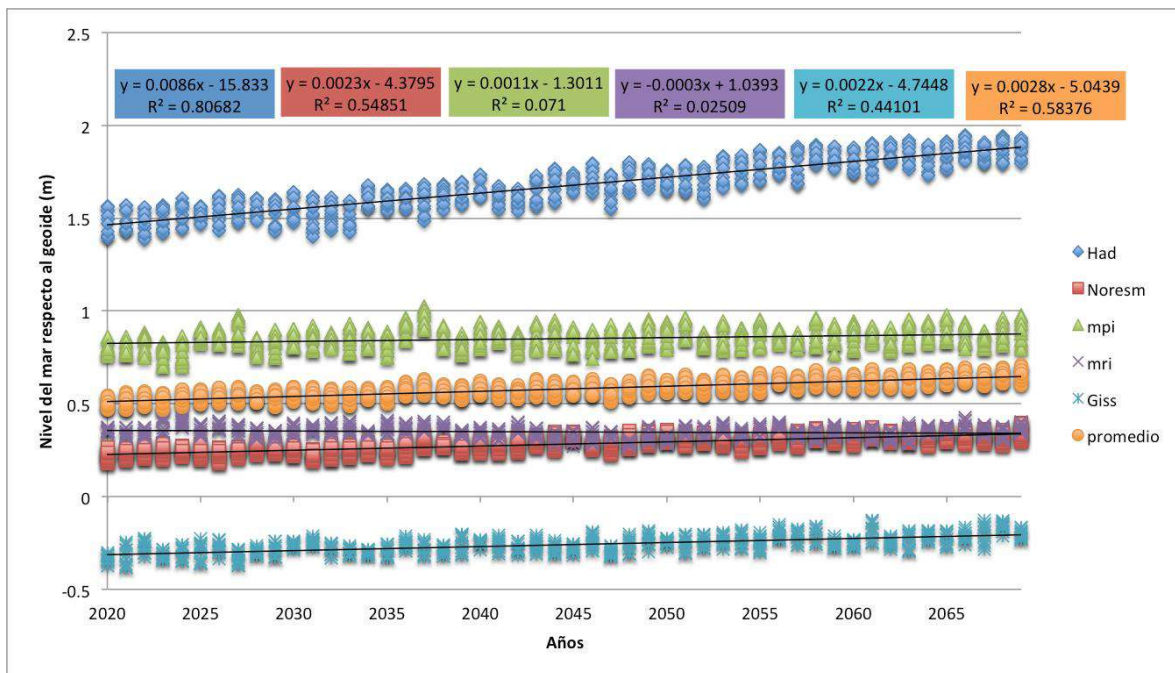
- *Lo anterior sugiere que los datos históricos CDS se corresponden con la información histórica de mediciones en sitio.*

Proyecciones para RCP 4.5 y 8.5

RCP 4.5

En la Figura 5 se muestra el gráfico de aumento de nivel del mar bajo el escenario 4.5 de los modelos analizados, se incluye el promedio de todos los datos. El modelo HadGEM2 muestra los datos más altos, mientras que el modelo GISS-E2-R los datos más bajos, incluso por debajo de cero. Los valores de r^2 difieren mucho entre los modelos, siendo el modelo HadGEM2 el que muestra el valor más alto y el modelo MRI-CGCM3 el más bajo.

Figura 5. Gráfico de nivel del mar respecto al geoides para diferentes modelos bajo el escenario RCP4.5.



Según la figura anterior, el promedio de todos los modelos evidencia un aumento más o menos lineal a través del tiempo ($r^2 = 0.58$) y una pendiente similar a la observada en el análisis histórico (histórico = 0.0026 metros vs. RCP 4.5 = 0.0028 metros).

- *Lo anterior implica que según el escenario RCP 4.5 se verá un aumento lineal del nivel del mar y más sostenido a través del tiempo en comparación con los niveles históricos.*

En los cuadros 2, 3, 4, 5 y 6 muestran los valores por década para el promedio de todos los modelos bajo el escenario 4.5. En dichos cuadros se puede observar un patrón de aumento y disminución respecto a la época lluviosa y seca, respectivamente como lo indicado por González⁴.

⁴ González, J.E., Malaspina, M.A., Mesa, A. (s.f.) Informe de situación por NOAA Crest Center. USAID.

Cuadro 2. Nivel del mar sobre el geoides para la década 2020-2029 en las costas de República Dominicana con datos promediados de modelos⁵ bajo el escenario 4.5.

Mes	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	Promedio
1	0.48	0.48	0.49	0.49	0.52	0.52	0.53	0.52	0.53	0.49	0.50
2	0.48	0.47	0.49	0.48	0.50	0.50	0.52	0.51	0.52	0.49	0.49
3	0.47	0.47	0.48	0.47	0.49	0.50	0.51	0.50	0.51	0.48	0.49
4	0.47	0.47	0.49	0.47	0.48	0.50	0.50	0.50	0.51	0.48	0.49
5	0.48	0.48	0.51	0.48	0.49	0.51	0.51	0.51	0.51	0.49	0.50
6	0.51	0.51	0.53	0.50	0.52	0.54	0.54	0.55	0.53	0.52	0.53
7	0.53	0.54	0.55	0.54	0.55	0.55	0.57	0.58	0.55	0.55	0.55
8	0.55	0.56	0.56	0.55	0.57	0.57	0.58	0.59	0.57	0.57	0.57
9	0.55	0.56	0.57	0.56	0.57	0.58	0.59	0.59	0.56	0.58	0.57
10	0.54	0.55	0.56	0.56	0.57	0.58	0.58	0.58	0.55	0.56	0.56
11	0.51	0.53	0.53	0.55	0.55	0.57	0.55	0.55	0.52	0.55	0.54
12	0.49	0.50	0.51	0.54	0.53	0.54	0.53	0.54	0.51	0.54	0.52
Promedio	0.51	0.51	0.52	0.51	0.53	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53	0.53

Cuadro 3. Nivel del mar sobre el geoides para la década 2030-2039 en las costas de República Dominicana con datos promediados de modelos² bajo el escenario 4.5.

Mes	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	Promedio
1	0.53	0.52	0.52	0.51	0.53	0.53	0.54	0.57	0.56	0.53	0.53
2	0.52	0.51	0.51	0.50	0.53	0.51	0.54	0.55	0.54	0.52	0.52
3	0.52	0.50	0.50	0.49	0.52	0.50	0.54	0.54	0.54	0.52	0.52
4	0.51	0.51	0.49	0.49	0.52	0.50	0.54	0.55	0.53	0.52	0.52
5	0.52	0.50	0.51	0.49	0.53	0.52	0.55	0.56	0.54	0.52	0.53
6	0.55	0.52	0.54	0.52	0.55	0.55	0.58	0.59	0.56	0.54	0.55
7	0.58	0.55	0.57	0.55	0.58	0.57	0.60	0.62	0.59	0.58	0.58
8	0.59	0.58	0.58	0.57	0.58	0.59	0.62	0.63	0.60	0.60	0.59
9	0.59	0.59	0.58	0.58	0.58	0.59	0.61	0.63	0.61	0.60	0.60
10	0.59	0.58	0.57	0.58	0.58	0.58	0.60	0.62	0.60	0.59	0.59
11	0.56	0.56	0.55	0.56	0.56	0.56	0.59	0.60	0.57	0.58	0.57
12	0.55	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.57	0.58	0.55	0.56	0.55
Promedio	0.55	0.54	0.54	0.53	0.55	0.55	0.57	0.59	0.57	0.56	0.55

⁵ NorESM-1, MPI-ESM-LR, MRI-CGCM3, HadGEM2 y GISS-E2-R

Cuadro 4. Nivel del mar sobre el geoides para la década 2040-2049 en las costas de República Dominicana con datos promediados de modelos⁶ bajo el escenario 4.5.

Mes	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	Promedio
1	0.55	0.54	0.54	0.56	0.55	0.56	0.55	0.54	0.54	0.58	0.55
2	0.54	0.53	0.53	0.54	0.53	0.55	0.55	0.53	0.54	0.57	0.54
3	0.55	0.53	0.53	0.54	0.53	0.55	0.54	0.51	0.53	0.56	0.54
4	0.55	0.53	0.53	0.53	0.53	0.54	0.55	0.51	0.53	0.55	0.54
5	0.56	0.54	0.53	0.54	0.54	0.55	0.56	0.53	0.54	0.57	0.55
6	0.58	0.56	0.56	0.56	0.58	0.58	0.59	0.56	0.57	0.60	0.57
7	0.61	0.59	0.58	0.59	0.60	0.60	0.61	0.59	0.60	0.63	0.60
8	0.62	0.60	0.60	0.62	0.62	0.61	0.63	0.60	0.62	0.65	0.62
9	0.62	0.61	0.60	0.63	0.62	0.62	0.63	0.61	0.62	0.65	0.62
10	0.61	0.60	0.58	0.62	0.62	0.61	0.61	0.60	0.62	0.65	0.61
11	0.58	0.59	0.57	0.59	0.60	0.58	0.58	0.57	0.59	0.62	0.59
12	0.56	0.56	0.56	0.57	0.57	0.55	0.55	0.55	0.58	0.59	0.56
Promedio	0.58	0.56	0.56	0.57	0.57	0.58	0.58	0.56	0.58	0.60	0.57

Cuadro 5. Nivel del mar sobre el geoides para la década 2050-2059 en las costas de República Dominicana con datos promediados de modelos³ bajo el escenario 4.5.

Mes	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	Promedio
1	0.58	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58	0.62	0.59	0.60	0.61	0.59
2	0.56	0.56	0.55	0.57	0.56	0.56	0.60	0.57	0.60	0.60	0.57
3	0.56	0.56	0.55	0.56	0.56	0.56	0.60	0.57	0.59	0.59	0.57
4	0.56	0.56	0.54	0.57	0.55	0.56	0.60	0.57	0.59	0.58	0.57
5	0.57	0.56	0.56	0.59	0.57	0.58	0.61	0.58	0.60	0.59	0.58
6	0.58	0.60	0.58	0.62	0.60	0.61	0.63	0.61	0.63	0.62	0.61
7	0.61	0.63	0.60	0.64	0.63	0.64	0.65	0.63	0.66	0.64	0.63
8	0.62	0.65	0.62	0.65	0.64	0.66	0.66	0.65	0.67	0.66	0.65
9	0.63	0.65	0.63	0.66	0.65	0.66	0.67	0.65	0.68	0.66	0.65
10	0.63	0.64	0.63	0.65	0.64	0.66	0.66	0.65	0.68	0.65	0.65
11	0.61	0.61	0.62	0.62	0.62	0.64	0.63	0.63	0.65	0.62	0.62
12	0.59	0.59	0.60	0.59	0.60	0.63	0.61	0.62	0.63	0.60	0.61
Promedio	0.59	0.60	0.59	0.61	0.60	0.61	0.63	0.61	0.63	0.62	0.61

⁶ NorESM-1, MPI-ESM-LR, MRI-CGCM3, HadGEM2 y GISS-E2-R

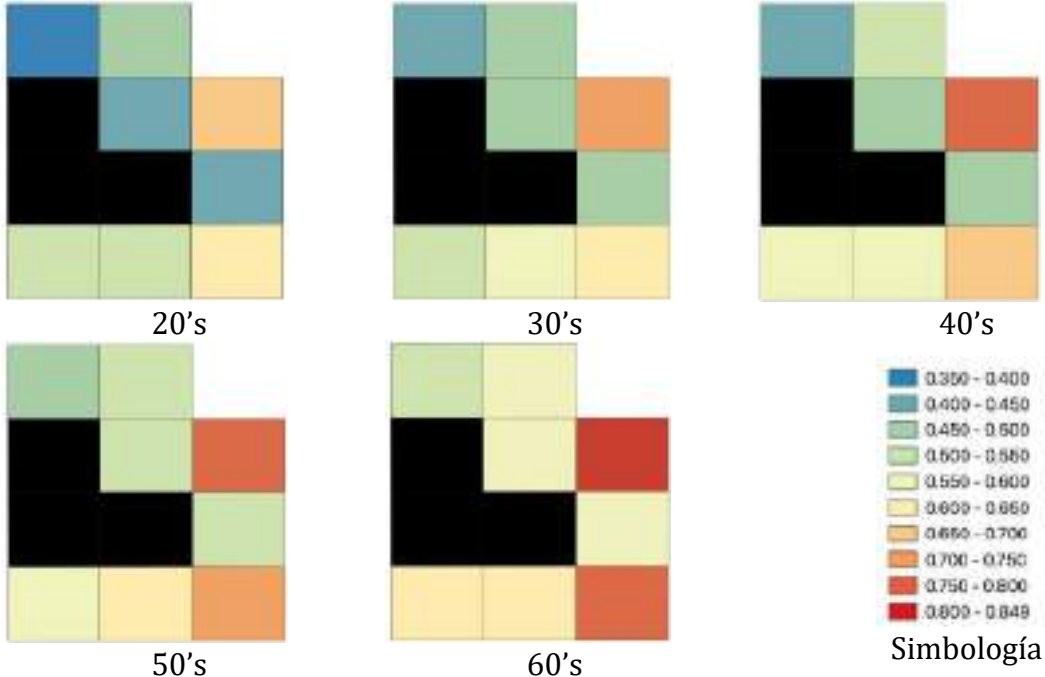
Cuadro 6. Nivel del mar sobre el geode para la década 2060-2069 en las costas de República Dominicana con datos promediados de modelos⁷ bajo el escenario 4.5.

Mes	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	Promedio
1	0.59	0.60	0.61	0.59	0.62	0.61	0.63	0.60	0.63	0.63	0.61
2	0.58	0.59	0.61	0.58	0.60	0.60	0.62	0.60	0.61	0.62	0.60
3	0.57	0.58	0.59	0.58	0.59	0.60	0.62	0.60	0.61	0.61	0.59
4	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59	0.60	0.61	0.60	0.61	0.60	0.59
5	0.59	0.60	0.59	0.59	0.60	0.61	0.63	0.61	0.63	0.62	0.61
6	0.62	0.64	0.61	0.63	0.62	0.63	0.66	0.63	0.66	0.64	0.63
7	0.65	0.66	0.64	0.66	0.65	0.67	0.68	0.65	0.68	0.68	0.66
8	0.66	0.68	0.65	0.68	0.67	0.68	0.69	0.67	0.69	0.70	0.68
9	0.66	0.68	0.65	0.69	0.67	0.69	0.69	0.68	0.70	0.71	0.68
10	0.65	0.68	0.64	0.68	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68	0.70	0.68
11	0.63	0.66	0.61	0.66	0.65	0.66	0.64	0.66	0.67	0.68	0.65
12	0.62	0.63	0.60	0.64	0.63	0.64	0.62	0.64	0.65	0.66	0.63
Promedio	0.62	0.63	0.62	0.63	0.63	0.64	0.65	0.63	0.65	0.65	0.64

La distribución espacial por década se puede observar en la Figura 6.

⁷ NorESM-1, MPI-ESM-LR, MRI-CGCM3, HadGEM2 y GISS-E2-R

Figura 6. Distribución espacial del promedio de aumento de nivel del mar de los modelos Noresm, Giss, HadGem, MPI y MRI, para las costas de República Dominicana bajo el escenario RCP 4.5 –en negro los pixeles que representan la isla de República Dominicana.



RCP 8.5

En la Figura 7 se muestra el gráfico de aumento de nivel del mar bajo el escenario 8.5 de los modelos analizados, se incluye el promedio de todos los datos. Similar al escenario anterior, el modelo HadGEM2 muestra los valores más altos, mientras que el modelo GISS-E2-R los más bajos.

Figura 7. Gráfico de nivel del mar respecto al geode para diferentes modelos bajo el escenario RCP 8.5.



De acuerdo con los datos del gráfico anterior, el promedio de los modelos muestra un aumento más lineal que el observado en el escenario 4.5 (r^2 0.58 vs 0.65) a través del tiempo y un aumento considerable de nivel del mar con una pendiente en la ecuación de 0.0032 metros.

En los cuadros 7, 8, 9, 10 y 11 muestran los valores por década para el promedio de todos los modelos bajo el escenario 8.5. En dichos cuadros se puede observar un patrón de aumento y disminución respecto a la época lluviosa y seca, respectivamente como lo indicado por González⁸, al igual que lo encontrado para el escenario RCP 4.5.

⁸ González, J.E., Malaspina, M.A., Mesa, A. (s.f.) Informe de situación por NOAA Crest Center. USAID.

Cuadro 7. Nivel del mar sobre el geoides para la década 2020-2029 en las costas de República Dominicana con datos promediados de modelos⁹ bajo el escenario 8.5.

Mes	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	Promedio
1	0.49	0.48	0.50	0.52	0.50	0.50	0.52	0.50	0.51	0.53	0.51
2	0.47	0.48	0.49	0.50	0.48	0.50	0.51	0.49	0.50	0.52	0.50
3	0.46	0.48	0.49	0.49	0.47	0.49	0.50	0.49	0.50	0.51	0.49
4	0.46	0.48	0.49	0.48	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49	0.51	0.48
5	0.47	0.50	0.51	0.49	0.48	0.49	0.50	0.50	0.51	0.52	0.50
6	0.50	0.53	0.54	0.52	0.51	0.53	0.53	0.53	0.55	0.54	0.53
7	0.52	0.56	0.57	0.55	0.54	0.56	0.55	0.56	0.58	0.57	0.56
8	0.54	0.57	0.58	0.56	0.56	0.58	0.56	0.58	0.59	0.59	0.57
9	0.54	0.57	0.59	0.57	0.57	0.58	0.57	0.59	0.59	0.59	0.58
10	0.54	0.57	0.57	0.56	0.56	0.58	0.56	0.59	0.59	0.58	0.57
11	0.52	0.54	0.55	0.53	0.54	0.55	0.54	0.56	0.56	0.56	0.54
12	0.50	0.52	0.53	0.51	0.52	0.53	0.52	0.53	0.54	0.53	0.52
Promedio	0.50	0.52	0.53	0.52	0.52	0.53	0.53	0.53	0.54	0.55	0.53

Cuadro 8. Nivel del mar sobre el geoides para la década 2030-2039 en las costas de República Dominicana con datos promediados de modelos⁵ bajo el escenario 8.5.

Mes	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	Promedio
1	0.51	0.50	0.51	0.53	0.53	0.55	0.55	0.54	0.55	0.56	0.53
2	0.50	0.50	0.51	0.51	0.52	0.54	0.54	0.53	0.54	0.54	0.52
3	0.49	0.50	0.51	0.50	0.51	0.53	0.54	0.52	0.53	0.54	0.52
4	0.47	0.49	0.50	0.50	0.51	0.53	0.54	0.52	0.53	0.53	0.51
5	0.48	0.51	0.51	0.51	0.53	0.55	0.55	0.53	0.54	0.54	0.52
6	0.50	0.53	0.54	0.54	0.56	0.58	0.57	0.56	0.58	0.57	0.55
7	0.53	0.56	0.57	0.57	0.58	0.60	0.60	0.59	0.60	0.60	0.58
8	0.55	0.58	0.60	0.59	0.60	0.62	0.62	0.61	0.61	0.61	0.60
9	0.56	0.58	0.60	0.60	0.60	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.60
10	0.55	0.57	0.59	0.58	0.59	0.62	0.61	0.61	0.62	0.61	0.60
11	0.53	0.54	0.57	0.56	0.57	0.60	0.59	0.60	0.59	0.58	0.57
12	0.52	0.52	0.55	0.55	0.55	0.57	0.57	0.57	0.57	0.56	0.55
Promedio	0.52	0.53	0.55	0.55	0.55	0.58	0.57	0.57	0.57	0.57	0.56

⁹ NorESM-1, MPI-ESM-LR, MRI-CGCM3, HadGEM2 y GISS-E2-R

Cuadro 9. Nivel del mar sobre el geoides para la década 2040-2049 en las costas de República Dominicana con datos promediados de modelos¹⁰ bajo el escenario 8.5.

Mes	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	Promedio
1	0.54	0.52	0.55	0.58	0.57	0.57	0.57	0.58	0.59	0.58	0.56
2	0.53	0.52	0.54	0.57	0.56	0.56	0.56	0.56	0.58	0.57	0.56
3	0.52	0.52	0.54	0.56	0.56	0.55	0.55	0.56	0.57	0.56	0.55
4	0.51	0.52	0.54	0.57	0.56	0.55	0.55	0.55	0.56	0.55	0.55
5	0.53	0.54	0.55	0.57	0.57	0.56	0.55	0.58	0.57	0.56	0.56
6	0.55	0.56	0.58	0.59	0.59	0.59	0.58	0.60	0.59	0.58	0.58
7	0.58	0.59	0.60	0.62	0.61	0.61	0.61	0.62	0.61	0.61	0.61
8	0.60	0.61	0.62	0.63	0.62	0.62	0.62	0.64	0.63	0.63	0.62
9	0.61	0.62	0.62	0.64	0.63	0.62	0.63	0.65	0.63	0.63	0.63
10	0.60	0.61	0.62	0.63	0.62	0.60	0.63	0.65	0.63	0.63	0.62
11	0.57	0.60	0.60	0.61	0.59	0.58	0.61	0.62	0.61	0.60	0.60
12	0.54	0.58	0.59	0.59	0.58	0.57	0.59	0.61	0.60	0.59	0.58
Promedio	0.56	0.57	0.58	0.60	0.59	0.58	0.59	0.60	0.60	0.59	0.58

Cuadro 10. Nivel del mar sobre el geoides para la década 2050-2059 en las costas de República Dominicana con datos promediados de modelos⁶ bajo el escenario 8.5.

Mes	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	Promedio
1	0.57	0.57	0.56	0.57	0.58	0.60	0.60	0.62	0.60	0.61	0.59
2	0.57	0.55	0.54	0.57	0.58	0.58	0.59	0.61	0.59	0.60	0.58
3	0.56	0.55	0.55	0.57	0.59	0.58	0.58	0.60	0.58	0.60	0.57
4	0.56	0.55	0.54	0.56	0.59	0.58	0.58	0.60	0.57	0.60	0.57
5	0.57	0.56	0.56	0.56	0.60	0.59	0.58	0.61	0.58	0.61	0.58
6	0.59	0.58	0.59	0.59	0.62	0.62	0.61	0.64	0.61	0.63	0.61
7	0.62	0.61	0.61	0.62	0.65	0.65	0.64	0.66	0.64	0.66	0.64
8	0.63	0.62	0.63	0.64	0.66	0.67	0.65	0.67	0.65	0.67	0.65
9	0.63	0.63	0.63	0.65	0.67	0.67	0.66	0.67	0.67	0.68	0.66
10	0.62	0.63	0.63	0.64	0.66	0.67	0.66	0.67	0.66	0.67	0.65
11	0.60	0.60	0.61	0.62	0.63	0.65	0.64	0.64	0.65	0.65	0.63
12	0.58	0.58	0.58	0.59	0.61	0.62	0.63	0.62	0.63	0.63	0.61
Promedio	0.59	0.59	0.59	0.60	0.62	0.62	0.62	0.63	0.62	0.63	0.61

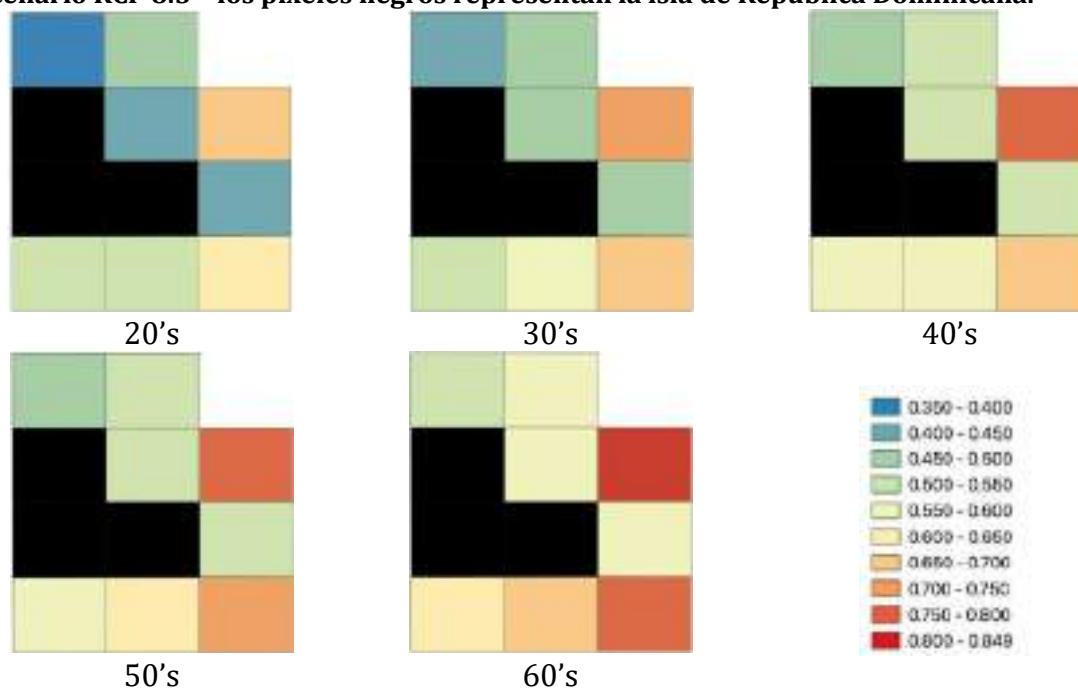
¹⁰ NorESM-1, MPI-ESM-LR, MRI-CGCM3, HadGEM2 y GISS-E2-R

Cuadro 11. Nivel del mar sobre el geoides para la década 2060-2069 en las costas de República Dominicana con datos promediados de modelos¹¹ bajo el escenario 8.5.

Mes	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	Promedio
1	0.62	0.62	0.65	0.66	0.63	0.64	0.64	0.63	0.64	0.66	0.64
2	0.61	0.62	0.63	0.64	0.61	0.63	0.62	0.61	0.62	0.65	0.62
3	0.61	0.61	0.64	0.63	0.60	0.63	0.61	0.60	0.62	0.64	0.62
4	0.60	0.60	0.63	0.62	0.61	0.63	0.60	0.61	0.62	0.63	0.62
5	0.61	0.61	0.64	0.63	0.63	0.64	0.61	0.62	0.63	0.65	0.63
6	0.65	0.64	0.67	0.66	0.66	0.66	0.64	0.64	0.66	0.67	0.65
7	0.68	0.67	0.69	0.68	0.68	0.68	0.66	0.67	0.69	0.70	0.68
8	0.68	0.68	0.71	0.70	0.69	0.70	0.68	0.68	0.71	0.71	0.69
9	0.68	0.70	0.72	0.71	0.70	0.70	0.68	0.69	0.72	0.72	0.70
10	0.68	0.69	0.71	0.70	0.70	0.70	0.68	0.69	0.71	0.71	0.70
11	0.66	0.68	0.69	0.68	0.68	0.69	0.65	0.66	0.70	0.68	0.68
12	0.64	0.67	0.67	0.66	0.65	0.66	0.65	0.65	0.68	0.66	0.66
Promedio	0.64	0.65	0.67	0.66	0.65	0.66	0.64	0.65	0.67	0.67	0.66

La distribución espacial por década se puede observar en la Figura 8.

Figura 8. Distribución espacial del promedio de aumento de nivel del mar de los modelos Noresm, Giss, HadGem, MPI y MRI, para las costas de República Dominicana bajo el escenario RCP 8.5 – los pixeles negros representan la isla de República Dominicana.



¹¹ NorESM-1, MPI-ESM-LR, MRI-CGCM3, HadGEM2 y GISS-E2-R

Anexo 1. Link para descargar información geo-espacial y tabulada del nivel del mar.

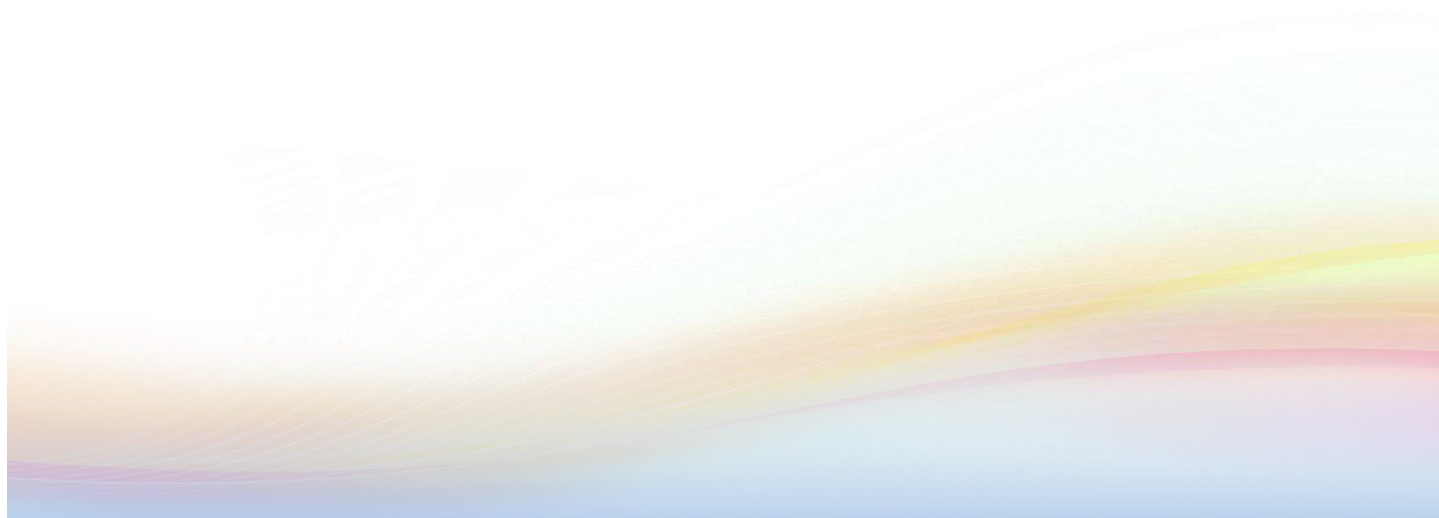
Dato	Formato y unidades	Link
Histórico nivel del mar	.TIF, metros	https://drive.google.com/drive/folders/1RqBWCHdNTLjmNIB4qppWwv77cTqfAce2?usp=sharing
RCP 4.5 nivel del mar	Shapefile, metros	
RCP 8.5 nivel del mar	Shapefile, metros	
Estaciones datos	.xlsx, milímetros	
Todos modelos	.xlsx, metros	

Informe: Análisis de datos

Oleaje

Elaborado por Andrea Tapia.

Dirección, supervisión y aprobación de Antonio Arenas



Introducción

En el presente documento se muestra los resultados obtenidos del análisis de datos respecto al oleaje. Es importante indicar que no se dispone de datos de oleaje como tal para los escenarios RCP 4.5 y 8.5. Por tanto se procedió a hacer un análisis estadístico de datos asociados que pudieran explicar una relación con el oleaje. Se encontró una fuerte relación entre la variable conocida como shww (altura significativa de olas de viento en metros), y u10 (velocidad del componente “u” del viento a 10 metros de altitud en m/s). Por esa razón se utilizó la variable u10 como un indicador de altura de olas para los escenarios RCP 4.5 y 8.5.

En la sección de metodología se detalla la información de las bases de datos, software y métodos de análisis utilizados para cada una de las dimensiones contempladas. En la sección de resultados se resume el análisis y en el Anexo 1 se indica los links donde obtener las capas ráster, vector y/o tablas. En el Anexo 2 se muestra la evaluación de los datos asociados a la altura de olas que justifican el uso de la variable u10 como indicador de altura de olas para los escenarios RCP 4.5 y 8.5. En el Anexo 3 se presenta la evaluación de la comparación de los datos del periodo histórico del escenario RCP 4.5 y los datos históricos registrados en la base ERA5, el cual se considera como los datos observados.

Metodología

Histórico

Se descargaron los datos ERA5 correspondientes a las variables shww y Hmax los cuales corresponden a la altura significativa de olas de viento (metros) y máxima altura de ola (metros), para el periodo 1990-2019. La variable shww corresponde al promedio de altura del tercio más alto de las olas superficiales del mar generadas por viento local, corresponde a la distancia vertical entre la cresta y el valle de la ola. Por su parte, la variable Hmax es la estimación de la altura de ola individual más alta esperada. En el siguiente link se puede acceder a la documentación de la base de datos ERA5: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>

Se agregaron los datos por día para estimar el promedio de altura significativa de olas de viento y máxima altura de ola. Se graficaron los datos y se estimó el percentil 90 de los mismos para visualizar la distribución temporal de aquellos datos que superan ese valor por década. Se contabilizó e identificaron los días en los que se registró alturas iguales o superiores a 1.5 metros de shww e iguales o superiores a 4 metros de Hmax, se seleccionó dichos umbrales porque se observó que la ocurrencia es baja y por tanto se podrían considerar como valores extremos.

RCP 4.5 y 8.5

Dado que no se cuenta con estimaciones de altura de ola para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 se llevó a cabo un análisis comparativo de otras variables para el periodo histórico de datos de ERA5.

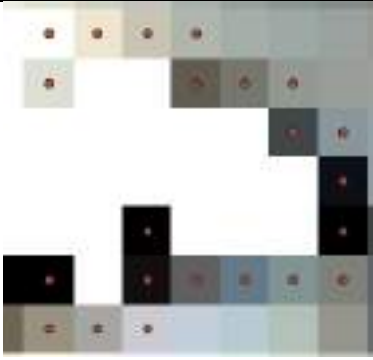

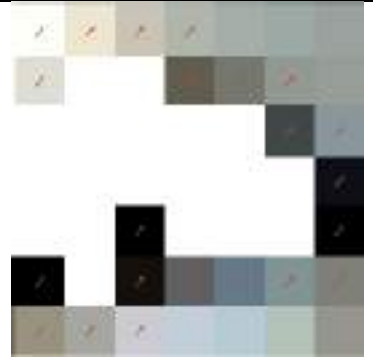

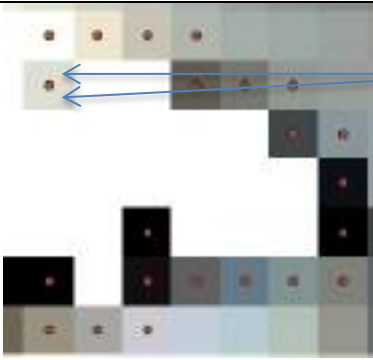
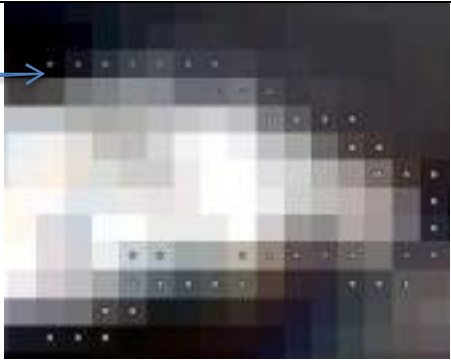
1. Se hizo un análisis exhaustivo de datos de presión atmosférica basándose en los resultados obtenidos por SMHI (2014) en donde establece que altos valores de presión atmosférica del aire resultan en niveles de mar bajos. El mismo autor afirma que un incremento de 1hPa en la presión atmosférica disminuye el nivel del mar en 1 cm. De esta manera se evidencia una influencia directa de la presión atmosférica sobre el nivel del mar.
2. Por su parte, Liberato et al. (2013) llevaron a cabo un estudio donde utilizaron datos de presión atmosférica a nivel del mar (SLP o PSL) y los correlacionaron con datos de altura significativa de olas de manera exitosa. Se descargó datos de presión atmosférica de la base de datos ERA5 y se llevó a cabo un análisis de regresión con datos de shww.
3. Adicionalmente, se descargó datos de la variable u10 (velocidad del componente u del viento a 10 metros de altitud en m/s) y v10 (velocidad del componente V del viento a 10 metros de altitud en m/s) para hacer un análisis de regresión con datos de shww.

El parámetro o variable u10 corresponde la velocidad horizontal del aire que se mueve hacia el este, a una altura de diez metros sobre la superficie de la Tierra.

Mientras que el parámetro o variable v_{10} corresponde a la velocidad horizontal del aire que se mueve hacia el norte, a una altura de diez metros sobre la superficie de la Tierra. Valores negativos de u_{10} implican que el viento proviene del este, mientras que un valor positivo corresponde que el viento proviene del oeste. En el caso de v_{10} , los valores positivos significan vientos desde el sur, mientras que el valor negativo representa vientos desde el norte. El análisis de las variables u_{10} y v_{10} se hizo únicamente respecto a su magnitud y no la dirección, por lo que se estimó el valor absoluto de los datos para cada pixel.

Debido a que los datos de olas y los de viento (tanto u_{10} como v_{10}) se encontraban en grillas de coordenadas diferentes (dificultando el análisis directo) hubo necesidad de extraer la data y realizar el pareo entre los pixeles como se muestra en la figura 1.

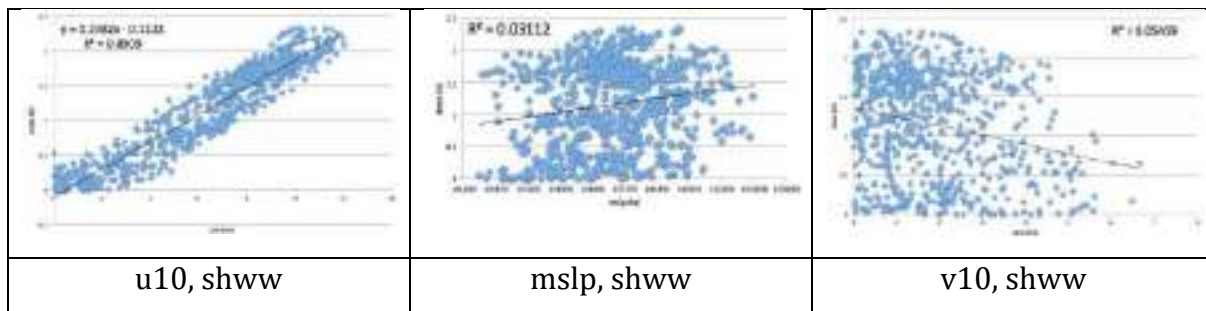
Figura 1. Esquema de trabajo para extraer los datos y hacer el pareo entre pixeles.

<p>Paso 1. Estimación de centroides para cada modelo</p>		
	shww	u10
<p>Paso 2. Extracción de datos por centroide</p>		
	shww	u10
<p>Paso 3. Pareo entre centroides</p>		
	shww	u10

En el Anexo 2 se muestra la evaluación de datos de acuerdo a los análisis de regresión efectuados. Sin embargo, a manera de ejemplo se muestra a continuación la comparación entre las variables para el mes de enero 2014 (escogido al azar). Se observa resultados positivos con un r^2 elevado, 0.89 entre la variable velocidad del viento u10 y altura significativa de olas por viento (shww), para datos analizados por

hora. No así la variable velocidad del viento v10 ni presión atmosférica a nivel del mar (mslp) de los cuales se obtuvo un r^2 de 0.05 y 0.03. En la figura 2 se muestra los gráficos que ilustran dicha comparación de datos.

Figura 2. Gráficos de dispersión de shww y las variables u10, mslp y v-10 para el mes de enero de 2014 –datos por hora.



En el Anexo 2 se detalla el análisis de regresión de los datos ERA5 entre la variable u10 y shww, los cuales tienen una mayor y mejor correlación que las variables mslp y v10. En dicho Anexo se puede encontrar las ecuaciones de regresión para cada año desde 1990 hasta 2019.

Consecuente con los resultados descritos, de la base de datos CDS se descargaron los datos históricos de la variable u10 mensual de los modelos disponibles GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, HadGEM2-ES, NorESM-1, CNRM-CM5 y MRI-CGCM3 con el fin de determinar el modelo mas adecuado para los datos de la variable u10 (ERA5).

Se llevó a cabo el análisis de regresión y correlación entre la variable u10 de la base de datos histórica ERA5 y datos históricos de la misma variable según el escenario RCP 4.5 con el fin de identificar cuáles modelos se correlacionaban mejor con los datos históricos de ERA5 y utilizarlos para el análisis de oleaje. Se asume que el comportamiento de la base histórica de RCP 8.5 es similar al RCP 4.5, por tanto los resultados de la comparación de datos con la base ERA5 debería ser análogo. En el Anexo 3 se muestra los resultados de dicha evaluación.

Se elaboraron cuadros del promedio de la velocidad del viento mensual para las décadas 2020-2029, 2030-2039, 2040-2049, 2050-2059 y 2060-2069 para los escenarios RCP 4.5 y 8.5.

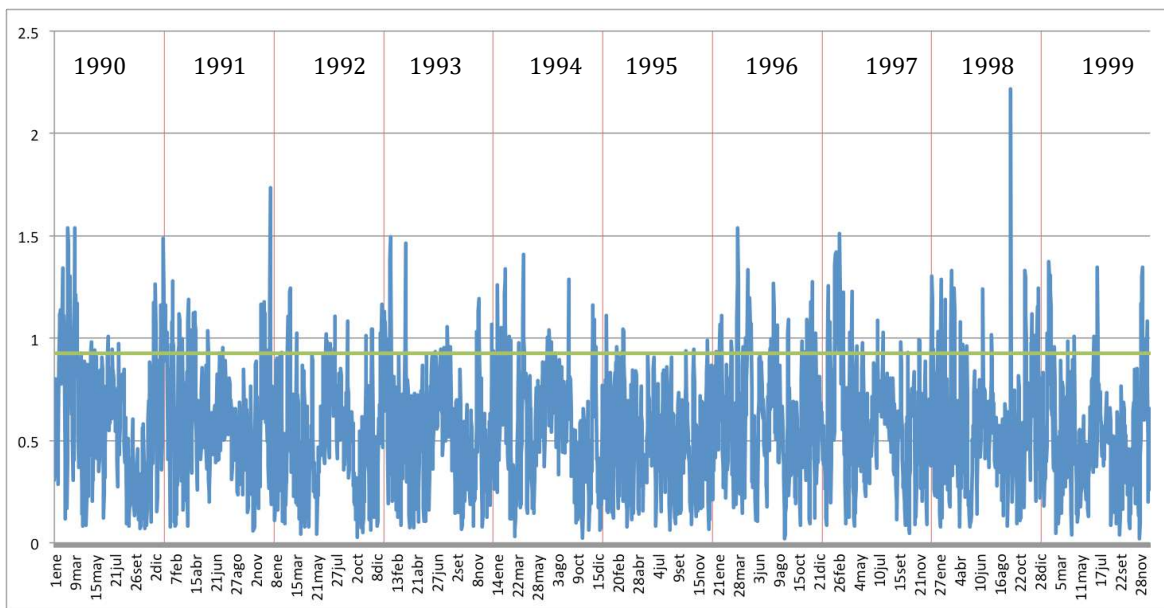
Resultados

Histórico

Altura de olas de viento en metros (Shww)

En la Figura 3 se puede observar la tendencia de oleaje promedio por viento (shww) diario para la década de 1990-1999. Se estimó un valor de 0.9 metros para el percentil 90 de la década, lo cual indica que el 10% de los datos para esa década se encuentra sobre 0.9 metros. Se observa un dato extremo que se registra el 23 de setiembre de 1998 de 2.2 metros (Figura 3).

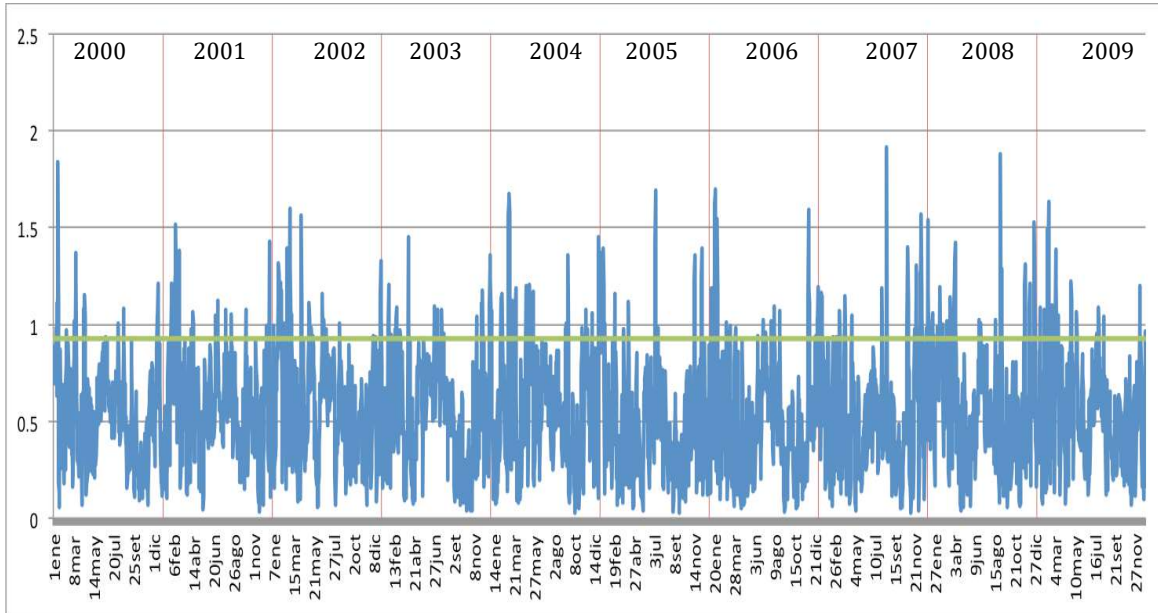
Figura 3. Tendencia de oleaje (shww) diario para la década 1990-1999.



En la Figura 4 se muestra la tendencia de oleaje promedio por viento (shww) diario para la década de 2000-2009. Se calculó un valor de 0.9 metros para el percentil 90 de la década, es decir que únicamente el 10% de los datos de esa década superan el valor

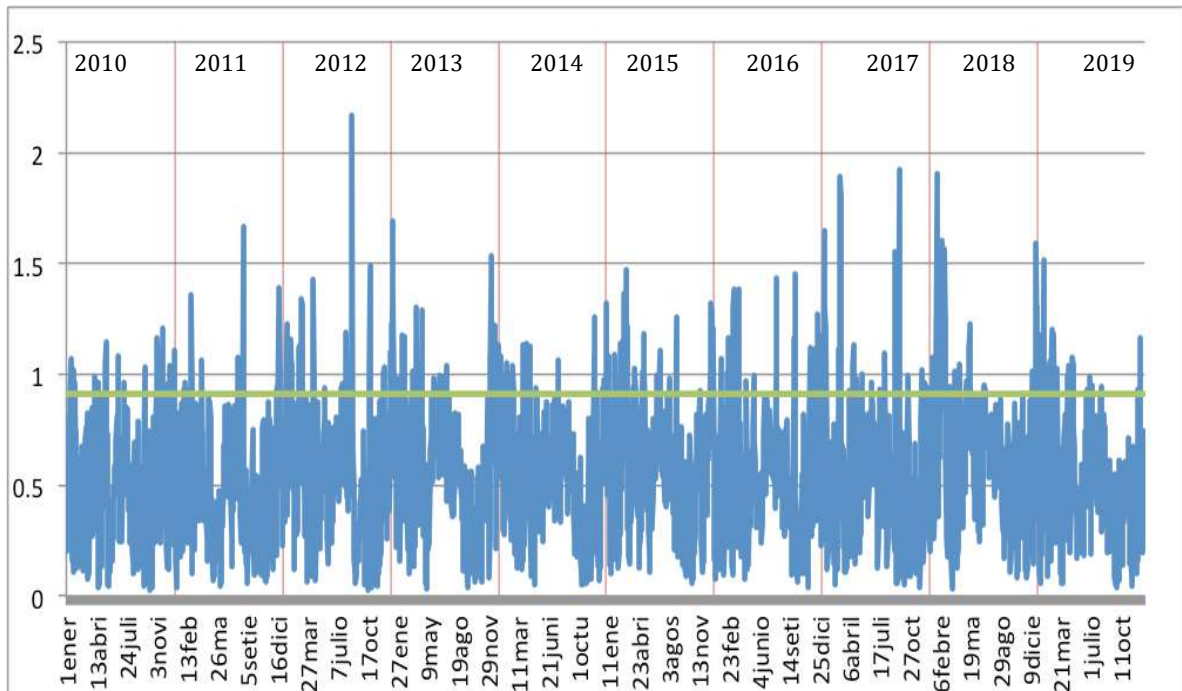
de 0.9 metros. El dato extremo de esa década se registra el 19 de agosto del 2007 con 1.9 metros.

Figura 4. Tendencia de oleaje (shww) diario para la década 2000-2009.



En la figura 5 se muestra el oleaje diario para la década 2010-2019. Se estimó el percentil 90 en 0.9 metros, lo cual indica que el 10% de los datos de esa década son superiores a 0.9 metros. Se observa un dato extremo de 2.2 el 24 de agosto de 2012.

Figura 5. Tendencia de oleaje (shww) diario para la década 2010-2019.



Si se comparan las décadas es claro que en las últimas dos décadas se observa oleajes con magnitudes mayores a 1.5 metros con mayor frecuencia que la primera década. La década de 1990-1999 presenta 7 días en los que se registró magnitudes iguales o mayores a 1.5, mientras que las décadas 2000-2009 y 2010-2019 registran 22 días cada una, que cumplen con dicha condición.

De los 7 días que se identificaron con oleaje de magnitud igual o mayor a 1.5 metros para la década 1990-1999, se observa una distribución en los meses de febrero, marzo, setiembre y diciembre, con 2, 3, 2 y 1 día, respectivamente.

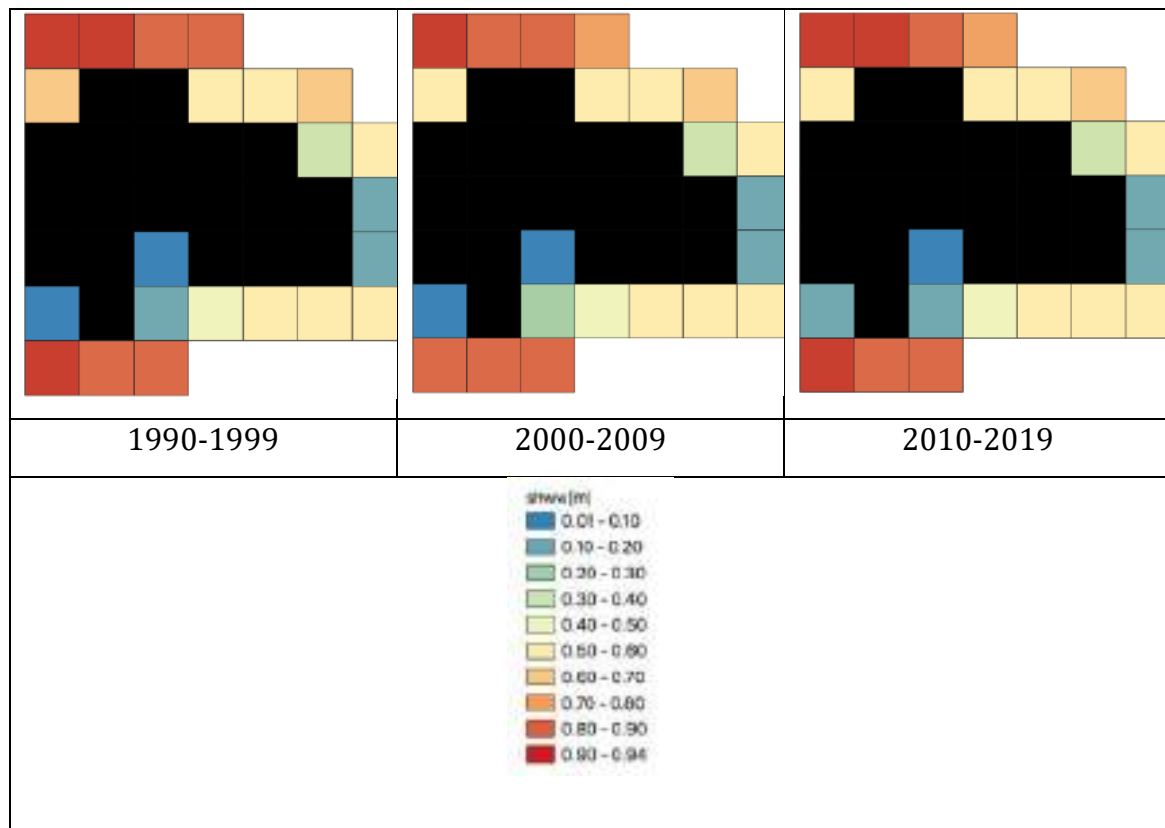
De los 22 días que se perciben con oleaje de magnitud igual o mayor a 1.5 metros para la década de 2000-2009 se observa una distribución amplia, con ocurrencias en casi todos los meses, excepto mayo, junio y octubre. El mes de enero es el que concentra la mayor cantidad de ocurrencias, con 7 días.

De los 22 días que se identificaron con oleaje de magnitud igual o mayor a 1.5 metros para la década de (2010-2019) se observa que enero concentró la mayor cantidad de

días (8 en total), seguido por febrero, marzo, agosto y diciembre (con 3 cada uno), y setiembre con 2 días.

En la figura 6 se muestra la distribución espacial de la altura de olas promedio de viento por década analizada.

Figura 6. Promedio de altura de olas de viento (shww) diario en metros para las décadas analizadas.

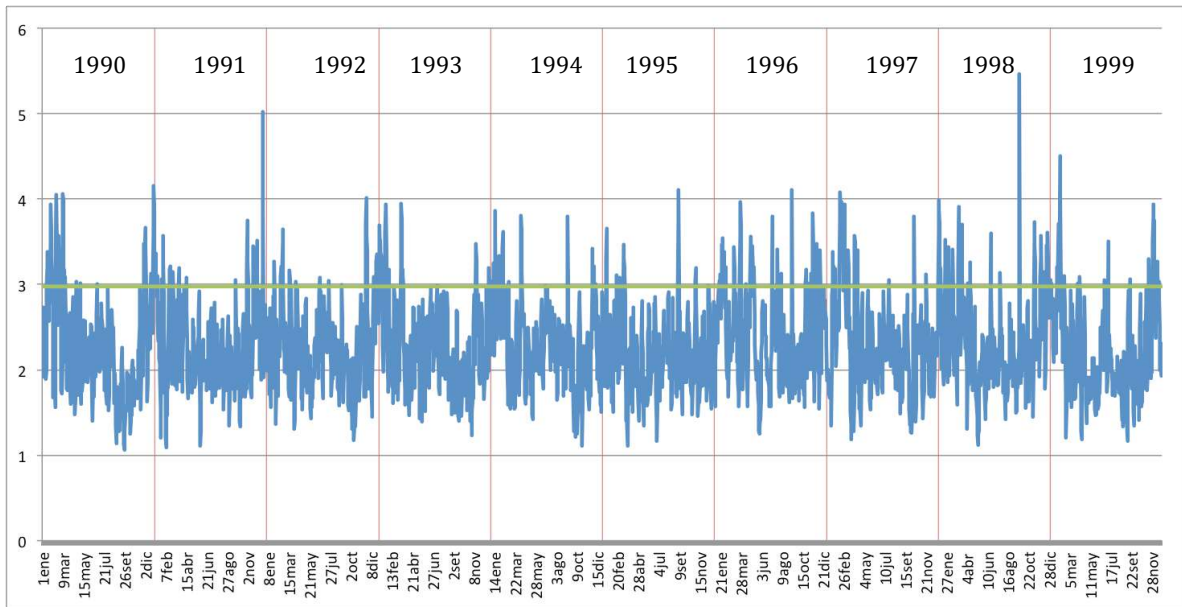


Según la información de la figura anterior, no se observan grandes diferencias en el promedio de altura de olas de viento entre las décadas. En promedio se observa que la costa norte presenta valores más altos que la costa sur.

Máxima altura de ola en metros (Hmax)

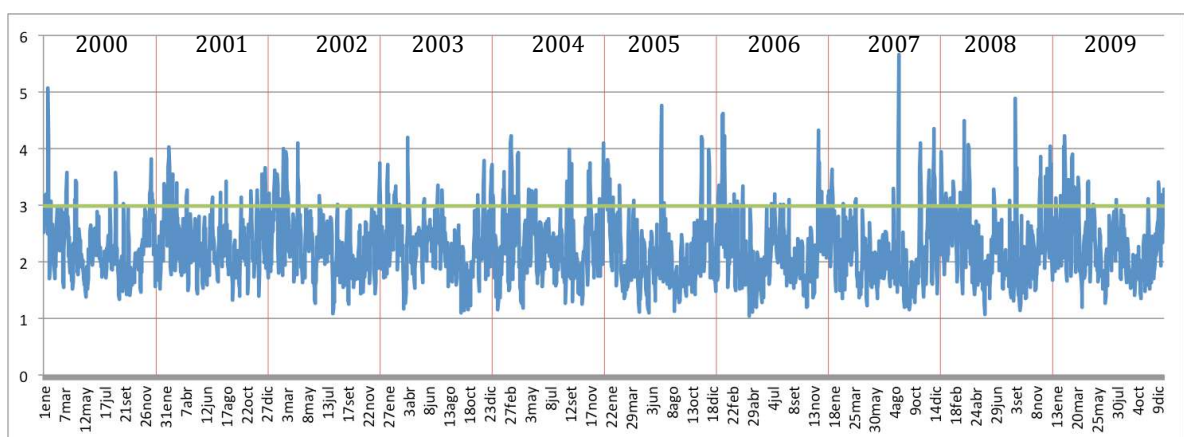
En la figura 7 se puede observar la tendencia de oleaje promedio máximo (hmax) diario para la década de 1990-1999. Se estimó un valor de 3.0 metros para el percentil 90 de la década, lo cual indica que el 10% de los datos para esa década se encuentra sobre 3.0 metros. Se observa un dato extremo que se registra el 23 de setiembre de 1998 de 5.5 metros (Figura 7).

Figura 7. Tendencia de oleaje máximo (hmax) diario para la década 1990-1999.



En la figura 8 se puede observar la tendencia de oleaje promedio máximo (hmax) diario para la década de 2000-2009. Al igual que lo descrito para la década 90-99, se estimó un valor de 3.0 metros para el percentil 90 de la década, lo cual indica que el 10% de los datos para el 2000-2009 se encuentra sobre 3.0 metros. Se observa un dato extremo que se registra el 19 de agosto de 2007 de 5.7 metros (Figura 8).

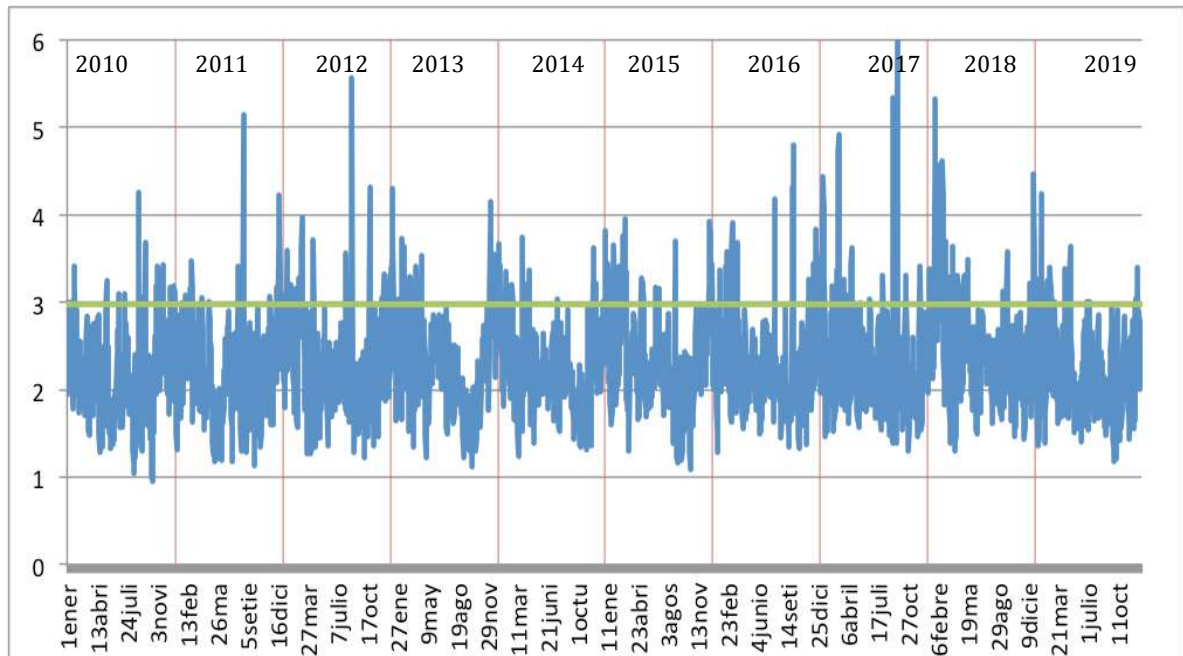
Figura 8. Tendencia de oleaje máximo (hmax) diario para la década 2000-2009.



En la Figura 9 se puede observar la tendencia de oleaje promedio máximo (hmax) diario para la década de 2010-2019. De igual manera, estimó un valor de 3.0 metros para el percentil 90 de la década, lo cual indica que el 10% de los datos

para esa década se encuentra sobre 3.0 metros. Se observa un dato extremo que se registra el 21 de setiembre de 2017 de 6.0 metros (Figura 9).

Figura 9. Tendencia de oleaje máximo (hmax) diario para la década 2010-2019.



Si se compara las tres décadas se observa una diferencia en la frecuencia de oleaje mayor a 4 metros. Se registra 12, 36 y 33 días para las décadas 2000-2009, 2000-2009 y 2010-2019 respectivamente.

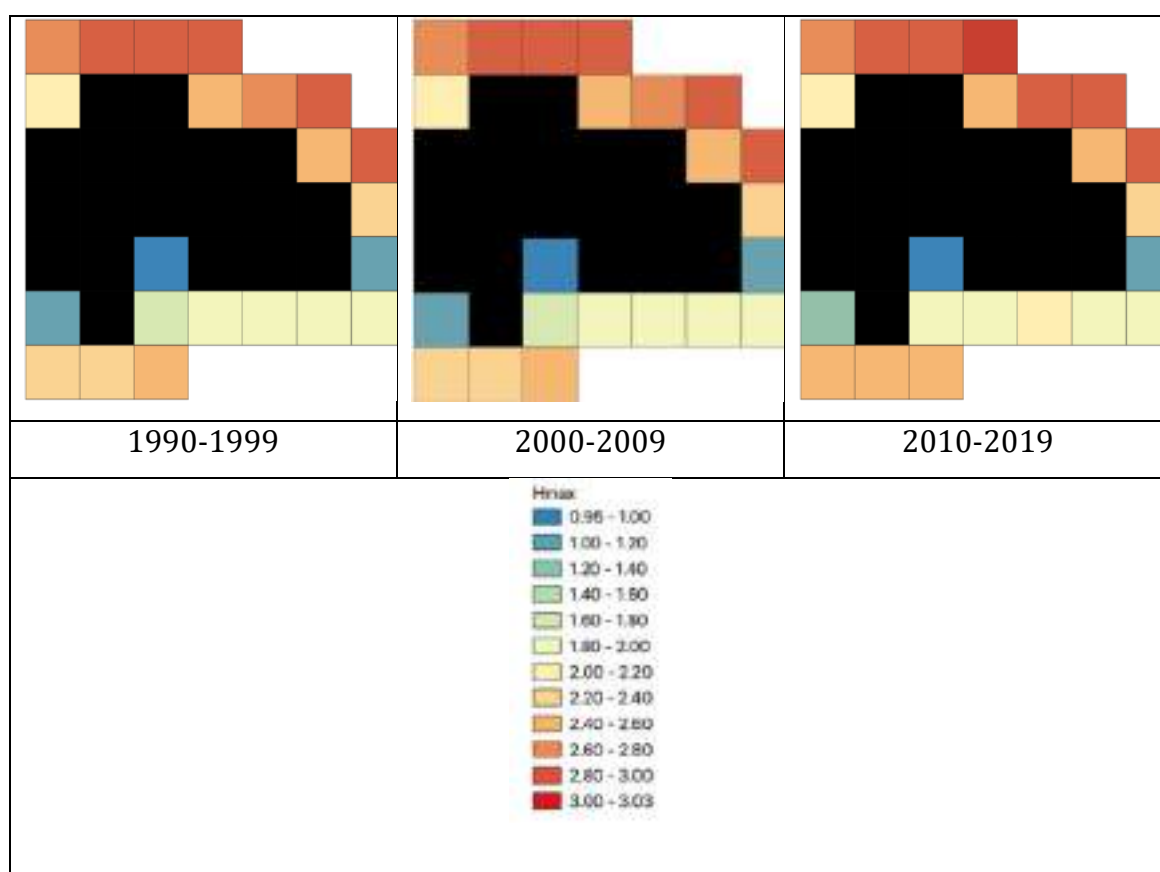
- La primera década presenta 4 días con oleaje mayor a 4 metros para los meses de febrero y setiembre, cada uno.
- La segunda década presenta 7 días con oleaje mayor a 4 metros para los meses enero, marzo y diciembre, cada uno.
- La tercera década presenta 9 días con oleaje mayor a 4 metros para el mes de enero, seguido por febrero y agosto con 6 y 5 días respectivamente.

Si bien se observa cierta similitud entre los datos de las variables shww y Hmax, y una fuerte correlación entre shww y u10, un análisis de regresión entre u10 y Hmax mostró un r^2 inferior a 0.5 en algunos casos, por lo que no se considera que

pueda generarse una modelación robusta para estimar Hmax para los RCP 4.5 y 8.5 basándose en datos de la variable u10.

En la figura 10 se muestra la distribución espacial del promedio de altura de ola máxima en las costas de República Dominicana, donde se observa magnitudes mayores para la costa norte del país.

Figura 10. Tendencia de oleaje máximo (hmax) diario para la década 2010-2019.



RCP 4.5

Se observa un aumento en la frecuencia de magnitudes superiores a 6.5 m/s del viento en el análisis de las décadas proyectadas, lo cual puede tener una incidencia en la altura de las olas que se pueden esperar (basándonos en la estrecha relación que existe entre las variables u10 y shww; ver Anexo 2).

En los cuadros 1, 2, 3, 4 y 5 se muestra la distribución promedio mensual de la variable u10.

Cuadro 1. Distribución promedio mensual de la magnitud de la velocidad del viento del componente u a 10 metros en m/s para la década 2020-2029 – escenario RCP 4.5

Mes	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	Promedio
1	6.03	5.28	5.60	6.85	6.19	5.93	6.54	6.22	5.41	6.68	6.07
2	6.78	5.17	6.36	5.14	5.02	6.33	5.87	5.62	5.47	6.68	5.84
3	5.10	6.62	7.34	5.10	5.94	6.04	6.01	5.45	5.71	6.02	5.93
4	5.99	5.27	5.80	5.38	6.38	6.09	5.47	4.86	5.09	4.95	5.53
5	6.16	6.50	5.96	6.36	5.65	5.80	6.70	6.28	6.11	5.86	6.14
6	6.16	6.84	6.27	6.71	6.58	6.55	6.41	6.77	6.50	5.78	6.46
7	6.22	6.73	6.54	6.13	6.50	6.70	6.23	6.35	6.52	6.56	6.45
8	5.34	5.57	5.47	5.55	5.59	5.79	5.81	6.19	5.67	5.46	5.64
9	4.98	3.92	4.69	4.76	5.38	5.18	4.32	4.30	4.59	3.69	4.58
10	3.61	2.88	3.18	4.00	4.96	4.31	3.28	3.37	3.37	4.27	3.72
11	6.17	4.63	4.73	4.95	4.91	5.02	5.46	4.80	4.79	5.36	5.08
12	6.44	6.25	6.25	5.05	6.14	5.97	5.22	5.59	5.62	5.97	5.85
Promedio	5.75	5.47	5.68	5.50	5.77	5.81	5.61	5.48	5.40	5.61	5.61

Cuadro 2. Distribución promedio mensual de la magnitud de la velocidad del viento del componente u a 10 metros en m/s para la década 2030-2039 – escenario RCP 4.5

Mes	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	Promedio
1	5.79	4.85	6.69	5.69	6.13	6.25	7.41	6.43	6.03	5.70	6.10
2	5.94	5.33	7.06	5.20	6.07	5.58	5.23	4.84	6.27	6.07	5.76
3	6.21	5.48	5.39	4.78	5.87	6.15	7.28	6.63	5.96	5.02	5.88
4	6.33	4.65	6.05	5.41	5.34	5.06	5.79	6.83	6.02	5.88	5.74
5	5.98	5.31	6.68	5.56	6.34	5.66	5.55	6.38	5.91	4.61	5.80
6	6.08	6.43	7.35	6.67	7.24	6.33	6.48	6.91	5.84	6.79	6.61
7	6.41	6.89	6.61	6.31	6.37	6.09	6.20	6.77	6.42	6.51	6.46
8	6.54	6.01	5.49	6.19	5.90	4.71	6.00	6.41	5.71	5.56	5.85
9	5.53	4.59	4.68	5.46	5.08	3.62	4.67	4.77	4.28	4.37	4.71
10	3.30	4.00	3.76	4.99	3.79	4.20	4.33	4.83	4.06	2.64	3.99
11	4.63	4.13	4.60	5.32	4.57	5.23	5.06	4.99	4.48	5.14	4.82
12	5.24	5.98	3.74	5.79	6.11	5.18	5.51	5.63	5.15	5.49	5.38
Promedio	5.67	5.30	5.68	5.61	5.73	5.34	5.79	5.95	5.51	5.32	5.59

Cuadro 3. Distribución promedio mensual de la magnitud de la velocidad del viento del componente u a 10 metros en m/s para la década 2040-2049 – escenario RCP 4.5

Mes	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	Promedio
-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	----------

1	7.17	5.52	5.89	6.98	4.68	5.37	6.47	5.15	7.73	5.97	6.09
2	6.64	6.97	6.48	5.79	5.87	7.13	5.29	4.71	6.56	5.14	6.06
3	7.04	6.65	6.73	4.80	5.39	4.72	6.08	5.98	5.64	4.31	5.73
4	4.66	5.36	6.29	4.70	5.10	6.80	6.41	5.90	5.95	4.51	5.57
5	5.68	6.21	5.84	6.07	6.44	5.98	6.67	5.84	5.99	6.48	6.12
6	6.69	6.14	6.19	7.30	6.83	6.25	6.73	5.95	6.35	6.43	6.49
7	6.49	6.20	6.85	6.93	6.69	6.12	5.97	6.48	6.18	6.13	6.40
8	5.95	5.87	5.14	5.93	5.87	5.51	5.76	5.84	5.73	6.06	5.77
9	4.79	4.78	5.28	3.87	4.92	4.07	3.99	3.58	4.74	4.66	4.47
10	3.01	3.96	3.82	3.77	3.86	2.88	3.79	3.80	4.42	3.50	3.68
11	5.72	4.44	4.30	5.07	4.43	4.06	4.93	5.62	4.77	5.55	4.89
12	6.32	5.86	5.65	5.50	5.63	6.17	4.90	5.65	5.89	5.94	5.75
Promedio	5.85	5.66	5.71	5.56	5.48	5.42	5.58	5.38	5.83	5.39	5.58

Cuadro 4. Distribución promedio mensual de la magnitud de la velocidad del viento del componente u a 10 metros en m/s para la década 2050-2059 - escenario RCP 4.5

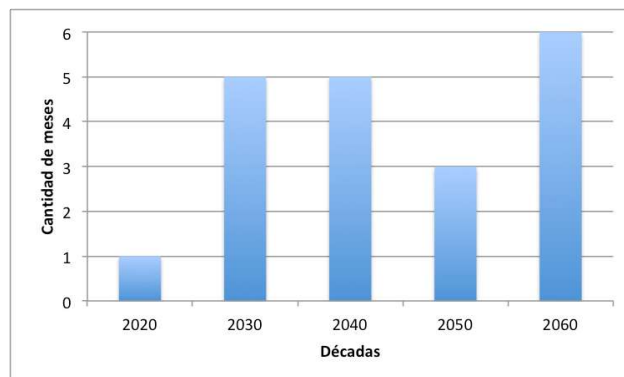
Mes	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	Promedio
1	6.28	5.61	5.35	7.23	5.70	5.08	6.61	6.05	4.72	6.31	5.89
2	5.87	6.18	6.50	5.89	6.95	6.54	7.76	6.17	5.71	6.41	6.40
3	6.57	6.58	4.99	5.77	5.93	4.90	6.19	5.53	5.53	5.68	5.77
4	6.40	6.69	5.91	5.47	6.12	4.74	5.66	6.55	4.86	5.17	5.76
5	5.96	5.98	6.15	6.24	6.01	6.01	6.21	6.52	6.24	6.53	6.19
6	6.73	5.81	5.84	6.46	6.09	5.90	6.74	7.08	6.36	6.18	6.32
7	6.52	6.74	6.72	6.30	6.14	6.44	6.37	5.98	6.26	6.13	6.36
8	6.72	5.46	5.89	5.62	5.75	5.84	6.17	6.02	6.15	5.58	5.92
9	5.10	4.57	3.64	4.76	4.31	4.85	4.75	5.00	4.96	4.59	4.65
10	3.84	3.80	4.02	3.60	4.29	3.94	3.53	3.35	2.44	3.56	3.64
11	5.74	4.70	5.00	5.43	4.62	4.52	5.16	5.82	3.91	4.84	4.97
12	5.77	6.96	5.63	6.94	5.81	5.61	5.29	4.78	5.87	5.31	5.80
Promedio	5.96	5.76	5.47	5.81	5.64	5.37	5.87	5.74	5.25	5.52	5.64

Cuadro 5. Distribución promedio mensual de la magnitud de la velocidad del viento del componente u a 10 metros en m/s para la década 2060-2069 – escenario RCP 4.5

Mes	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	Promedio
1	5.39	7.12	4.69	4.89	5.13	6.17	5.82	6.12	6.19	5.74	5.73
2	6.49	5.57	6.42	6.53	5.72	6.80	5.95	6.11	7.55	4.62	6.17
3	6.84	5.86	7.67	6.35	5.92	6.12	6.09	5.57	6.32	5.22	6.20
4	5.77	6.64	6.92	5.91	6.83	5.90	5.97	5.45	6.47	5.59	6.14
5	6.11	6.89	6.36	6.33	5.96	6.78	6.77	5.49	6.65	5.39	6.27
6	6.56	6.31	6.57	7.06	6.86	6.90	6.04	6.35	7.09	5.58	6.53
7	6.48	5.91	6.77	6.60	6.83	6.56	6.80	5.80	6.92	7.03	6.57
8	5.67	5.93	6.19	5.91	5.46	5.96	6.09	6.13	5.70	6.52	5.96
9	4.44	5.09	4.21	5.12	4.43	5.06	4.16	4.14	5.11	5.14	4.69
10	3.66	3.98	2.80	3.73	3.30	3.88	3.58	4.14	4.57	2.83	3.65
11	5.38	6.27	5.71	4.32	4.67	4.75	3.55	5.45	4.47	5.00	4.96
12	5.95	6.30	6.08	5.86	6.19	6.55	6.69	5.69	5.41	6.24	6.10
Promedio	5.73	5.99	5.87	5.72	5.61	5.95	5.62	5.54	6.04	5.41	5.75

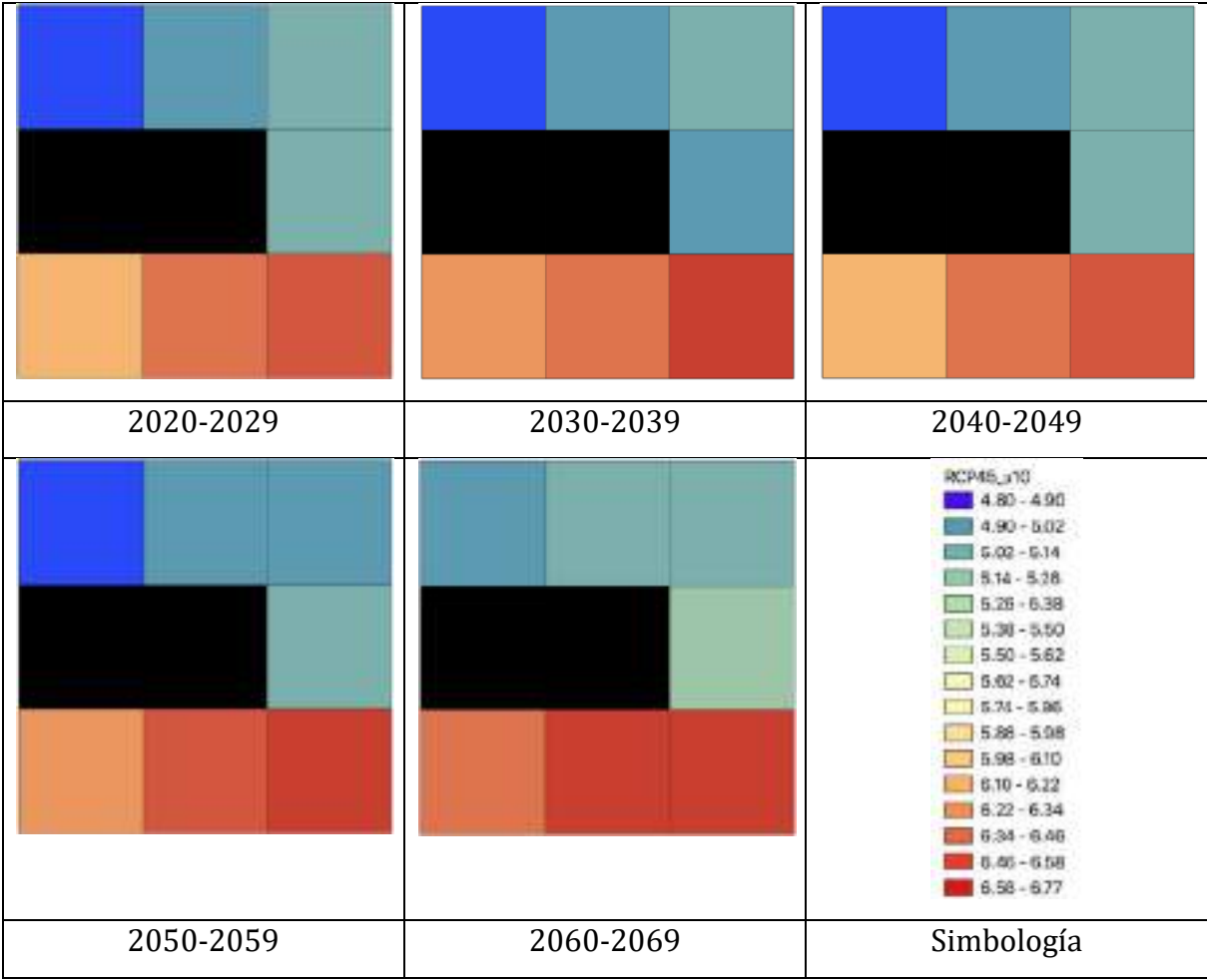
En términos generales, **se estima que una magnitud de 7 m/s de la variable u10 representa olas shww de 0.8 metros en promedio**, basándose en las ecuaciones estimadas en el Anexo 2. Bajo el escenario RCP 4.5 se observa una tendencia al aumento de cantidad de meses en los que se observa una velocidad de u10 promedio igual o mayor a 7 m/s (figura 11) (a excepción de la década 2050-2059), los cuales ocurren con mayor frecuencia durante el primer trimestre del año, seguido por junio y julio.

Figura 11. Cantidad de meses en los que se estima ocurrirá magnitudes iguales o superiores a 7 m/s para la variable u10 bajo el escenario RCP 4.5.



En la figura 12 se puede observar la distribución espacial de la variable u10 para las diferentes décadas según el escenario RCP 4.5. Cabe resaltar que, a diferencia de los datos históricos de shww de ERA5, los datos sugieren mayor altura de ola promedio en la costa sur. Sin embargo, esta diferencia puede deberse a la resolución espacial, ya que un pixel de los datos de shww de ERA5 contempla dos o más pixeles de u10. Se observa una tendencia a un aumento de la velocidad promedio del viento a 10 metros de la superficie de la tierra a través del tiempo.

Figura 12. Distribución espacial del comportamiento de la variable u10 bajo el escenario RCP 4.5



RCP 8.5

Se observa un aumento en la frecuencia de magnitudes superiores a 6.5 m/s del viento en las décadas analizadas, lo cual puede tener una incidencia en la altura de las olas que se pueden esperar, basándose en la estrecha relación que existe entre las variables u_{10} y sh_{ww} del análisis presentado en el Anexo 2.

En los cuadros 6, 7, 8, 9 y 10 se muestra la distribución promedio mensual de la variable u_{10} .

Cuadro 6. Distribución promedio mensual de la magnitud de la velocidad del viento del componente u a 10 metros en m/s para la década 2020-2029 – escenario RCP 8.5

Mes	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	Promedio
1	6.72	5.22	4.93	6.12	5.66	5.51	6.45	4.69	7.00	5.62	5.79
2	6.62	6.59	5.64	6.11	6.48	5.40	5.26	6.74	7.48	5.87	6.22
3	5.62	4.96	5.91	5.39	4.58	5.65	7.26	5.39	5.87	4.49	5.51
4	5.56	6.20	6.30	6.24	6.29	5.51	6.22	5.05	5.99	5.76	5.91
5	6.62	5.88	5.53	6.72	5.85	5.61	6.27	5.51	5.94	6.20	6.01
6	6.76	6.47	6.10	6.84	6.40	6.78	6.50	6.57	6.62	6.26	6.53
7	6.43	6.38	5.52	6.51	6.53	6.53	6.50	6.15	6.32	6.99	6.39
8	6.15	5.97	5.48	5.99	5.88	6.12	6.47	5.71	5.47	5.15	5.84
9	3.98	5.45	4.53	4.90	4.26	4.94	5.43	4.41	4.86	4.72	4.75
10	4.26	3.90	3.52	3.82	4.89	5.22	3.57	4.20	4.52	4.39	4.23
11	4.48	5.08	4.87	5.21	4.42	5.10	5.35	5.37	5.41	4.39	4.97
12	5.14	5.75	5.41	4.77	6.79	6.25	6.24	5.71	5.81	6.00	5.79
Promedio	5.70	5.65	5.31	5.72	5.67	5.72	5.96	5.46	5.94	5.49	5.66

Cuadro 7. Distribución promedio mensual de la magnitud de la velocidad del viento del componente u a 10 metros en m/s para la década 2030-2039 – escenario RCP 8.5

Mes	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	Promedio
1	6.77	6.45	5.92	6.00	5.45	5.21	6.82	6.45	7.23	4.78	6.11
2	6.64	6.24	7.83	6.24	6.00	7.29	6.01	6.21	6.52	5.82	6.48
3	6.16	5.63	5.31	4.65	5.82	6.22	6.00	5.40	5.76	5.91	5.69
4	5.30	5.82	5.12	5.21	5.41	4.68	5.25	5.47	5.85	6.47	5.46
5	5.35	5.65	6.20	6.02	6.10	6.47	6.47	5.99	6.11	6.49	6.08
6	7.03	6.16	6.12	6.07	6.86	6.66	6.47	6.35	6.58	6.28	6.46
7	6.18	6.30	5.98	6.73	6.31	6.43	5.60	6.25	6.97	6.81	6.36
8	6.08	5.78	5.23	6.30	6.10	5.65	5.64	4.93	5.75	5.99	5.74
9	4.09	3.54	5.11	4.77	4.59	4.65	4.89	3.70	4.18	5.27	4.48
10	2.77	2.77	3.74	3.35	2.75	4.57	4.40	4.70	3.22	4.86	3.71
11	5.53	4.51	5.37	6.11	4.75	4.39	5.50	4.65	4.77	5.01	5.06
12	4.71	5.79	6.62	5.69	6.30	6.81	5.63	6.33	6.08	6.32	6.03
Promedio	5.55	5.39	5.71	5.60	5.54	5.75	5.72	5.54	5.75	5.83	5.64

Cuadro 8. Distribución promedio mensual de la magnitud de la velocidad del viento del componente u a 10 metros en m/s para la década 2040-2049 – escenario RCP 8.5

Mes	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	Promedio
1	7.15	6.56	6.63	5.87	5.64	5.93	5.31	5.39	6.75	7.53	6.27
2	5.98	6.03	6.17	4.85	6.67	6.04	5.47	6.39	6.54	6.27	6.04
3	5.42	5.49	6.62	5.24	5.99	6.01	7.02	6.27	6.69	5.96	6.07
4	5.38	5.91	5.93	5.56	6.28	6.62	5.91	5.36	7.27	6.38	6.06
5	6.32	6.02	6.83	5.62	6.37	6.02	5.79	6.49	5.77	6.08	6.13
6	6.70	6.41	6.83	6.91	6.58	6.41	6.31	6.23	6.47	6.54	6.54
7	6.28	6.38	6.49	6.16	6.24	5.68	6.59	6.64	6.49	6.47	6.34
8	5.25	5.78	6.50	6.10	5.54	5.64	5.49	6.16	6.03	5.17	5.76
9	4.11	4.75	5.18	4.13	4.31	3.52	3.61	5.25	4.91	4.57	4.43
10	4.37	4.10	3.87	4.65	2.69	3.59	4.31	3.50	4.03	3.77	3.89
11	5.08	5.33	4.47	4.34	3.88	5.47	5.02	5.21	4.91	5.39	4.91
12	5.28	5.41	5.30	5.39	5.56	5.88	5.99	5.94	6.63	6.24	5.76
Promedio	5.61	5.68	5.90	5.40	5.48	5.57	5.57	5.74	6.04	5.86	5.68

Cuadro 9. Distribución promedio mensual de la magnitud de la velocidad del viento del componente u a 10 metros en m/s para la década 2050-2059 – escenario RCP 8.5

Mes	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	Promedio
1	5.32	4.56	4.94	4.94	5.45	5.53	5.02	5.35	5.59	5.71	5.24
2	6.78	6.63	5.52	6.72	5.38	5.57	5.88	5.67	6.79	6.10	6.10
3	6.08	6.79	6.18	5.63	4.57	5.79	5.61	6.04	6.13	6.57	5.94
4	5.40	6.51	6.33	4.64	5.90	5.40	5.26	5.16	6.41	4.99	5.60
5	5.65	5.95	6.81	6.94	5.94	6.58	5.59	6.20	6.82	6.82	6.33
6	6.52	6.61	7.24	7.21	6.81	7.01	6.82	6.54	6.29	6.47	6.75
7	6.41	6.73	6.92	6.78	6.87	6.55	6.66	6.55	6.71	6.61	6.68
8	5.48	5.66	6.09	5.67	5.59	5.76	5.75	6.06	5.73	6.08	5.79
9	5.03	4.75	5.29	4.41	4.78	4.83	4.42	4.97	5.49	5.35	4.93
10	4.46	3.16	4.27	4.94	3.23	4.12	3.74	3.48	5.09	3.81	4.03
11	6.06	6.00	3.90	5.43	4.23	4.75	4.33	5.43	5.32	4.56	5.00
12	5.67	6.66	5.23	5.48	4.66	4.83	4.80	6.38	5.61	5.60	5.49
Promedio	5.74	5.84	5.73	5.73	5.28	5.56	5.32	5.65	6.00	5.72	5.66

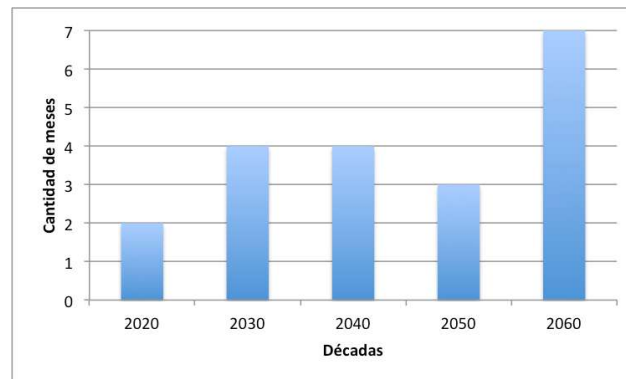
Cuadro 10. Distribución promedio mensual de la magnitud de la velocidad del viento del componente u a 10 metros en m/s para la década 2060-2069 – escenario RCP 8.5

Mes	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	Promedio
1	5.06	5.66	6.17	4.64	5.87	7.33	6.49	5.14	5.64	5.75	5.78
2	6.96	6.66	6.86	4.82	4.97	5.72	6.82	5.30	5.39	4.86	5.84
3	6.66	6.35	4.92	6.71	6.77	5.59	6.34	6.11	5.20	5.29	5.99
4	5.41	5.68	5.12	6.14	4.92	5.52	5.78	6.07	6.12	4.56	5.53
5	6.05	6.63	6.18	6.26	6.09	5.96	6.36	6.04	5.74	5.48	6.08
6	6.92	6.78	6.05	6.80	7.14	6.27	6.67	7.12	7.18	7.00	6.79
7	6.38	6.50	6.50	7.08	5.96	6.43	6.61	6.59	6.80	6.99	6.58
8	6.01	5.14	5.98	5.52	5.99	5.77	5.78	6.03	7.03	6.13	5.94
9	4.89	3.22	4.84	4.67	4.14	4.46	4.52	5.07	5.13	4.85	4.58
10	2.44	4.00	3.56	3.86	3.86	4.83	2.75	4.72	4.50	3.48	3.80
11	6.15	5.24	5.27	5.16	5.11	4.46	4.69	5.09	3.94	5.74	5.09
12	5.96	6.00	6.51	5.68	4.83	7.37	5.50	6.38	5.86	4.97	5.91
Promedio	5.74	5.65	5.66	5.61	5.47	5.81	5.69	5.80	5.71	5.42	5.66

Como se mencionó anteriormente, en términos generales se estima que una magnitud de 7 m/s de la variable u10 representa olas shww de 0.8 metros en promedio,

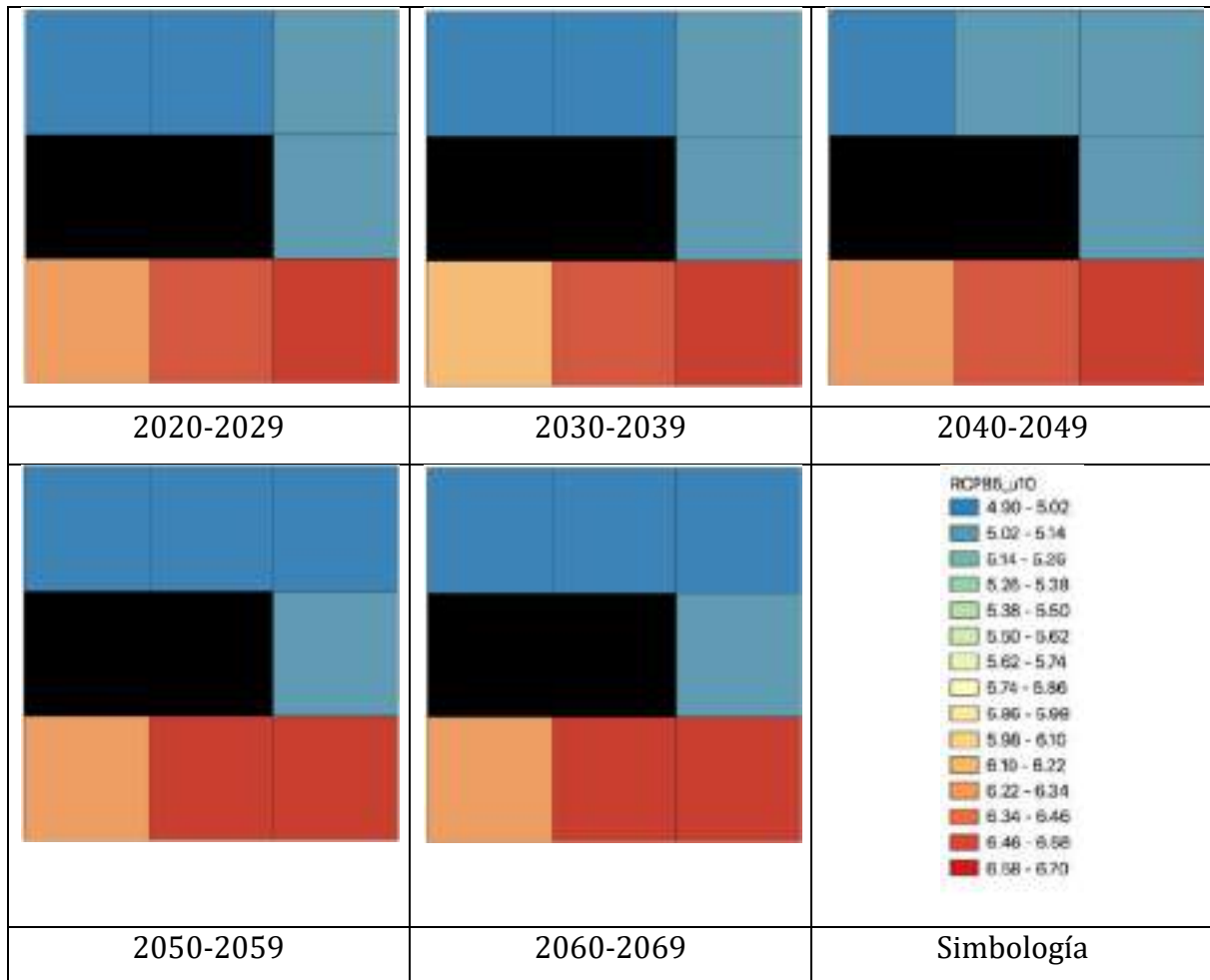
basándose en las ecuaciones estimadas en el Anexo 2. Bajo el escenario RCP 8.5 se observa una tendencia al aumento de u_{10} mensual igual o mayor a 7 m/s (figura 13), al igual que lo señalado en el escenario RCP 4.5, la mayor diferencia entre ambos escenarios es los meses en los que se estima la ocurrencia de esas magnitudes. Mientras que RCP 4.5 predice que las magnitudes iguales o mayores a 7 m/s de la variable u_{10} ocurren con mayor frecuencia durante el primer trimestre del año seguido por junio y julio, el RCP 8.5 predice la ocurrencia de dichas magnitudes también en abril, agosto y diciembre.

Figura 13 Cantidad de meses en los que se estima ocurrirá magnitudes iguales o superiores a 7 m/s para la variable u_{10} bajo el escenario RCP 4.5



La distribución espacial de la variable u_{10} se puede observar en la figura 14. Cabe resaltar que, al igual que en el escenario RCP 4.5, se observa una diferencia con los datos históricos de ERA5 porque los datos sugieren mayor magnitud de ola promedio en la costa sur. Sin embargo, lo anterior puede deberse a la resolución espacial. En la figura 14 no se observa una tendencia a un aumento de la velocidad promedio del viento a 10 metros a través del tiempo.

Figura 14. Distribución espacial del comportamiento de la variable u10 bajo el escenario RCP 8.5



Referencias

Liberto, M. L. R., Pinto, J-G-, Trigo, R.M., Ludwig, P., Ordóñez, P., Yuen, D., Trigo, I.F. (2013). Explosive development of Winter storm Xynthia over subtropical North Atlantic Ocean. En *Natural Hazards and Earth System Science*,12, 2239-2251. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/235943777 Explosive development of winter storm Xynthia over the Southeastern North Atlantic Ocean](https://www.researchgate.net/publication/235943777_Explosive_development_of_winter_storm_Xynthia_over_the_Southeastern_North_Atlantic_Ocean)

SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute). (2014). Air pressure and sea level. Disponible en:

<https://www.smhi.se/en/theme/air-pressure-and-sea-level-1.12266>

Anexo 1. Link para descargar información geo-espacial y tabulada de oleaje.

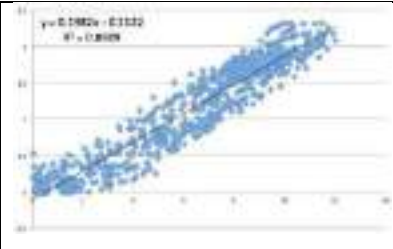
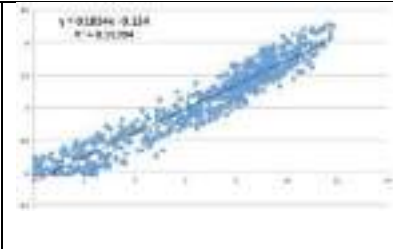
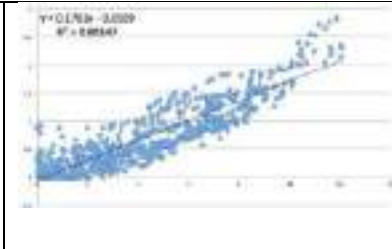
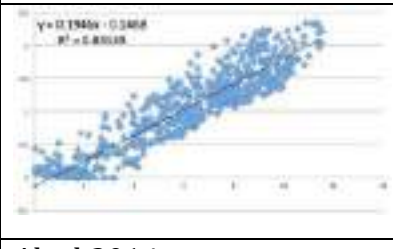
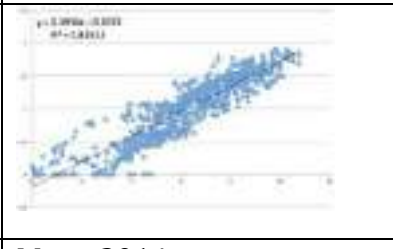
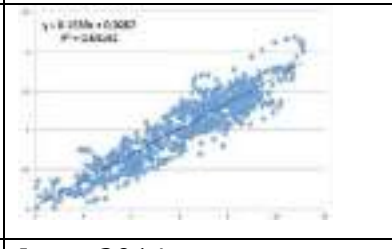
Dato	Formato y unidades	Link
Histórico shww	Shapefile, metros	https://drive.google.com/open?id=1ChtR3M4553D3xgkp54wQlhXJh6tEFr0 <u>D</u>
Histórico Hmax	Shapefile, metros	
RCP 4.5 u10	Shapefile, m/s	
RCP 8.5 u10	Shapefile, m/s	
Datos tabulados	.xlsx, shww = m; Hmax = m; u10 = m/s	

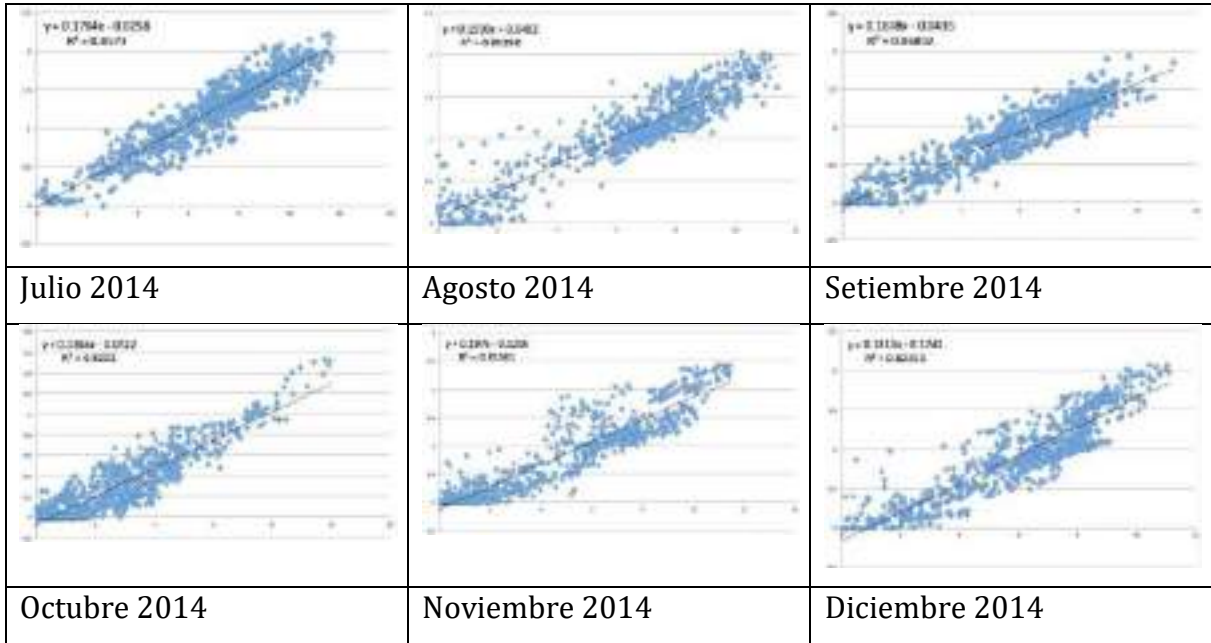
Anexo 2. Análisis de regresión de datos de magnitud de viento y olas de viento para el año 2014.

En este Anexo se presenta los resultados obtenidos de un análisis de regresión que se realizó con datos históricos del año 2014 (seleccionado al azar) de la variable u_{10} y shww descargados de CDS correspondientes a la base de datos por hora del proyecto ERA5 para República Dominicana. La información de ambas variables se encontraba en diferente resolución y sistema de referencia, por lo que se decidió hacer un pareo entre diferentes celdas para agregar los datos y poder hacer las comparaciones correspondientes entre celdas.

Una vez hecho el pareo entre celdas se procedió a estimar un promedio general de ambas variables para cada día, agregando la información de todas las celdas y estimar así una ecuación de regresión con su respectivo r^2 con el fin de observar el evaluar si se podía utilizar la variable u_{10} como predictor de shww. En la figura xx se puede observar los gráficos de regresión con su respectiva ecuación y r^2 reportado para el análisis por hora para cada mes del año 2014.

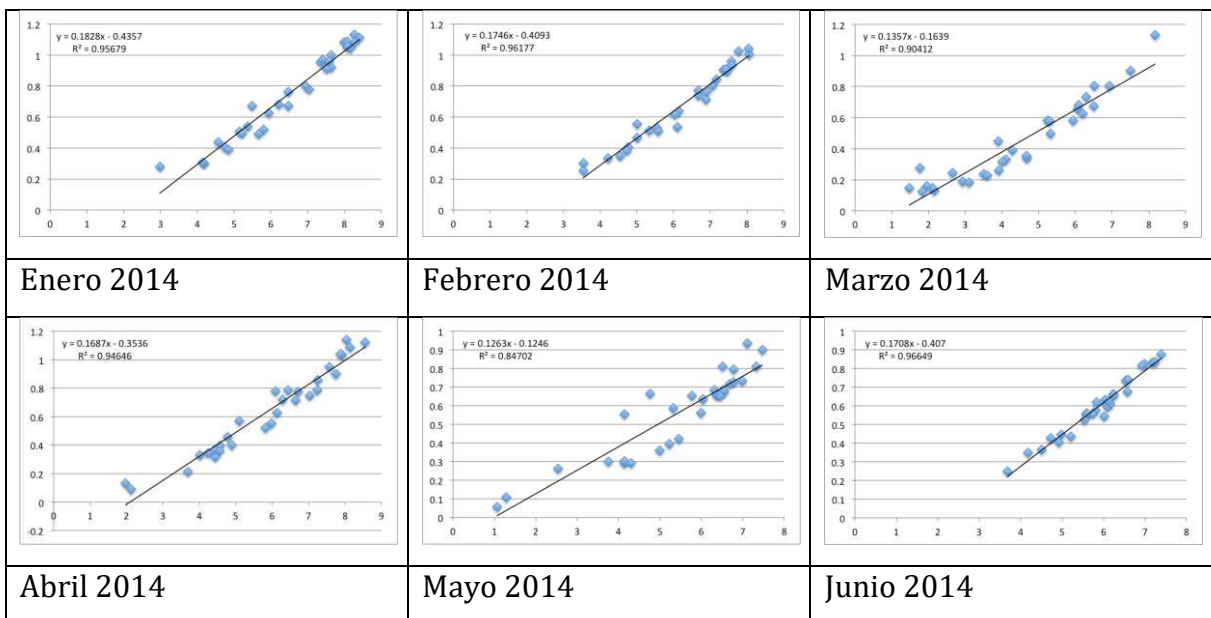
Gráficos por hora

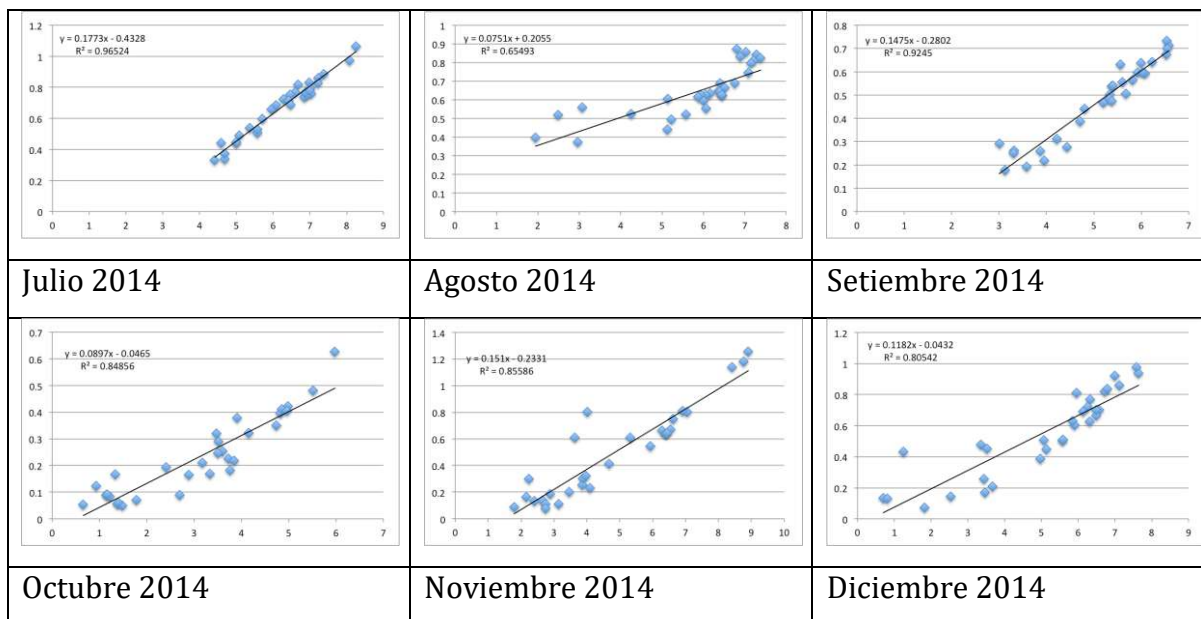
		
Enero 2014	Febrero 2014	Marzo 2014
		
Abril 2014	Mayo 2014	Junio 2014



Posteriormente, se estimó el promedio por día de ambas variables con el fin de evaluar si se podía utilizar los datos de u_{10} en esa temporalidad para predecir el comportamiento de shww. En la Figura xx se muestra los resultados obtenidos de dicho análisis.

Gráficos por día





Por lo general, el r^2 mejora con el promedio de datos diarios por mes. En términos generales para el año 2014 se tiene un r^2 anual de 0.88 lo cual implica que la estimación por el método de regresión para ese año es bastante robusta. Si bien los datos pueden variar con diferentes años, se puede asumir que en términos generales una predicción de shww se puede hacer con datos diarios de u_{10} .

En el cuadro xx se muestra un resumen del análisis de regresión generado para cada año desde 1990 hasta 2019, utilizando datos por hora agregados de manera diaria de u_{10} y shww de la base de datos ERA5 para todos los pixeles de la región costera de República Dominicana.

Año	Ecuación de regresión	r^2
1990	$y = 0.1597x - 0.2978$	0.90
1991	$y = 0.1588x - 0.3057$	0.86
1992	$y = 0.1392x - 0.1978$	0.85
1993	$y = 0.1485x - 0.2505$	0.85
1994	$y = 0.1494x - 0.2515$	0.88
1995	$y = 0.1367x - 0.1941$	0.85

Año	Ecuación de regresión	r ²
1996	$y = 0.1455x - 0.2018$	0.79
1997	$y = 0.1559x - 0.2887$	0.89
1998	$y = 0.1536x - 0.2547$	0.74
1999	$y = 0.1382x - 0.1854$	0.74
2000	$y = 0.1419x - 0.2203$	0.80
2001	$y = 0.1409x - 0.189$	0.81
2002	$y = 0.1598x - 0.3089$	0.87
2003	$y = 0.1408x - 0.1818$	0.80
2004	$y = 0.1456x - 0.1889$	0.76
2005	$y = 0.1396x - 0.1762$	0.76
2006	$y = 0.1516x - 0.2512$	0.82
2007	$y = 0.1628x - 0.3091$	0.82
2008	$y = 0.1454x - 0.2124$	0.69
2009	$y = 0.1449x - 0.2254$	0.75
2010	$y = 0.1233x - 0.0939$	0.74
2011	$y = 0.1438x - 0.2162$	0.76
2012	$y = 0.1484x - 0.2226$	0.75
2013	$y = 0.159x - 0.3021$	0.89
2014	$y = 0.1398x - 0.1904$	0.88
2015	$y = 0.1579x - 0.2856$	0.89
2016	$y = 0.144x - 0.1997$	0.77
2017	$y = 0.1494x - 0.2273$	0.73
2018	$y = 0.18x - 0.4285$	0.90
2019	$y = 0.1535x - 0.2892$	0.90

Con base en los resultados obtenidos del análisis de regresión de los años 1990 a 2019 se puede proceder a hacer un análisis de datos u₁₀ diarios de la base histórica de los escenarios RCP 4.5 y 8.5 para estimar el comportamiento de la variable shww en los años de análisis.

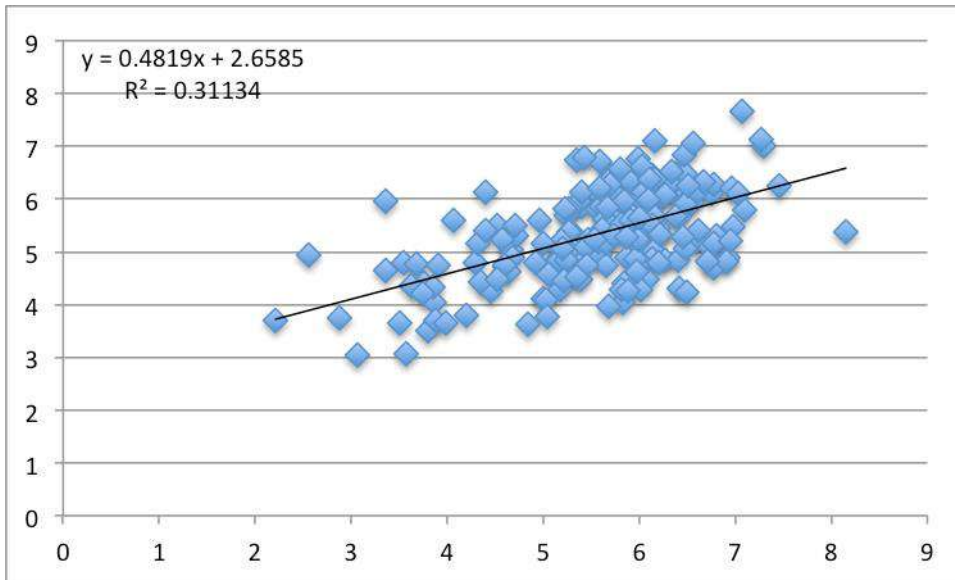
Anexo 3. Evaluación de datos de la variable u10 de la base de datos ERA5 y de los modelos históricos de RCP 4.5 disponibles en la base de datos CDS.

Se llevó a cabo una evaluación de la variable u10 de los modelos Noresm, GISS, CNRM, HadGEM y MPI, del escenario RCP 4.5 histórico respecto a los datos de la misma variable de ERA5 con el fin de identificar si existe una buena correlación entre los datos de manera que se pueda estimar la variable shww bajo el escenario RCP 4.5 para República Dominicana. En el cuadro 1 se observa los resultados del análisis de los modelos.

Cuadro 11. Coeficiente de regresión y de Pearson entre los datos históricos de la variable u10 de diferentes modelos y de la base de datos ERA5 para el periodo 1990-1999.

Modelo	r ²	Correlación Pearson
MPI	0.17	0.40
HadGEM	0.21	0.46
CNRM	0.16	0.40
GISS	0.06	0.24
Noresm	0.09	0.30

El coeficiente de regresión y de correlación de Pearson para los modelos GISS y Noresm se consideran muy bajos, por tanto se seleccionó únicamente los modelos MPI, HadGEM y CNRM para utilizar su promedio con el fin de obtener datos que se ajustaran mejor a los datos históricos ERA5. En la Figura xx se muestra el resultado de dicho análisis.



A pesar de que se mejoró el ajuste de datos, no se recomienda utilizar la ecuación de regresión para reajustar los datos porque el r^2 es aún bajo. Sin embargo, dado que el coeficiente de Pearson es de 0.6 se puede considerar que, en términos generales existe una relación entre la variable u10 del periodo histórico de RCP 4.5 y los datos de ERA5.

Informe: Análisis de datos

Temperatura Superficial del Mar

Elaborado por Andrea Tapia

Dirección, supervisión y aprobación de Antonio Arenas



Introducción

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis de datos de temperatura superficial del mar para República Dominicana. Dicho análisis se realizó en tres dimensiones: histórico, RCP 4.5 y RCP 8.5.

En la sección de metodología se detalla la información de las bases de datos, software y métodos de análisis utilizados para cada una de las dimensiones contempladas. En la sección de resultados se resume el análisis y se indica los links donde se pueden obtener las capas (ráster y/o vector) resultado en el Anexo 1.

Metodología

Histórico

Se realizó una búsqueda de información a una resolución espacial fina. Se encontró la base de datos “NOAA OI SST V2 High Resolution Dataset”, disponible en la página web <https://www.esrl.noaa.gov/>. Se descargó la información para República Dominicana. Dicha información se encuentra con una resolución temporal diaria y a escala espacial de aproximadamente 30 Km, por lo que la base de datos es extensa y fue necesario extraer la información puntual utilizando un archivo de puntos correspondiente a los centroides de los píxeles más cercanos a las costas de República Dominicana. Se extrajo la información en formato .csv y luego fue procesada en Excel para estimar el promedio mensual y anual.

RCP 4.5 y 8.5

Se llevó a cabo una evaluación de las bases de datos encontradas: CDS, CMIP5 y ZENODO. La información de CDS cuenta con información de escenarios RCP 4.5 y 8.5 y diferentes modelos, de los cuales se incluyen: NorESM1-M, MPI-ESM-LR, CNRM-CM5, HadGEM2-ES y GISS-E2-R, sin embargo cuenta con diferentes características, tal como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de características de los modelos utilizados para República Dominicana de la variable “Sea Surface Temperature”.

Modelo	Periodo	Corrida	Resolución espacial
NorESM1-M	200601-210012	r1i1p1	100 Km
MPI-ESM-LR	200601-210012	r1i1p1 r2i1p1 r3i1p1	100 Km
CNRM-CM5	201601-202512 202601-203512 203601-204512 204601-205512 205601-206512 206601-207512 207601-208512 208601-209512	r1i1p1	100 Km
HadGEM2-ES	200512-209911	r1i1p1 r2i1p1 r3i1p1 r4i1p1	100 Km
GISS-E2-R	200601-202512 202601-205012 205101-207512 207601-210012	r1i1p1	200 Km

La información disponible a través de Zenodo¹ cuenta con la gran ventaja de constituir un ensamblaje de varios modelos para las décadas: 2020-2029, 2030-2039, 2040-2049 y 2050-2059. Por otro lado, la base de datos CMIP5 cuenta con una desventaja importante al tener que descargar archivos muy pesados para procesarlos. Por tanto, se determinó trabajar con los datos disponibles a través de Zenodo.

Todos los datos se encuentran en las unidades Kelvin, fueron transformadas a grados Celsius para una mejor comprensión de la información. Una vez descargados los datos se procedió a captar la información de aquellas celdas que se encontraran próximas a las costas de República Dominicana utilizando los centroides de las cuadrículas y la herramienta “Sample raster values” de QGis, exportando los datos a formato .csv.

¹ <https://zenodo.org/record/12781#.XnENnS2ZN0u>

Posteriormente se analizó la información utilizando tablas dinámicas. Es importante mencionar que la base de datos procesada corresponde a los valores promedio de temperatura superficial del mar, sin embargo la base de datos cuenta con valores extremos² (Zenodo).

De acuerdo a los términos de referencia de la consultoría falta contemplar el periodo 2060-2069. Dicha década se estimó utilizando los datos promediados del modelo NorESM1-M y HadGEM2-ES (descargados de la base de datos CDS) y un análisis de regresión con los datos ensamblados de Zenodo para los años 2020-2059 y para ambos escenarios por aparte.

² Esto implica que se podría analizar datos extremos para la costa de República Dominicana para observar tendencias y analizar fenómeno ENSO.

Resultados

Histórico

En los cuadros 2, 3 y 4 se muestra los datos mensuales promedio por año para las décadas 1990-1999, 2000-2009 y 2010-2019, respectivamente.

- *Históricamente los meses de setiembre y octubre son los que registran una temperatura mayor.*

Cuadro 2. Promedio mensual y anual de la década 1990-1999 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana histórico.

Mes	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Promedio
1	26.7	26.3	25.9	26.2	26.7	26.6	26.8	26.1	27.1	26.9	26.5
2	26.0	26.0	25.9	25.9	26.2	26.6	26.3	25.8	26.9	26.0	26.2
3	25.5	26.1	26.1	25.9	26.4	26.4	26.3	25.9	26.8	26.3	26.2
4	26.3	26.1	26.7	26.6	26.7	26.5	26.6	26.3	26.9	26.8	26.6
5	26.7	27.2	26.7	26.9	27.4	27.4	27.0	27.5	27.7	27.9	27.2
6	27.6	27.5	27.6	27.8	27.7	28.0	27.9	27.9	28.4	28.0	27.9
7	27.8	27.5	27.8	27.9	27.8	28.6	28.0	28.4	28.4	28.1	28.0
8	28.3	28.1	28.2	28.1	28.2	28.6	28.2	28.3	29.0	29.0	28.4
9	28.7	28.4	28.2	28.6	28.4	28.8	28.7	29.0	29.1	29.4	28.7
10	28.7	28.5	28.5	28.7	28.4	28.6	28.2	28.6	29.1	28.6	28.6
11	27.9	27.9	28.0	28.2	28.1	28.1	27.8	28.1	28.3	27.9	28.0
12	27.1	26.7	27.4	27.6	27.3	27.5	26.4	27.7	27.1	26.2	27.1
Promedio	27.3	27.2	27.2	27.4	27.4	27.6	27.3	27.5	27.9	27.6	27.5

Cuadro 3. Promedio mensual y anual de la década 2000-2009 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana histórico.

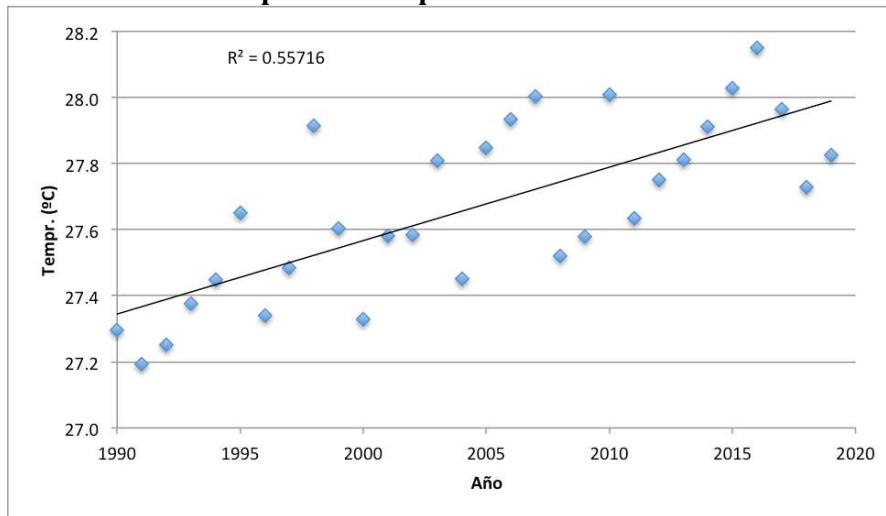
Mes	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
1	25.7	26.7	26.7	27.0	26.4	26.0	26.7	27.0	26.6	26.3	26.5
2	25.6	26.1	26.3	26.6	26.3	25.5	26.3	26.9	26.2	26.0	26.2
3	25.4	26.3	26.2	26.9	26.2	26.3	26.3	26.9	26.0	25.6	26.2
4	26.2	26.8	26.3	27.2	26.7	27.2	26.9	27.1	26.3	26.3	26.7
5	27.1	27.2	26.8	27.7	27.0	27.7	27.8	28.0	27.5	26.9	27.4
6	27.7	27.8	27.4	28.0	27.7	28.5	28.6	28.7	27.9	28.1	28.0
7	28.0	28.3	28.1	27.7	28.1	28.8	28.4	28.7	28.0	28.4	28.2
8	28.3	28.7	28.9	28.4	28.5	29.4	28.5	28.9	28.7	28.5	28.7
9	28.9	29.1	28.9	28.9	28.5	29.8	29.3	29.1	29.1	29.1	29.1
10	29.1	28.7	28.9	29.4	29.0	29.1	29.3	29.0	28.6	29.0	29.0
11	28.4	28.0	28.7	28.4	27.8	28.5	29.1	28.2	28.2	28.7	28.4
12	27.6	27.2	27.8	27.4	27.1	27.4	27.9	27.3	27.0	28.0	27.5
Promedio	27.3	27.6	27.6	27.8	27.4	27.8	27.9	28.0	27.5	27.6	27.7

Cuadro 4. Promedio mensual y anual de la década 2010-2019 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana histórico.

Mes	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Promedio
1	26.9	26.3	26.7	26.9	27.0	27.2	27.4	27.0	27.3	26.8	26.9
2	26.9	26.3	26.2	26.5	26.7	27.0	27.1	26.8	26.6	26.6	26.7
3	27.0	26.0	26.2	26.4	26.9	26.9	26.9	26.7	26.6	26.4	26.6
4	27.3	26.5	26.7	26.6	27.2	27.1	27.4	27.1	26.8	26.8	26.9
5	28.1	27.1	27.4	27.6	27.6	27.5	27.9	27.6	27.1	27.3	27.5
6	28.7	28.2	28.3	27.9	28.0	28.1	28.7	28.0	27.7	28.1	28.2
7	28.7	28.3	28.4	28.1	28.2	28.1	28.7	28.5	28.1	28.1	28.3
8	29.2	28.6	28.6	28.7	28.5	28.6	28.8	28.8	28.6	28.5	28.7
9	29.4	29.1	29.0	29.2	28.8	29.3	29.2	29.4	29.0	29.1	29.1
10	29.2	29.1	29.1	29.4	29.2	29.6	29.2	29.0	28.7	29.2	29.2
11	27.8	28.6	28.6	28.7	28.9	28.9	28.6	28.6	28.4	28.8	28.6
12	26.8	27.5	27.8	27.8	27.9	28.0	27.7	28.0	27.8	28.1	27.7
Promedio	28.0	27.6	27.7	27.8	27.9	28.0	28.1	28.0	27.7	27.8	27.9

En la Figura 1 se observa el gráfico de las tres décadas históricas.

Figura 1. Gráfico de temperatura superficial del mar desde 1990 hasta 2019.



- *La ecuación de la línea de tendencia sugiere que, anualmente hay un incremento de 0.022°C. Por tanto se estima un aumento de 0.66°C en el periodo de 1990-2019.*
- *Un análisis más minucioso de cada década sugiere que el mayor incremento se observa en 1990-1999 donde se observa una pendiente más pronunciada y un r^2 más alto, comparado con las décadas 2000-2009 y 2010-2019. Por tanto, los datos sugieren una **desaceleración del aumento de la temperatura superficial del mar anual.** (Figuras 2, 3 y 4).*

Figura 2. Temperatura superficial del mar desde 1990 hasta 1999.

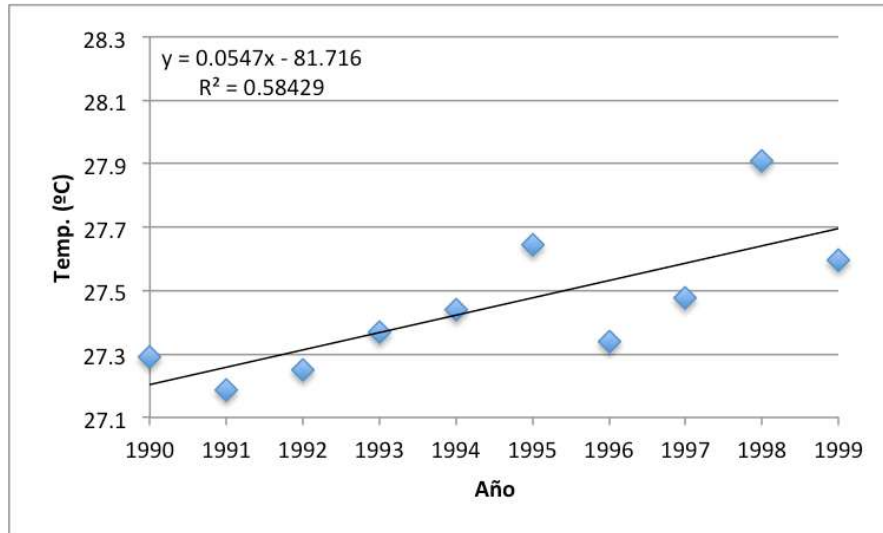


Figura 3. Temperatura superficial del mar desde 2000 hasta 2009.

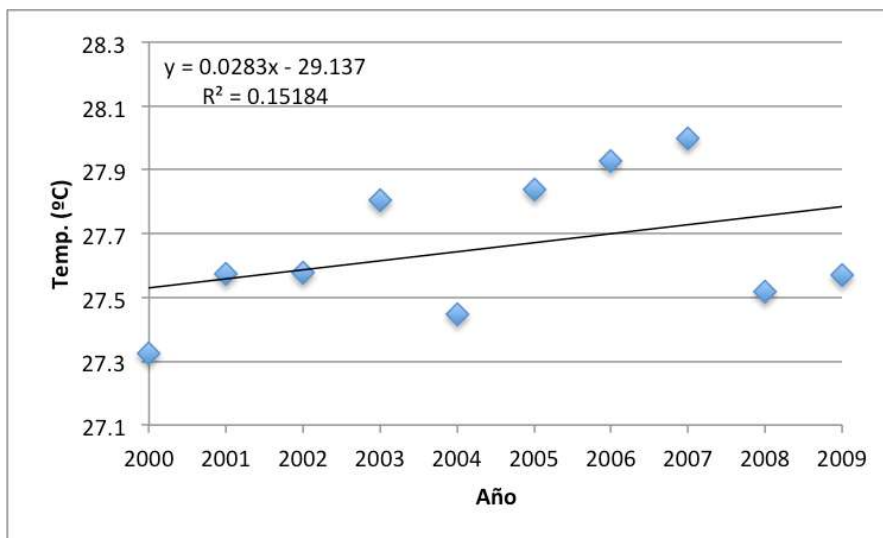
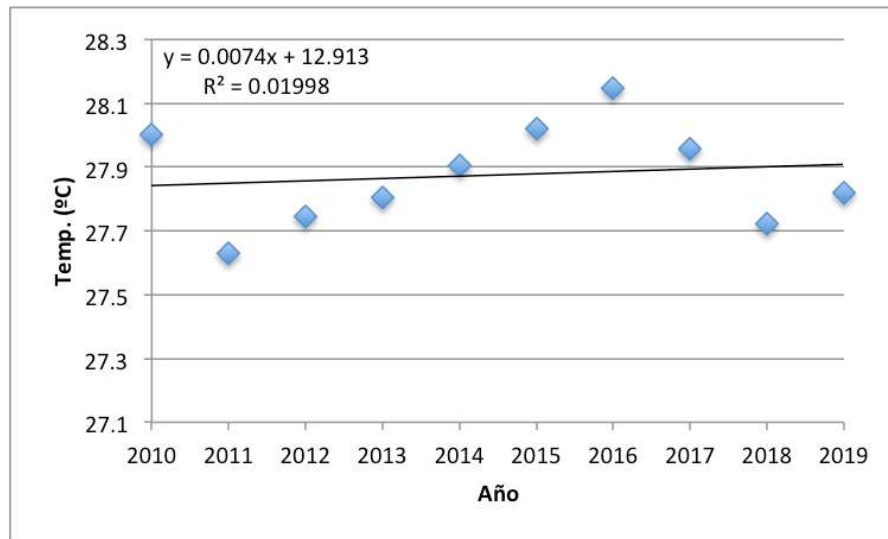
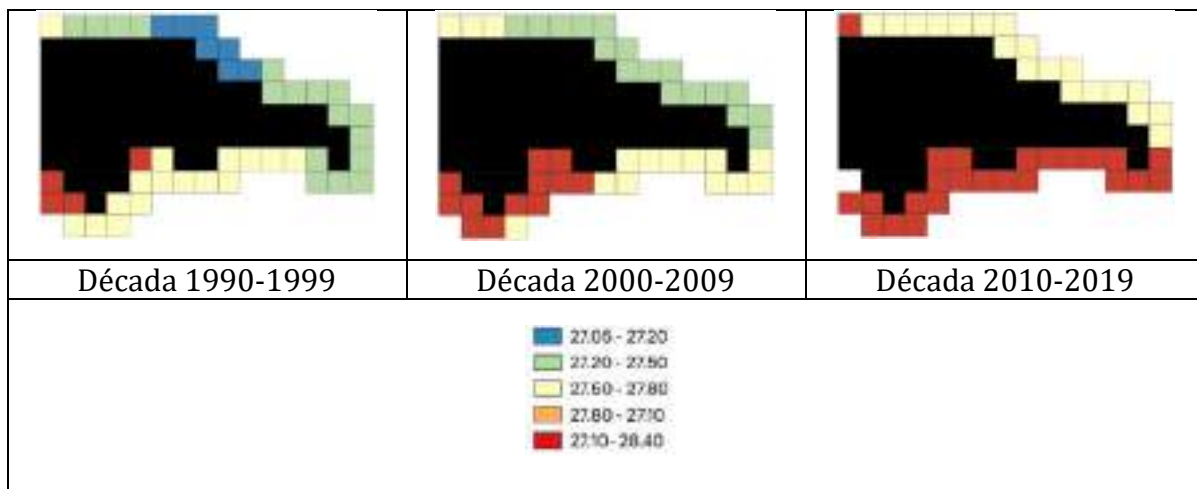


Figura 4. Temperatura superficial del mar desde 2010 hasta 2019.



- El análisis geográfico de la temperatura superficial del mar revela que los datos más elevados se concentran en la costa sur de República Dominicana (Figura 5)³.

Figura 5. Temperatura superficial del mar en las costas de República Dominicana para las tres décadas históricas consideradas en el estudio –en negro los pixeles que representan la isla de República Dominicana.



³ Esto implica que se podría llevar a cabo un análisis diferenciado entre la costa norte y sur de República Dominicana, así como por estación lluviosa-seca con el fin de tener datos que permitan analizar el impacto de cambio climático en los sistemas costeros.

RCP 4.5

En los cuadros 5, 6, 7 y 8 se muestra los resultados del promedio mensual y anual de las décadas 2020-2029, 2030-2039, 2040-2049 y 2050-2059 para el escenario RCP 4.5. Se observa un aumento para cada una de las décadas.

Sin embargo llama la atención que el promedio de temperatura superficial del mar de todas las décadas bajo el escenario RCP 4.5 son datos menores que los reportados a nivel histórico. Lo anterior sugiere que el dato de temperatura puede ser más elevado que el reportado, sin embargo la magnitud de aumento puede ser correcta.

Cuadro 5. Promedio mensual y anual de la década 2020-2029 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana en el escenario 4.5.

Mes	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	Promedio
1	25.5	25.3	25.5	25.6	25.5	25.6	25.6	25.8	25.8	25.7	25.6
2	25.1	25.0	25.1	25.2	25.2	25.1	25.2	25.3	25.4	25.3	25.2
3	25.0	25.0	25.0	25.2	25.1	25.0	25.2	25.3	25.3	25.2	25.1
4	25.3	25.2	25.3	25.5	25.3	25.3	25.4	25.5	25.5	25.4	25.4
5	25.7	25.7	25.9	25.9	25.8	25.7	25.9	26.0	25.9	25.9	25.8
6	26.2	26.2	26.4	26.4	26.3	26.3	26.4	26.5	26.4	26.5	26.4
7	26.7	26.7	26.8	26.8	26.7	26.7	26.8	27.0	26.9	26.9	26.8
8	27.1	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.3	27.4	27.3	27.3	27.2
9	27.4	27.4	27.4	27.5	27.4	27.5	27.5	27.6	27.5	27.6	27.5
10	27.3	27.4	27.5	27.5	27.4	27.5	27.5	27.6	27.5	27.6	27.5
11	26.8	26.9	27.0	27.0	27.0	27.0	27.1	27.1	27.0	27.1	27.0
12	26.0	26.1	26.3	26.2	26.3	26.2	26.4	26.4	26.3	26.3	26.3
Promedio	26.2	26.2	26.3	26.3	26.3	26.2	26.4	26.5	26.4	26.4	26.3

Cuadro 6. Promedio mensual y anual de la década 2030-2039 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana en el escenario 4.5.

Mes	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	Promedio
1	25.6	25.6	25.7	25.8	25.7	25.8	25.7	25.7	25.8	25.7	25.7
2	25.2	25.2	25.3	25.4	25.3	25.3	25.2	25.4	25.5	25.4	25.3
3	25.1	25.2	25.3	25.3	25.3	25.2	25.2	25.3	25.4	25.3	25.2
4	25.3	25.4	25.5	25.6	25.5	25.5	25.4	25.5	25.6	25.5	25.5
5	25.8	25.9	25.9	26.0	26.0	25.9	25.8	26.0	26.0	26.0	25.9
6	26.3	26.5	26.5	26.5	26.5	26.4	26.4	26.5	26.5	26.4	26.5
7	26.8	26.9	27.0	27.0	27.0	26.9	26.9	26.9	27.0	26.9	26.9
8	27.2	27.3	27.3	27.4	27.4	27.3	27.3	27.4	27.3	27.3	27.3
9	27.5	27.6	27.6	27.6	27.7	27.6	27.5	27.7	27.7	27.6	27.6
10	27.5	27.6	27.7	27.6	27.6	27.6	27.6	27.7	27.7	27.6	27.6
11	27.1	27.1	27.3	27.1	27.2	27.2	27.1	27.3	27.3	27.2	27.2
12	26.3	26.4	26.5	26.3	26.5	26.4	26.4	26.5	26.5	26.4	26.4
Promedio	26.3	26.4	26.5	26.5	26.5	26.4	26.4	26.5	26.5	26.5	26.4

Cuadro 7. Promedio mensual y anual de la década 2040-2049 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana en el escenario 4.5.

Mes	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	Promedio
1	25.8	26.8	26.8	26.7	26.9	26.8	26.7	26.8	26.9	26.9	26.7
2	25.4	26.4	26.4	26.4	26.5	26.4	26.3	26.4	26.5	26.5	26.3
3	25.2	26.3	26.3	26.3	26.4	26.3	26.2	26.3	26.5	26.4	26.2
4	25.6	26.5	26.6	26.5	26.6	26.5	26.4	26.5	26.6	26.7	26.5
5	26.1	27.0	27.1	27.0	27.1	27.0	26.9	27.0	27.1	27.2	26.9
6	26.6	27.5	27.6	27.5	27.6	27.5	27.5	27.6	27.6	27.7	27.5
7	27.0	28.0	28.1	28.0	28.0	27.9	27.9	28.0	28.0	28.2	27.9
8	27.4	28.4	28.5	28.4	28.4	28.3	28.4	28.4	28.5	28.6	28.3
9	27.7	28.6	28.7	28.6	28.7	28.6	28.6	28.8	28.8	28.9	28.6
10	27.7	28.6	28.7	28.7	28.7	28.6	28.7	28.8	28.8	28.9	28.6
11	27.3	28.1	28.3	28.2	28.2	28.2	28.3	28.3	28.3	28.5	28.2
12	26.6	27.4	27.5	27.5	27.5	27.4	27.5	27.6	27.6	27.6	27.4
Promedio	26.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.6	27.7	27.4

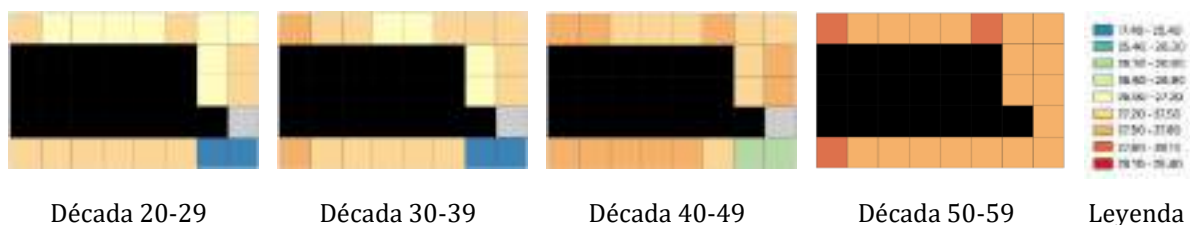
Cuadro 8. Promedio mensual y anual de la década 2050-2059 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana en el escenario 4.5.

Mes	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	Promedio
1	26.9	26.9	27.0	27.0	26.9	27.0	26.9	27.0	27.0	27.0	27.0
2	26.5	26.5	26.6	26.6	26.5	26.7	26.6	26.6	26.7	26.6	26.6
3	26.4	26.5	26.5	26.5	26.5	26.6	26.5	26.5	26.6	26.6	26.5
4	26.6	26.8	26.8	26.7	26.7	26.8	26.7	26.7	26.8	26.9	26.7
5	27.0	27.3	27.3	27.1	27.2	27.3	27.2	27.2	27.3	27.3	27.2
6	27.6	27.7	27.7	27.6	27.7	27.8	27.7	27.6	27.7	27.8	27.7
7	28.1	28.1	28.2	28.1	28.2	28.2	28.2	28.1	28.2	28.3	28.2
8	28.5	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.5	28.5	28.6	28.6
9	28.8	28.9	28.8	28.9	28.9	28.9	28.9	28.8	28.8	28.9	28.8
10	28.8	28.8	28.8	28.9	28.9	28.9	28.9	28.8	28.9	28.9	28.9
11	28.3	28.4	28.4	28.4	28.5	28.3	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
12	27.6	27.7	27.7	27.6	27.7	27.6	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7
Promedio	27.6	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7

El análisis de comportamiento geográfico de temperatura superficial del mar bajo el escenario RCP 4.5 muestra un aumento de esta variable generalizado en las costas de República Dominicana, siendo la costa sur la que muestra valores generalmente más altos.

Es importante señalar que el píxel gris que se muestra en la Figura 6 fue considerado como “outlier” y por tanto no fue utilizado para el análisis. Los valores de temperatura que exhibe dicho píxel rondan los 6°C para las décadas 2020-2029 y 2030-2039, y un valor de desviación estándar elevado (7.22) en el caso de la década 2040-2049.

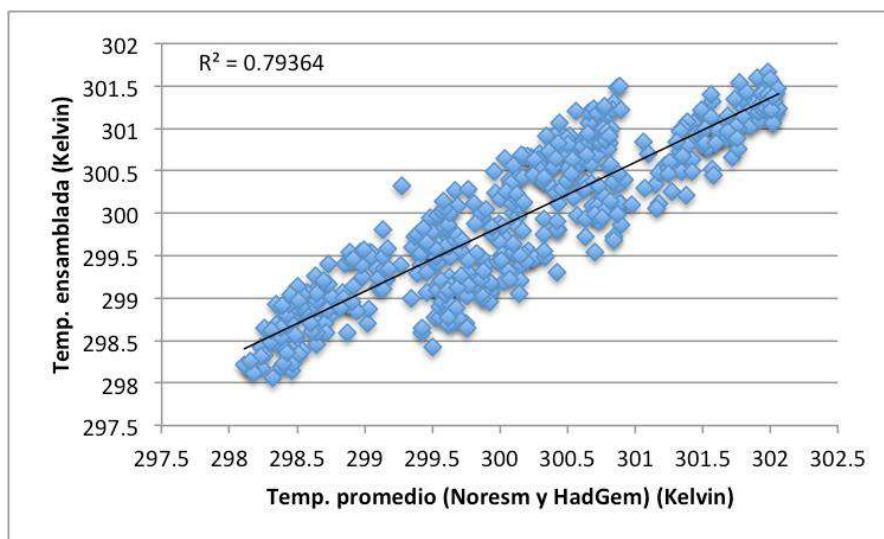
Figura 6. Temperatura superficial del mar en las décadas analizadas con la base de datos Zenodo bajo el escenario RCP 4.5 – en negro los píxeles que representan la isla de República Dominicana.



Análisis de regresión RCP 4.5

La década de 2060-2069 fue estimada a través del análisis de regresión de los datos promediados de los modelos NorESM1-M y HadGEM2-ES versus los datos ensamblados de Zenodo (Figura 7). Se obtuvo un r^2 ajustado de 0.79 y la ecuación se determinó como: $Y = 1.04410 * (\text{Temp. promedio}) - 13.04181$.

Figura 7. Gráfico de comparación de datos promediado de Noresm y HadGem vs el ensamblaje de Zenodo para el escenario RCP 4.5.



En el cuadro 9 se muestra los resultados para el periodo 1960-1969 bajo el escenario RCP 4.5 con los datos estimados de acuerdo a la ecuación de regresión previamente señalada. Es importante señalar que la estimación se considera que no es buena, porque la regresión muestra un $r^2 < 0.85$ y se observan puntos muy alejados de la línea de tendencia lineal en la figura anterior. Por tanto **no** se recomienda utilizar los datos estimados del siguiente cuadro dentro del análisis.

Cuadro 9. Promedio mensual y anual de la década 2060-2069 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana en el escenario 4.5.

Mes	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	Promedio
1	26.4	26.8	26.8	26.8	26.6	26.6	26.6	26.5	26.4	26.5	26.6
2	26.1	26.2	26.5	26.5	26.2	26.0	26.4	26.2	26.0	26.1	26.2
3	26.1	26.1	26.3	26.3	26.0	25.9	26.2	26.1	25.8	26.2	26.1
4	26.5	26.3	26.5	26.6	26.4	26.2	26.4	26.4	26.2	26.4	26.4
5	27.1	26.7	26.8	26.8	26.7	26.9	26.8	26.9	26.4	27.0	26.8
6	27.7	27.3	27.7	27.3	27.2	27.1	27.3	27.4	26.8	27.5	27.3
7	28.3	27.9	28.2	27.7	27.3	27.7	28.0	27.7	27.2	28.0	27.8
8	28.7	28.5	28.5	28.1	27.8	28.2	28.4	28.2	27.7	28.5	28.3
9	29.1	28.8	28.7	28.5	28.2	28.6	28.8	28.6	28.0	28.9	28.6
10	29.1	28.9	29.0	28.5	28.3	28.6	29.1	28.5	28.1	29.3	28.7
11	28.6	28.4	28.3	28.1	27.9	28.2	28.3	28.2	27.9	28.8	28.3
12	27.7	27.5	27.4	27.4	27.2	27.2	27.3	27.1	27.1	27.8	27.4
Promedio	27.6	27.5	27.6	27.4	27.2	27.3	27.5	27.3	27.0	27.6	27.4

RCP 8.5

En los cuadros 10, 11, 12 y 13 se muestra los resultados del promedio mensual y anual de las décadas 2020-2029, 2030-2039, 2040-2049 y 2050-2059 para el escenario RCP 8.5. Se observa un aumento para cada una de las décadas. A diferencia del escenario RCP 4.5, se observa un aumento más vertiginoso del promedio de temperatura superficial del mar, con magnitudes iguales o mayores (pero no menores, como en el caso del escenario RCP 4.5) a los datos históricos.

Cuadro 10. Promedio mensual y anual de la década 2020-2029 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana en el escenario 8.5.

Mes	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	Promedio
1	26.2	26.2	26.2	26.3	26.2	26.1	26.3	26.4	26.4	26.5	26.3
2	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.7	26.0	25.9	26.0	26.1	25.9
3	25.7	25.7	25.8	25.7	25.6	25.7	25.9	25.8	26.0	26.0	25.8
4	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.1	26.2	26.2	26.3	26.3	26.1
5	26.6	26.5	26.5	26.6	26.5	26.7	26.8	26.8	26.8	26.8	26.7
6	27.1	27.0	27.0	27.0	27.0	27.2	27.3	27.3	27.4	27.3	27.2
7	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.6	27.7	27.7	27.8	27.8	27.6
8	27.9	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.1	28.2	28.2	28.2	28.1
9	28.2	28.3	28.4	28.3	28.2	28.4	28.4	28.5	28.6	28.4	28.4
10	28.1	28.2	28.3	28.2	28.1	28.4	28.5	28.5	28.5	28.4	28.3
11	27.7	27.7	27.7	27.7	27.6	27.9	28.0	27.9	28.0	27.8	27.8
12	26.9	27.0	26.9	26.9	26.8	27.1	27.1	27.0	27.2	27.1	27.0
Promedio	27.0	27.0	27.0	27.0	26.9	27.1	27.2	27.2	27.3	27.2	27.1

Cuadro 11. Promedio mensual y anual de la década 2030-2039 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana en el escenario 8.5.

Mes	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	Promedio
1	26.3	26.3	26.4	26.5	26.5	26.6	26.5	26.4	26.5	26.7	26.5
2	26.0	25.9	26.0	26.1	26.2	26.2	26.1	26.0	26.1	26.3	26.1
3	25.9	25.9	25.9	26.0	26.2	26.1	26.0	26.0	26.1	26.3	26.0
4	26.2	26.1	26.2	26.3	26.5	26.4	26.3	26.3	26.4	26.6	26.3
5	26.7	26.7	26.8	26.8	27.0	26.9	26.9	26.9	26.9	27.1	26.9
6	27.2	27.3	27.3	27.3	27.5	27.4	27.3	27.5	27.5	27.7	27.4
7	27.7	27.7	27.7	27.8	28.0	27.9	27.8	28.0	27.9	28.0	27.8
8	28.2	28.1	28.2	28.3	28.4	28.3	28.3	28.4	28.4	28.4	28.3
9	28.5	28.5	28.5	28.5	28.8	28.6	28.6	28.6	28.7	28.8	28.6
10	28.5	28.5	28.4	28.5	28.7	28.6	28.6	28.6	28.7	28.8	28.6
11	27.9	27.9	28.0	28.0	28.1	28.1	28.0	28.1	28.2	28.3	28.1
12	27.1	27.1	27.2	27.2	27.2	27.3	27.1	27.2	27.4	27.5	27.2
Promedio	27.2	27.2	27.2	27.3	27.4	27.4	27.3	27.3	27.4	27.6	27.3

Cuadro 12. Promedio mensual y anual de la década 2040-2049 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana en el escenario 8.5.

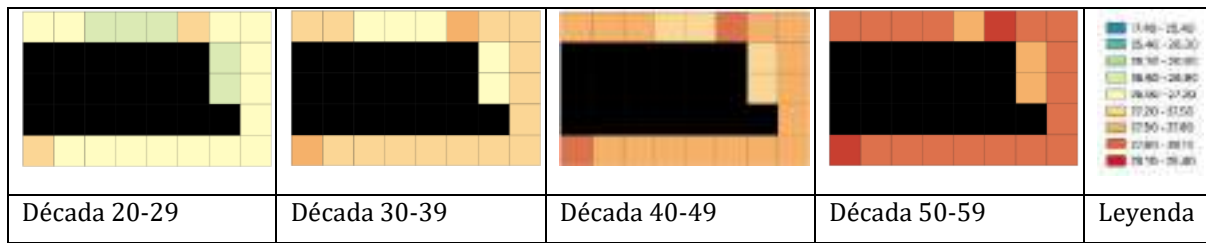
Mes	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	Promedio
1	26.8	26.7	26.7	26.9	26.9	26.8	26.9	26.8	26.9	26.9	26.8
2	26.5	26.2	26.2	26.5	26.5	26.4	26.6	26.4	26.5	26.6	26.4
3	26.4	26.2	26.2	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.5	26.4
4	26.7	26.5	26.5	26.7	26.7	26.6	26.7	26.7	26.7	26.8	26.6
5	27.2	27.0	27.1	27.2	27.2	27.1	27.2	27.2	27.2	27.4	27.2
6	27.6	27.5	27.7	27.7	27.6	27.7	27.7	27.7	27.7	27.8	27.7
7	28.1	28.0	28.1	28.1	28.1	28.1	28.2	28.2	28.2	28.3	28.1
8	28.6	28.5	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.7	28.6	28.7	28.6
9	28.9	28.8	28.8	28.8	28.9	28.9	28.9	29.0	29.0	29.0	28.9
10	28.8	28.7	28.8	28.8	28.9	28.9	28.9	28.9	28.9	29.0	28.9
11	28.2	28.2	28.3	28.4	28.4	28.4	28.3	28.5	28.4	28.5	28.4
12	27.4	27.4	27.5	27.6	27.5	27.6	27.5	27.7	27.6	27.7	27.6
Promedio	27.6	27.5	27.5	27.6	27.6	27.6	27.7	27.7	27.7	27.8	27.6

Cuadro 13. Promedio mensual y anual de la década 2050-2059 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana en el escenario 8.5.

Mes	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	Promedio
1	27.0	27.1	27.0	27.0	27.2	27.2	27.2	27.2	27.3	27.3	27.2
2	26.6	26.7	26.7	26.6	26.8	26.7	26.8	26.8	26.9	26.9	26.7
3	26.6	26.6	26.6	26.6	26.7	26.7	26.7	26.8	26.8	26.8	26.7
4	26.9	26.9	26.9	26.9	27.0	26.9	27.0	27.2	27.1	27.1	27.0
5	27.4	27.3	27.4	27.4	27.5	27.4	27.5	27.7	27.6	27.6	27.5
6	28.0	27.9	27.9	28.0	28.0	28.0	27.9	28.2	28.1	28.1	28.0
7	28.5	28.4	28.3	28.4	28.5	28.4	28.4	28.6	28.6	28.5	28.5
8	28.9	28.8	28.8	28.9	29.0	28.9	28.9	29.0	29.0	29.0	28.9
9	29.2	29.0	29.1	29.2	29.3	29.2	29.3	29.3	29.4	29.3	29.2
10	29.2	29.1	29.0	29.1	29.2	29.2	29.3	29.3	29.4	29.3	29.2
11	28.7	28.6	28.5	28.7	28.7	28.7	28.8	28.8	28.8	28.8	28.7
12	27.9	27.7	27.7	27.9	27.9	27.9	27.9	28.0	28.1	28.0	27.9
Promedio	27.9	27.8	27.8	27.9	28.0	27.9	28.0	28.1	28.1	28.1	28.0

Un análisis geográfico de los datos de temperatura superficial del mar muestran un aumento generalizado con valores más altos estimados para la costa sur de República Dominicana (Figura 8).

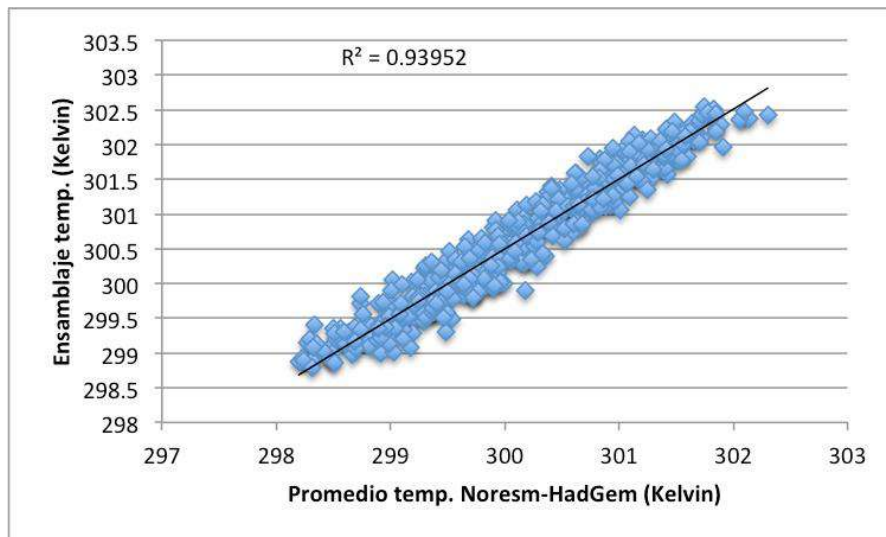
Figura 8. Temperatura superficial del mar en las décadas analizadas con la base de datos Zenodo bajo el escenario RCP 8.5 –en negro los pixeles que representan la isla de República Dominicana.



Análisis de regresión RCP 8.5

El análisis de regresión efectuado tuvo un coeficiente de regresión ajustado alto, 0.94 (ver Figura 9). La ecuación corresponde a $Y=(1.00631*(Temp. Promedio))-1.39487$. La ecuación obtenida para este escenario presenta un r^2 suficientemente elevado como para considerar que el resultado del cálculo de la temperatura superficial del mar basándose en el promedio de temperatura Noresm-HadGem será buena.

Figura 9. Gráfico de comparación de datos promediado de Noresm y HadGem vs el ensamblaje de Zenodo para el escenario RCP 8.5.



Los resultados de la estimación de temperatura para el periodo 2060-2069 se observan en el siguiente cuadro. Dado que el r^2 del análisis de regresión es alto y los


valores se observan cercanos a la línea de tendencia, se considera que la estimación de este escenario para la década 2060-2069, es buena.

Cuadro 14. Promedio mensual y anual de la década 2060-2069 de la temperatura superficial del mar en la zona costera de República Dominicana en el escenario 8.5.

Mes	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	Promedio
1	27.4	28.0	27.7	27.4	27.6	27.8	27.4	27.9	27.8	27.8	27.7
2	27.0	27.7	27.2	26.9	27.2	27.3	27.0	27.5	27.5	27.5	27.3
3	26.9	27.5	27.1	26.9	26.8	27.2	27.0	27.4	27.6	27.4	27.2
4	27.2	27.6	27.5	27.3	27.2	27.5	27.2	27.4	27.7	27.7	27.4
5	27.9	27.9	27.7	27.7	27.5	27.8	27.5	27.9	27.9	28.1	27.8
6	28.4	28.2	28.2	28.0	27.9	28.4	28.1	28.2	28.3	28.4	28.2
7	28.8	28.6	28.8	28.4	28.3	28.7	28.5	28.6	28.5	28.7	28.6
8	29.2	29.1	29.2	28.9	28.8	29.0	28.9	28.9	28.7	29.0	29.0
9	29.4	29.5	29.6	29.4	29.4	29.3	29.3	29.2	29.0	29.4	29.3
10	29.6	29.7	29.5	29.5	29.7	29.4	29.6	29.3	29.2	29.3	29.5
11	29.5	29.2	29.1	29.1	29.2	28.9	29.3	28.9	29.0	29.0	29.1
12	28.7	28.4	28.1	28.3	28.5	28.1	28.5	28.4	28.4	28.4	28.4
Promedio	28.3	28.4	28.3	28.1	28.2	28.3	28.2	28.3	28.3	28.4	28.3

Anexo 1. Link para descargar información geo-espacial y tabulada de temperatura del mar.

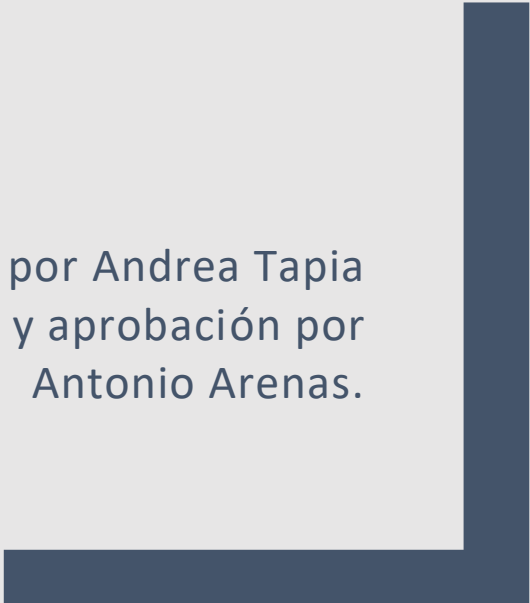
Dato	Formato y unidades	Link
Histórico	Shapefile, °C	https://drive.google.com/open?id=1UYWIAHhioKOFAMU0sNQznD0a6JUXj8M
RCP 4.5	Shapefile, °C	
RCP 8.5	Shapefile, °C	
Datos tabulados	.xlsx, °C	



Índices climáticos extremos para la costa de
República Dominicana

INFORME PROYECCIONES RCP

Elaborado por Andrea Tapia
Dirección, supervisión y aprobación por
Antonio Arenas.



Índice General

Índice de cuadros.....	2
Introducción	3
Metodología	3
Resultados	4
Índices de temperatura	4
Frecuencia de días fríos (TN10p).....	8
Frecuencia de noches calurosas (Tn90p)	13
Frecuencia de días fríos (Tx10p).....	17
Frecuencia de días calurosos (Tx90p)	21
Índices de Precipitación.....	26
Máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1d).	30
Máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5d).....	34
Porcentaje del total de precipitación explicada por días muy húmedos (R95pTOT)	39
Resumen de tendencias de índices climáticos extremos - escenario RCP45	43
Resumen de tendencias de índices climáticos extremos - escenario RCP85	45
Comparación de escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el periodo 2030-2080.....	46
Anexo 1. Archivos generados para la creación de mapas y gráficos.	48

Índice de cuadros.

Cuadro 1. Gráficos comparativos de temperatura promedio anual desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación.	4
Cuadro 2. Gráficos comparativos de la frecuencia de noches frías (tn10) desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación climática evaluada.	9
Cuadro 3. Gráficos comparativos de la frecuencia de noches calurosas (tn90) desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación climática evaluada.	13
Cuadro 4. Gráficos comparativos de la frecuencia de días fríos (tx10p) desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación climática evaluada.	17
Cuadro 5. Gráficos comparativos de la frecuencia de días calurosos (tx90p) desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación climática evaluada.	21
Cuadro 6. Comparación de precipitación acumulada anual desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación climática evaluada.....	26
Cuadro 7. Gráficos comparativos de precipitación máxima en un día (Rx1d) desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación climática evaluada.	30
Cuadro 8. Gráficos comparativos de precipitación máxima acumulada en 5 días consecutivos desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación climática evaluada.	34
Cuadro 9. Gráficos comparativos de R95pTOT desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación climática evaluada.	39
Cuadro 10. Tendencias de los índices climáticos extremos por décadas en el escenario RCP 4.5.	43
Cuadro 11. Mapas de distribución geográfica de los índices climáticos extremos por décadas en el escenario RCP 4.5.....	43
Cuadro 12. Gráficos de tendencias de los índices climáticos extremos para las décadas 2030s, 2050s y 2070s para el escenario RCP 4.5.....	44
Cuadro 13. Tendencias de los índices climáticos extremos por décadas en el escenario RCP 4.5.	45
Cuadro 14. Mapas de distribución geográfica de los índices climáticos extremos por décadas en el escenario RCP 8.5.....	45
Cuadro 15. Gráficos de tendencias de los índices climáticos extremos para las décadas 2030s, 2050s y 2070s para el escenario RCP 8.5.....	45
Cuadro 15. Gráficos de tendencias de los índices climáticos extremos para las décadas 2030s, 2050s y 2070s para el escenario RCP 4.5.....	46

Introducción

Las proyecciones respecto al comportamiento del clima de acuerdo con diferentes escenarios de cambio climático ofrecen información importante para la toma de decisiones respecto al manejo de los recursos naturales y anticipar posibles impactos en los medios de vida de las personas. La planificación territorial y el análisis de los posibles escenarios que se pueden enfrentar por el comportamiento del clima son herramientas de las que se puede disponer con el fin de mejorar la respuesta e implementar medidas conducentes a mitigación y adaptación sobre todo en las zonas costeras.

En este documento se presenta las proyecciones de los índices climáticos extremos para la costa de la isla principal de República Dominicana, basándose en la información de los escenarios RCP 4.5 y 8.5 del modelo MPI-ESM-LR calibrado para dicho país. Los índices calculados en este estudio permiten hacer comparaciones respecto a las tendencias de acuerdo con cada escenario para las décadas 2030, 2050 y 2070.

En la metodología se detalla respecto a la base de datos utilizada para estimar los índices, así como el procedimiento y el programa utilizado para los cálculos. En los resultados se puede observar los diferentes gráficos por estación climático y el consolidado estimado para la isla principal a través de gráficos comparativos de ambos escenarios por década de análisis.

Metodología

Se utilizaron los datos calibrados del modelo MPI-ESM-LR (MPI), producto del análisis de datos calibrados descritos en el informe correspondiente. La información fue tabulada de acuerdo a los requerimientos del paquete ClimPact en RStudio para estimar la temperatura promedio mensual y anual el promedio de precipitación acumulada mensual y anual, así como los índices climáticos extremos: frecuencia de días calurosos (TX90p), frecuencia de días fríos (TX10p), frecuencia de noches calurosas (Tn90p), frecuencia de noches frías (TN10p), la máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1day), la máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5day), porcentaje del total de precipitación explicada por los días muy húmedos los cuales se ubican en el percentil 95 (R95pTOT).

El periodo de referencia establecido fue de 1960-1990 y se utilizaron los datos reportados en las estaciones climáticas. Adicionalmente se agregó a los datos analizados en ClimPact, la información del periodo 1990-2018 de las estaciones climáticas con el fin de obtener gráficos completos en la serie de tiempo. Existe un periodo de tiempo sin registros que corresponde a 2019-2029, ya que no formaban parte del análisis de datos contemplado en el presente estudio. Finalmente se analizó los datos del periodo 2030-2080 de los escenarios RCP 4.5 y 8.5 del modelo MPI-ESM-LR (MPI).

Una vez obtenidos los indicadores climáticos extremos se procedió a incorporarlos a los archivos vectoriales de puntos con ubicación de las estaciones climáticas para llevar a cabo la

interpolación de dichos índices. El método utilizado para hacer la interpolación fue Spline, el mismo utilizado para el análisis del periodo histórico. También se utilizó la misma área de análisis histórico para recortar la interpolación a la zona costera de la isla principal. Una vez obtenida la información para toda el área se procedió a hacer un análisis por década para construir un cuadro resumen respecto a las tendencias en las décadas 2030, 2040, 2050, 2060 y 2070.

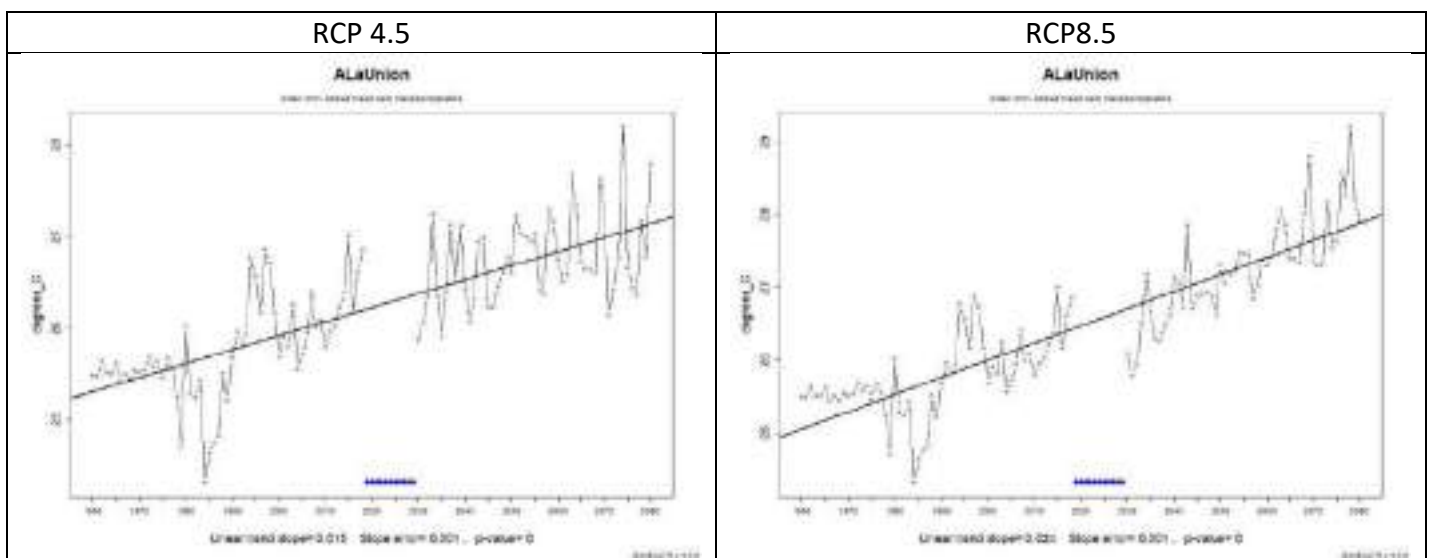
Finalmente, con la información anual para toda la isla principal, se construyeron gráficos de tendencias para las décadas 2030-2039, 2050-2059 y 2070-2079. En los gráficos se puede observar el promedio estimado para toda el área con su respectivo valor máximo y mínimo anual. En el Anexo 1 se pueden encontrar los links de los datos con su respectiva descripción.

Resultados

Índices de temperatura

En el cuadro 1 se presenta una comparación de gráficos de la temperatura promedio anual desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5. En el cuadro se puede apreciar la tendencia al aumento en la temperatura promedio anual en todas las estaciones climáticas. El escenario RCP 8.5 es el que presenta mayor aumento en comparación con el escenario RCP 4.5. Se observa que, en términos generales bajo el escenario RCP 4.5 el aumento en la temperatura promedio anual es de aproximadamente de 1.6 °C en la mayoría de las estaciones. Las estaciones que muestran un mayor aumento bajo ese escenario son Punta Cana y SPM, con casi 3°C. Por su parte, bajo el escenario RCP 8.5 casi todas las estaciones muestran un aumento de casi 3°C. Al igual que en el escenario RCP 4.5, las estaciones Punta Cana y SPM proyectan un aumento mayor, de poco más de 4°C.

Cuadro 1. Gráficos comparativos de temperatura promedio anual desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5 por cada estación.

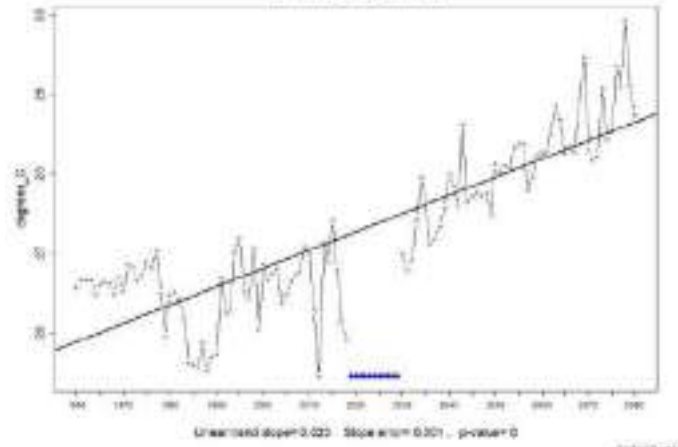
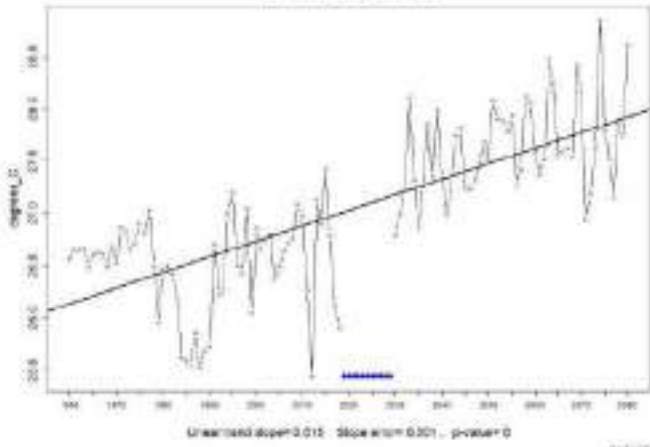


RCP 4.5

RCP8.5

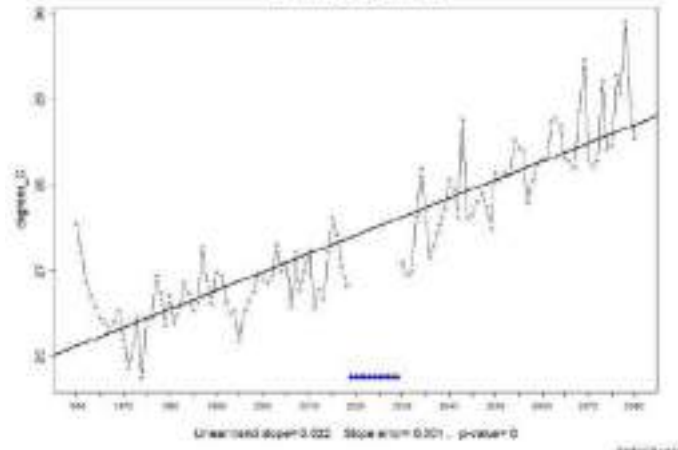
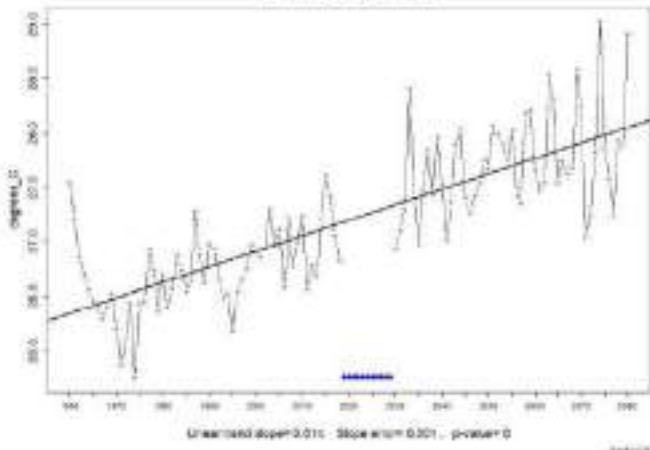
ArroyoBarril

ArroyoBarril



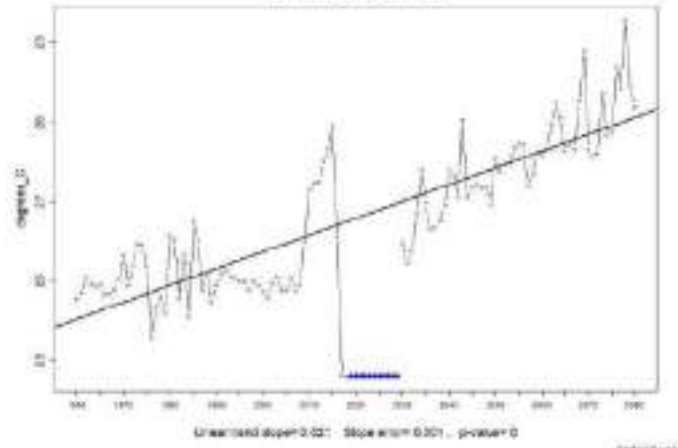
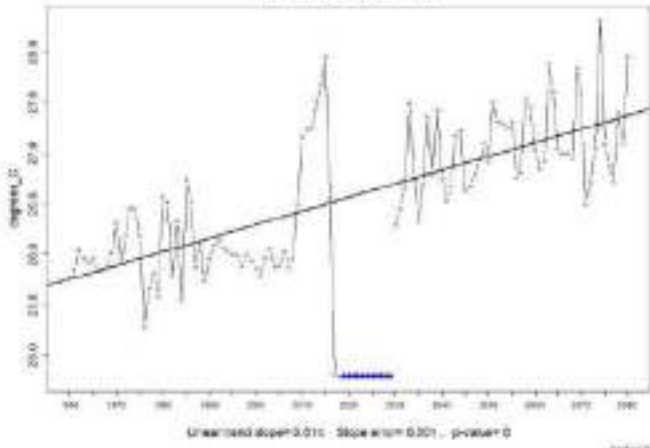
Barahona

Barahona



Cabrera

Cabrera

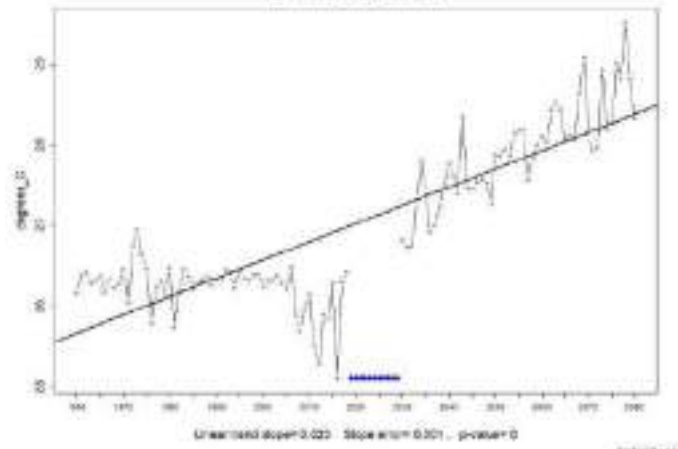
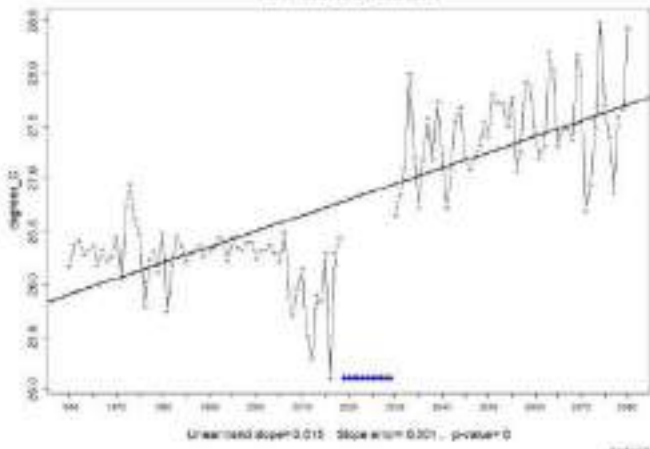


RCP 4.5

RCP8.5

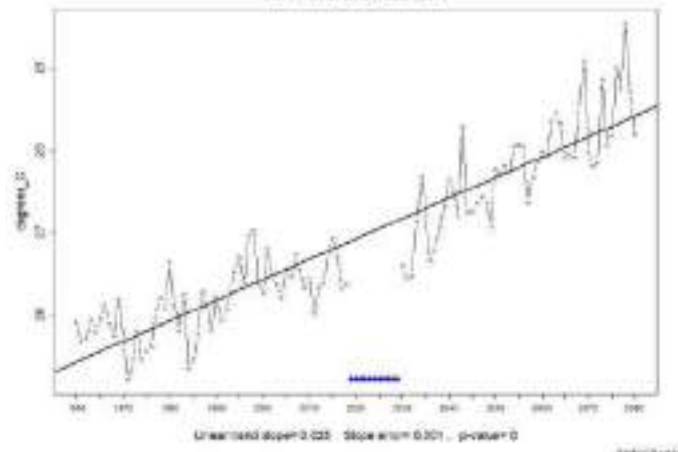
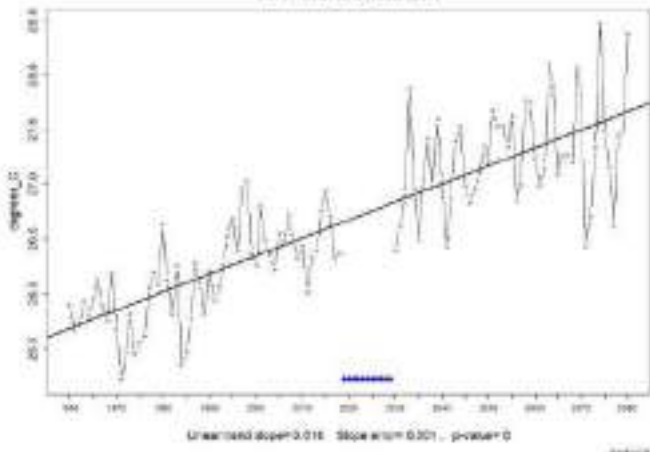
LaRomans

LaRomans



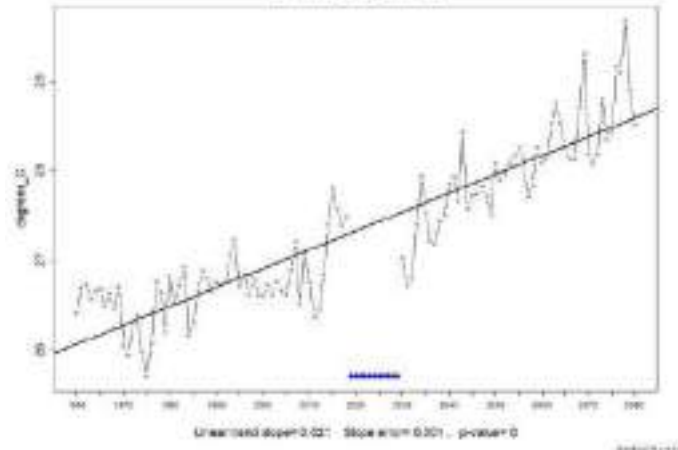
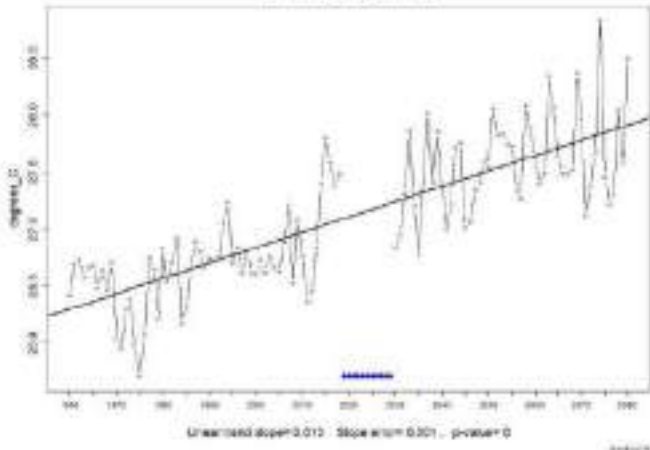
LasAmericas

LasAmericas



MonteCrist

MonteCrist

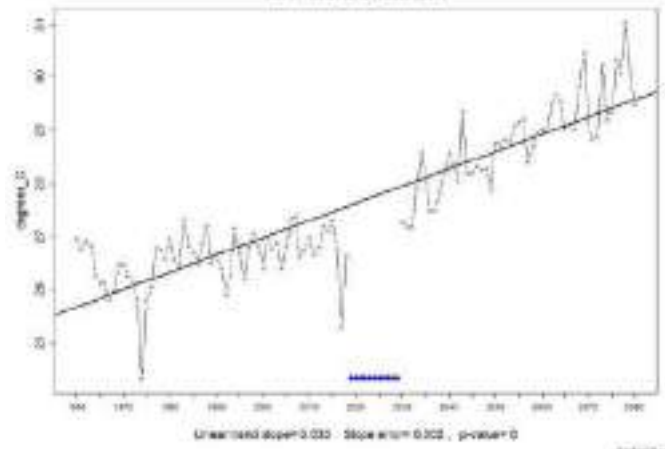
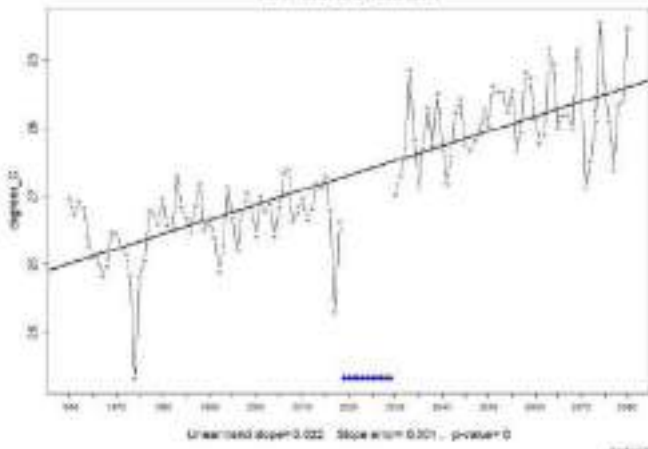


RCP 4.5

RCP8.5

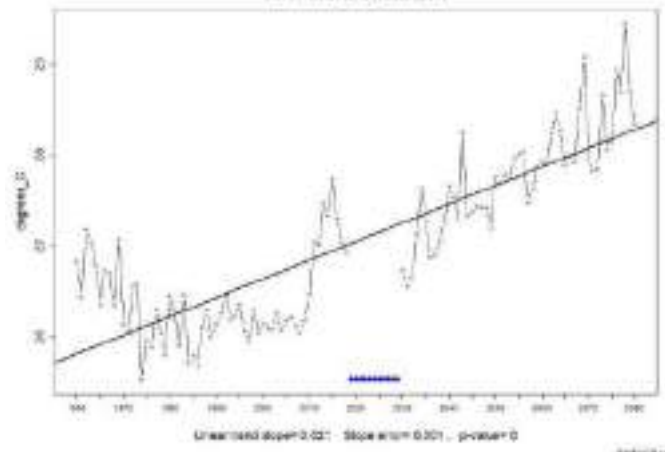
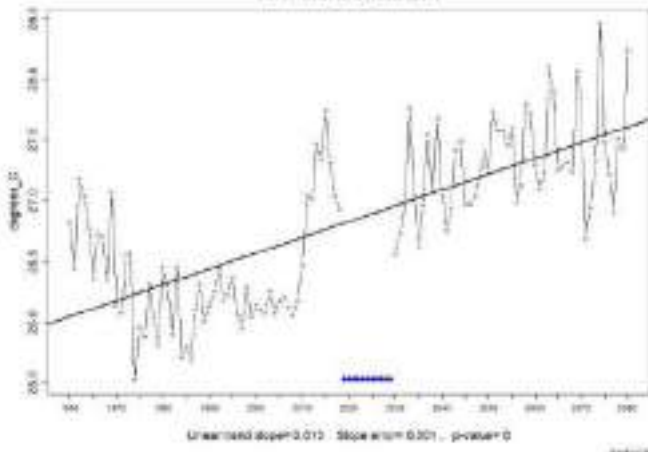
PuntaCana

PuntaCana



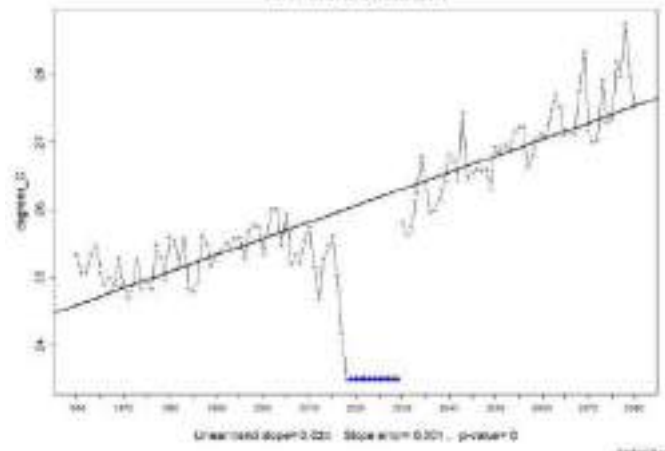
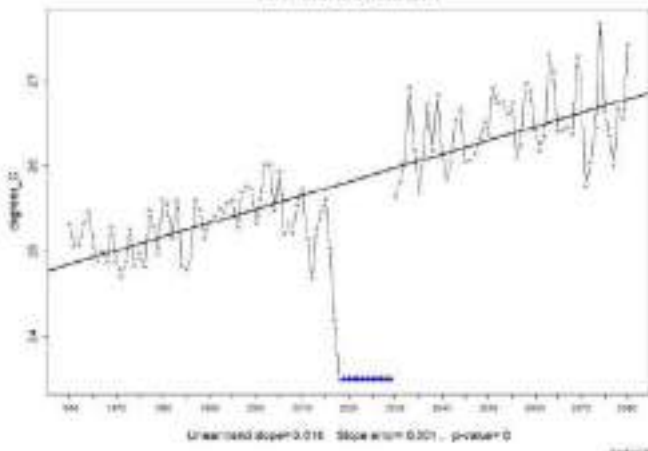
Samana

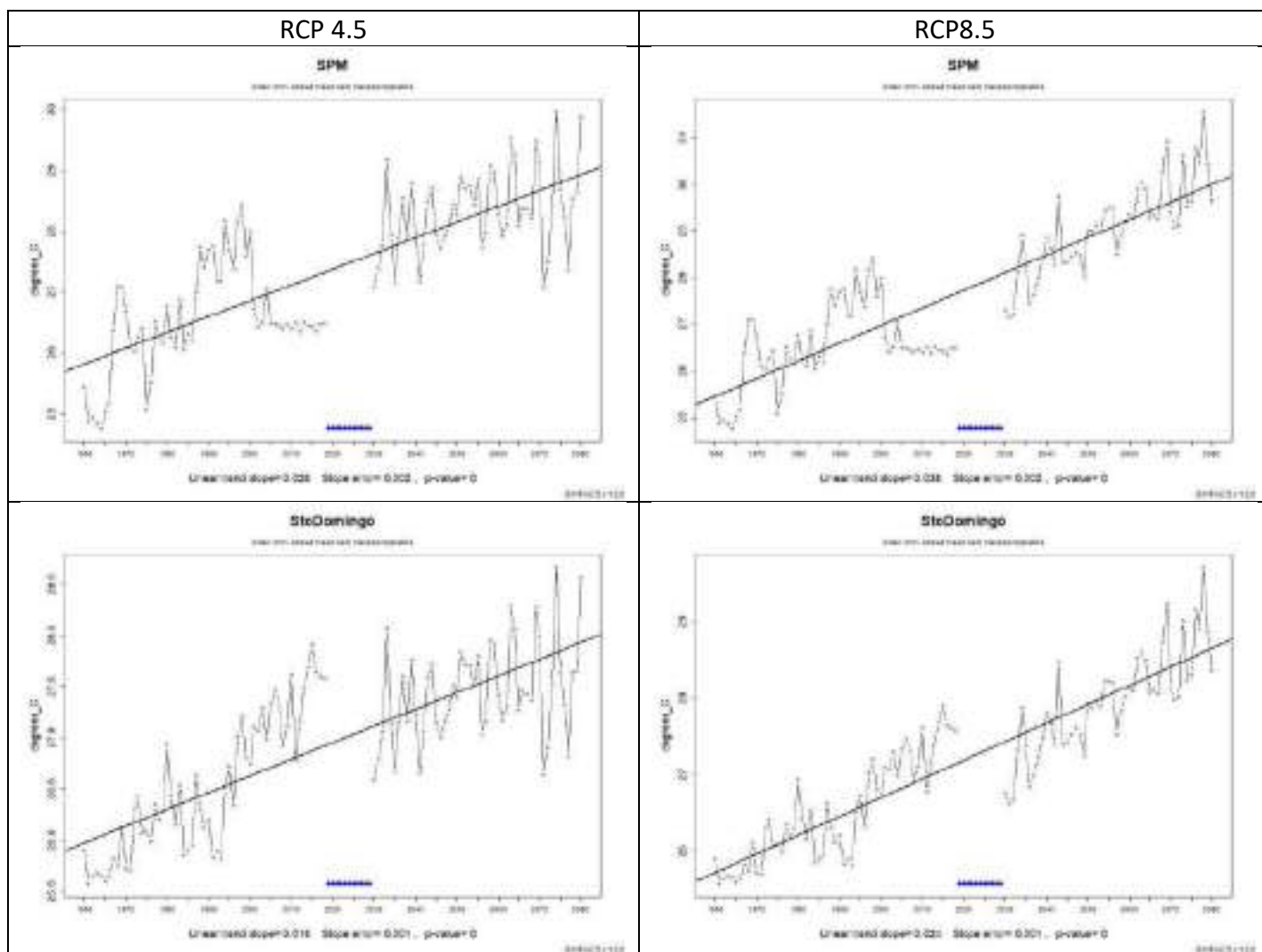
Samana



SMAR

SMAR

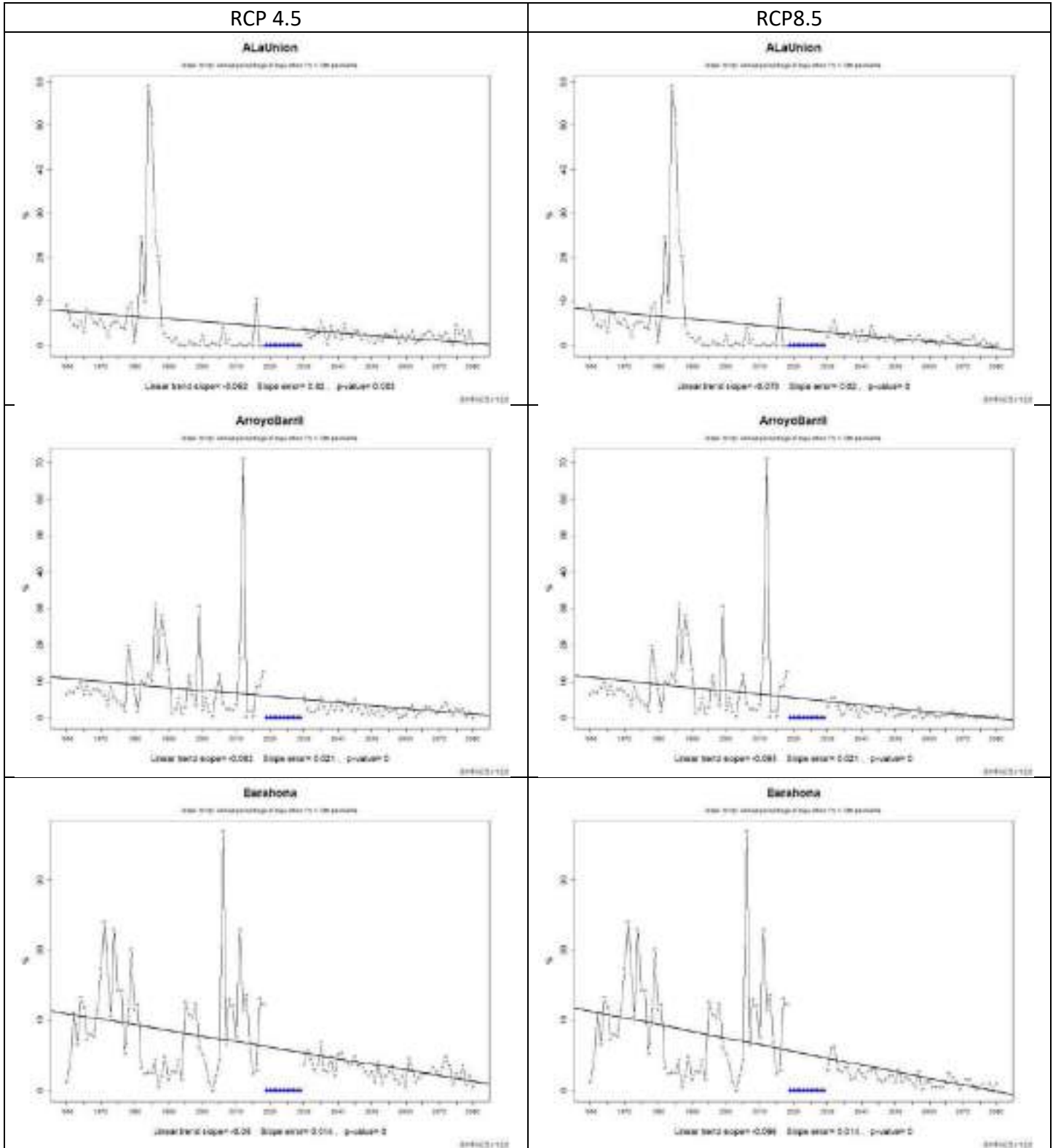




Frecuencia de días fríos (TN10p)

En el siguiente cuadro se puede apreciar una disminución en la frecuencia de días fríos (TN10p) bajo ambos escenarios. Bajo el escenario RCP 8.5 se observa una disminución más significativa que el escenario RCP 4.5. Bajo este último escenario, las estaciones La Romana y Punta Cana muestran la disminución más importante de todas las estaciones con aproximadamente -12% en todo el periodo. En el escenario RCP 8.5 las estaciones en las que se proyecta una disminución más cuantiosa son La Romana y Punta Cana con aproximadamente -14%. Cabe destacar que, bajo ambos escenarios es clara la tendencia a la disminución en la frecuencia de noches frías, a diferencia del análisis histórico en el cual muchas estaciones no mostraron una tendencia clara o marcada en este índice.

Cuadro 2. Gráficos comparativos de la frecuencia de noches frías (tn10) desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5 por cada estación climática evaluada.

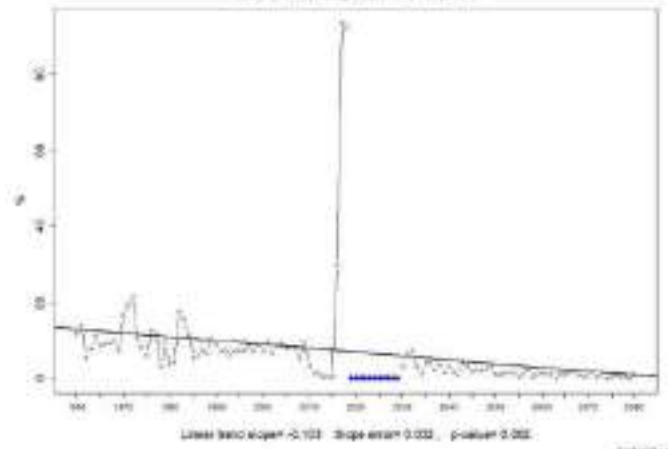
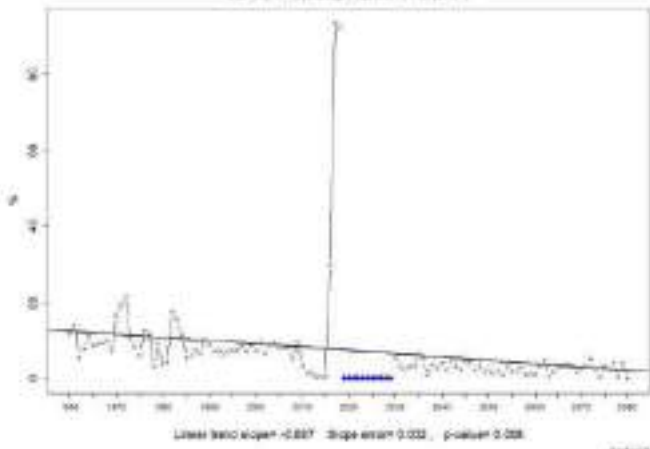


RCP 4.5

RCP8.5

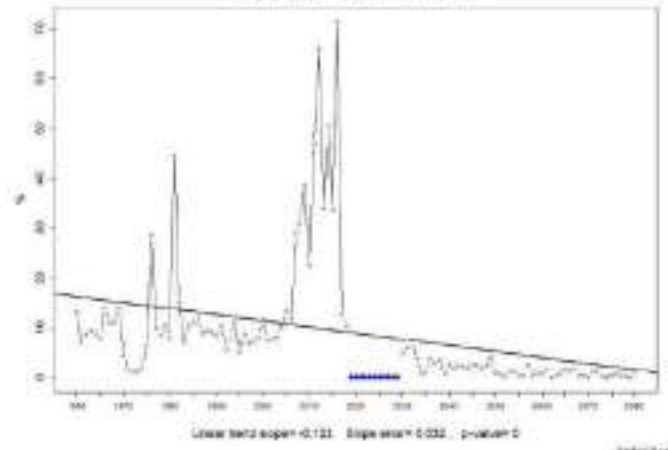
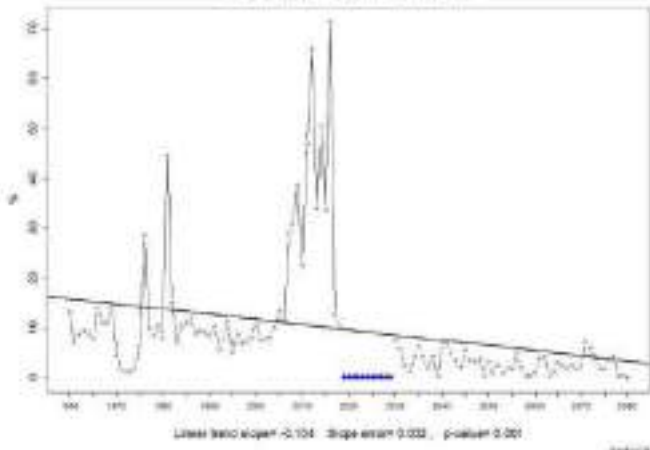
Cabrera

Cabrera



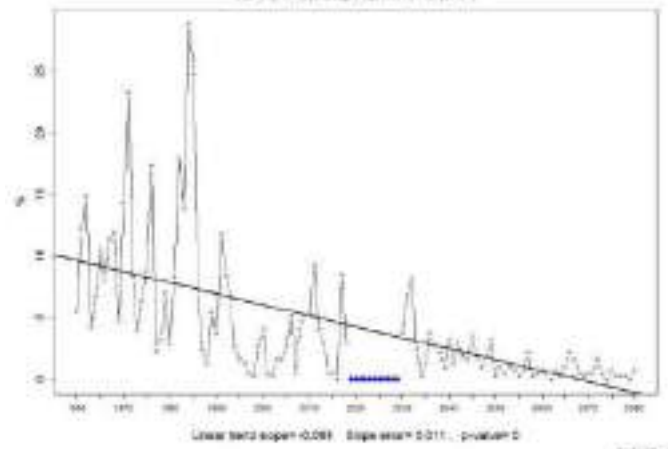
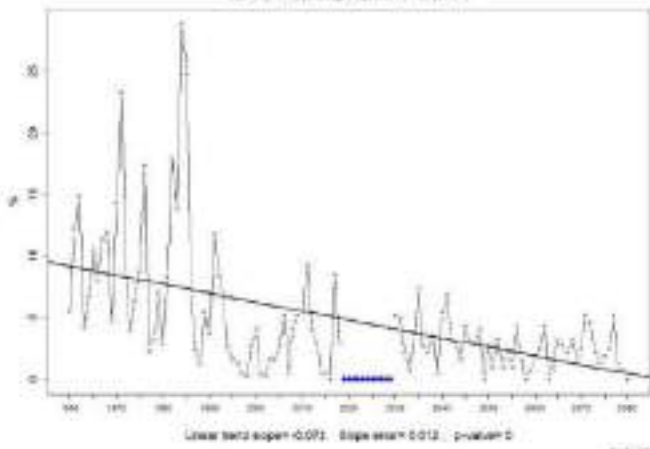
LaRomana

LaRomana



LasAmericas

LasAmericas

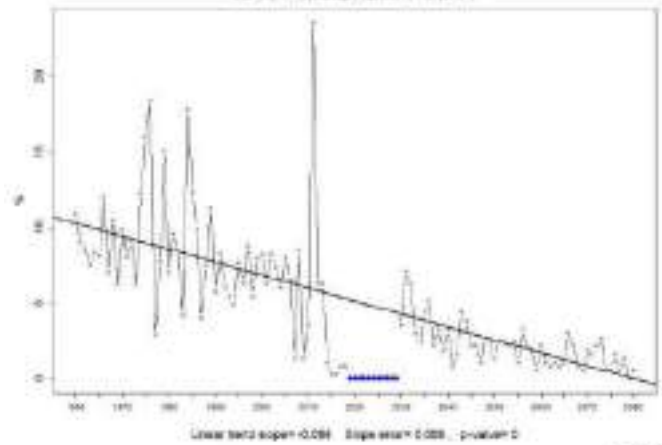
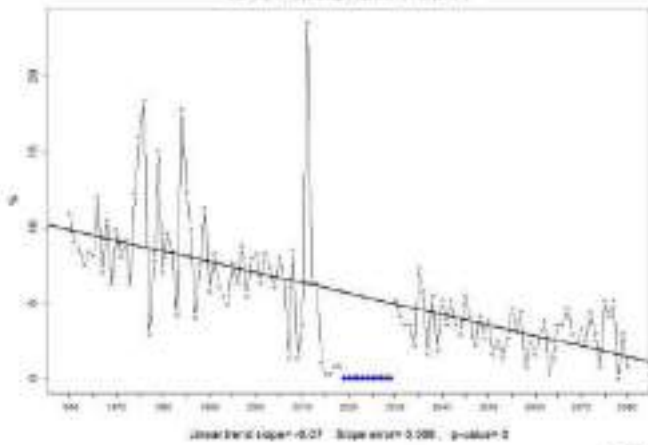


RCP 4.5

RCP8.5

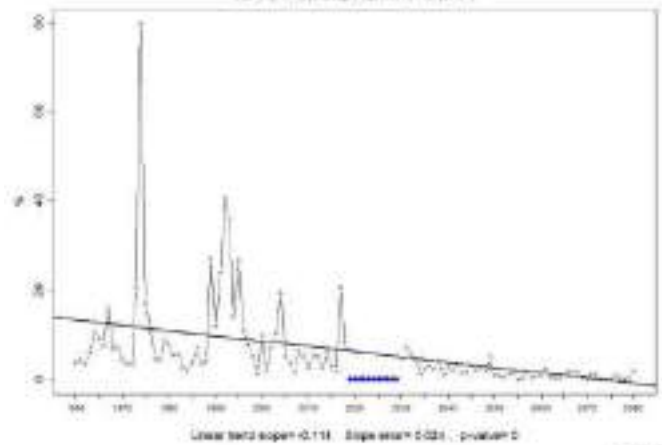
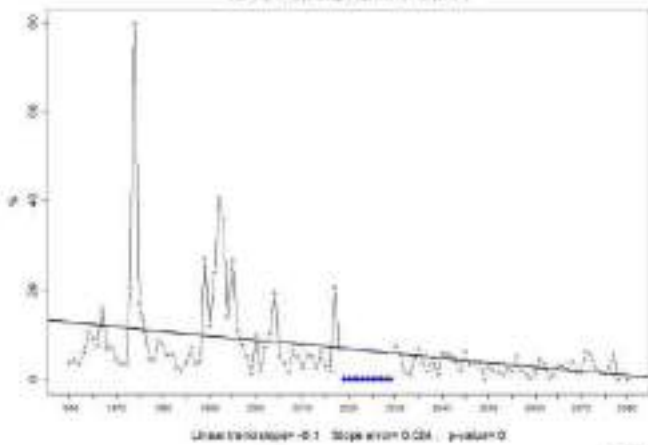
MonteCristi

MonteCristi



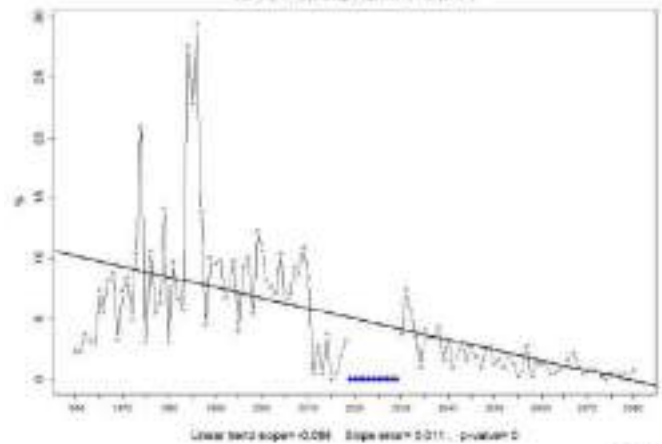
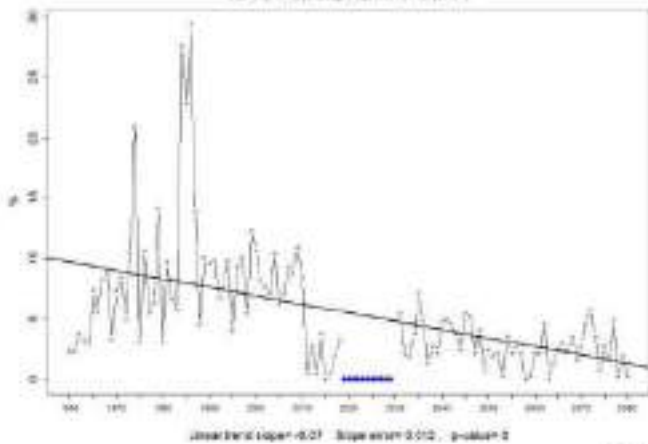
PuntaCana

PuntaCana



Samana

Samana

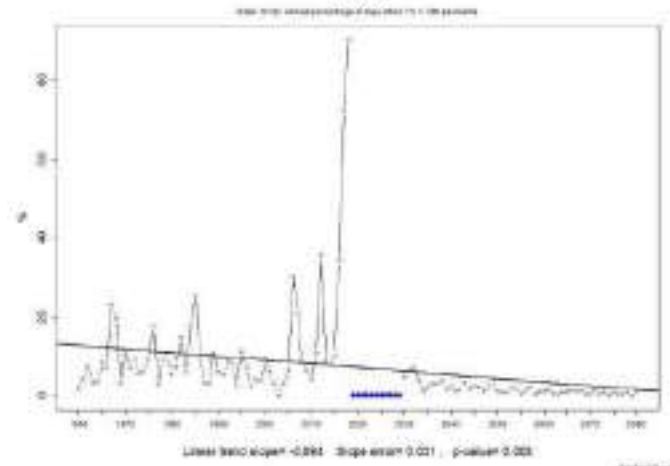
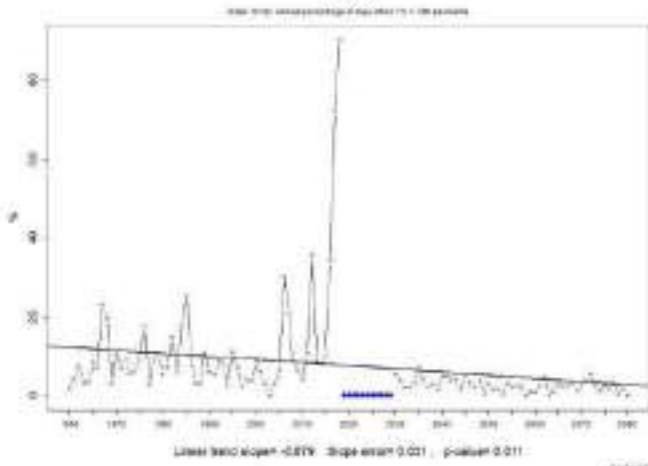


RCP 4.5

RCP8.5

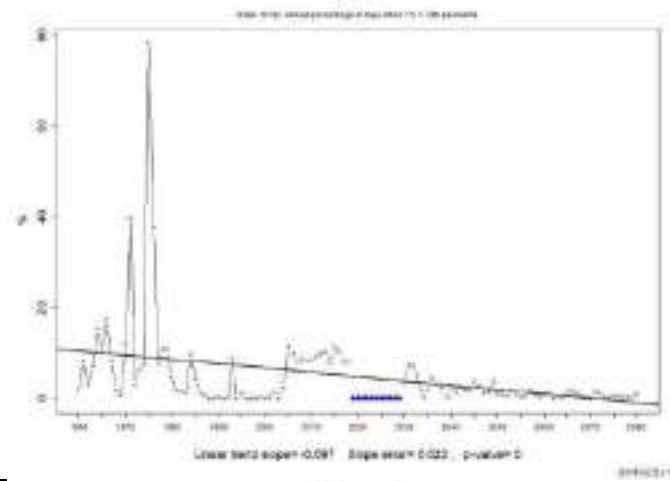
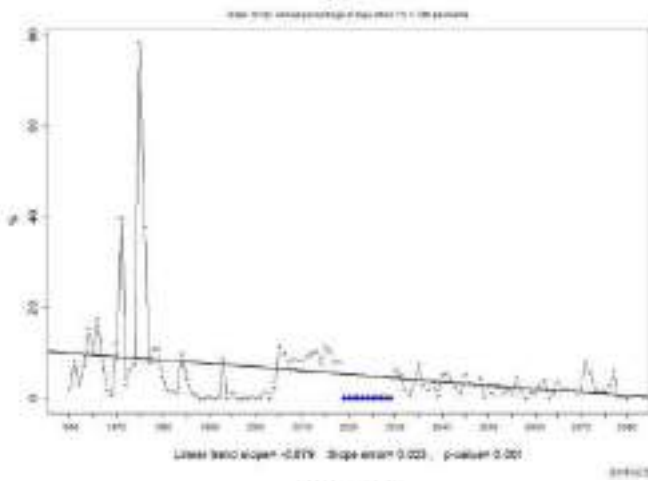
SMAR

SMAR



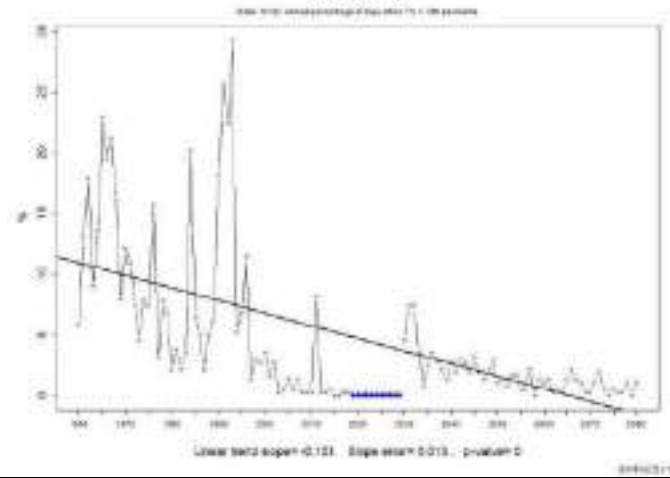
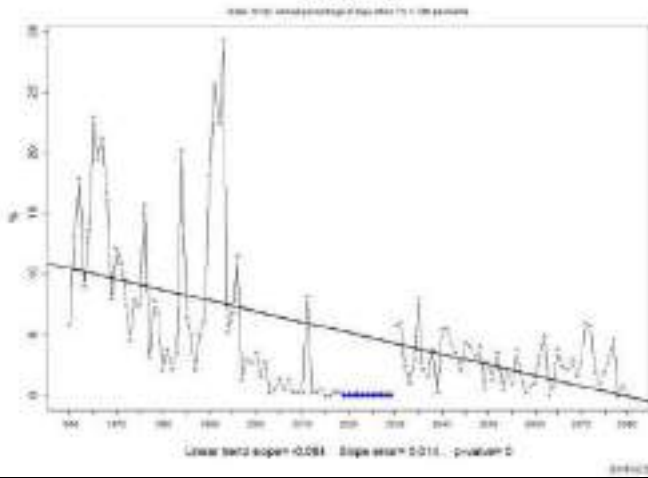
SPM

SPM



Sto Domingo

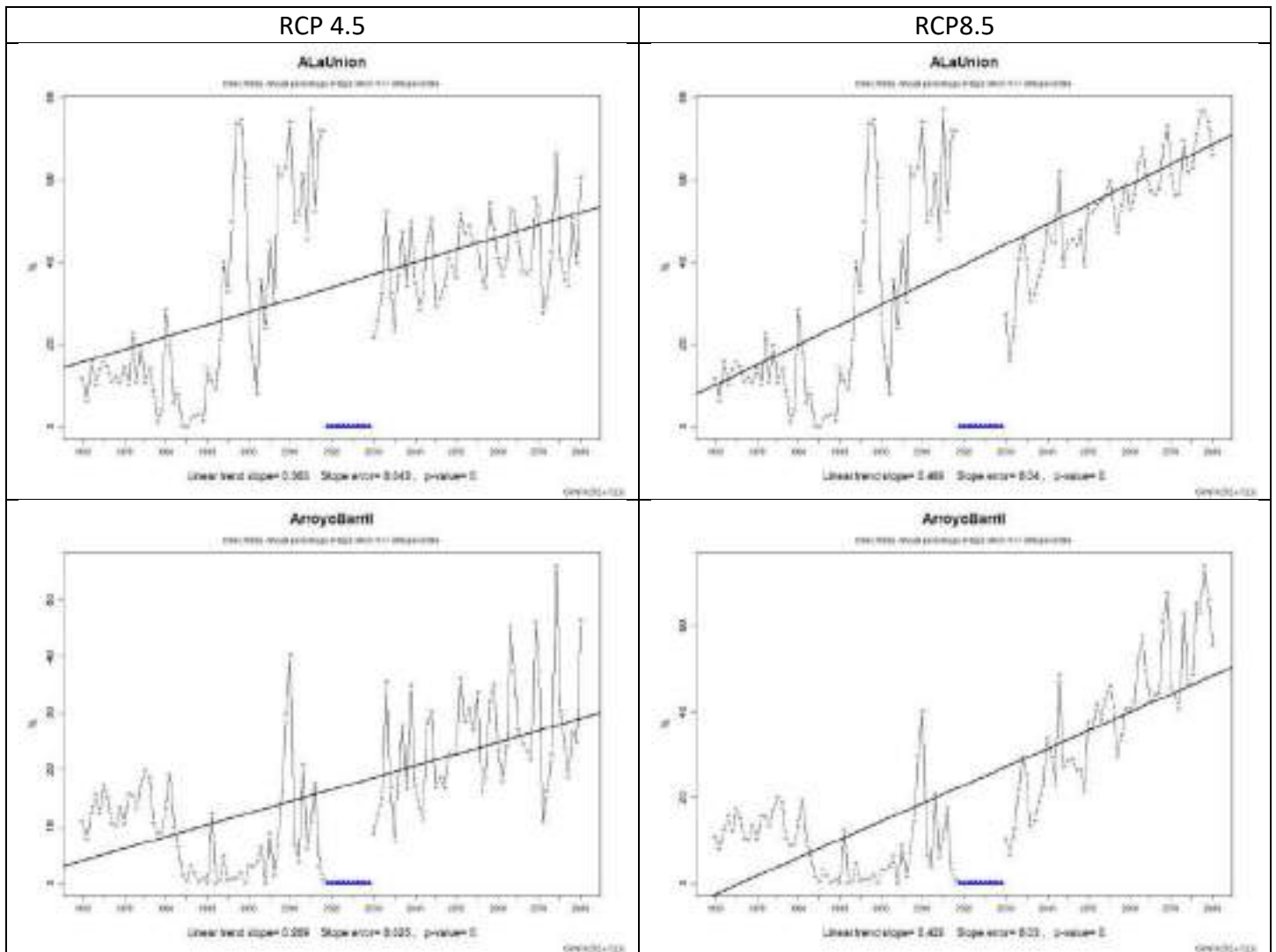
Sto Domingo



Frecuencia de noches calurosas (Tn90p)

En el cuadro 3 se muestra para todas las estaciones un aumento significativo en la frecuencia de noches calurosas. En muchas estaciones bajo el escenario RCP8.5 dicho aumento constituye el doble que el proyectado para el escenario RCP4.5. Bajo este último escenario destaca las estaciones Las Américas y SPM, las cuales mostraron el mayor aumento con aproximadamente 64%. Por su parte, en el escenario RCP 8.5 para las mismas estaciones se encontraron los valores más elevados con aproximadamente 86%.

Cuadro 3. Gráficos comparativos de la frecuencia de noches calurosas (tn90) desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación climática evaluada.

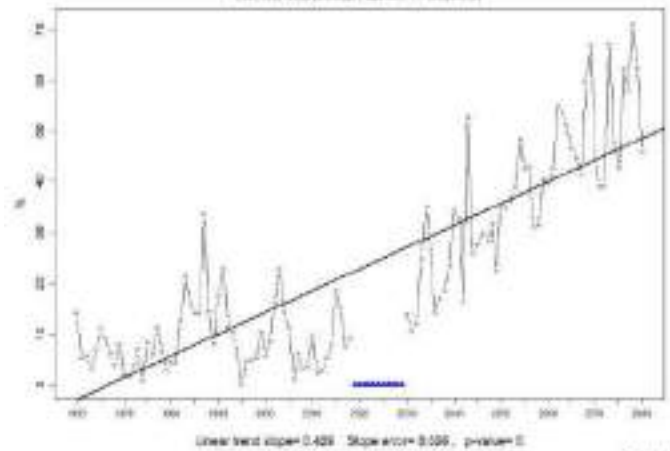
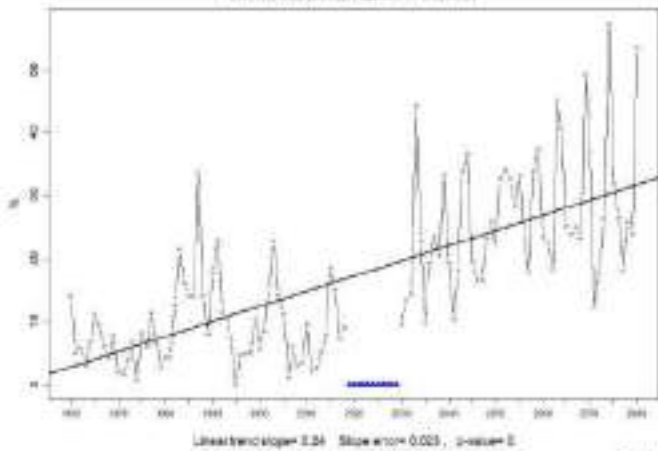


RCP 4.5

RCP8.5

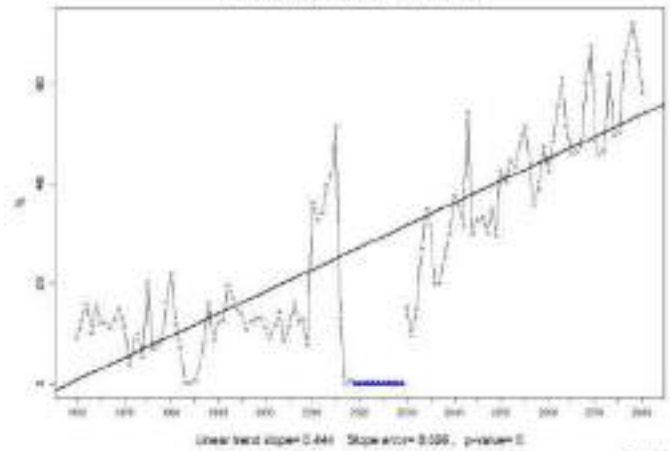
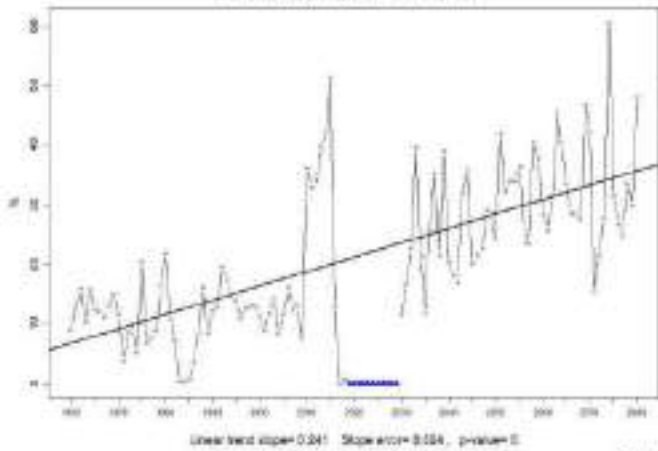
Barbena

Barbena



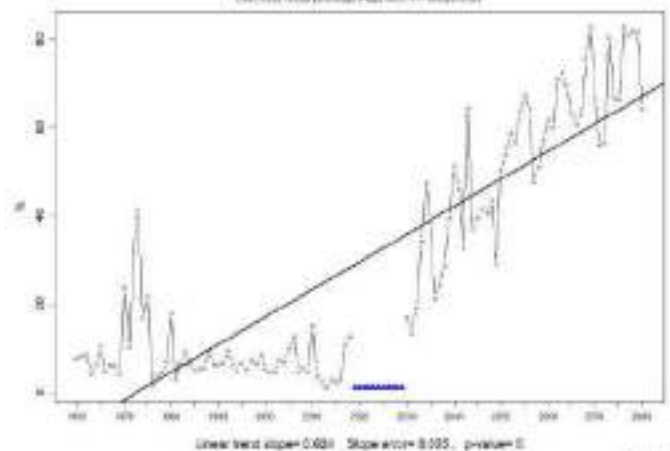
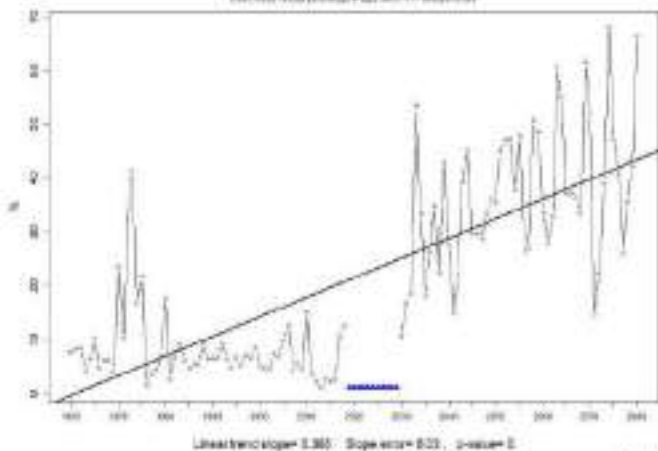
Cabrera

Cabrera



La Romana

La Romana

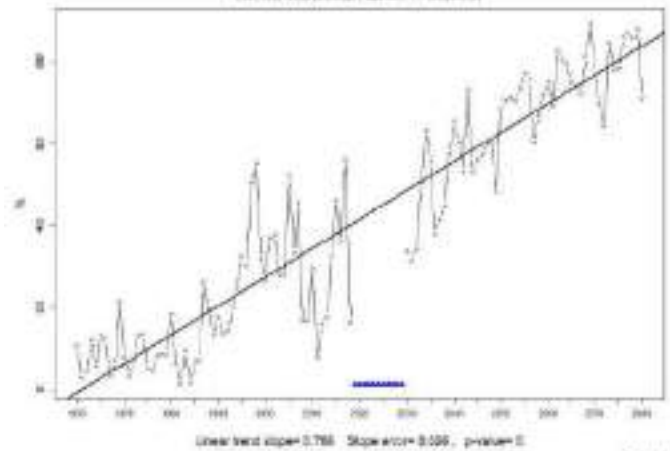
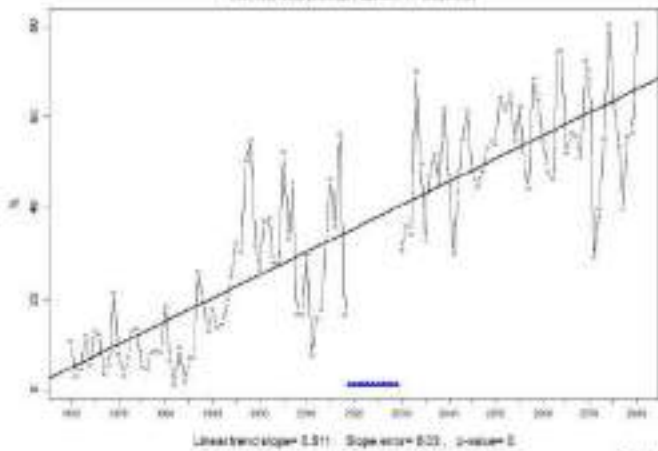


RCP 4.5

RCP8.5

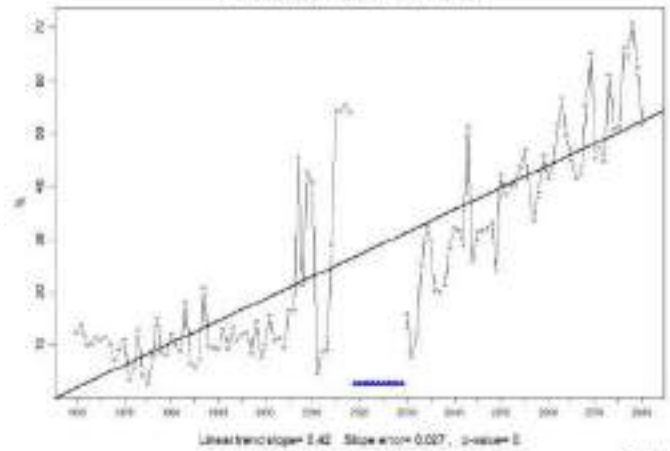
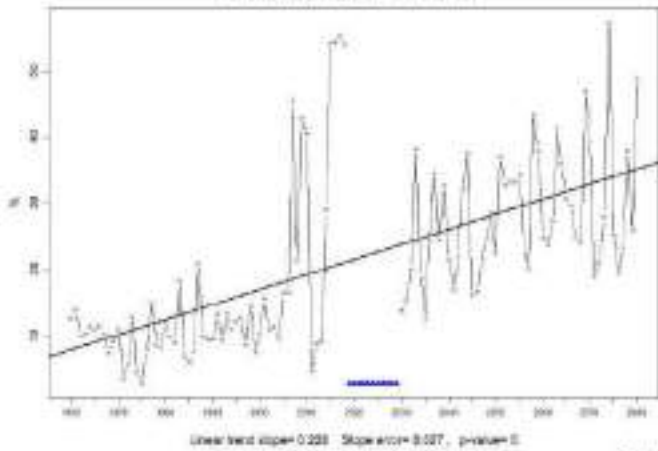
LasAmericas

LasAmericas



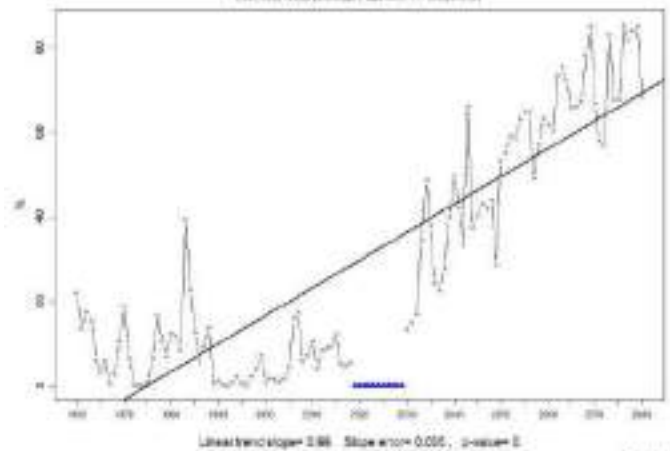
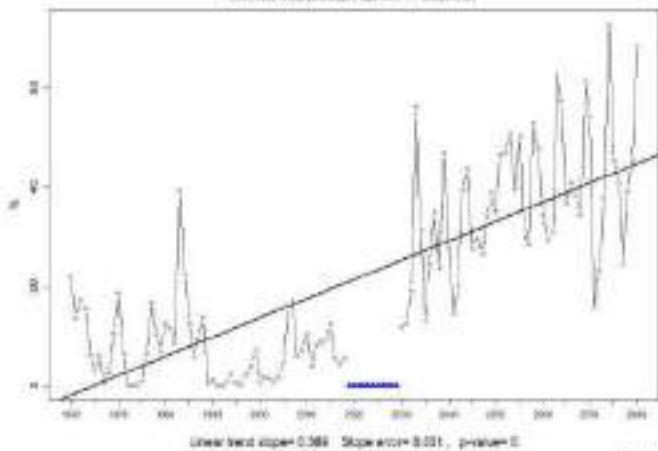
MonteCristi

MonteCristi



PuntaCana

PuntaCana

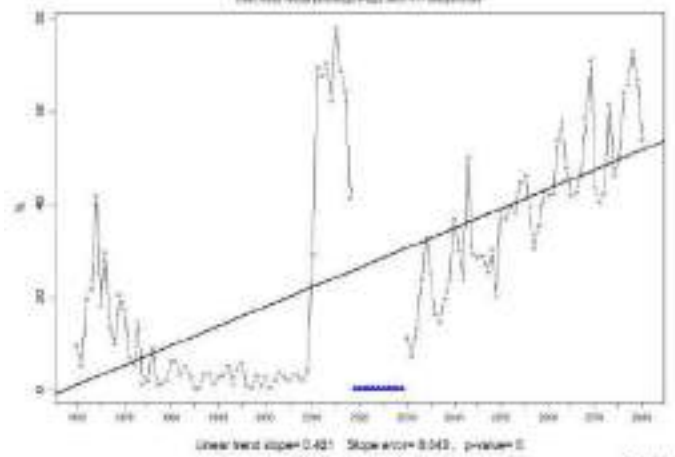
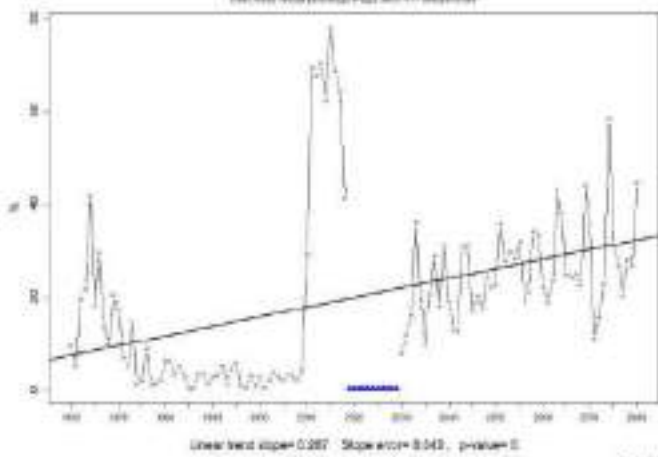


RCP 4.5

RCP8.5

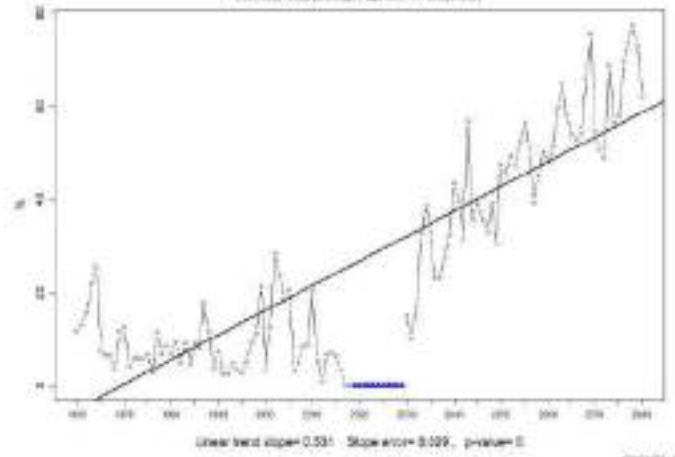
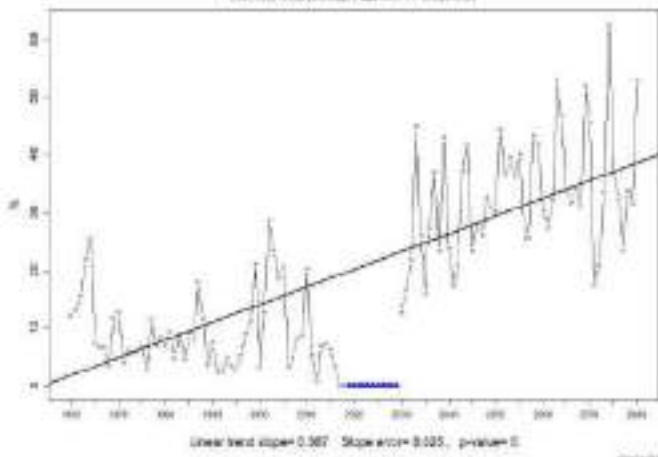
Satmsa

Satmsa



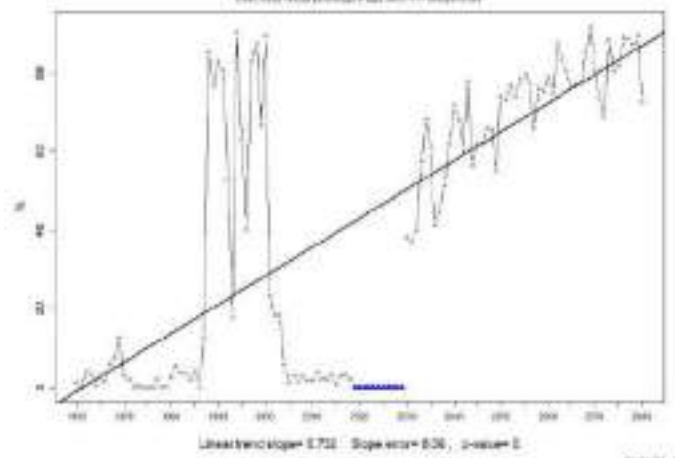
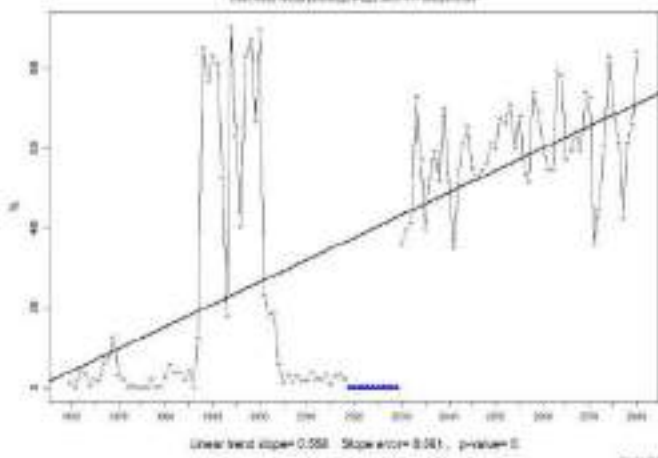
SMAR

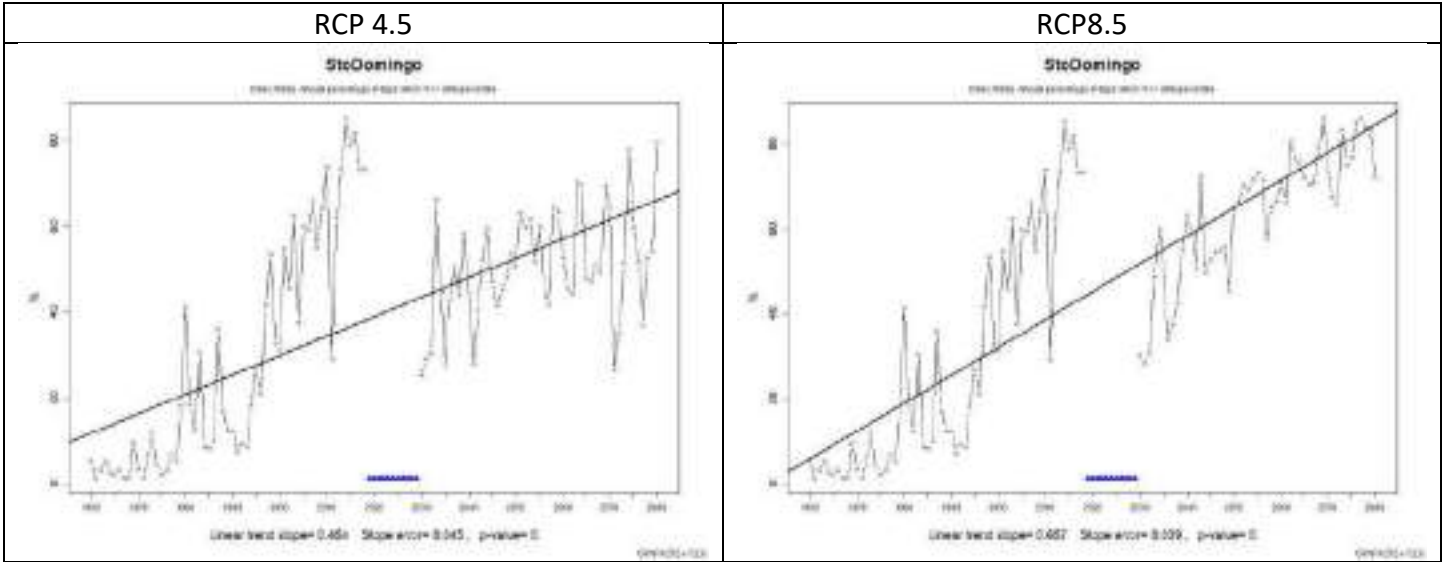
SMAR



SPM

SPM

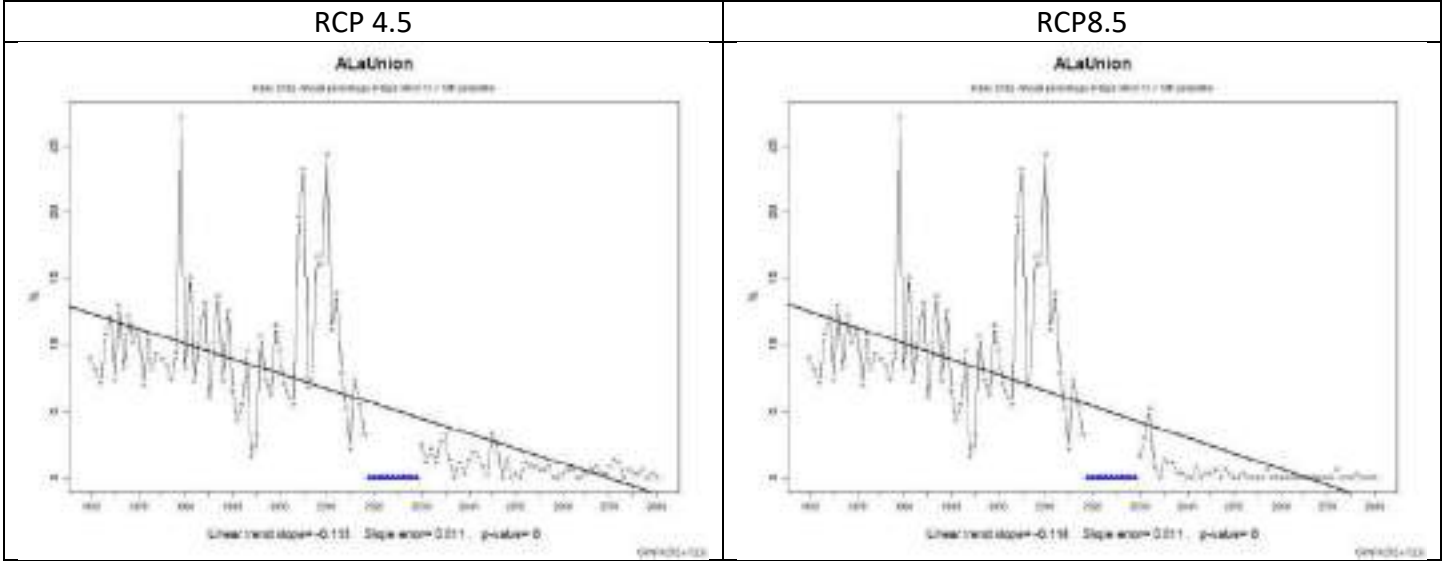




Frecuencia de días fríos (Tx10p)

En el cuadro 4 se puede observar una disminución en la frecuencia de días fríos en todas las estaciones climáticas. En ambos escenarios se muestran tendencias similares incluso en cuanto a magnitud.

Cuadro 4. Gráficos comparativos de la frecuencia de días fríos (tx10p) desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación climática evaluada.

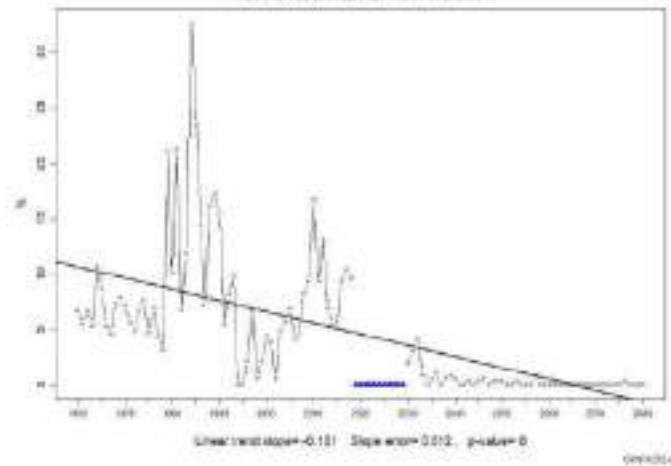
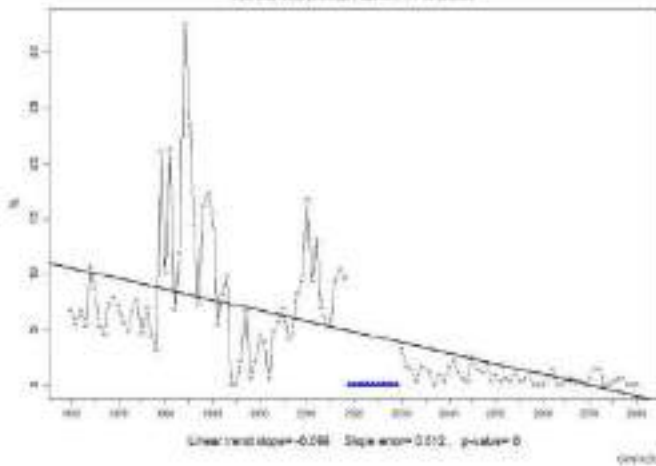


RCP 4.5

RCP8.5

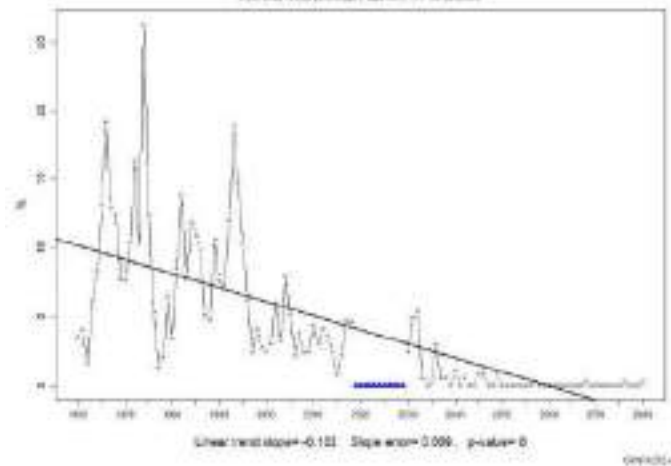
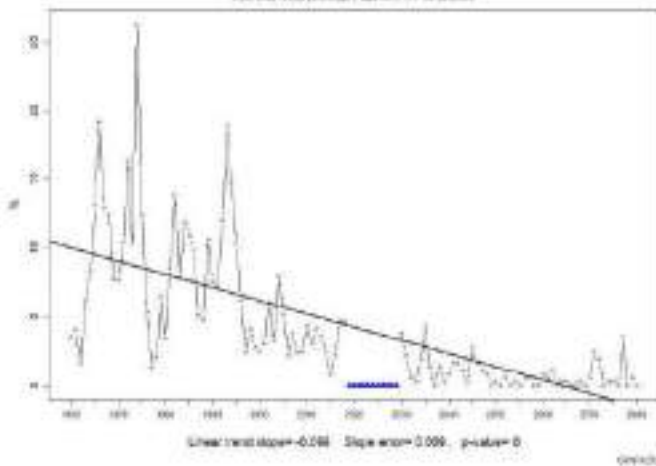
ArroyoBarril

ArroyoBarril



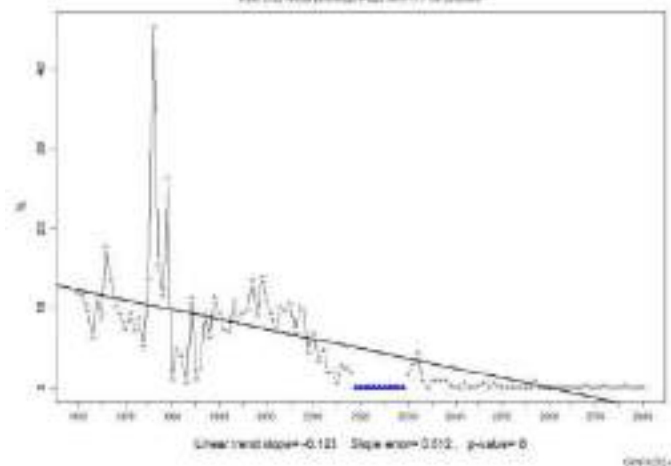
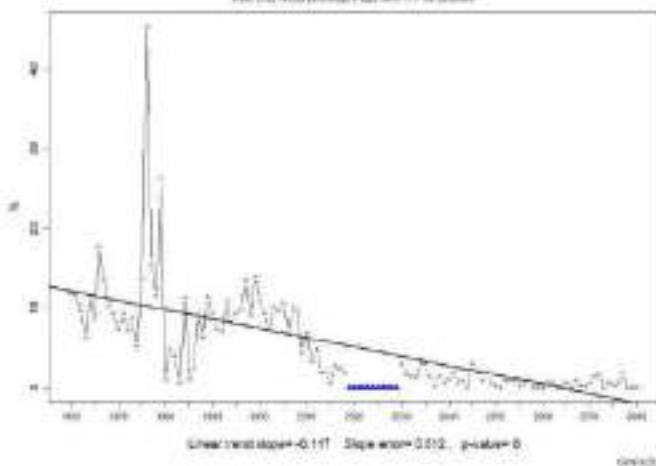
Barahona

Barahona



Cabresa

Cabresa

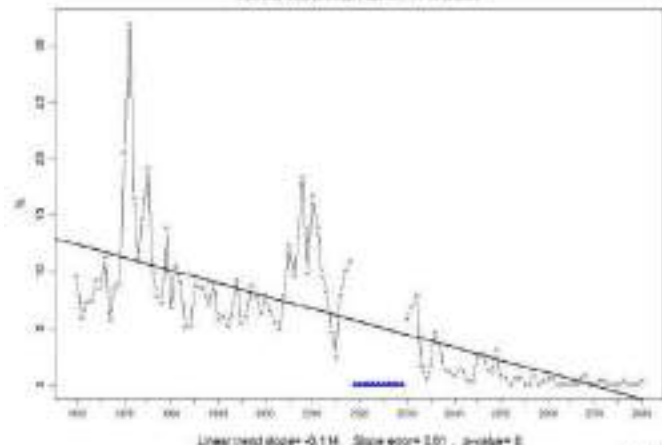
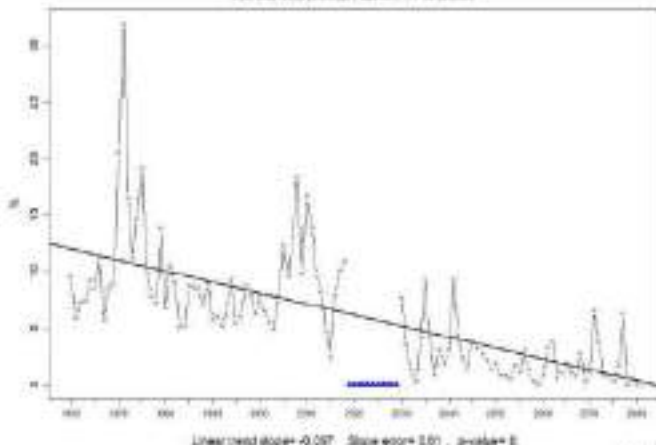


RCP 4.5

RCP8.5

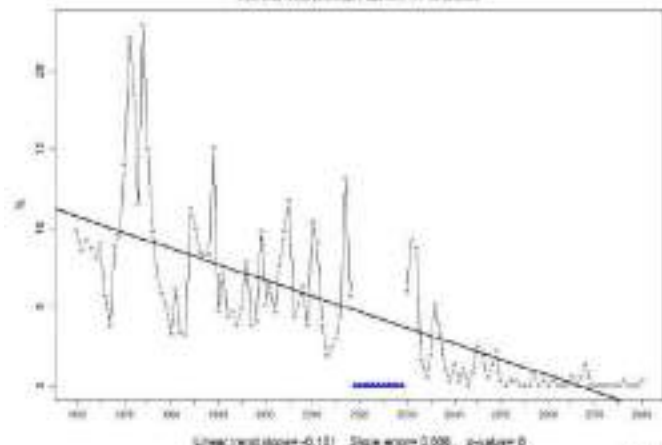
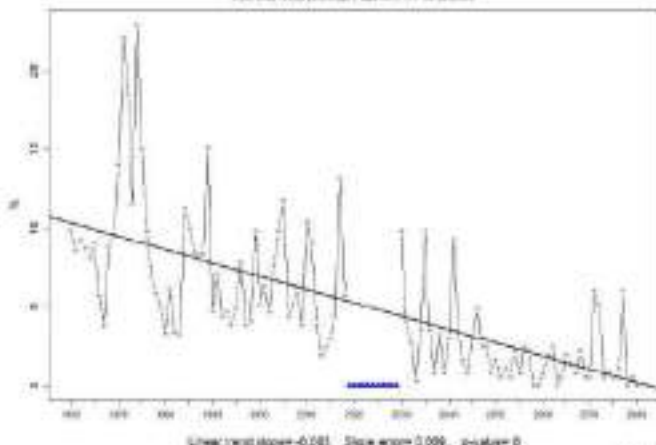
LaRomana

LaRomana



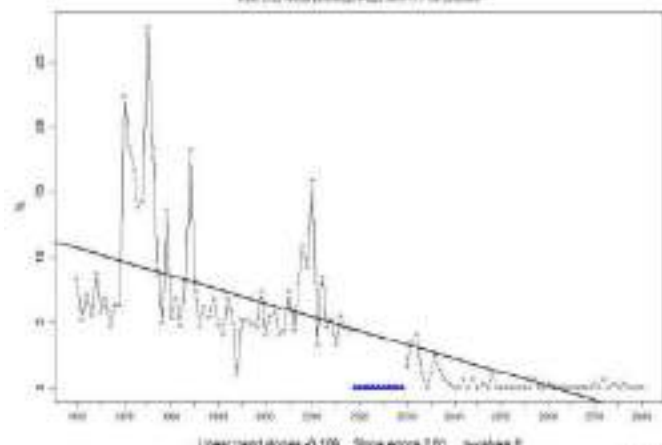
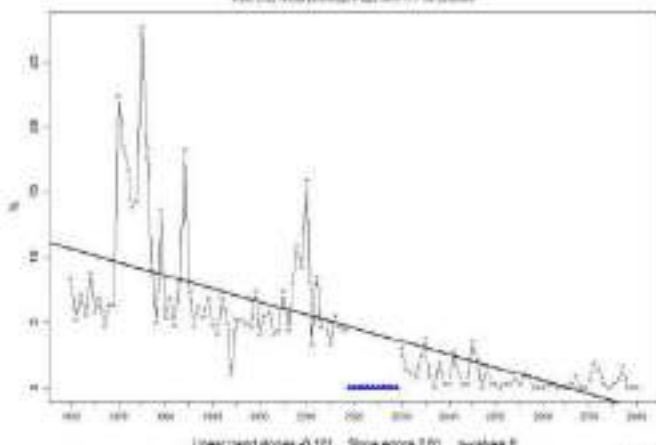
LasAmericas

LasAmericas



MonteCristi

MonteCristi

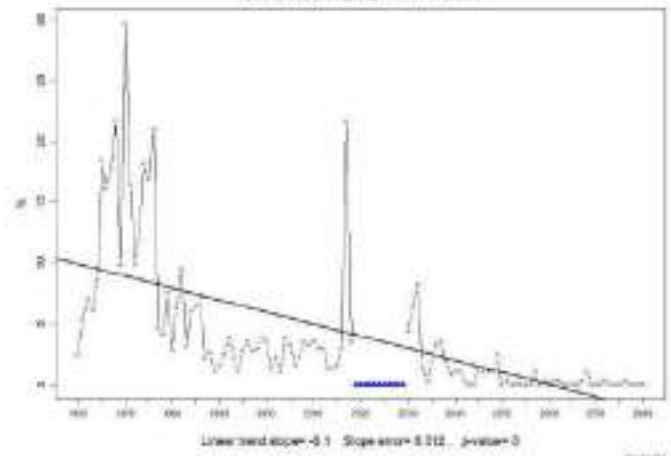
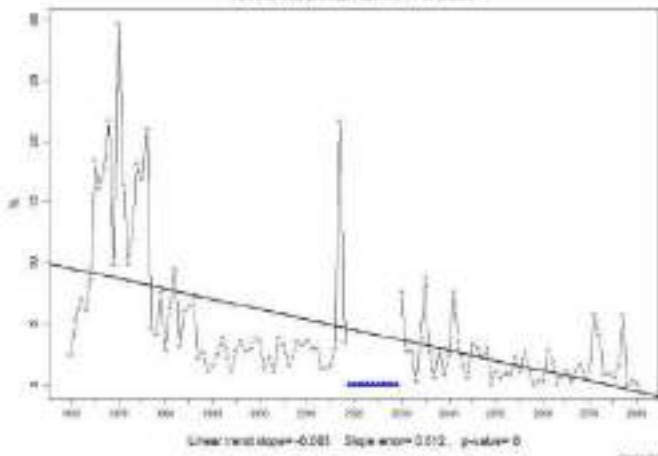


RCP 4.5

RCP8.5

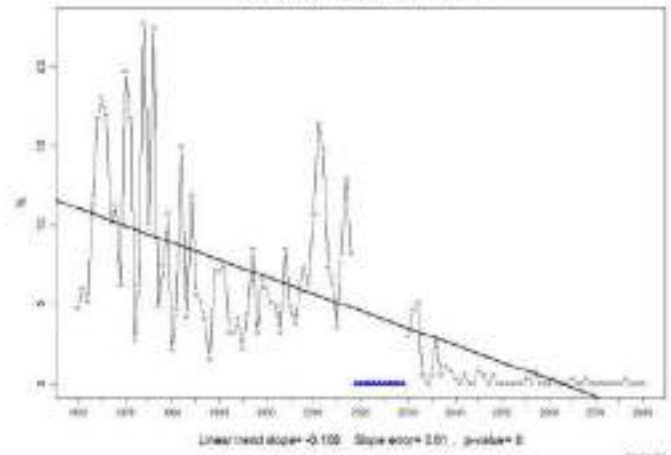
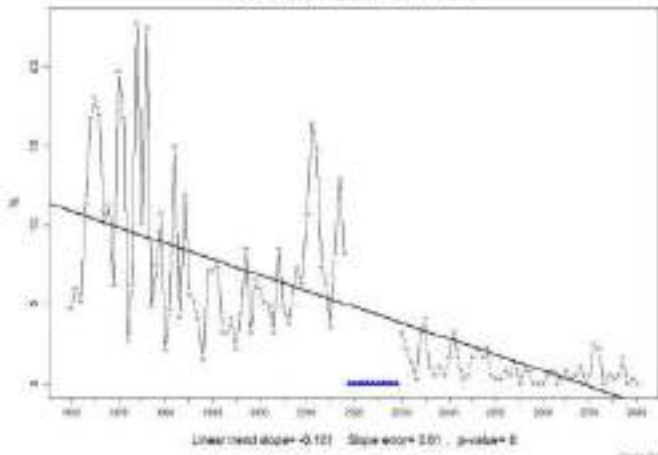
PuntaCana

PuntaCana



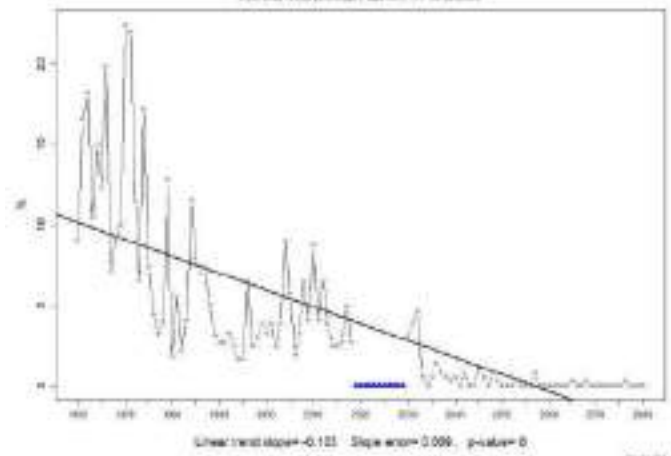
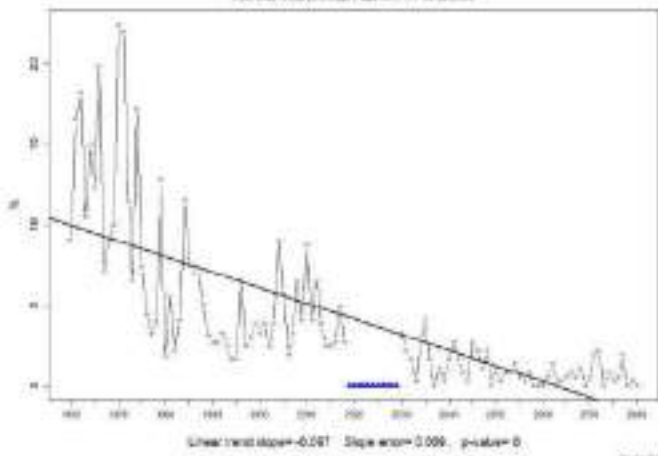
Samaná

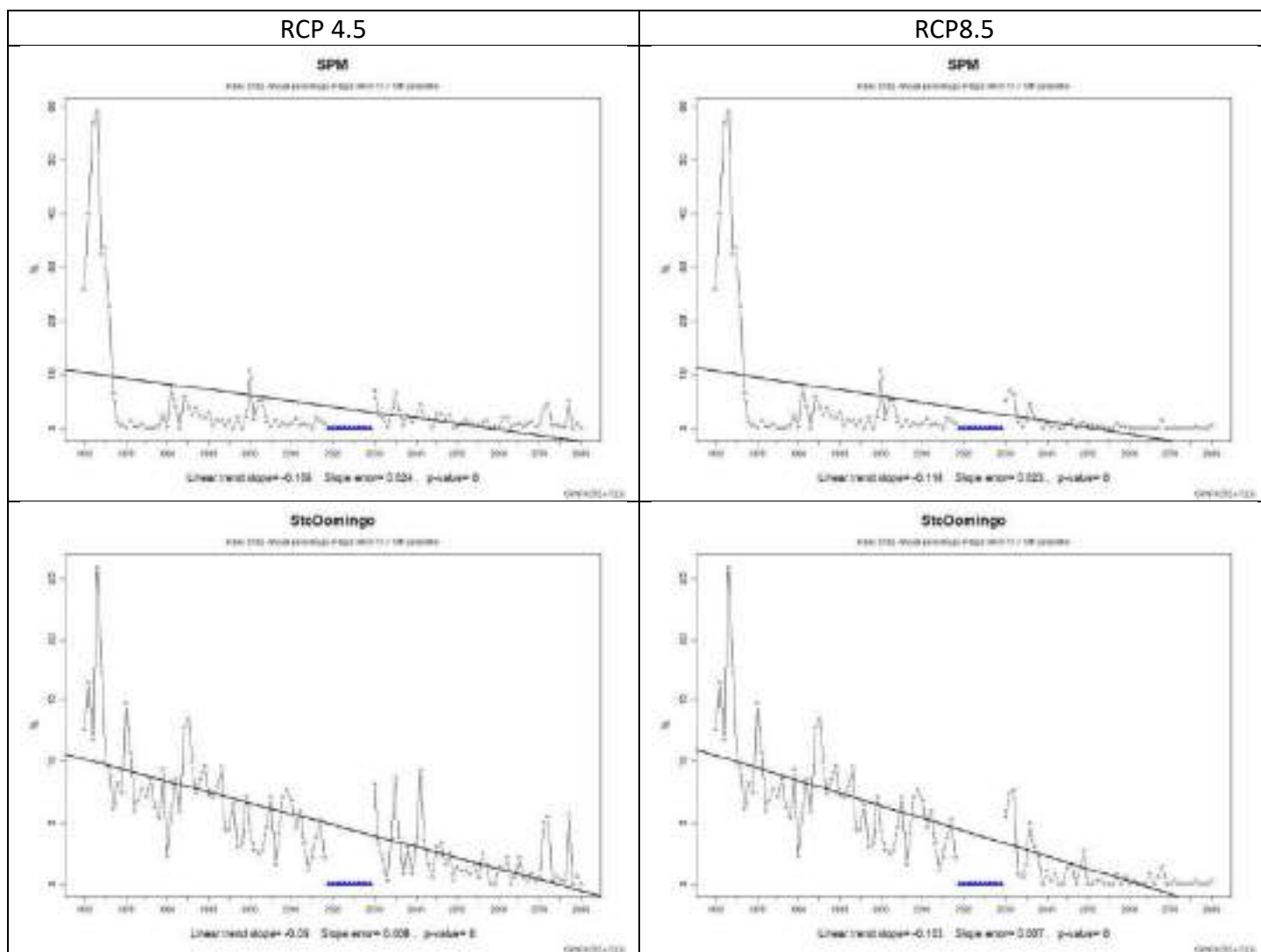
Samaná



SMAR

SMAR





Frecuencia de días calurosos (Tx90p)

En el siguiente cuadro se puede observar una tendencia hacia el aumento en la frecuencia de días calurosos para la mayoría de las estaciones en ambos escenarios. Un caso interesante lo constituye la estación Cabrera, en la cual se proyecta para el escenario RCP 4.5 una disminución en la frecuencia de días calurosos, probablemente producto del registro de temperatura extremas en el periodo de referencia. Sin embargo, bajo el escenario RCP 8.5 se proyecta un aumento a pesar de los registros de temperatura extrema existentes en el periodo de referencia. En el escenario RCP 4.5 las estaciones que muestran una tendencia mayor al aumento en la frecuencia de días calurosos son La Romana, Punta Cana y Santo Domingo, con aproximadamente 79%. Las mismas estaciones mostraron el aumento más importante bajo el escenario RCP 8.5 con un poco más de 100%.

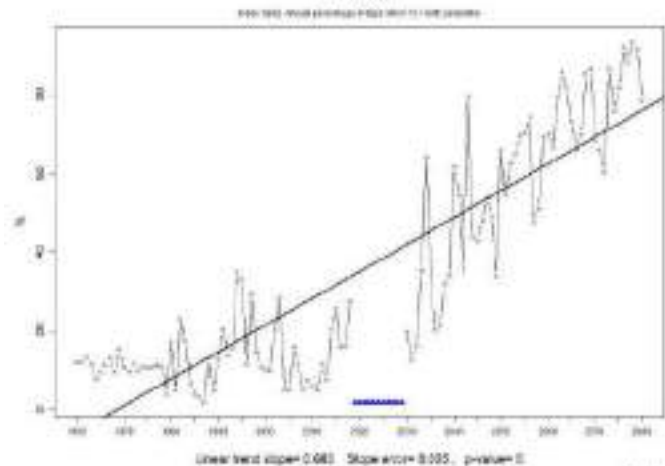
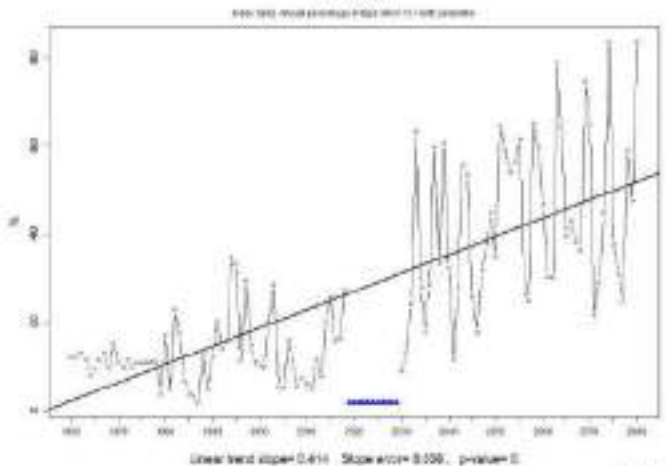
Cuadro 5. Gráficos comparativos de la frecuencia de días calurosos (tx90p) desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación climática evaluada.

RCP 4.5

RCP8.5

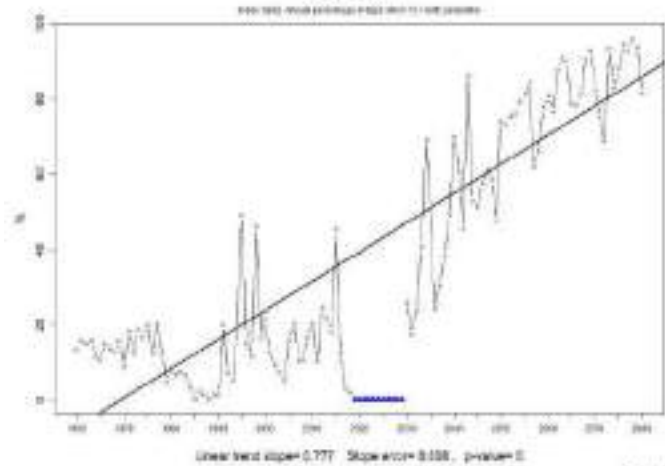
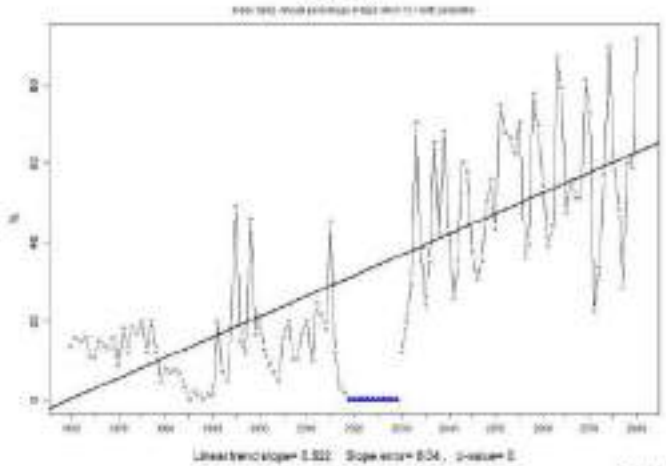
AlaUnion

AlaUnion



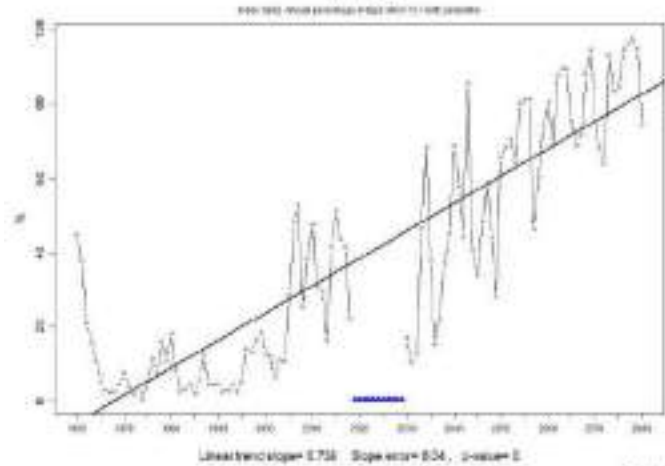
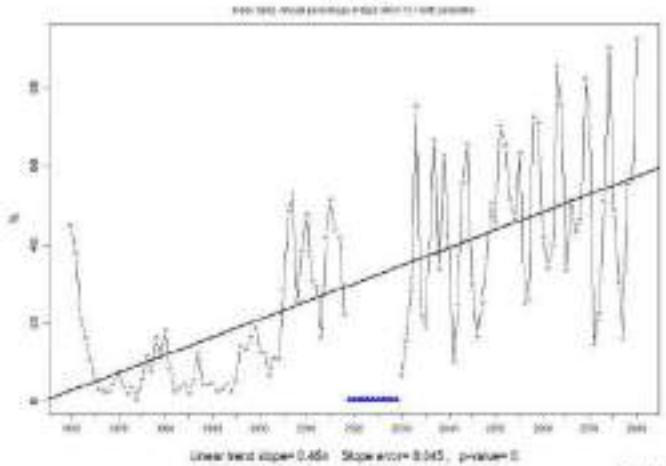
ArroyoBartl

ArroyoBartl



Barshona

Barshona

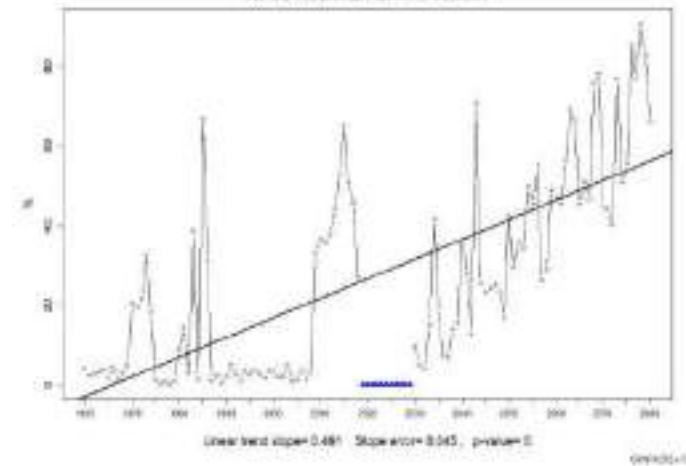
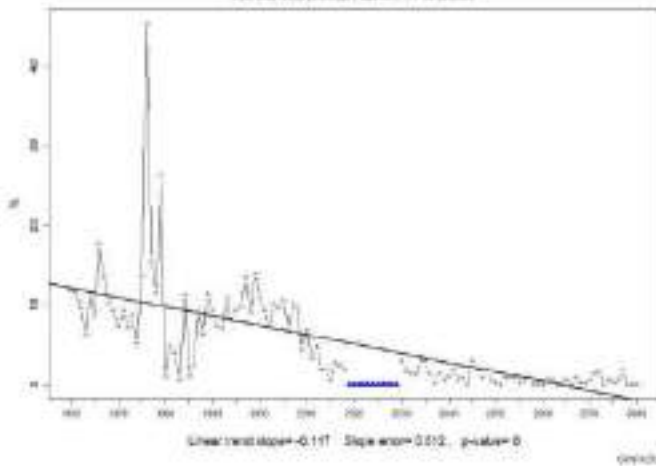


RCP 4.5

RCP8.5

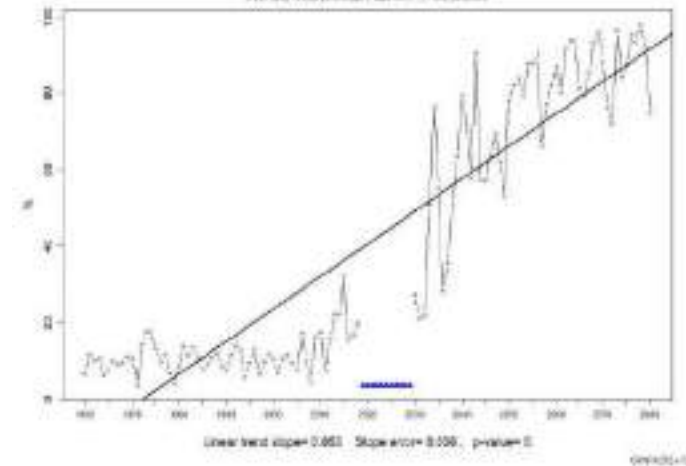
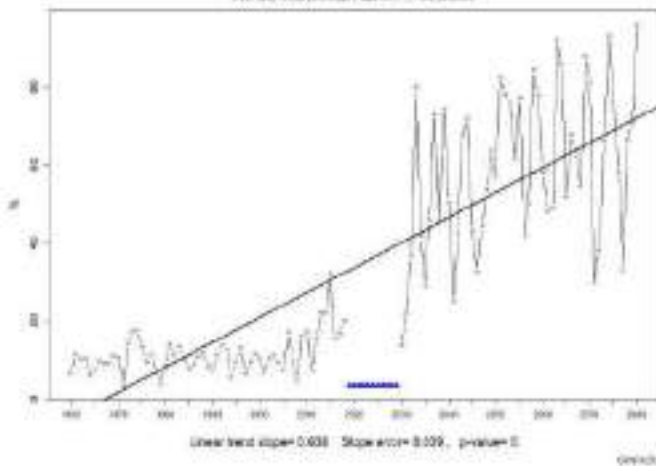
Cabrera

Cabrera



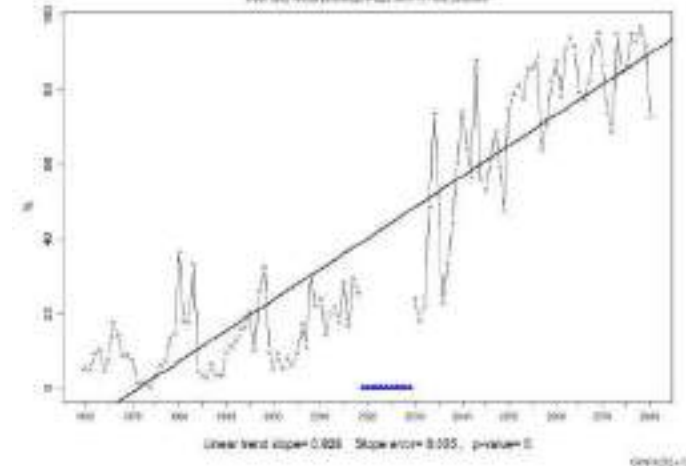
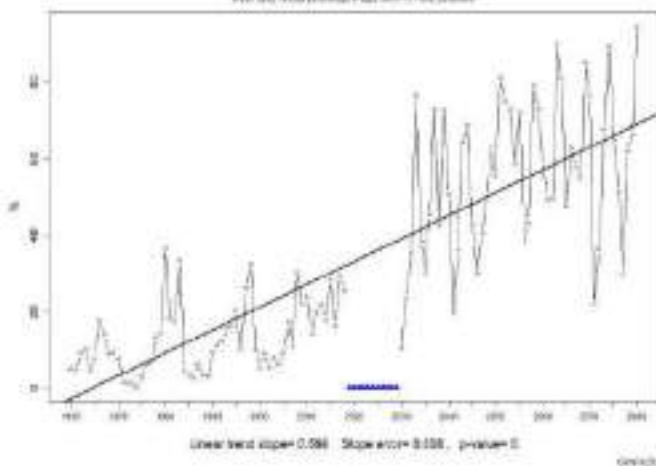
LaRomana

LaRomana



LasAmericas

LasAmericas

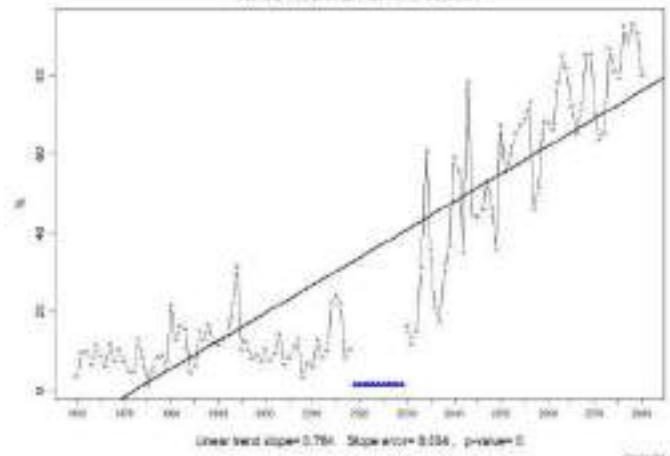
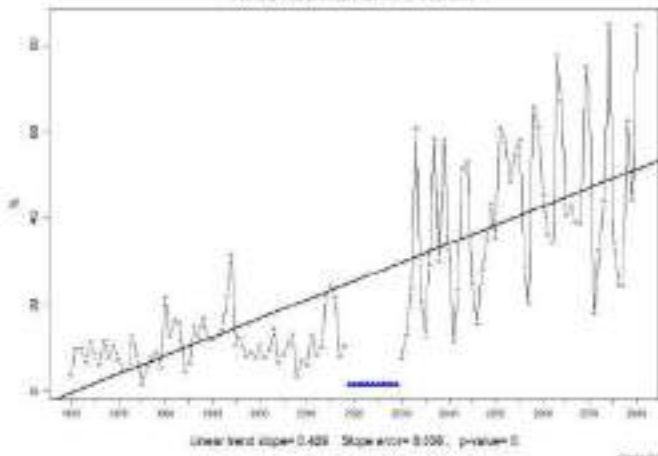


RCP 4.5

RCP8.5

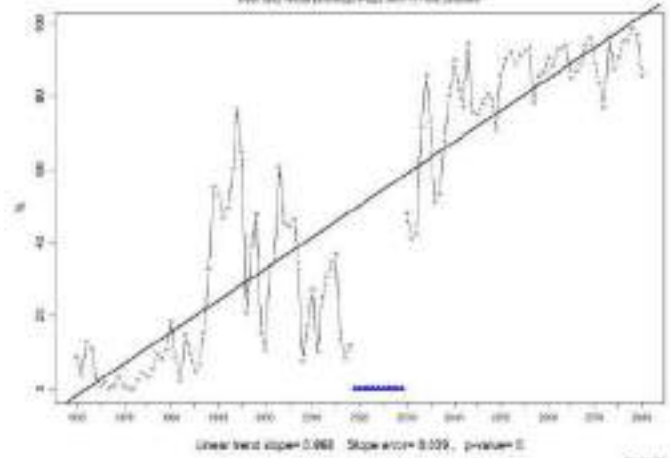
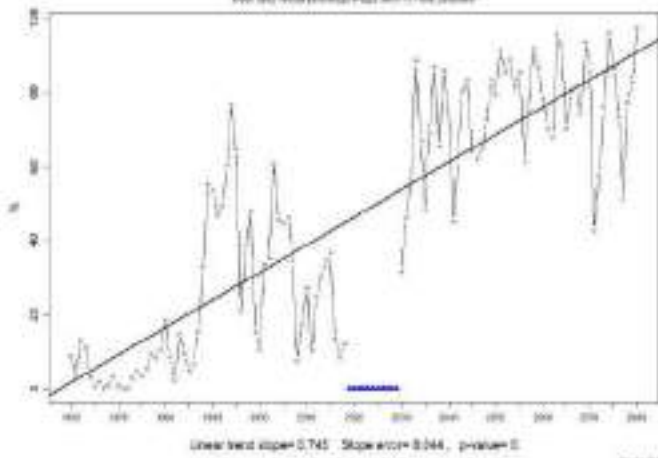
MonteCristi

MonteCristi



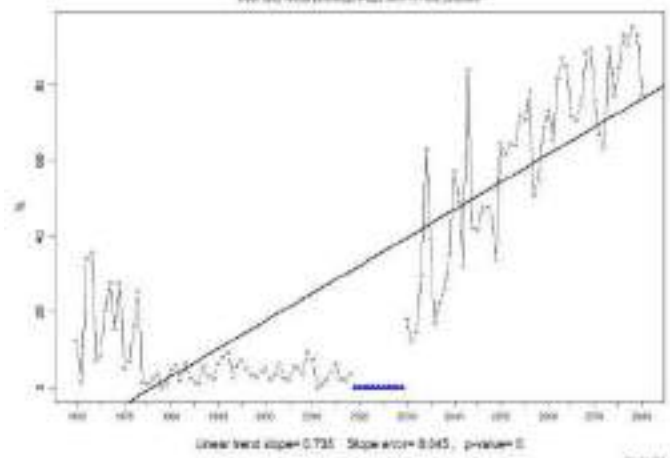
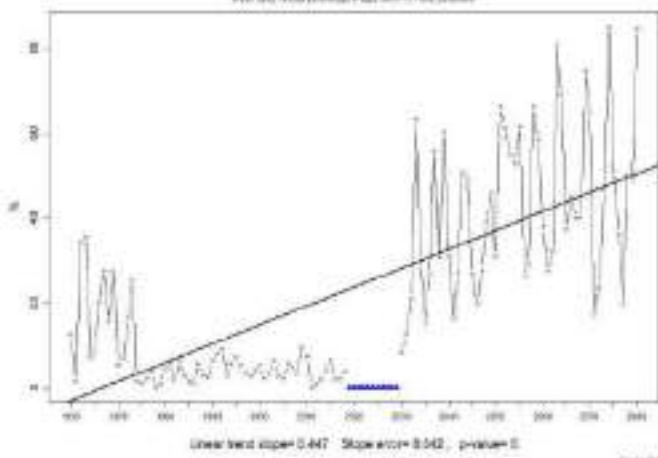
PuntaCana

PuntaCana



Samana

Samana

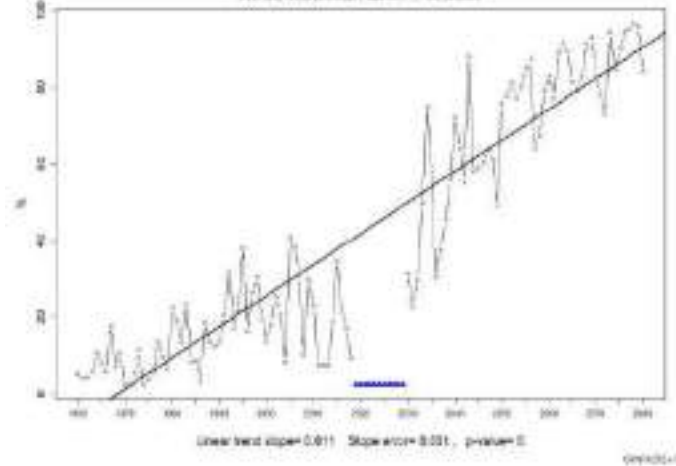
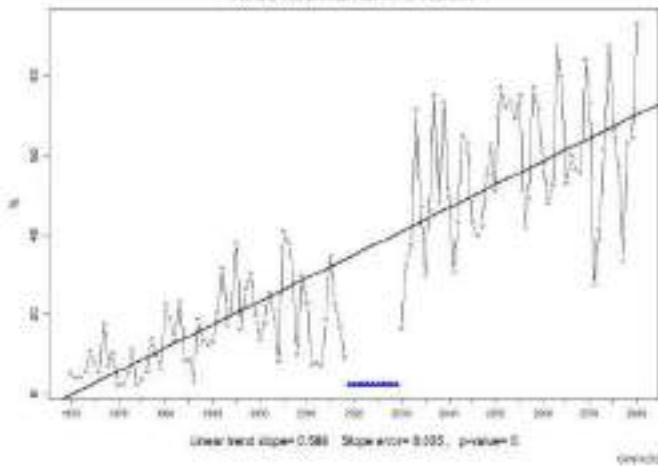


RCP 4.5

RCP8.5

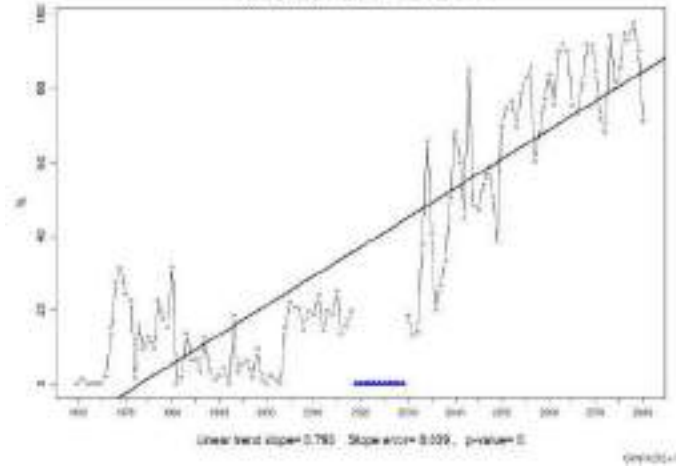
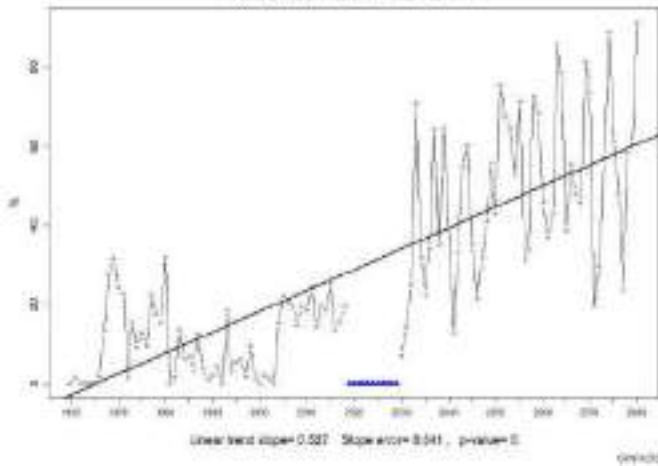
SMAR

SMAR



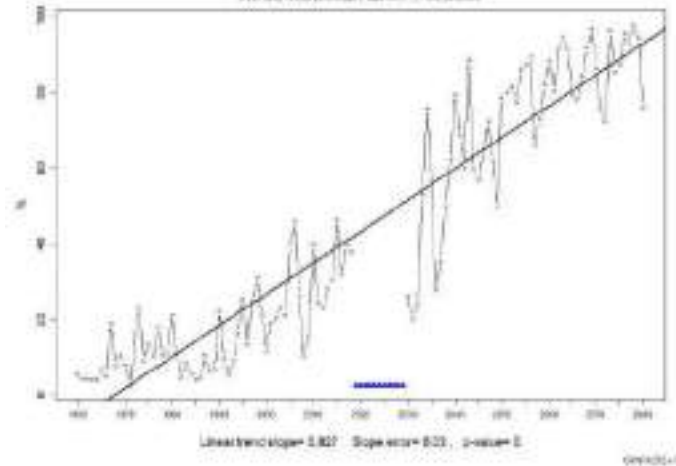
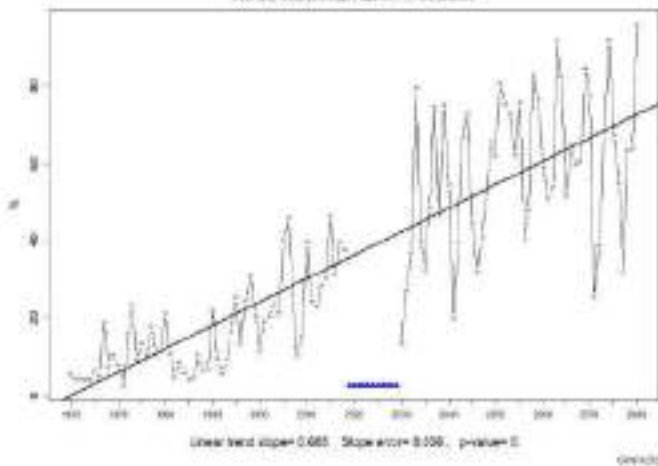
SPM

SPM



StoDomingo

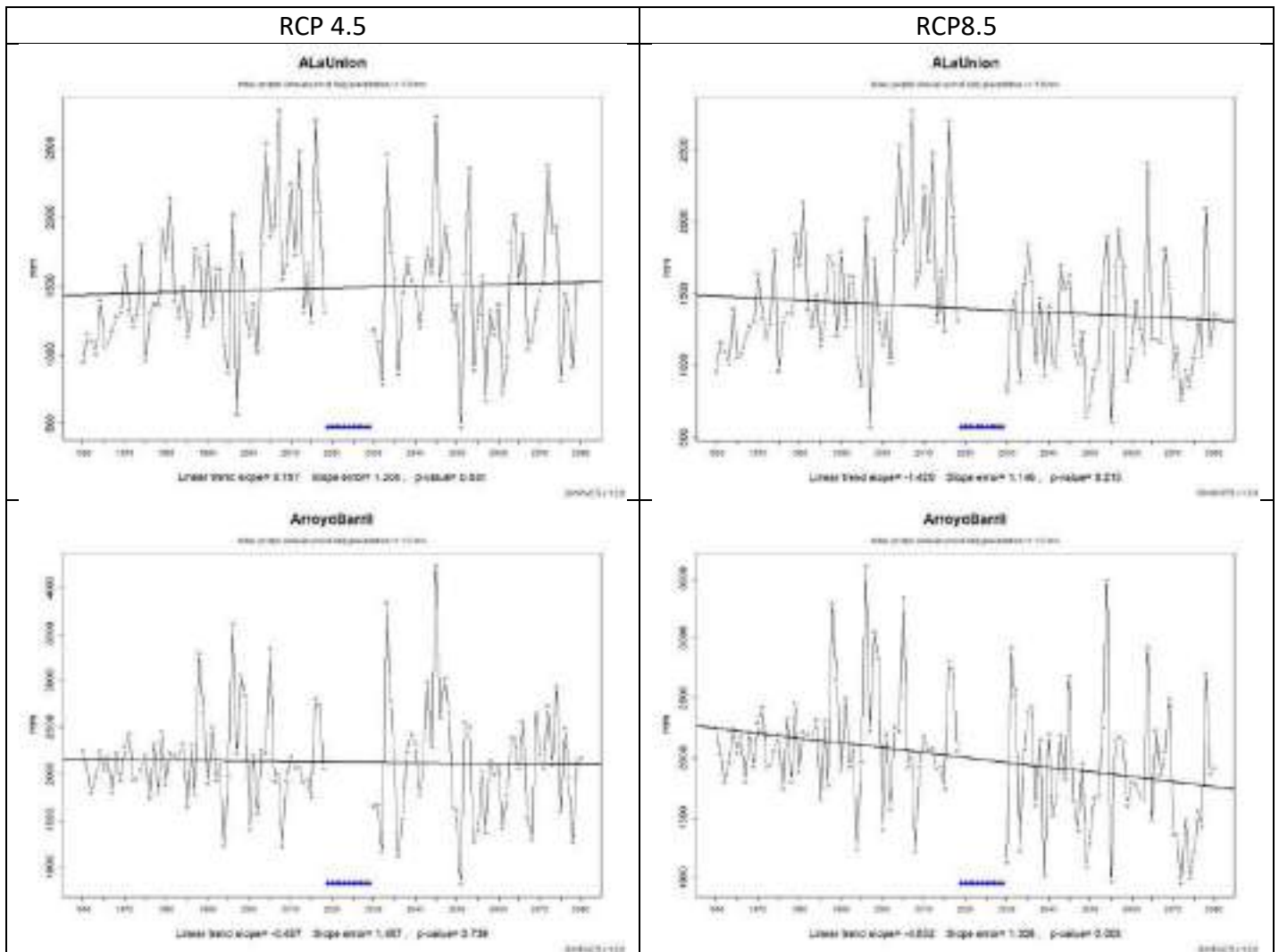
StoDomingo



Índices de Precipitación

En el cuadro 6 se puede observar los gráficos de precipitación acumulada anual para todo el periodo según las estaciones climáticas evaluadas bajo ambos escenarios RCP. En el escenario RCP 4.5 no se observa una tendencia marcada en las estaciones. La pendiente de mayor magnitud se puede observar en la estación Samana con -1.317 lo cual implica una disminución de aproximadamente -158 mm en todo el periodo de análisis. Lo anterior sugiere que, bajo el escenario RCP 4.5 no se espera mayores cambios en la precipitación acumulada anual. Por otra parte, en el escenario RCP 8.5 se muestra en todas las estaciones una tendencia a la disminución. La estación en la que se proyecta la disminución más importante en precipitación acumulada anual es SMAR con una pendiente de -4.961 , lo cual implica aproximadamente -595 mm en todo el periodo. Lo anterior difiere de lo esperado basándose en el análisis histórico de los datos observados, donde en la mayoría de las estaciones se observó un aumento en la precipitación acumulada anual.

Cuadro 6. Comparación de precipitación acumulada anual desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5 por cada estación climática evaluada

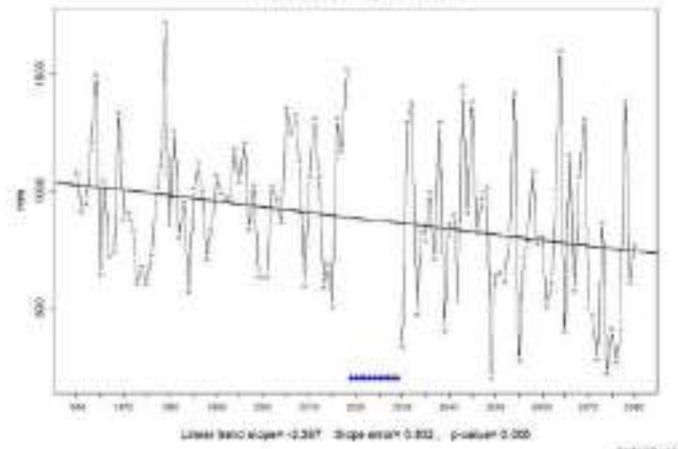
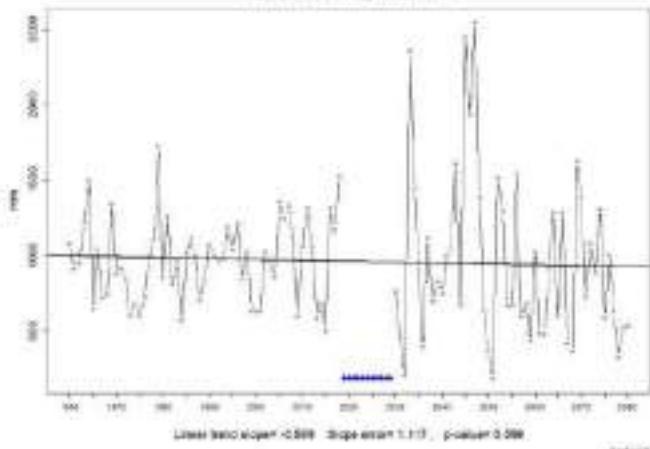


RCP 4.5

RCP8.5

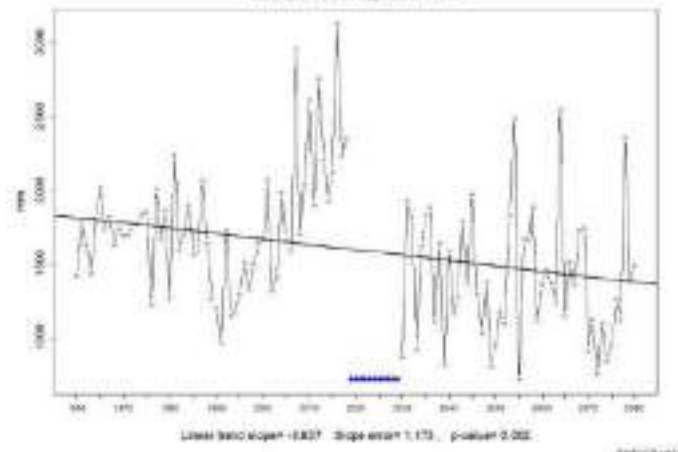
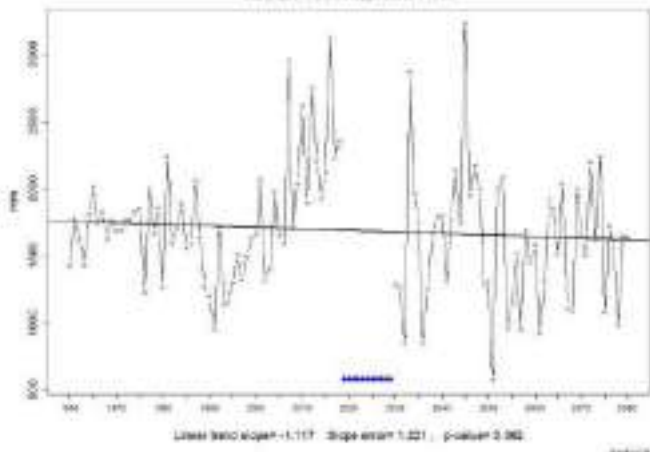
Barahona

Barahona



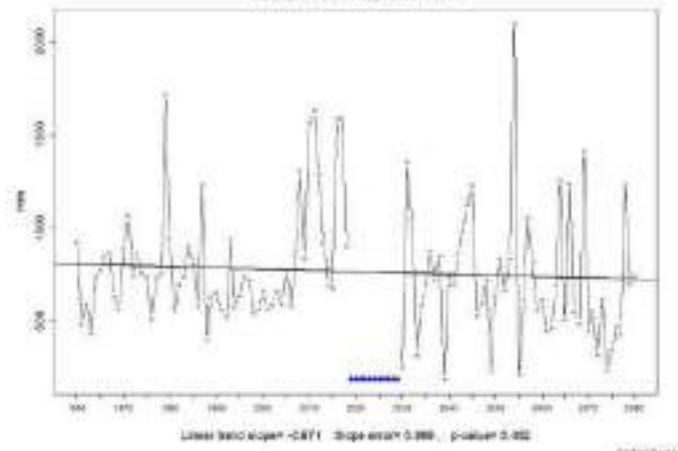
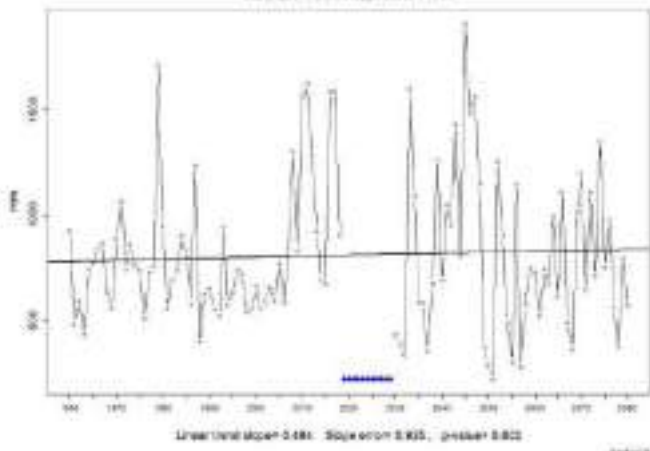
Cabrera

Cabrera



La Romana

La Romana

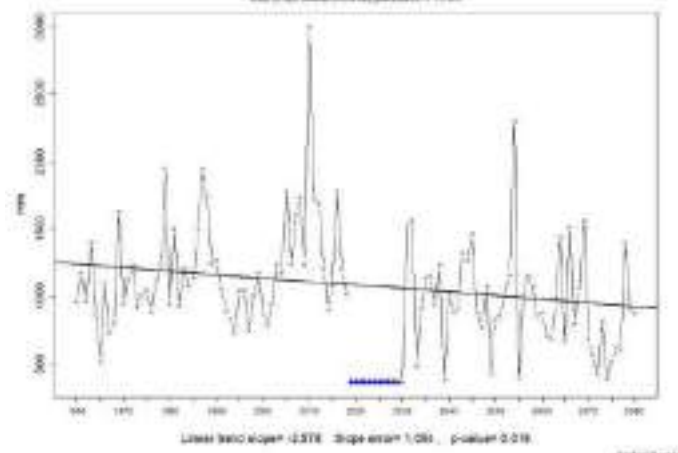
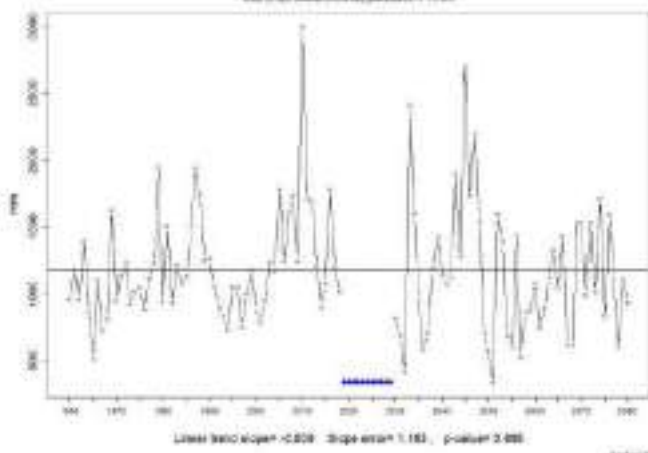


RCP 4.5

RCP8.5

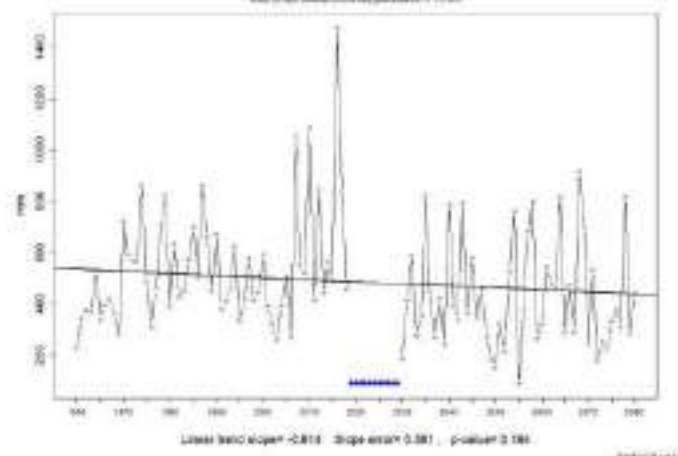
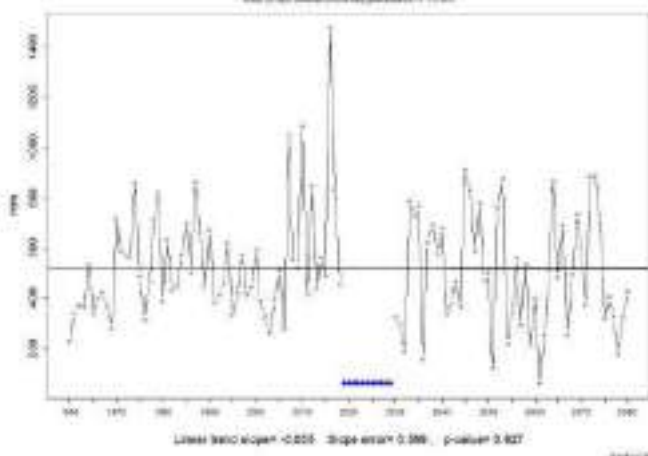
LasAmericas

LasAmericas



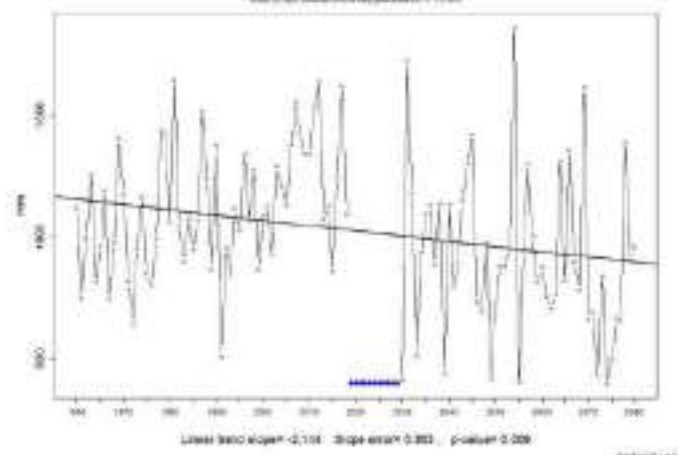
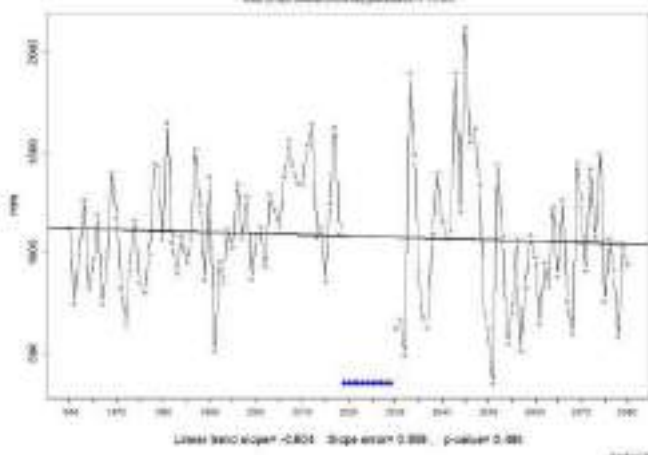
MonteCristi

MonteCristi



PuntaCana

PuntaCana

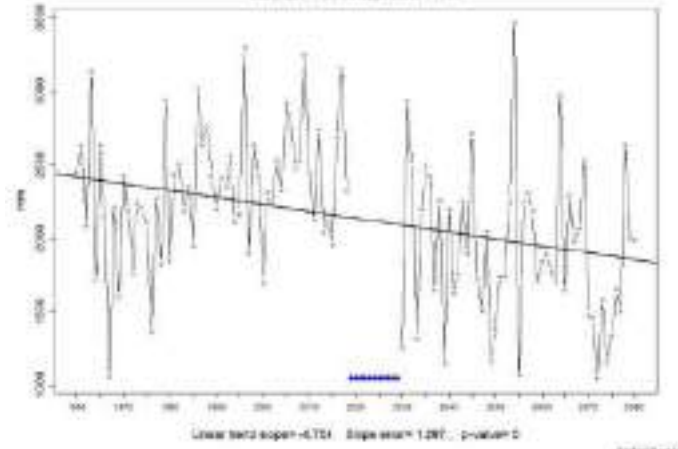
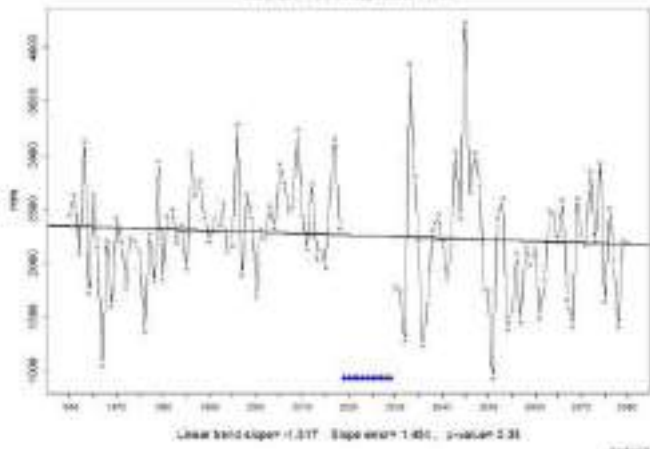


RCP 4.5

RCP8.5

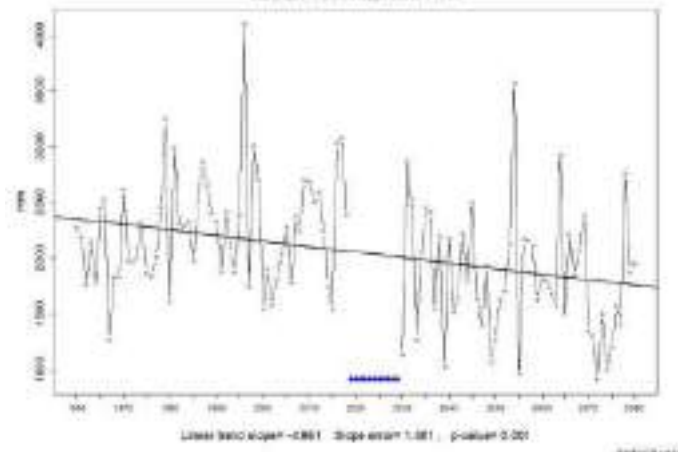
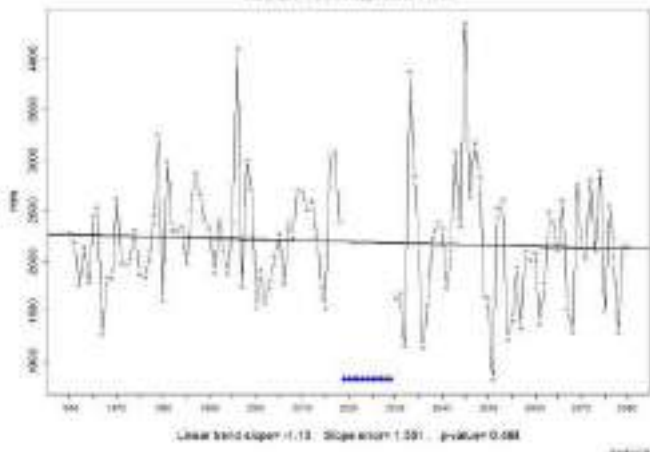
Samara

Samara



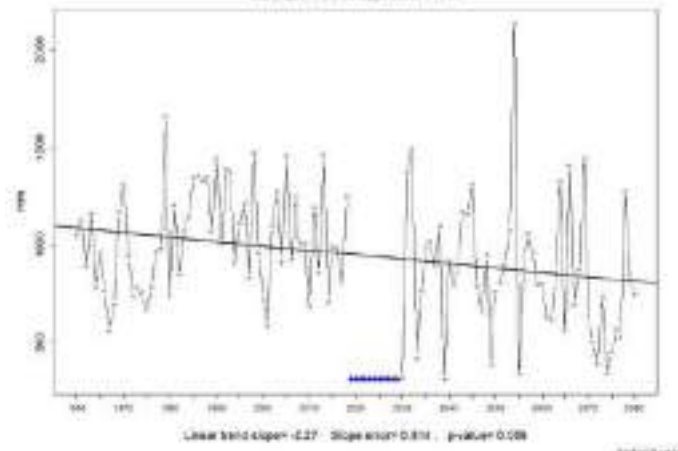
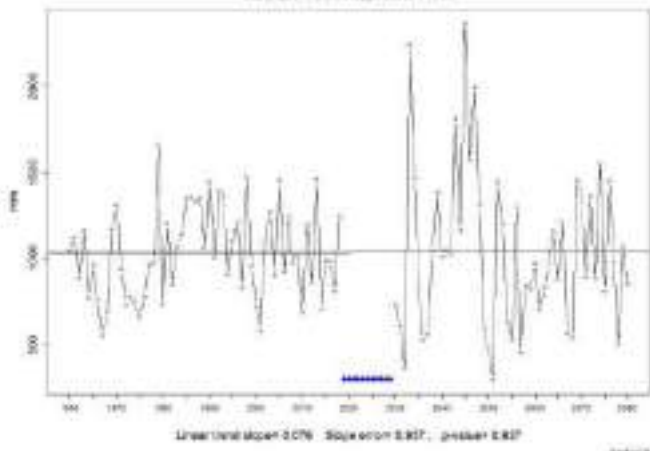
SMAR

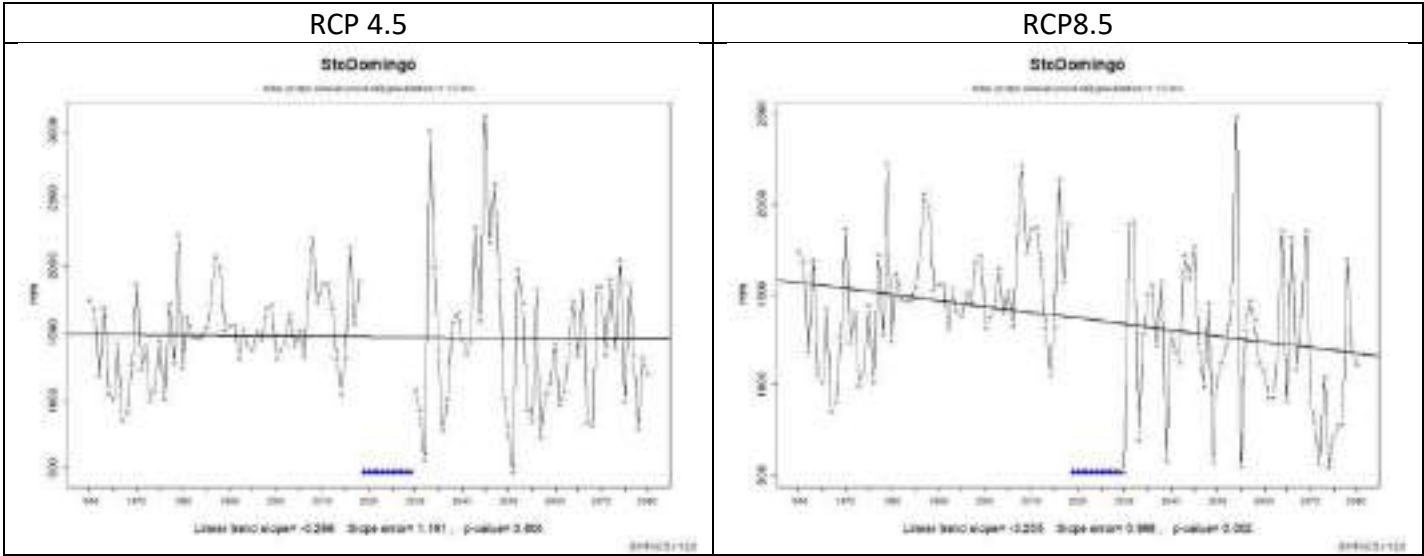
SMAR



SPM

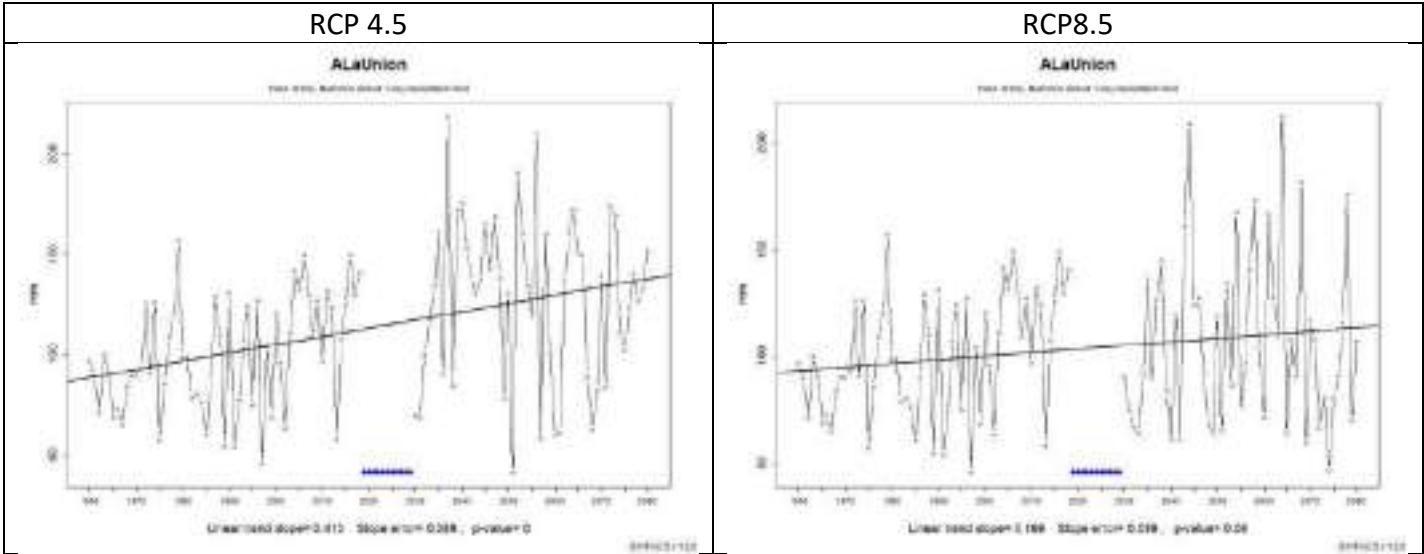
SPM





Máxima cantidad de precipitación registrada en un día (Rx1d). En el cuadro 7 se nota un aumento en la máxima cantidad de precipitación registrada en un día en ambos escenarios en casi todas las estaciones. Las estaciones en las cuales no se observa una marcada tendencia son Cabrera y Punta Cana. Un aspecto que llama la atención es que bajo el escenario RCP 4.5 en las estaciones donde se proyecta un aumento la magnitud del evento es siempre mayor que aquella proyectada en el escenario RCP8.5. La estación en la cual se observa el mayor aumento bajo el escenario RCP 4.5 es SPM con una pendiente de 0.713 lo cual constituye un incremento de 85mm registrado en un día, mientras que para el escenario RCP 8.5 la misma estación climática proyecta un aumento de pendiente de 0.389, lo cual implica un incremento de 46mm.

Cuadro 7. Gráficos comparativos de precipitación máxima en un día (Rx1d) desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5.y 8.5 por cada estación climática evaluada.

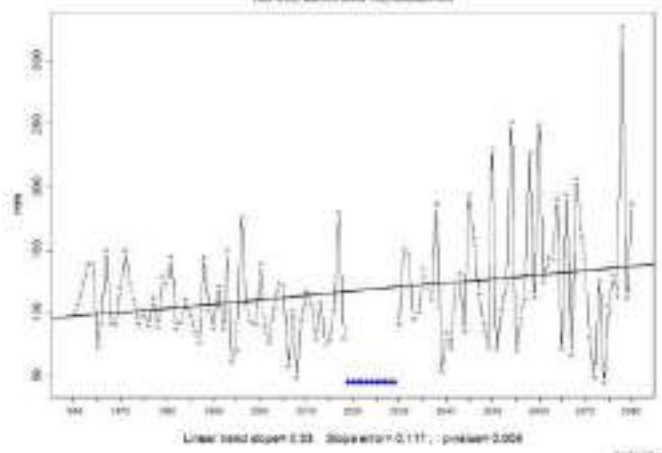
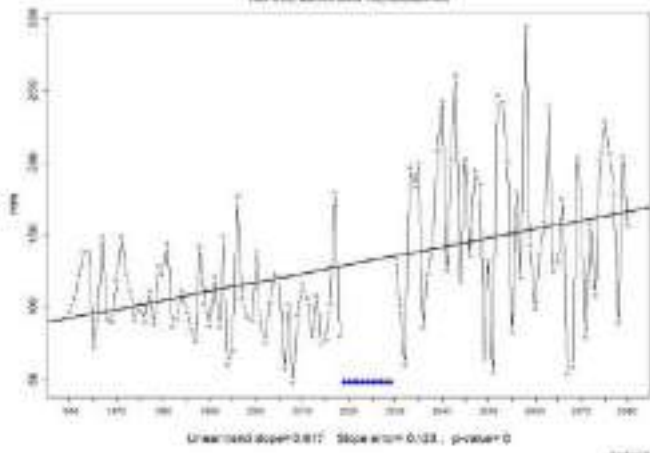


RCP 4.5

RCP8.5

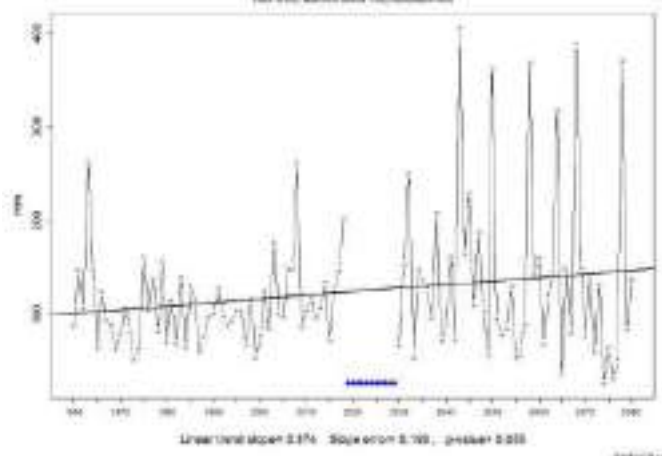
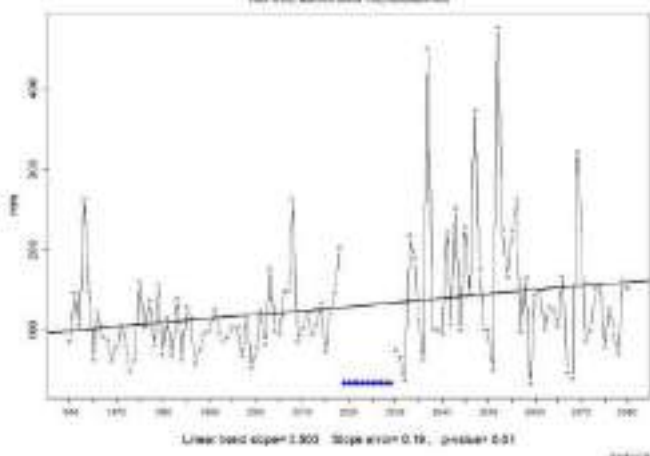
ArroyoBarril

ArroyoBarril



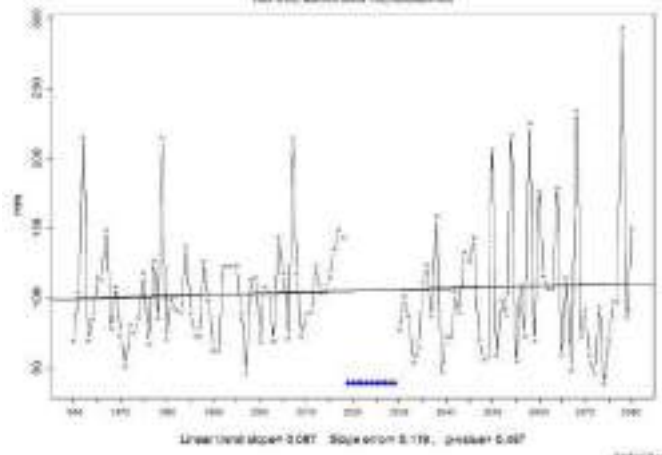
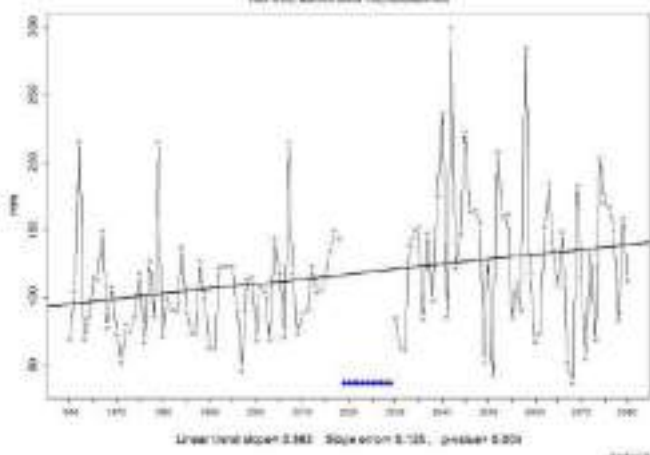
Barahona

Barahona



Cabrera

Cabrera

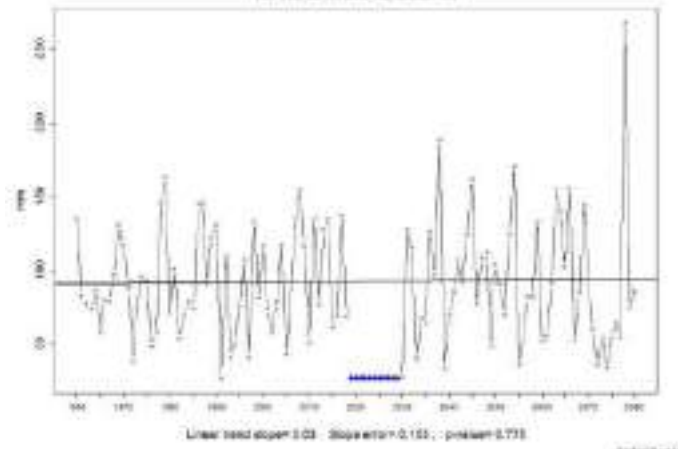
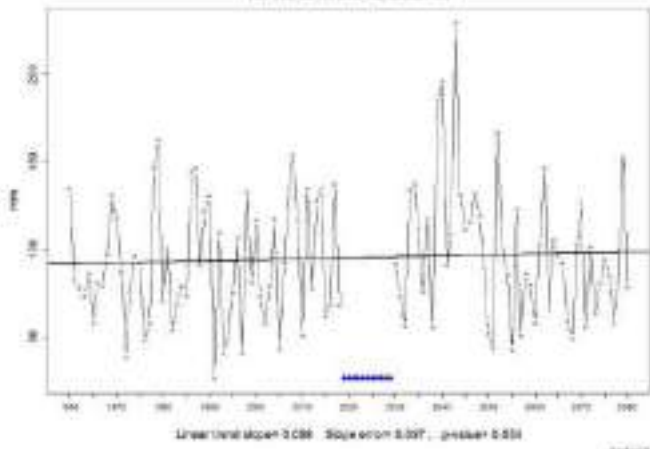


RCP 4.5

RCP8.5

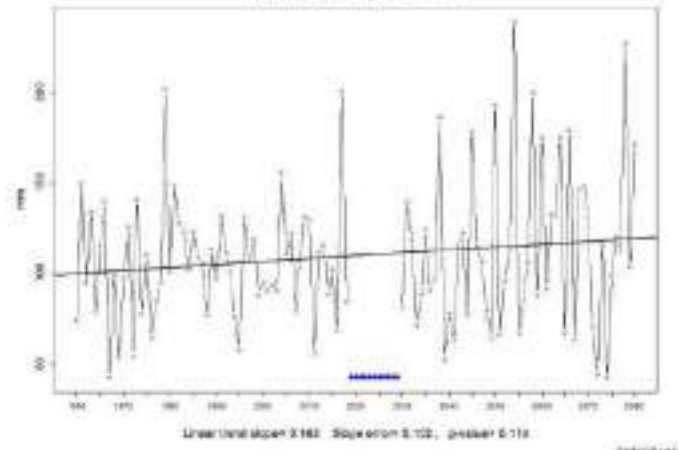
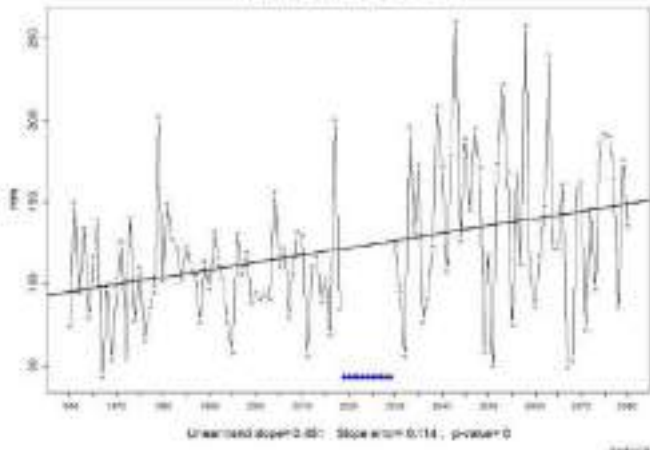
PuntaCana

PuntaCana



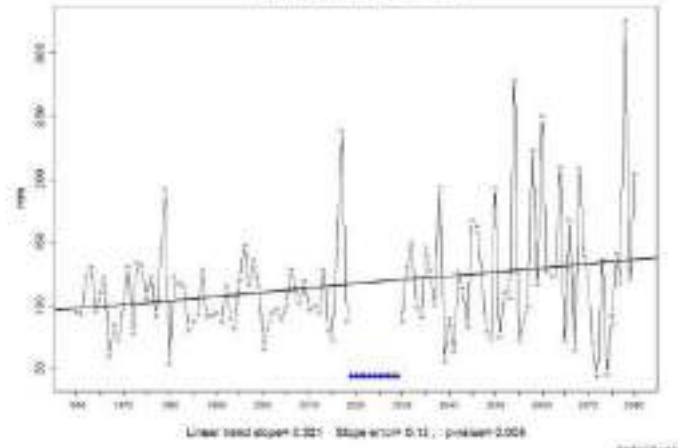
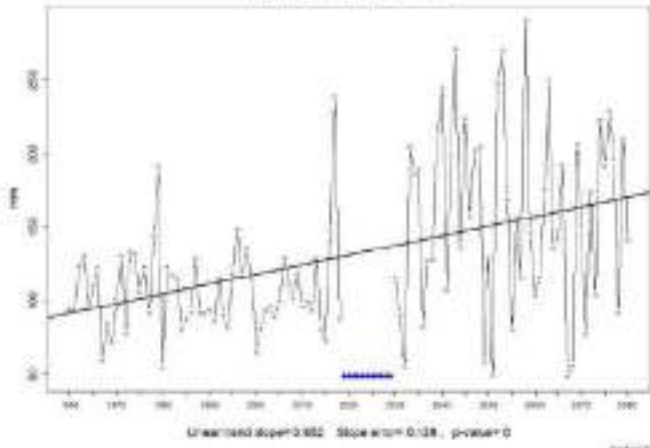
Samana

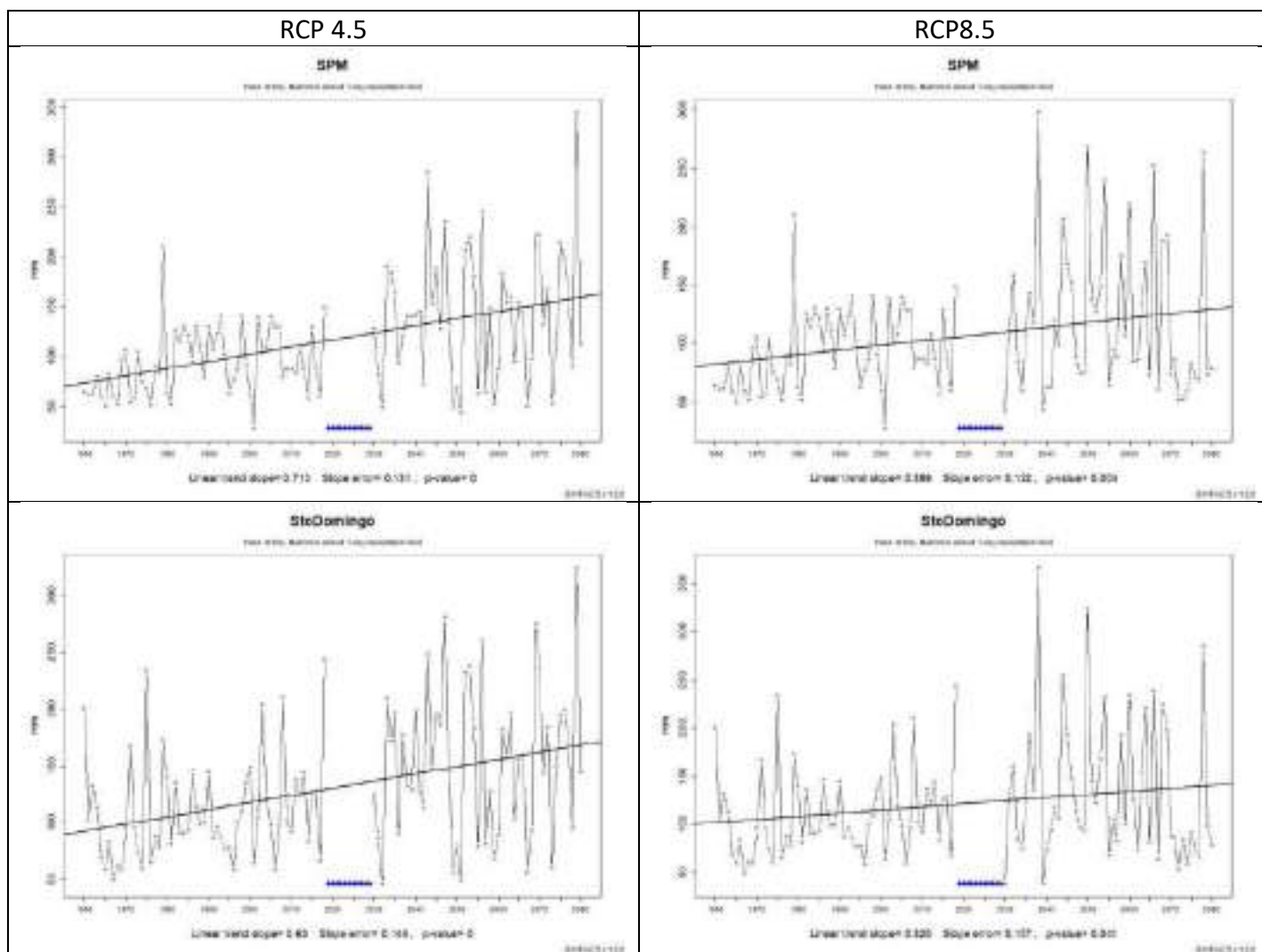
Samana



SMAR

SMAR





Máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos (Rx5d).

En el cuadro 8 se observa un aumento en la máxima cantidad de precipitación registrada en cinco días consecutivos bajo ambos escenarios en casi todas las estaciones. Al igual que en el índice anterior, llama la atención que en el escenario RCP 4.5 se proyecta un aumento en magnitud mayor que aquella proyectada en el escenario RCP8.5. La estación en la cual se observa el mayor aumento en el escenario RCP 4.5 son Arroyo Barril y SMAR, con una pendiente aproximada de 2.425, lo cual constituye un aumento de 291 mm acumulado en 5 días consecutivos de precipitación, mientras que para el escenario RCP 8.5 las mismas estaciones presentan una pendiente de 1.328, lo cual implica un incremento de 159 mm acumulado en 5 días consecutivos de precipitación.

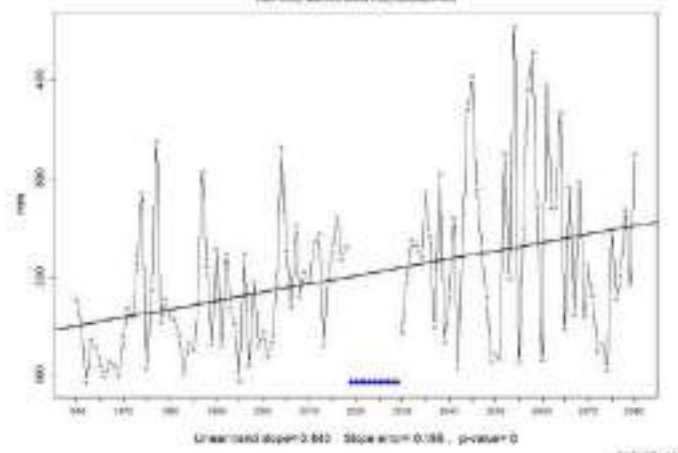
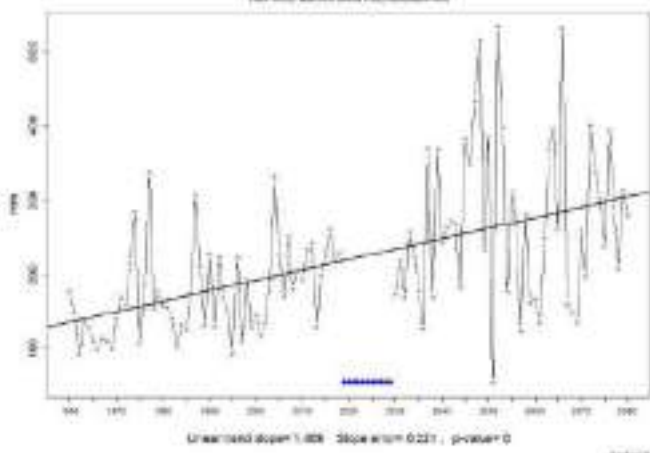
Cuadro 8. Gráficos comparativos de precipitación máxima acumulada en 5 días consecutivos desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5 por cada estación climática evaluada.

RCP 4.5

RCP8.5

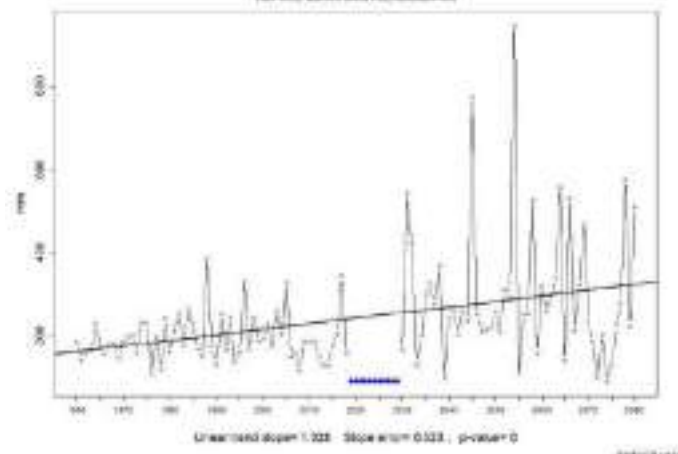
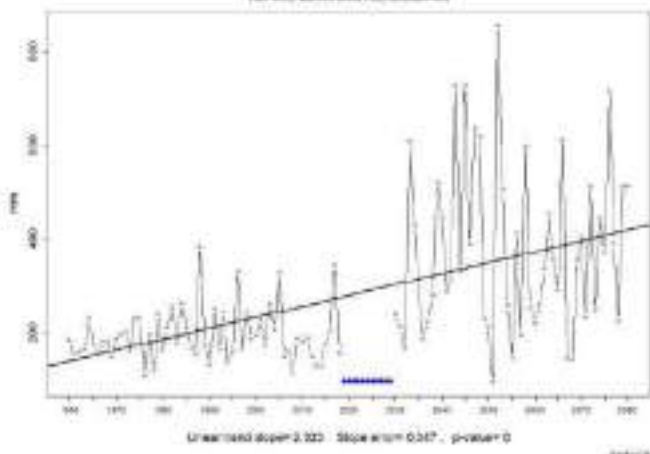
ALAUnion

ALAUnion



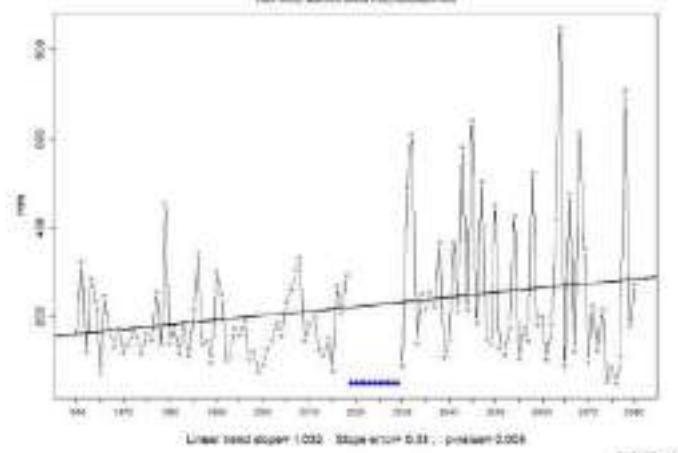
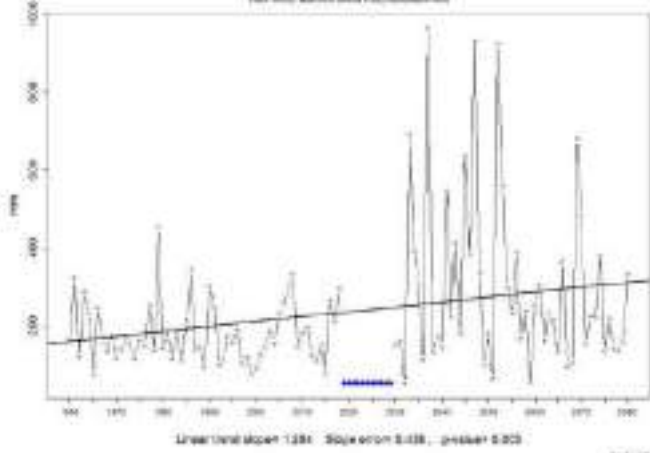
ArroyoBarril

ArroyoBarril



Barahona

Barahona

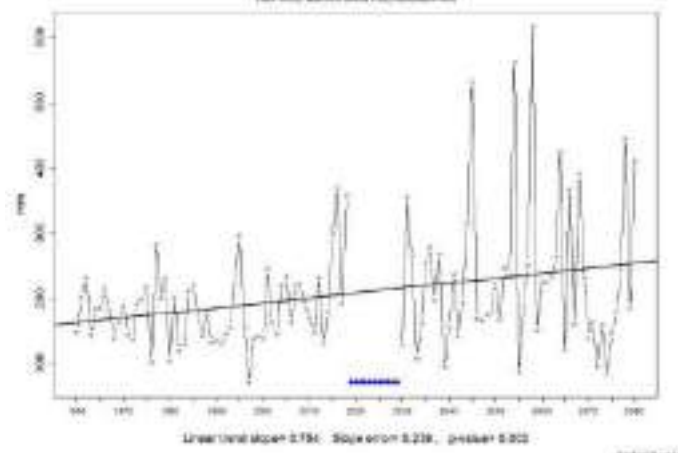
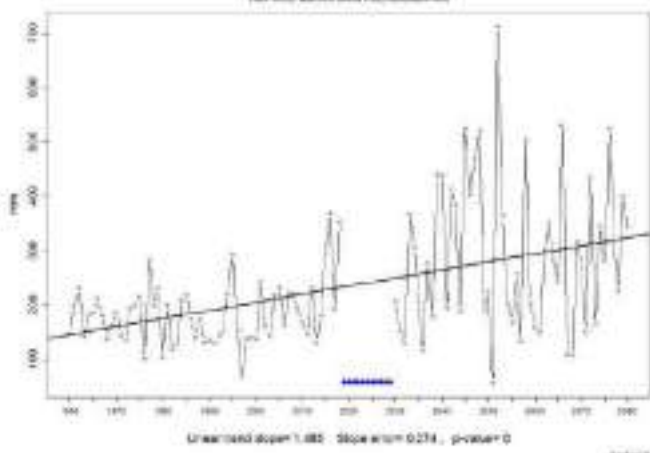


RCP 4.5

RCP8.5

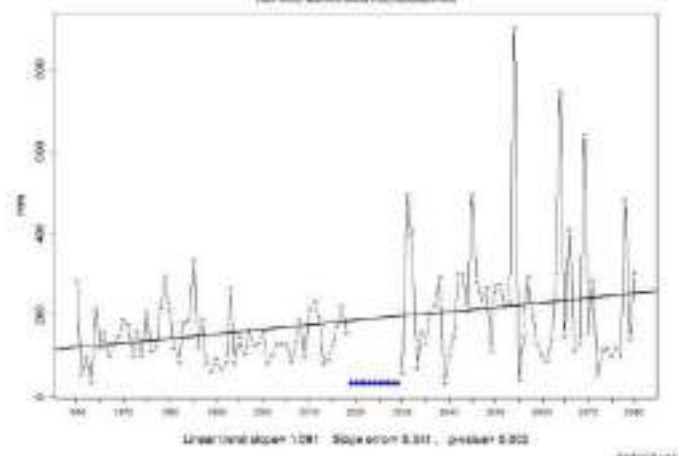
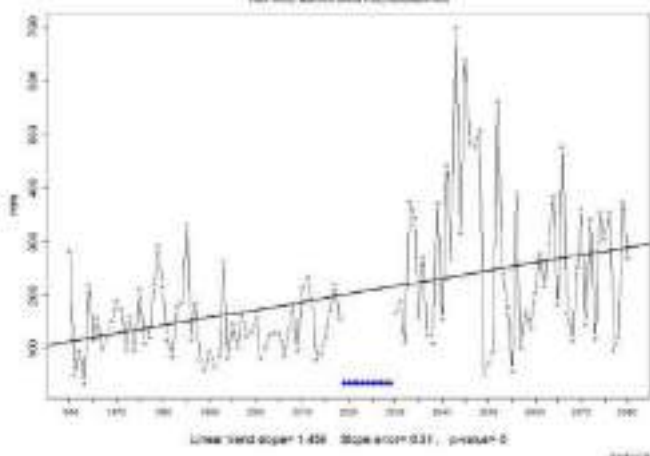
Cabrera

Cabrera



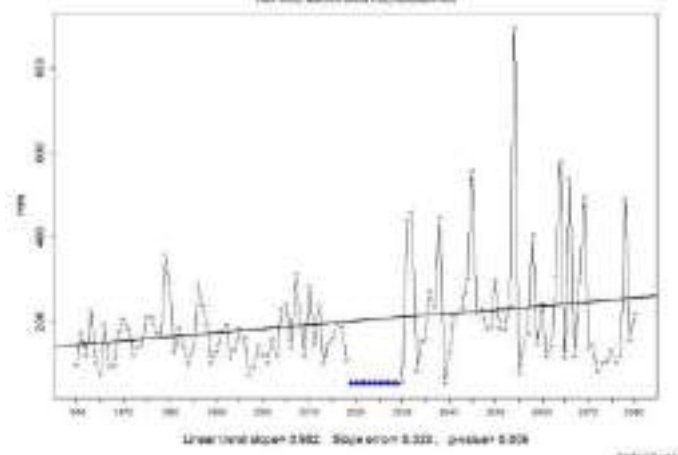
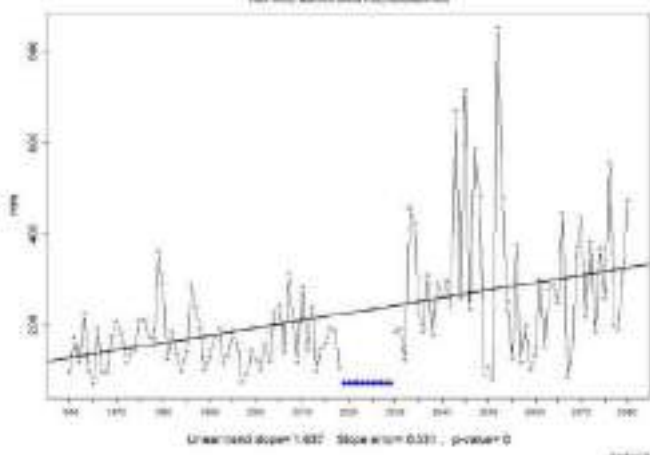
LaRomana

LaRomana



LasAmericas

LasAmericas

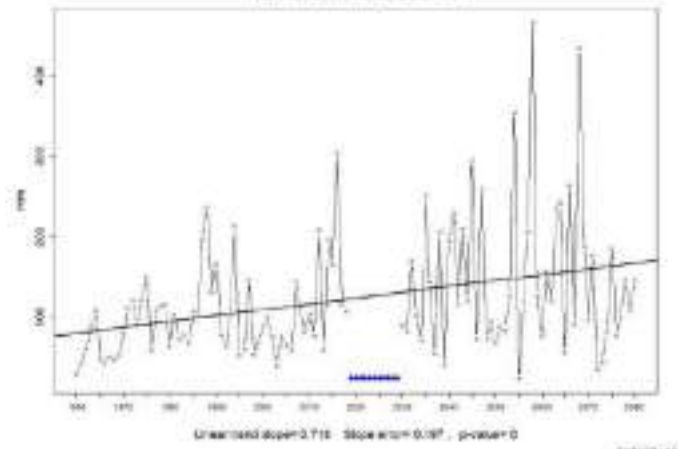
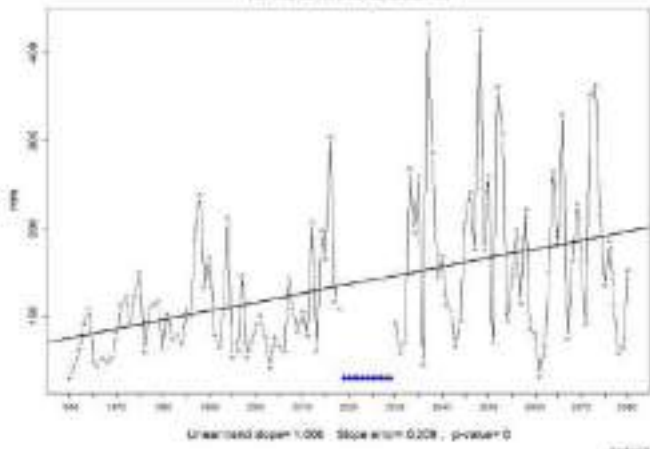


RCP 4.5

RCP8.5

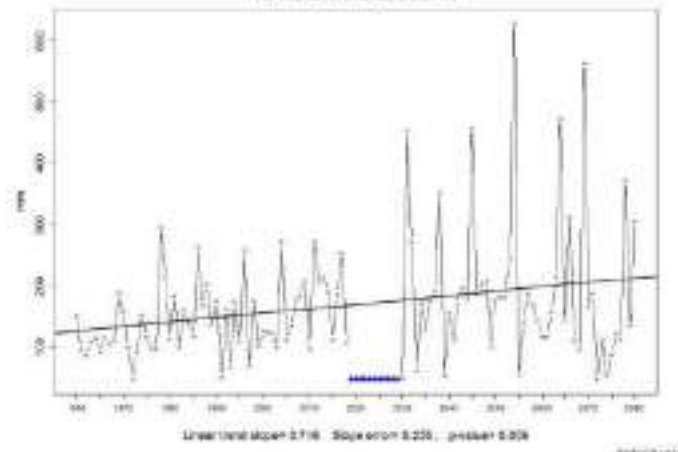
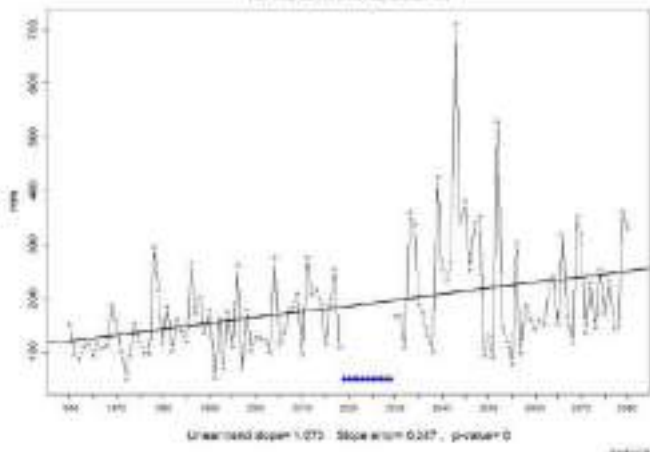
MonteCrist

MonteCrist



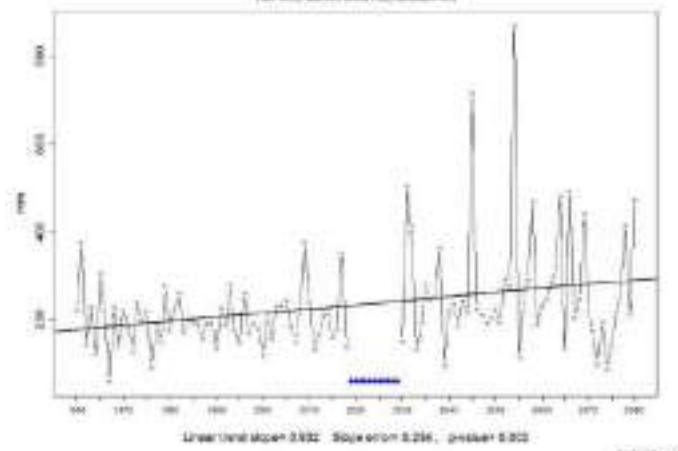
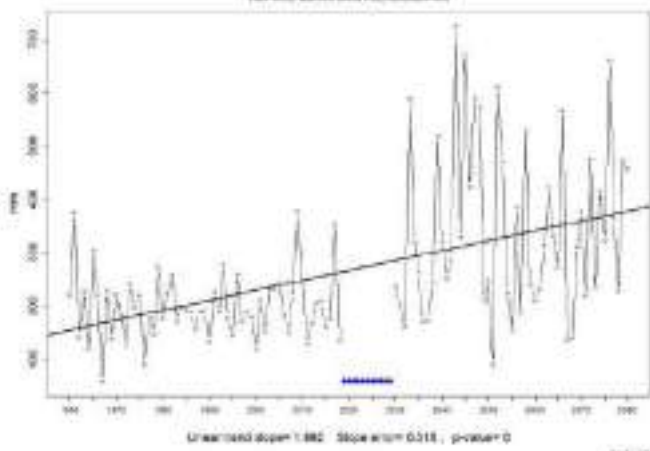
PuntaCana

PuntaCana



Samana

Samana

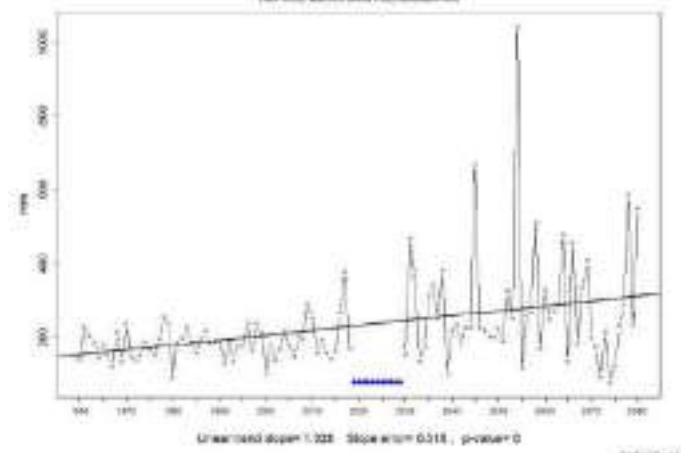
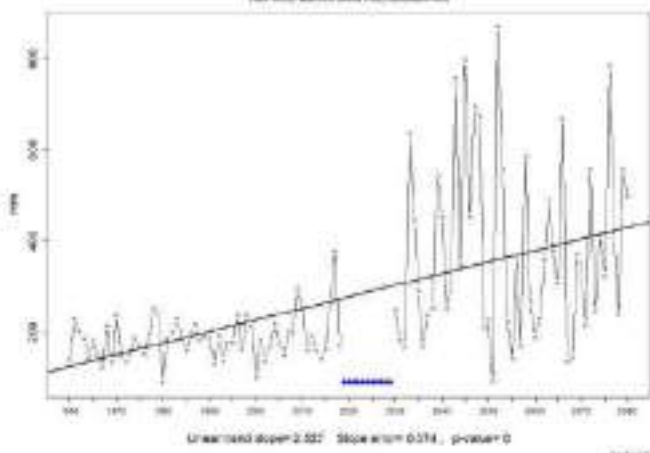


RCP 4.5

RCP8.5

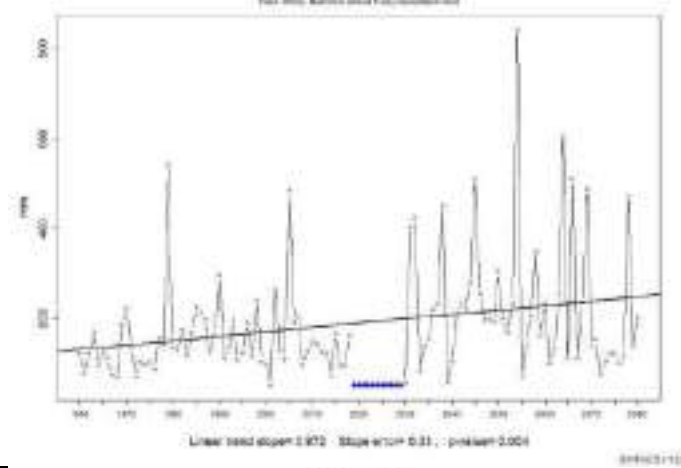
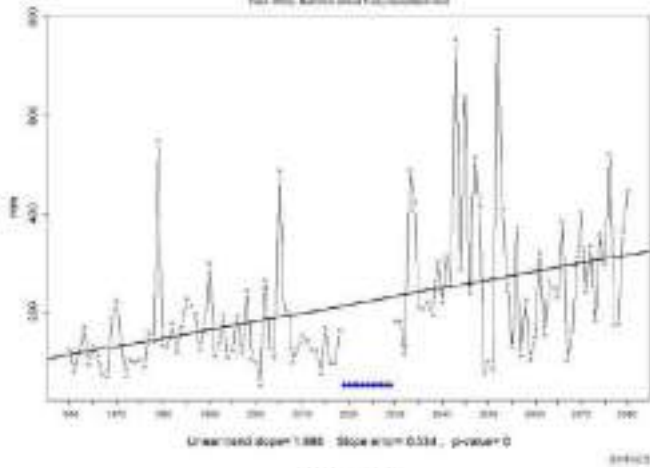
SMAR

SMAR



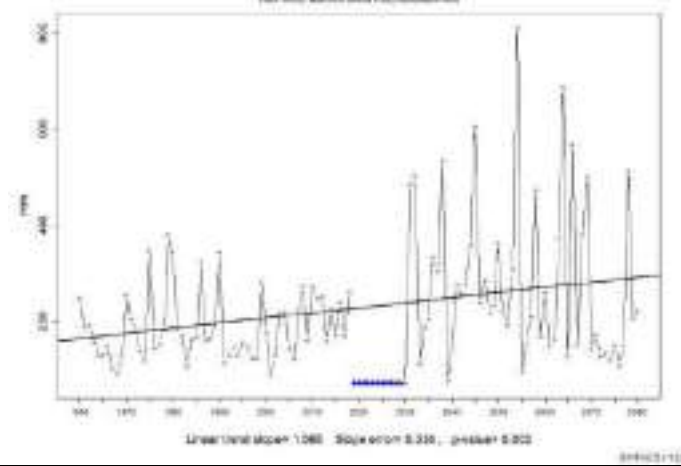
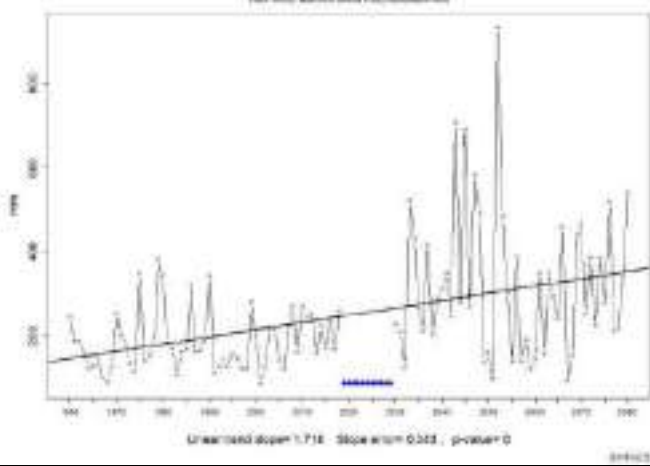
SPM

SPM



StoDomingo

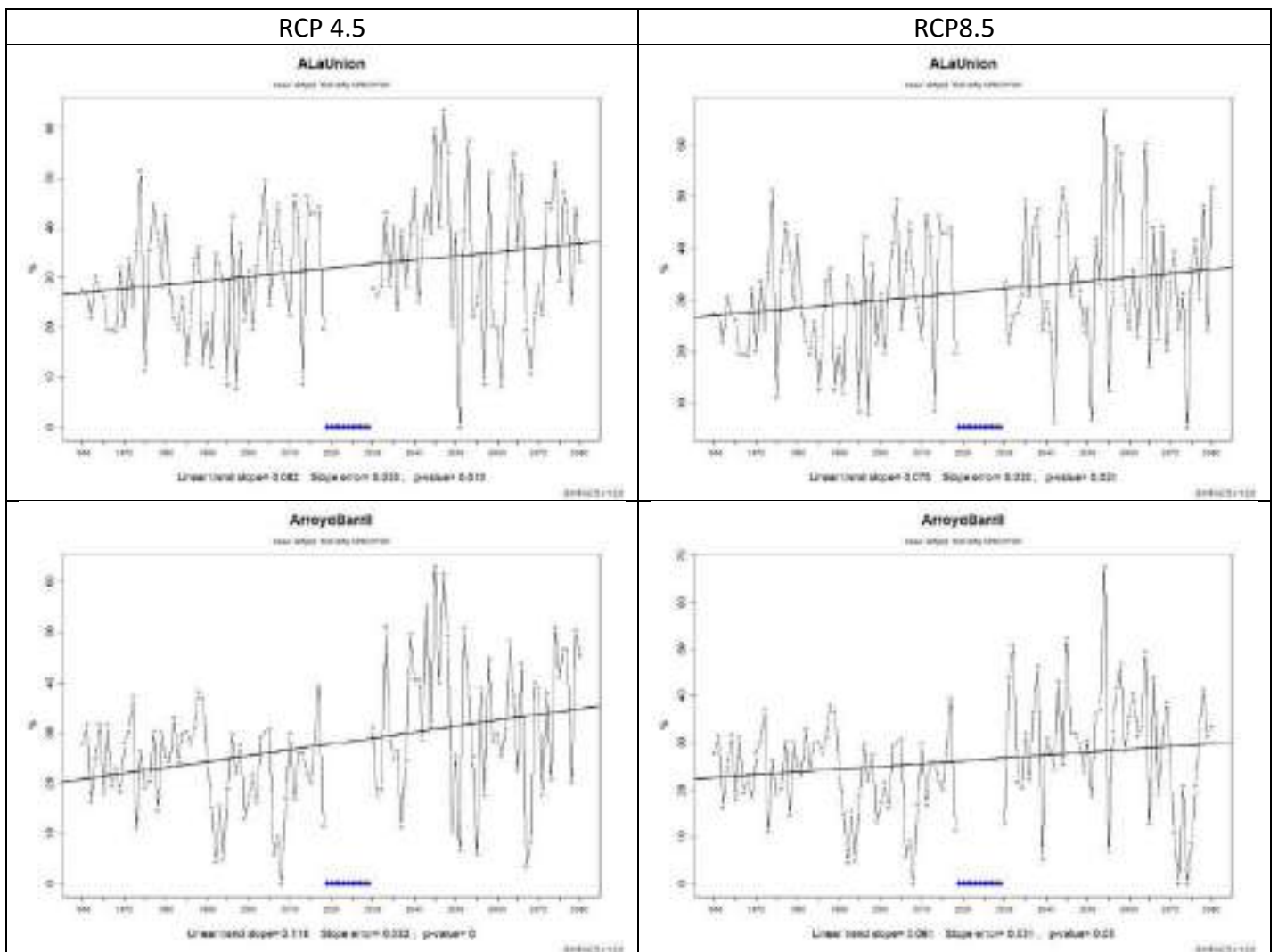
StoDomingo



Porcentaje del total de precipitación explicada por días muy húmedos (R95pTOT)

En el siguiente cuadro se observa un aumento en el porcentaje del total de precipitación explicada por días muy húmedos en ambos escenarios. Cabrera es la única estación que no muestra una tendencia clara en el escenario RCP 8.5. Al igual que los índices de precipitación presentados anteriormente, se observa un aumento mayor bajo el escenario RCP 4.5 que en el 8.5. Las estaciones que muestran los valores más altos de pendiente en el escenario RCP 4.5 son Barahona, La Romana, Las Américas, Monte Cristi y Santo Domingo con datos que van desde 0.173 hasta 0.179, lo cual implica un aumento de 21%; mientras que las mismas estaciones muestran pendientes que van desde 0.084 a 0.168 para el escenario RCP 8.5, lo cual significa un aumento de 10% a 20%.

Cuadro 9. Gráficos comparativos de R95pTOT desde 1960 hasta 2080 bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5 por cada estación climática evaluada.

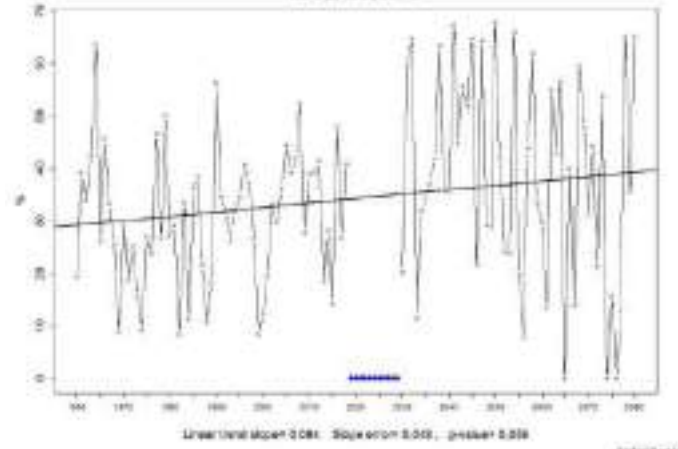
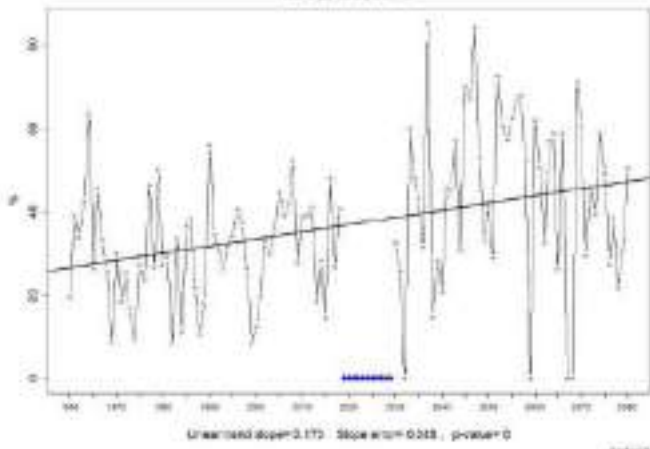


RCP 4.5

RCP8.5

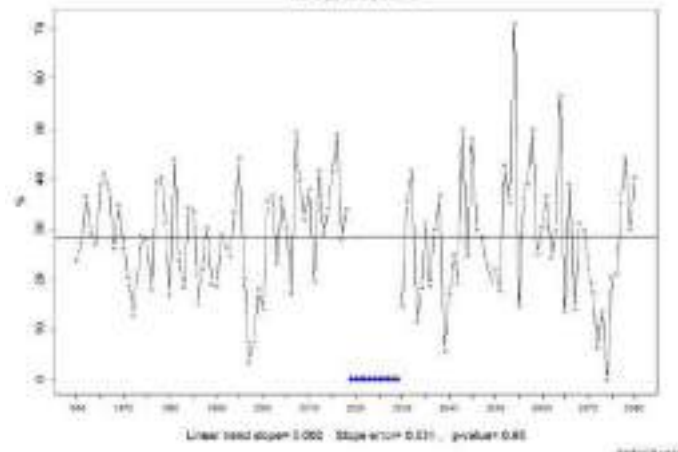
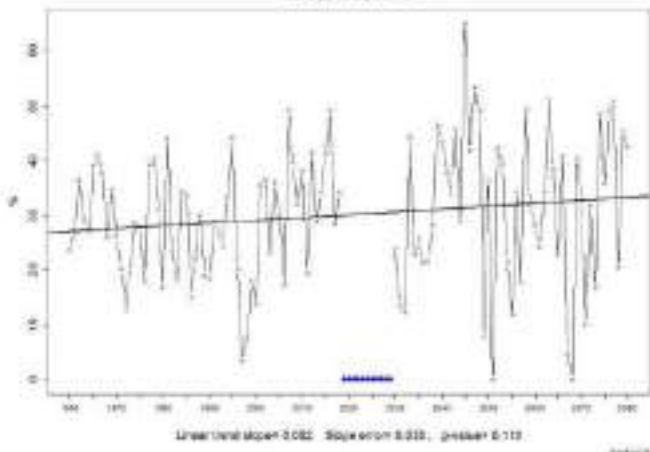
Barahona

Barahona



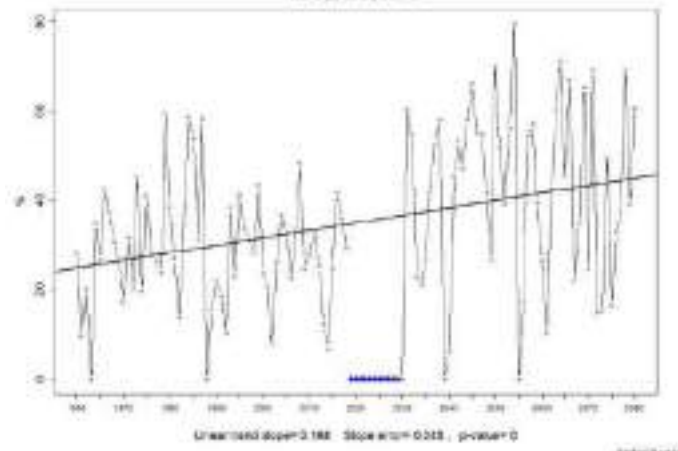
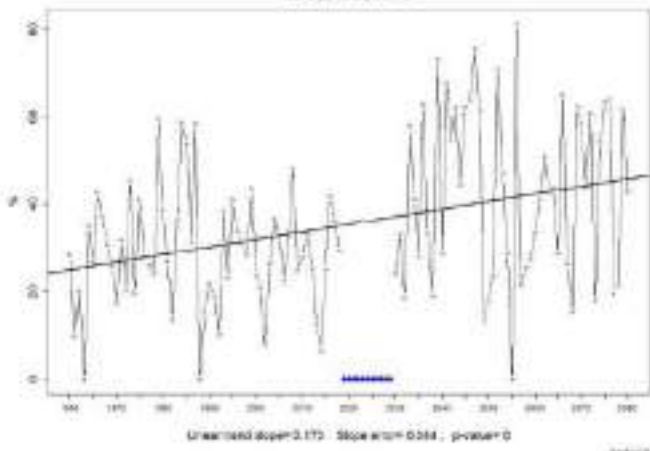
Cabrera

Cabrera



La Romana

La Romana

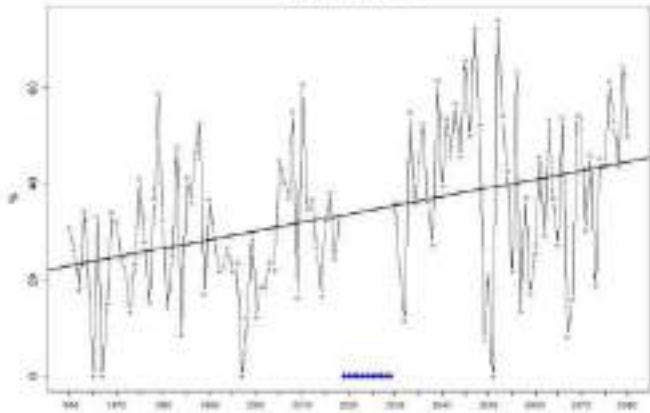


RCP 4.5

RCP8.5

LasAmericas

Real index: monthly (constant)

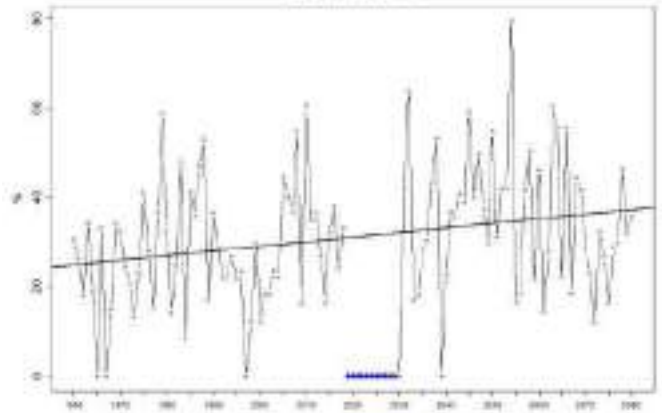


Unweighted slope: 0.175 Slope error: 0.011, p-value: 0

0000000000

LasAmericas

Real index: monthly (constant)

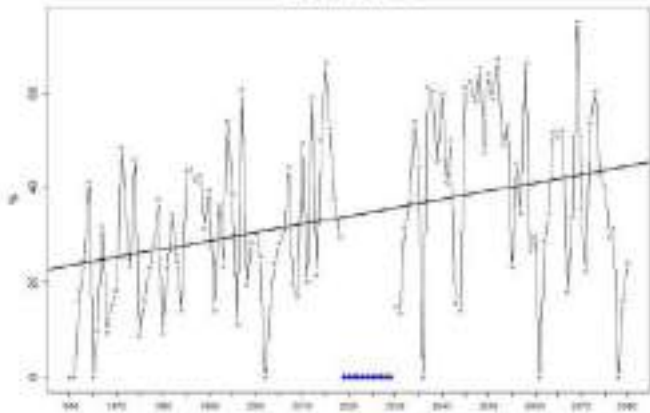


Unweighted slope: 0.104 Slope error: 0.028, p-value: 0.003

0000000000

MonteCristi

Real index: monthly (constant)

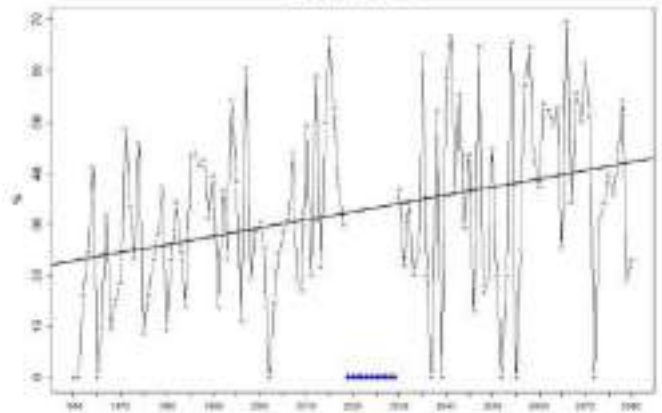


Unweighted slope: 0.175 Slope error: 0.013, p-value: 0

0000000000

MonteCristi

Real index: monthly (constant)

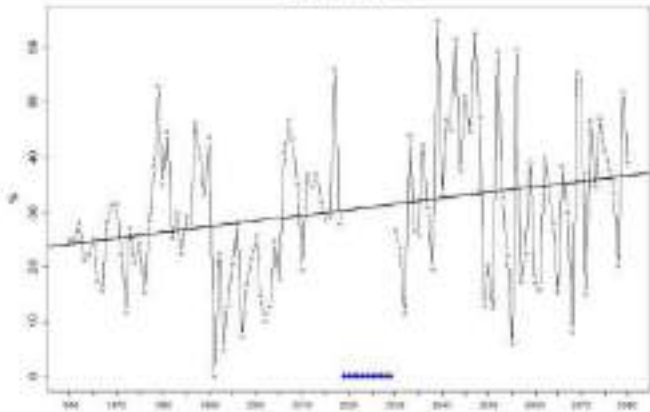


Unweighted slope: 0.181 Slope error: 0.025, p-value: 0.002

0000000000

PuntaCana

Real index: monthly (constant)

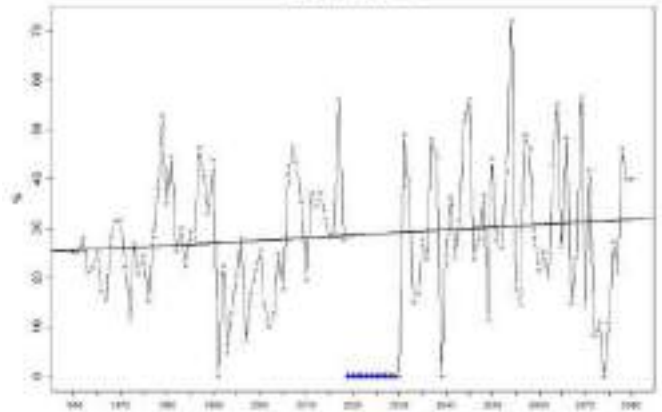


Unweighted slope: 0.194 Slope error: 0.028, p-value: 0.004

0000000000

PuntaCana

Real index: monthly (constant)



Unweighted slope: 0.082 Slope error: 0.036, p-value: 0.102

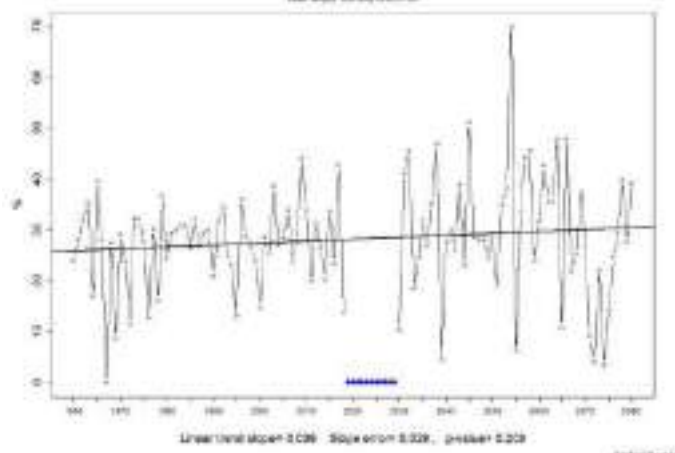
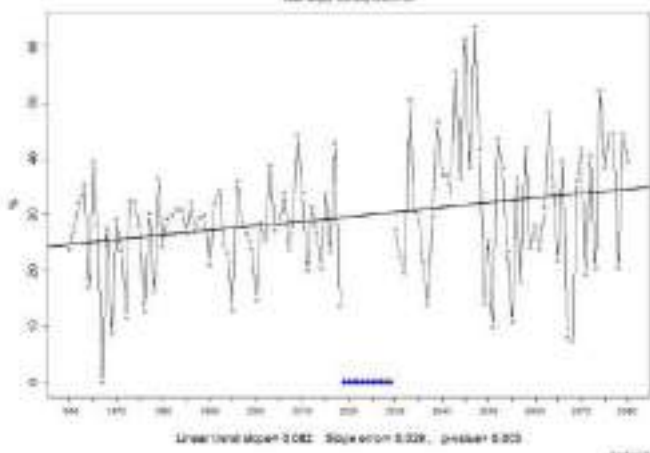
0000000000

RCP 4.5

RCP8.5

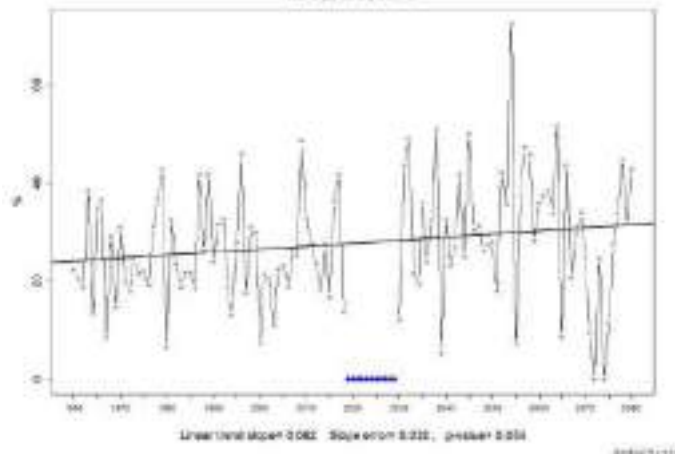
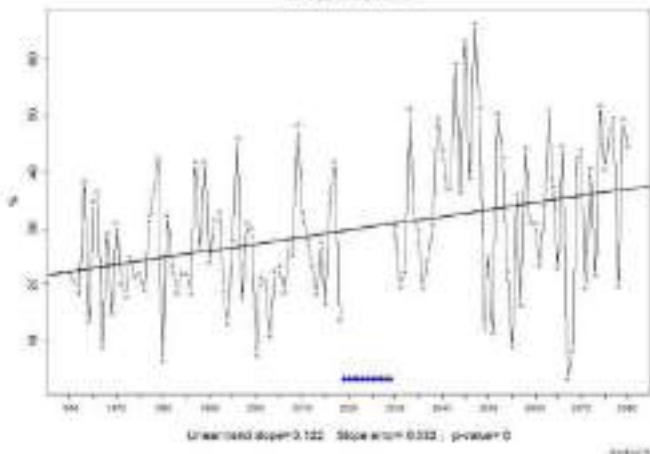
Samara

Samara



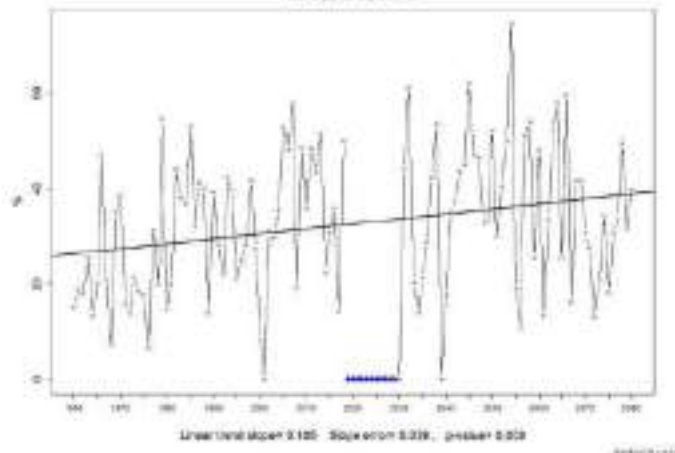
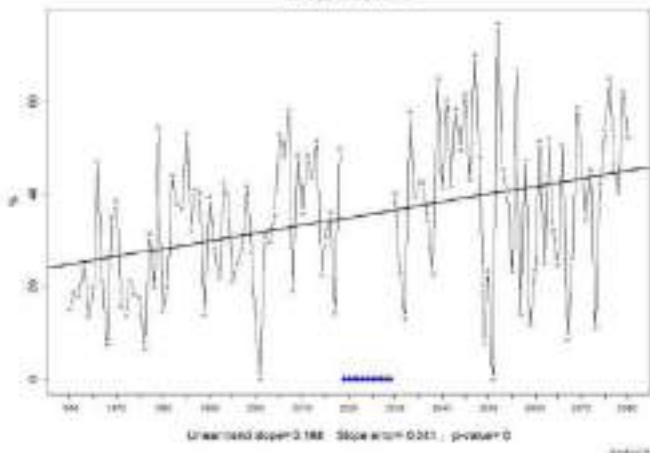
SMAR

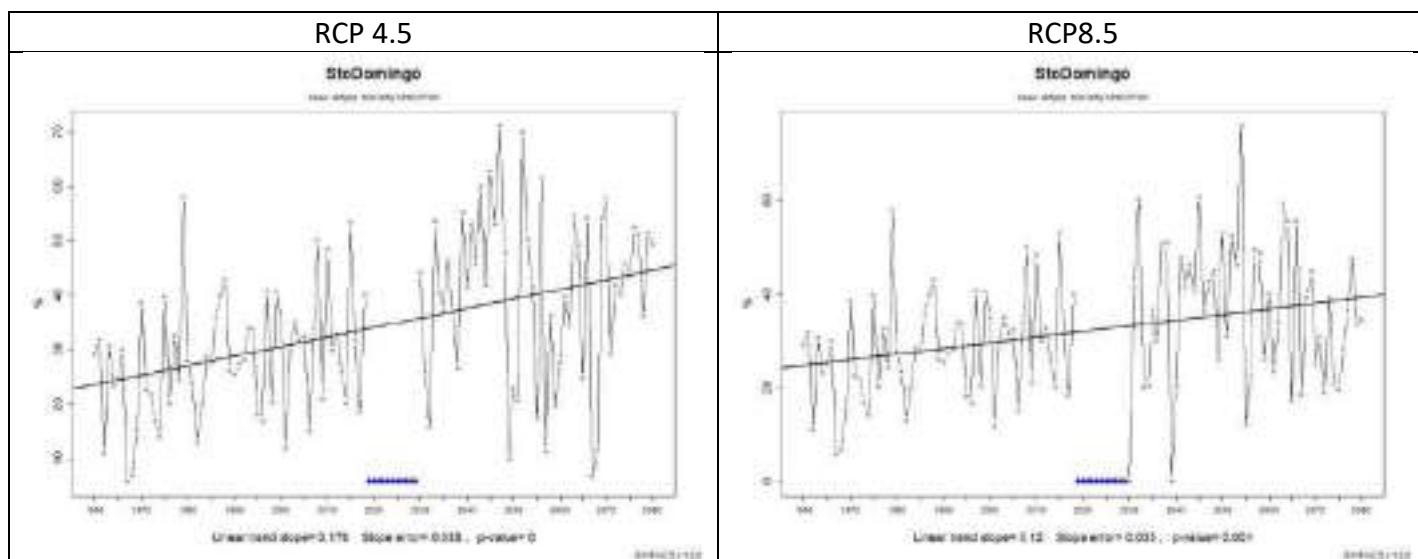
SMAR



SPM

SPM





Resumen de tendencias de índices climáticos extremos - escenario RCP45

En el cuadro 10 se puede observar las tendencias de los índices climáticos extremos bajo el escenario RCP 4.5, las flechas que se observan en el cuadro tratan de representar la dirección y magnitud en la tendencia de cada índice, respecto a la década anterior.

Cuadro 10. Tendencias de los índices climáticos extremos por décadas en el escenario RCP 4.5.

Periodo	Rx1d (mm)	Rx5d (mm)	r95ptot (%)	tn10 (%)	tn90 (%)	tx10 (%)	tx90 (%)
2030-2039	126.81	260.94	34.78	3.68	29.21	2.53	39.95
2040-2049	157.39↑	365.61↑	46.87↑	3.73↑	30.88↑	1.98↓	40.96↑
2050-2059	136.53↓	269.91↓	37.90↓	2.08↓	39.73↑	0.82↓	58.03↓
2060-2069	123.38↓	248.82↓	35.66↓	2.22↑	39.58↓	0.72↓	56.60↓
2070-2079	134.68↑	278.32↑	19.05↓	3.00↑	37.14↓	1.35↑	50.71↓

En el cuadro 11 se puede observar la distribución geográfica de los índices bajo este escenario.

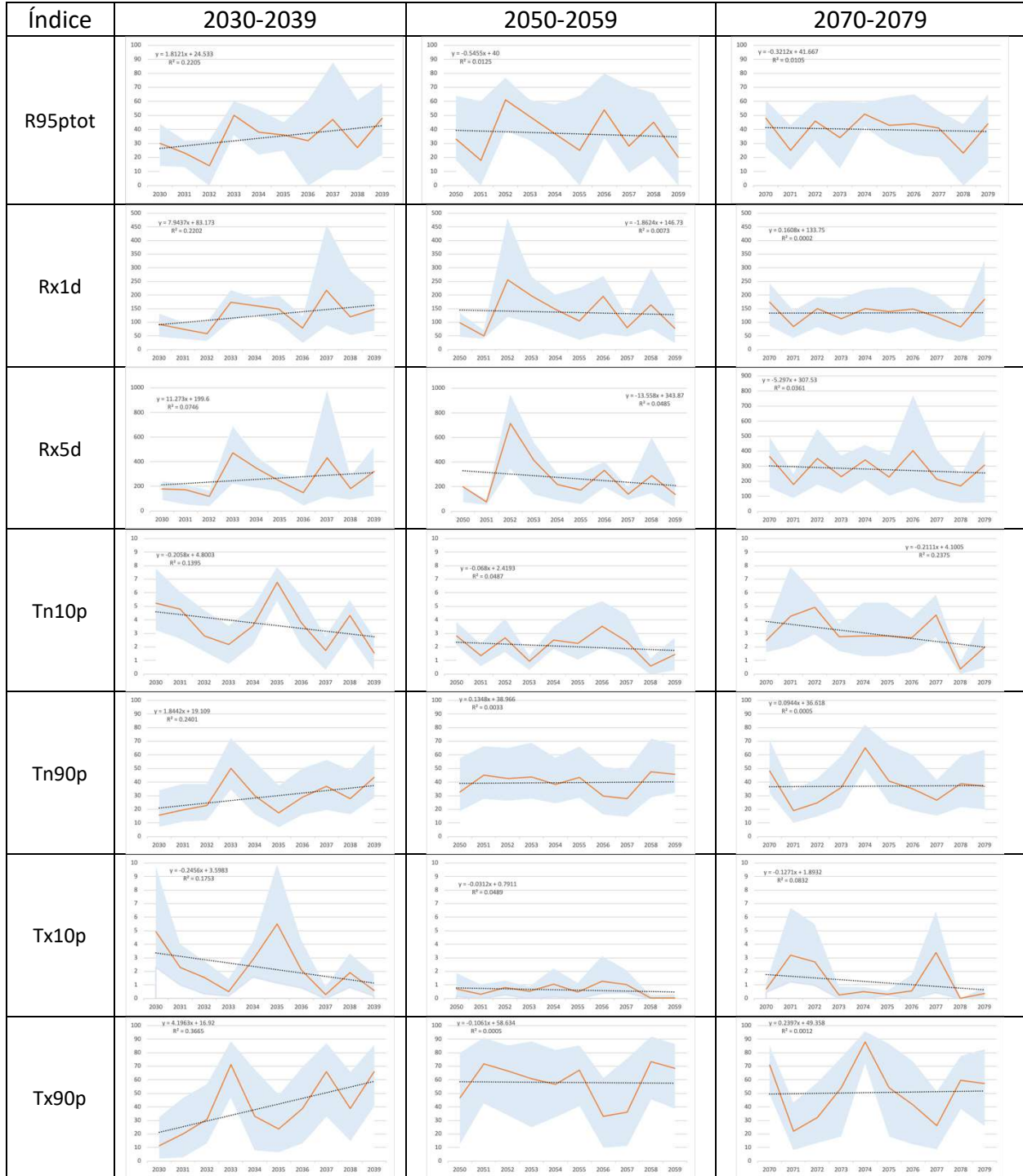
Cuadro 11. Mapas de distribución geográfica de los índices climáticos extremos por décadas en el escenario RCP 4.5.

2030-2039	2040-2049	2050-2059
2060-2069	2070-2079	Simbología

En el cuadro 12 se muestra los gráficos de tendencias para las décadas 2030-2039, 2050-2059 y 2070-2079, respectivamente para el escenario RCP 4.5. En la primera década (2030`s) se

observan las pendientes de mayor magnitud en cada uno de los índices. Los índices Tn10p y Tx10p no sufren grandes cambios debido a que la magnitud es baja en todos los años.

Cuadro 12. Gráficos de tendencias de los índices climáticos extremos para las décadas 2030s, 2050s y 2070s para el escenario RCP 4.5.



Resumen de tendencias de índices climáticos extremos - escenario RCP85

En el cuadro 13 se puede observar las tendencias de los índices climáticos extremos bajo el escenario RCP 8.5, las flechas que se observan en el cuadro tratan de representar la dirección y magnitud en la tendencia de cada índice, respecto a la década anterior.

Cuadro 13. Tendencias de los índices climáticos extremos por décadas en el escenario RCP 4.5.

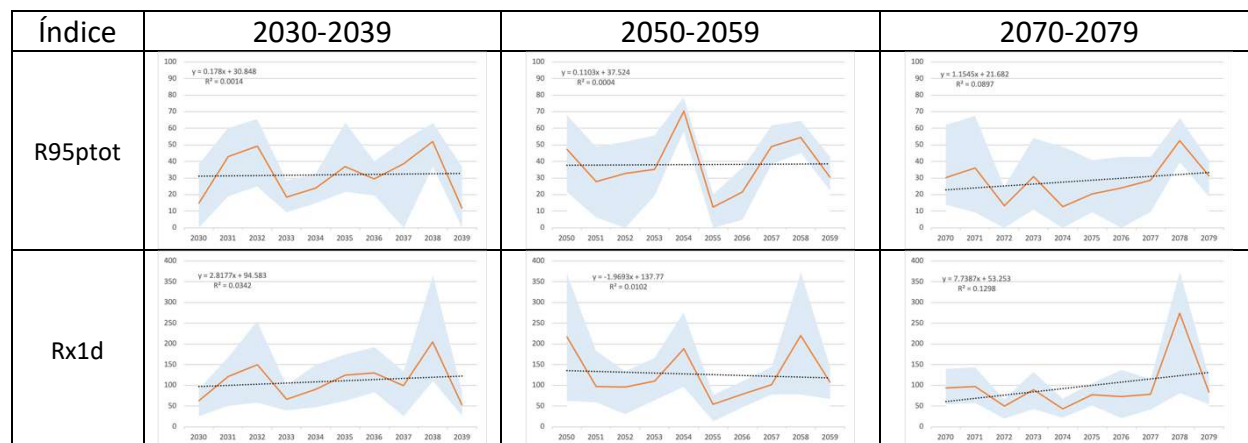
Periodo	Rx1d (mm)	Rx5d (mm)	r95ptot (%)	tn10 (%)	tn90 (%)	tx10 (%)	tx90 (%)
2030-2039	112.03	231.14	32.80	3.48	28.16	2.37	35.75
2040-2049	131.32↑	252.78↑	38.18↑	2.16↓	40.58↑	0.69↓	56.37↑
2050-2059	126.93↓	259.45↑	38.22↓	1.24↓	50.84↑	0.03↓	70.87↑
2060-2069	136.88↑	285.90↑	37.32↓	1.00↓	60.42↑	0.00	81.40↑
2070-2079	95.79↓	173.04↓	28.95↓	0.86↓	64.45↑	0.00	84.22↑

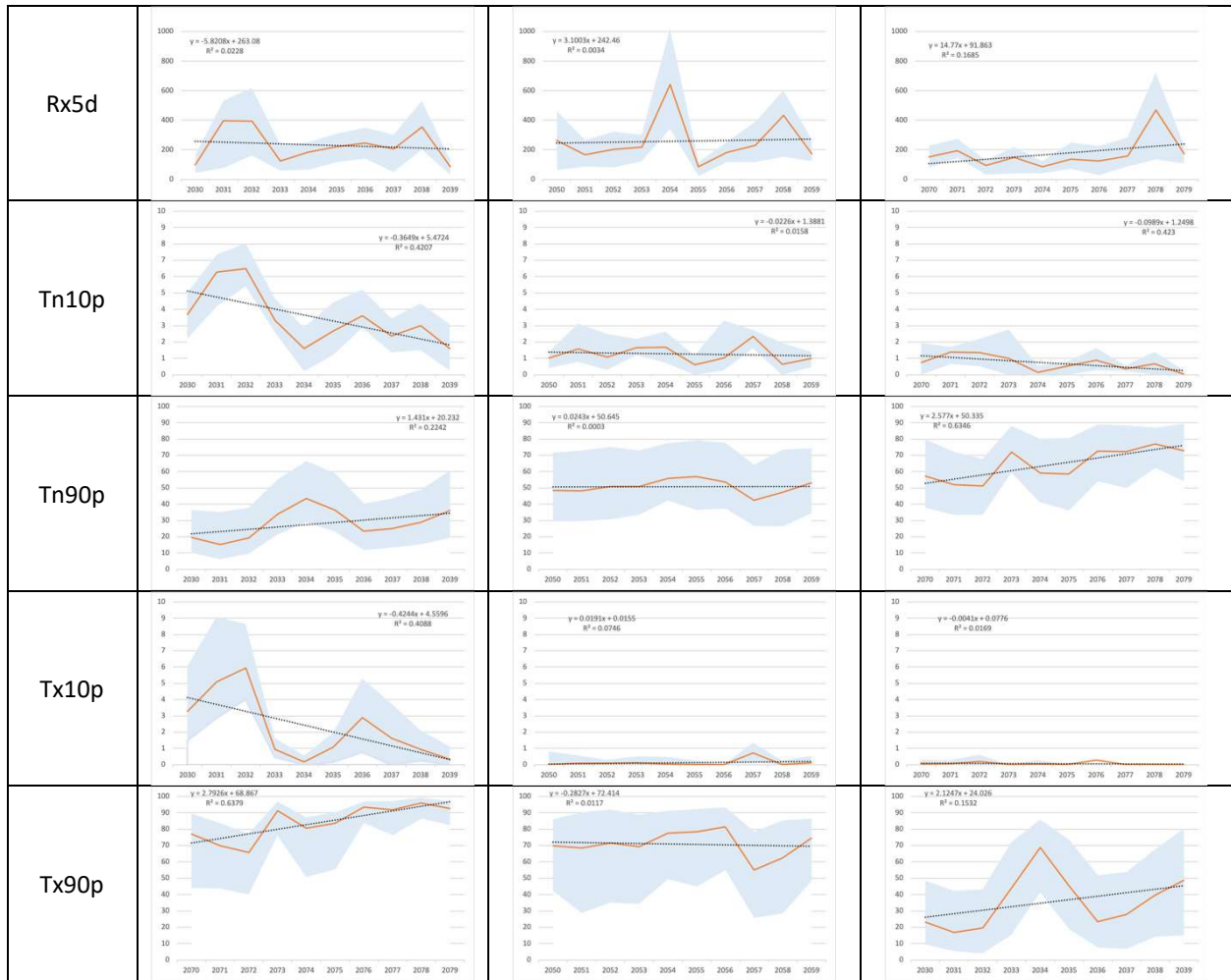
Cuadro 14. Mapas de distribución geográfica de los índices climáticos extremos por décadas en el escenario RCP 8.5.

2030-2039	2040-2049	2050-2059
2060-2069	2070-2079	Simbología

En el cuadro 15 se muestra los gráficos de tendencias para las décadas 2030-2039, 2050-2059 y 2070-2079, respectivamente para el escenario RCP 8.5. Al igual que en el escenario RCP 4.5, los índices Tn10p y Tx10p no sufre grandes cambios, debido a que los valores son muy bajos, sobre todo en las décadas 2050-2059 y 2070-2079.

Cuadro 15. Gráficos de tendencias de los índices climáticos extremos para las décadas 2030s, 2050s y 2070s para el escenario RCP 8.5.

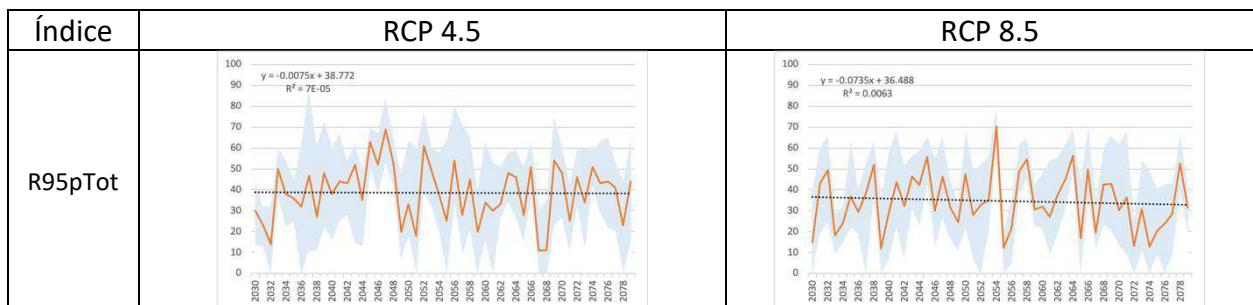




Comparación de escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el periodo 2030-2080.

En el siguiente cuadro se puede observar la comparación de los escenarios RCP 4.5 y 8.5 por índice climático extremo. Los índices de precipitación no muestran una tendencia clara y marcada. Por el contrario, los índices de temperatura muestran marcadas tendencias siendo el escenario RCP 8.5 el que siempre exhibe una magnitud mayor que el escenario RCP 4.5.

Cuadro 16. Gráficos de tendencias de los índices climáticos extremos para las décadas 2030s, 2050s y 2070s para el escenario RCP 4.5.



Índice	RCP 4.5	RCP 8.5
Rx1d	<p>$y = -0.1263x + 138.96$ $R^2 = 0.0015$</p>	<p>$y = -0.0061x + 117.67$ $R^2 = 3E-06$</p>
Rx5d	<p>$y = -0.746x + 303.61$ $R^2 = 0.0064$</p>	<p>$y = -0.5797x + 255.25$ $R^2 = 0.0042$</p>
Tn10p	<p>$y = -0.0322x + 3.7507$ $R^2 = 0.114$</p>	<p>$y = -0.0694x + 3.5372$ $R^2 = 0.5705$</p>
Tn90p	<p>$y = 0.2657x + 28.535$ $R^2 = 0.1341$</p>	<p>$y = 0.9251x + 25.287$ $R^2 = 0.763$</p>
Tx10p	<p>$y = -0.037x + 2.2493$ $R^2 = 0.173$</p>	<p>$y = -0.0489x + 1.8637$ $R^2 = 0.3437$</p>
Tx90p	<p>$y = 0.41x + 38.808$ $R^2 = 0.1034$</p>	<p>$y = 1.1992x + 35.133$ $R^2 = 0.6801$</p>

Anexo 1. Archivos generados para la creación de mapas y gráficos.

Archivos	Descripción	Acceso
Shapefiles de proyecciones	Siete archivos shapefiles que contienen información de los índices climáticos extremos para cada escenario de cambio climático RCP 4.5 y 8.5	https://drive.google.com/drive/folders/19PiC30C737cGURvC6NKBVGTYaDbwuudV?usp=sharing
Excel	Un archivo .xlsx que contienen información de los índices climáticos por década para generar los gráficos de tendencia.	https://drive.google.com/file/d/16lhX_uXhu3W06XFzI5dmE_snvHwQqF7g/view?usp=sharing