



PROGRAMA DE CAMBIO CLIMÁTICO Y CALIDAD DE AIRE

## ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PERÚ AL 2050

Cuenca del Río Piura



Servicio Nacional de Meteorología y  
Climatología  
Embajada Real de los Países Bajos

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

Segunda edición: octubre de 2005

## Equipo Técnico

Coordinación General  
Mayor FAP Juan Coronado Lara

Coordinación Local  
Gabriela Rosas

Equipo Escenarios Climáticos  
Amelia Díaz  
Ángel Cornejo  
Clara Oria  
Delia Acuña  
Gabriela Rosas  
Gonzalo Fano  
Grinia Avalos  
Luis Metzger  
Mauricio Carrillo

Equipo SIG  
Ever Castillo  
Carmen Vassallo  
Guillermo Tataje  
Oscar Barrenechea

Infraestructura del Sistema Computacional  
Richard Miguel

Revisión  
Ph. D. Eugenia Kalnay  
University of Maryland - UMD, USA

Asesoría  
Ph. D. Nicholas Graham  
Hydrological Research Center - HRC, USA  
M Sc. Ángel Cornejo  
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología -SENAMHI, Perú

Edición  
Grinia Avalos

Asistentes de edición  
Cristina Amiel  
Clara Oria  
Jenny Roca

Diseño  
Juan Ulloa  
Cristina Amiel

*Esta publicación fue elaborada y financiada por el SENAMHI con aportes de la Embajada Real de los Países Bajos, a través del Programa Nacional de Fortalecimiento de Capacidades para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire - PROCLIM*

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA**

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<i>Agradecimiento</i>	<i>x</i>
<i>Resumen Ejecutivo</i>	<i>xii</i>
<i>Resumen General</i>	<i>xvii</i>
<b>CAPITULO I – INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1 El cambio climático	2
1.2 Bases teóricas del cambio climático global	3
1.3 Los sistemas acoplados	4
1.4 Formas de variabilidad natural	5
1.5 El Niño Oscilación del Sur (ENOS)	6
1.6 Cambios en la circulación atmosférica en el Pacífico Tropical	7
1.6.1 Patrones de circulación atmosférica en la costa norte	8
1.7 El Salto Climático del Pacífico	10
<b>CAPITULO II – LOS ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMATICO</b>	<b>13</b>
2.1 Concepto de escenarios	13
2.2 Incertidumbres de escenarios	13
2.2.1 Incertidumbre en la predicción del clima futuro	13
2.2.2 Fuentes de incertidumbre	14
2.2.2.1 Incertidumbre debido a las emisiones	14
2.2.2.2 Incertidumbre debido a los modelos	15
2.2.2.3 Incertidumbre debido a la variabilidad natural	16
2.2.2.4 Incertidumbre debido a la regionalización	16
2.3 Los escenarios de emisiones	17
2.4 Emisiones de CO <sub>2</sub> global	19
2.5 Concentración de CO <sub>2</sub> en los diferentes escenarios	20
<b>CAPITULO III – CUENCA DEL RIO PIURA</b>	<b>21</b>
3.1 Ubicación	21
3.2 Hidrografía	22
3.3 Características Climáticas	22
3.4 Hidrogeología	22
3.5 Uso de Agua	23
3.6 Actividad Agrícola	23
3.7 Población	24
<b>CAPITULO IV – ANALISIS DE LOS MODELOS DE CIRCULACION GENERAL DE LA ATMOSFERA</b>	<b>26</b>
4.1 Descripción de los modelos de circulación general	26
4.1.1 Modelos utilizados en este estudio	27
4.2 Temperatura Superficial del Mar	32
4.2.1 Metodología	32
4.2.2 Resultados	32
4.2.2.1 A escala regional	32
4.2.2.2 A escala local	36

	4.2.2.2.1	NIÑO 1+2	36
	4.2.2.2.2	NIÑO 4 y NIÑO 3	41
4.3		Presión atmosférica a nivel del mar como indicador de eventos ENOS	52
	4.3.1	Metodología	52
	4.3.2	Resultados	52
4.4		Nivel medio del mar	57
	4.4.1	Metodología	57
	4.4.2	Resultados	57
	4.4.2.1	Observaciones	58
	4.4.2.2	Modelos globales	62
	4.4.2.2.1	Cambios del nivel medio del mar a nivel global	62
	4.4.2.2.2	Cambios del nivel medio del mar a nivel regional	63
4.5		Precipitación	64
	4.5.1	Metodología	64
	4.5.2	Resultados	64
	4.5.2.1	A escala regional	64
	4.5.2.2	A escala Perú	69
	4.5.2.3	A escala local	73
	4.5.2.3.1	Zona de Piura – Chulucanas	76

## **CAPITULO V – REGIONALIZACION DINAMICA**

5.1		Metodología	79
	5.1.1	Datos Preliminares	79
	5.1.2	Simulación regional	79
	5.1.3	Variables analizadas	82
5.2		Resultados	84
	5.2.1	Precipitación	84
	5.2.1.1	Tendencia histórica de la precipitación	84
	5.2.1.2	Tendencia histórica de la temperatura máxima	88
	5.2.1.3	Tendencia histórica de la temperatura media	90
	5.2.1.4	Tendencia histórica de la temperatura mínima	92
	5.2.2	Análisis de la información proyectada	95
	5.2.2.1	Precipitación	95
	5.2.2.1.1	Análisis trimestral	95
	5.2.2.1.2	Análisis de tendencias futuras	97
	5.2.2.1.2.1	Tendencia de la precipitación 2004 – 2020	97
	5.2.2.1.2.2	Tendencia de la precipitación 2004 – 2035	99
	5.2.2.2	Temperatura máxima	103
	5.2.2.3	Temperatura mínima	106
	5.2.2.4	Temperatura media	108
5.3		Balance hídrico en la Cuenca del Río Piura	
	5.3.1	Metodología	111
	5.3.2	Resultados	112
	5.3.2.1	Disponibilidades hídricas	115
	5.3.2.2	Demandas hídricas	116
	5.3.2.3	Balance hídrico	117
	5.3.2.4	Anomalías de disponibilidades hídricas	118
	5.3.2.5	Anomalías de demandas potenciales hídricas	118
	5.3.2.6	Anomalías de balance hídrico	119

5.4	Disponibilidad de agua regulada para la cuenca del bajo Piura y parte del medio Piura.	122
5.4.1	Máxima duración de periodo seco histórico	122
5.4.2	Máxima duración de periodo seco pronosticado escenario A2 2004 – 2020.	122
5.4.3	Tiempo de retorno de periodo seco histórico	123
5.4.4	Tiempo de retorno de periodo seco pronosticado escenario A2 2004 – 2020	123

## **CAPITULO VI – REGIONALIZACIÓN ESTADÍSTICA**

6.1	Metodología	125
6.2	Resultados	126

## **CAPITULO VII – ANÁLISIS DE EXTREMOS REGIONALES**

7.1	Metodología	131
7.2	Resultados	132
7.2.1	Análisis de la información histórica	132
7.2.1.1	Precipitación histórica	132
7.2.1.2	Temperatura máxima histórica	139
7.2.1.3	Temperatura mínima histórica	145
7.2.2	Posibles tendencias futuras de eventos de precipitación extrema	151
7.2.3	Posibles tendencias futuras de eventos extremos de Temperaturas máximas	157
7.2.4	Posibles tendencias futuras de eventos extremos de Temperaturas mínimas	162
7.2.5	Discusión de resultados	167
7.2.5.1	Precipitación	167
7.2.5.2	Temperatura máxima	167
7.2.5.3	Temperatura mínima	168

## **CAPITULO VII – CONCLUSIONES GENERALES 169**

Apéndice	171
----------	-----

Glosario	178
----------	-----

Referencias Bibliográficas	182
----------------------------	-----

### **Anexos de Mapas (documento adjunto)**

Anexo A:	Mapas de regionalización dinámica
Anexo B:	Mapas de balance hídrico
Anexo C:	Mapas de precipitaciones extremas históricas
Anexo D:	Mapas de temperaturas máximas extremas históricas
Anexo E:	Mapas de temperaturas mínimas extremas históricas
Anexo F:	Mapas de tendencias de precipitaciones extremas futuras
Anexo G:	Mapas de tendencias de temperaturas máximas extremas futuras
Anexo H:	Mapas de tendencias de temperaturas mínimas extremas futuras
Anexo I:	Mapas de precipitaciones y temperaturas extremas futuras esperadas

## INDICE DE FIGURAS

Fig. 1:	Variación de la temperatura media global 1880 – 2000 (°C)	3
Fig. 2:	Ubicación de las regiones El Niño en el Pacífico tropical	7
Fig. 3:	Índice de oscilación del sur (IOS) Estandarizado 1970 – 2004	8
Fig. 4a:	Índice de oscilación del sur, anomalía de la TSM en la región El Niño 1 + 2 y Anomalía de la precipitación en la estación Morropón	9
Fig. 4b:	Índice de oscilación del sur, anomalía de la TSM en la región El Niño 1 + 2 y Anomalía de la precipitación en la estación Miraflores	9
Fig. 4c :	Índice de oscilación del sur estandarizado, anomalía de la TSM en la región El Niño 1 + 2 y Anomalía de la precipitación en la estación Huarmaca	10
Fig. 5:	Record histórico de la temperatura del aire	11
Fig. 6:	Anomalía de la temperatura del océano (a) y anomalía de la temperatura del aire (b)	11
Fig. 7:	Resultados de modelos de simulación del clima (a) natural y (b) con influencia antropogénica	12
Fig. 8:	Etapas en la generación de escenarios de cambio climático	14
Fig. 9:	Emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) del 2000 al 2100 para los diferentes escenarios del IEEEE.	15
Fig. 10:	Cambio en la temperatura global promedio simulado por 9 diferentes Modelos climáticos para el escenario A2 del IEEEE.	16
Fig. 11:	Rango de escenarios de emisiones de carbono globales Publicadas hasta el 2100 y rango de emisiones calculado por el IEEEE del IPCC	19
Fig. 12 :	Total global anual de las emisiones del CO <sub>2</sub> de las diferentes fuentes desde 1990 al 2100 (Gt/año) para las 4 familias A1, A2, B1 y B2.	20
Fig. 13:	Estabilización de escenarios propuestos por el IPCC	20
Fig. 14:	Ubicación geográfica de la Cuenca del Río Piura	21
Fig. 15:	Distribución de la población en la Cuenca del Río Piura	24
Fig. 16:	Esquema gráfico de las diferencias de temperatura superficial del mar (TSM) para los escenarios A2 y B2	33
Fig. 17:	Diferencia de la temperatura superficial del mar (TSM) entre 2005 - 2050 con respecto a 1990–2004: Escenarios A2	34
Fig. 18:	Diferencia de la temperatura superficial del mar (TSM) entre 2005 - 2050 con respecto a 1990–2004 :Escenarios B2	35
Fig. 19:	Variación temporal de la TSM en la región Niño 1+2 durante EFM	37
Fig. 20:	Variación temporal de la TSM en la región Niño 1 + 2 durante AMJ	37
Fig. 21:	Variación temporal de la TSM en la región Niño 1 + 2 durante JAS	38
Fig. 22:	Variación temporal de la TSM en la región Niño 1 + 2 durante OND	38
Fig. 23:	Escenarios de la temperatura superficial del mar (TSM) para la región Niño 4	42
Fig. 24:	Escenarios de la temperatura superficial del mar (TSM) para la región Niño 3	43
Fig. 25:	Frecuencias del espectro de la TSM para el modelo CCCma y MPIfMP	46

Fig. 26:	Frecuencias del espectro de la TSM para el modelo NCAR	47
Fig. 27 <sup>a</sup> :	Intensidad de la frecuencia Niño para los escenarios A2 (arriba) y B2 (abajo) según modelo MPIfM.	48
Fig. 27 <sup>b</sup> :	Intensidad de la frecuencia Niño para los escenarios A2 (arriba y B2 (abajo) según el modelo NCAR.	49
Fig. 28:	Probabilidad de cambio de intensidad de los eventos El Niño	50
Fig. 29:	Intensidad de la frecuencia El Niño para los datos observados entre 1950 y 2003.	50
Fig. 30:	Nivel de significancia de las tendencias del IOS proyectadas al 2050 en base a seis modelos acoplados y Nivel de significancia de la tendencia del IOS real.	53
Fig. 31.a:	Escenarios extremos normalizados A2 y B1 de la tendencia del IOS proyectadas al 2050.	55
Fig. 31.b:	Escenarios normalizados A2 y B2 de la tendencia del IOS proyectada al 2050 y Escenario del IOS real normalizado	55
Fig. 32:	Cambios en el nivel del mar registrados por los mareógrafos en localidades ubicadas en la costa occidental de América.	59
Fig. 33:	Datos observados del nivel del mar (1979-2000) en la estación Santa Cruz (00°45'S,90°19'W)	60
Fig. 34:	Datos observados del nivel del mar (1988-2003) en la estación de Paita (05°05'S,81°10'W)	60
Fig. 35:	Variaciones del volumen en la capa superior del Pacífico Tropical (15°N–15°S)	61
Fig. 36:	Cambio global del nivel del mar proyectado hasta el año 2050 (modelos globales CCSR/NIES y GFDL) y datos observados en las estaciones de Paita y Talara.	62
Fig. 37.a:	Precipitación promedio en febrero 2005-2050 (mm/mes) para los modelos CSIRO y CCSR/NIES	65
Fig. 37.b:	Precipitación promedio en febrero 2005-2050 (mm/mes) para algunos modelos de los escenarios extremos	66
Fig. 37.c:	Precipitación promedio en febrero 2005-2050 (mm/mes) para el modelo NCAR	67
Fig. 38:	Precipitación promedio en agosto 2005-2050 (mm/mes) Para algunos modelos de los escenarios extremos	68
Fig. 39:	Topografía en Sudamérica (en metros), según los modelos MPIfM y CCSR/NIES	70
Fig. 40:	Diferencias en porcentajes de las precipitaciones febrero 2005-2050 respecto del periodo 1990-2004. Escenario A2 (%)	71
Fig. 41:	Diferencias en porcentaje de las precipitaciones febrero 2005-2050 respecto del periodo 1990-2004. Escenario B2 (%)	72
Fig. 42:	Diferencias en porcentaje de las precipitaciones anuales 2005-2050. Escenario A2 (%)	74
Fig. 43:	Diferencias en porcentaje de las precipitaciones anuales 2005-2050. Escenario B2 (%)	75
Fig. 44:	Topografía en metros para la latitud 5° S por los modelo MPIfM y CCSR/NIES	76
Fig. 45:	Escenarios de precipitación para Piura 2000-2050 y su tendencia (mm/año)	77
Fig. 46:	Representación de los dominios de simulación (Perú y Piura)	80
Fig. 47:	Precipitación histórica durante los trimestres DEF, MAM, JJA y SON en estaciones representativas de la Cuenca del río Piura.	86
Fig. 48:	Temperatura máxima histórica durante los trimestres DEF, MAM, JJA y SON en estaciones representativas de la Cuenca del río Piura.	89
Fig. 49:	Temperatura media histórica durante los trimestres DEF,	

	MAM, JJA y SON en estaciones representativas de la Cuenca del río Piura.	91
Fig. 50:	Temperatura mínima histórica durante los trimestres DEF, MAM, JJA y SON en estaciones representativas de la Cuenca del río Piura.	93
Fig. 51	Relación funcional de 2do. Grado entre la TSM de la región Niño 3 y las precipitaciones en Chulucanas en EFM	126
Fig. 52(a,b):	Tendencia de la precipitación para los escenarios A2 (arriba) y A1 (abajo) en Chulucanas	127
Fig. 53:	Tendencia de la precipitación para el escenario B1 en Chulucanas	128
Fig. 54(a,b):	Tendencia de la precipitación de los escenarios extremos A2 (arriba) y B2 (abajo) del modelo MPIfM	129
Fig. 55:	Tendencia de la precipitación en Chulucanas proyectada por el modelo NCAR PCM B2	130
Fig. 56:	Precipitación extrema histórica (percentil 95) durante DEF y MAM. Estación Virrey	134
Fig. 57:	Precipitación extrema histórica (percentil 95) durante DEF y MAM. Estación Hacienda Bigote	135
Fig. 58:	Precipitación extrema histórica (percentil 95) durante DEF y MAM. Estación Morropón	136
Fig. 59:	Precipitación extrema histórica (percentil 95) durante DEF y MAM. Estación Chalaco	137
Fig. 60:	Precipitación extrema histórica (percentil 95) durante DEF y MAM. Estación Ayabaca	138
Fig. 61:	Temperatura máxima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Miraflores	140
Fig. 62:	Temperatura máxima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Morropón	141
Fig. 63	Temperatura máxima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Chulucanas	142
Fig. 64:	Temperatura máxima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Ayabaca	143
Fig. 65:	Temperatura máxima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Tejedores	144
Fig. 66:	Temperatura mínima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Miraflores	146
Fig. 67:	Temperatura mínima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Morropón	147
Fig. 68:	Temperatura mínima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Chulucanas	148
Fig. 69	Temperatura mínima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Ayabaca	149
Fig. 70	Temperatura mínima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Tejedores	150
Fig. 71:	Precipitación extrema esperada (percentil 95) durante DEF y MAM. Estación Virrey	152
Fig. 72:	Precipitación extrema esperada (percentil 95) durante DEF y MAM. Estación Hacienda Bigote	153
Fig. 73:	Temperatura máxima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM Estación Chalaco	154
Fig. 74:	Temperatura máxima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Morropón	155
Fig. 75:	Temperatura mínima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Ayabaca	156
Fig. 76:	Temperatura máxima extrema esperada (percentil 90)	

	durante DEF y MAM. Estación Miraflores	158
Fig. 77:	Temperatura máxima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Morropón	159
Fig. 78:	Temperatura máxima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Chulucanas	160
Fig. 79:	Temperatura máxima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Ayabaca	161
Fig. 80:	Temperatura mínima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Miraflores	163
Fig. 81:	Temperatura mínima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Morropón	164
Fig. 82:	Temperatura mínima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Chulucanas	165
Fig. 83:	Temperatura mínima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Ayabaca	166

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Comparación de los modelos PNT y MCG	27
Tabla 2:	Características generales de los Modelos de Circulación General de la Atmósfera (MCG) utilizados	31
Tabla 3:	Parámetros estadísticos para los modelos CSIRO y MPIfM en forma trimestral.	39
Tabla 4:	Escenarios de temperatura de agua de mar (°C) para la región Niño 1+2 durante 2004-2050	40
Tabla 5:	Parámetros estadísticos de la TSM de los diferentes MCG para la región Niño 4 y Niño 3	41
Tabla 6:	Variación de los Niños para los diferentes modelos y datos observados	45
Tabla 7:	Ubicación de mareógrafos	57
Tabla 8:	Estimaciones del incremento del nivel del mar desde mareógrafos en localidades ubicadas en la costa occidental de América	61
Tabla 9:	Estimaciones del incremento del nivel del mar desde los modelos	62
Tabla 10:	Estaciones en la Cuenca del río Piura con información de precipitación	82
Tabla 11:	Estaciones en la Cuenca del río Piura con información de Temperatura	83
Tabla 12.a:	Proyecciones de precipitación anual en tres quinquenios del período 2006-2020 (Modelo Rams).	113
Tabla 12.b:	Proyecciones de precipitación en tres quinquenios del periodo 2021 – 2035 (Modelo Rams).	113
Tabla 13.a:	Evapotranspiración proyectada en base a las proyecciones de temperatura media anual 3 quinquenios 2006 – 2020 del (Modelo Rams).	114
Tabla 13.b :	Evapotranspiración proyectada en base a las proyecciones de temperatura media anual 3 quinquenios 2021 – 2035 del (Modelo Rams).	115
Tabla 14 :	Estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis de Extremas en la Cuenca del río Piura	132

## INDICE DE CUADROS RESUMEN

Cuadro resumen 1:	Precipitaciones estimadas en los escenarios A2 y B2	97
Cuadro resumen 2:	Tendencias y niveles de significancia de las precipitaciones	101
Cuadro resumen 3:	Rangos de temperatura máxima estimada al 2020 en los escenarios A2 y B2	105
Cuadro resumen 4:	Tendencias y niveles de Significancia de la temperatura máxima	105
Cuadro resumen 5:	Tendencias y niveles de Significancia de la temperatura mínima	107
Cuadro resumen 6:	Tendencias y niveles de Significancia de la temperatura media	109
Cuadro resumen 7:	Anomalías de disponibilidades hídricas (a), demandas potenciales hídricas (b) y balance hídrico (c) en la Cuenca del río Piura por quinquenios (2006-2030) en el escenario A2.	120
Cuadro resumen 8:	Tendencia histórica y futura de la Precipitación extrema	151
Cuadro resumen 9:	Tendencia histórica y futura de la Temperatura Máxima extrema	157
Cuadro resumen 10:	Tendencia histórica y futura de la Temperatura Mínima extrema	162

## Agradecimientos

El equipo de trabajo expresa su agradecimiento:

A *la Dra. Eugenia Kalnay*, científica de reconocida trayectoria y distinguida profesora e investigadora de la Universidad de Maryland – UMD de los Estados Unidos, quien amablemente aceptó honrarnos al revisar este trabajo y darnos sus maravillosos comentarios y sugerencias, así como el su estímulo al trabajo realizado.

Al *Dr. Nicholas Graham*, Investigador Científico Senior del Centro de Investigación Hidrológica – HRC de los Estados Unidos, por su valioso y acertado asesoramiento durante el desarrollo del presente estudio.

Al *MSc. Angel Cornejo*, por su permanente asesoría, incondicional apoyo y estimulante optimismo durante la realización del presente trabajo.

Al Centro Nacional para la Investigación de la Atmósfera – NCAR de los Estados Unidos, en las personas del *Dr. Lawrence Buja* y *Srta. Rene Muñoz* del Grupo de Trabajo para Manejo de Datos, quienes brindaron un importante apoyo a nuestros profesionales que realizaron pasantías en NCAR y poner a nuestra disponibilidad la información base para la generación de escenarios regionales.

Al *Dr. Bryan Gross* del Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos de los Estados Unidos.

A la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera – *NOAA* de los Estados Unidos, al Laboratorio de Sistemas de Pronóstico - FSL, al *Dr. Alexander E. MacDonald* y *Sra. Kathleen G. Stewart* y al *Grupo Reynolds*.

Al Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del Reino Unido (UKMET), en las personas del *Dr. Richard Jones* y *Ruth Taylor*, por apoyar a nuestros profesionales en las pasantías desarrolladas en su institución, así como la información de salida de su modelo global y el uso del modelo PRECIS, contribución invaluable a nuestro centro.

A la Universidad de East Anglia del Reino Unido, en especial al Climate Research Unit en la persona de la *Dra. Clare Goodess* por sus sabios consejos y asesoramiento.

Al Grupo de Expertos del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático - *IPCC* por la disponibilidad de información a través de su página web.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo - IRD de Francia y al Instituto de Recursos Naturales del Perú, en la persona del *Dr. Bernard Pouyaud*.

A Tecnologías Atmosféricas, Meteorológicas y Medioambientales – ATMET de Boulder, Colorado - Estados Unidos, en las personas del *Dr. Robert*

*Walko* y *Dr. Craig Tremback* por su constante soporte técnico en el manejo del Modelo RAMS.

Al Centro Canadiense para el Modelamiento y Análisis del Clima del Servicio Meteorológico de Canadá, en la persona del *Dr. Greg M. Flato*, por la información proporcionada.

Al Instituto de Meteorología de Cuba en la persona de *Abel Centella*, por apoyar la participación de un profesional en un curso de entrenamiento del modelo PRECIS, para generación de escenarios organizado por INSMET y UKMET.

A la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, en la persona del *Comandante Eduardo Lazo*, por facilitarnos información histórica del nivel del mar de la estación de Paita.

Al Instituto Nacional de Meteorología de Brasil, en las personas del *Dr. José Mauro de Rezende* y *José Mauricio Franco Guedes*, por brindar el apoyo necesario a nuestro profesional en la pasantía sobre manejo de sistemas cluster.

Al grupo de la unidad ejecutora y coejecutores del proyecto PROCLIM, por sus aportes para el mejor entendimiento de los resultados de este importante estudio.

A la Jefatura y Dirección Técnica del SENAMHI, por la confianza depositada en nuestras capacidades y apoyo incondicional para la ejecución de los compromisos asumidos en la elaboración de este estudio.

A *Nicéforo Ita*, *Teresa García*, *Jorge Chira* y *Carlos Castillo*, miembros de Comisión Especial de Evaluación de Estudios Técnico Científicos (CEEETC) del SENAMHI, por sus importantes aportes en la revisión final de este reporte.

A todas estas personas e instituciones nuestro agradecimiento

**Mayor FAP Juan Coronado Lara**

Coordinador General del Proyecto  
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

---

## Resumen General

---

En este Reporte se presenta de manera explícita los resultados de las simulaciones y proyecciones numéricas de los posibles escenarios del clima al 2035 en la Cuenca del Río Piura; realizado por el SENAMHI en el marco del Programa Nacional de Fortalecimiento de Capacidades para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire – PROCLIM. En él, se describen los métodos empleados, explicándose el por qué de la elección de dos escenarios extremos de emisiones: A2 y B2 y los plazos de tiempo para los cuales se realizaron las evaluaciones de las condiciones del clima futuro.

La información histórica del nivel medio del mar reveló una tendencia positiva de 0.13 cm/año en promedio para localidades ubicadas en la costa occidental de América desde el siglo pasado, periodo en el cual el efecto invernadero no era muy fuerte o no tenía una marcada influencia de las actividades antrópicas. Sobre la localidad de Paita (costa norte de Perú), este incremento observado es de 0.24 cm/año, con mayores fluctuaciones producidas durante eventos El Niño. Así mismo, en lo que respecta al análisis histórico de la temperatura media, la mayoría de las estaciones meteorológicas analizadas vienen mostrando tendencias positivas, con incrementos de hasta 1.5°C/30 años (estación Huarmaca); de manera similar, la precipitación presenta una tendencia positiva, influenciada por los eventos El Niño principalmente en las Cuencas Media y Alta. De otro lado, los eventos de precipitaciones extremas, dan cuenta de incrementos en los percentiles 95 durante el verano (periodo lluvioso) y otoño; asimismo, en lo que respecta a las temperaturas máximas y mínimas extremas, la mayoría de las estaciones meteorológicas presentan tendencias positivas en los percentiles 90; es decir, que las temperaturas máximas/mínimas más extremas (el 10% más bajo) se han ido incrementando en las últimas décadas.

En lo que respecta a las proyecciones al 2035, la alta variabilidad temporal y espacial de la precipitación en las denominadas *Áreas de Interés (Bajo Piura, Sub Cuencas San Francisco y Yapateras)*, no permiten vislumbrar una tendencia general; no obstante, los resultados concuerdan en que la precipitación media tendría una tendencia a la baja en la *Cuenca Media* en el verano, para luego presentar una tendencia positiva en las siguientes estaciones; mientras que en la *Cuenca Alta* se espera una tendencia a la alta en todos los trimestres de aproximadamente 5% superior a su valor medio, excepto en la primavera en donde no se esperan cambios. En lo que respecta a la región del *Bajo Piura*, se proyecta leves incrementos en otoño e invierno de aproximadamente 10% superior a su valor normal y un descenso de las precipitaciones entre la primavera y el verano de aproximadamente 10% inferior a su valor normal, para los próximos 30 años; sin embargo, en el análisis de eventos extremos futuros, aparece una región con tendencias positivas ubicada precisamente en el Bajo Piura durante el verano.

Las tendencia proyectada de la *Temperatura Media* del aire en ambos escenarios A2 y B2, es generalmente positiva a los largo de toda la cuenca, excepto en la sub cuenca de San Francisco en donde se presentaría una ligera tendencia negativa de -0.15°C/17años durante el otoño. En general, el escenario A2 mostró valores y tendencias ligeramente más altas con respecto al escenario B2 con un nivel de confianza superior al 95%. El *Bajo Piura* presenta los cambios más notorios principalmente en la primavera y verano con valores que oscilan entre 0.8 – 1.4°C/17 años. De otro lado, las sub cuencas San Francisco y Yapatera proyectan los mayores cambios en el invierno y primavera con tendencias entre 0.5 – 1.1°C/17 años.

El escenario hipotético probable de ocurrencia de la fase cálida de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), analizado en el contexto del Índice de Oscilación del Sur (IOS), la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico central, Nivel medio del Mar, así como la regionalización estadística para la parte media de la Cuenca (Chulucanas), basados en las simulaciones de los modelos globales más confiables (*NCAR-PCM, USA y ECHAM4/OPYC3, Alemania*), indican la configuración de un episodio cálido entre los años 2007 – 2015, cuya intensidad en cuanto a lluvias sería similar al evento 1982/83 (con referencia a Chulucanas).

## **CAPITULO 1 - INTRODUCCION**

El Cambio Climático Global es en la actualidad una de las preocupaciones más álgidas de la humanidad que ve como el clima mundial se caracteriza cada vez más por el incremento de condiciones extremas que se traducen en sequías, inundaciones, huracanes, tifones, olas de frío, entre otros. Asimismo, muchos países están experimentando regionalmente procesos de tropicalización y desertificación que afectan directamente a sus economías. Como puede verse, el anunciado incremento de la temperatura global durante este siglo, se manifiesta de diversas formas en diferentes regiones.

En los últimos tiempos, el hombre ha avanzado mucho en la comprensión y modelización del sistema climático. Potentes computadoras corren los Modelos de Circulación General (MCG) acoplados que nos están permitiendo hacer cada vez mejores proyecciones del clima; sin embargo, en los últimos años también hemos aprendido a ver al sistema tierra-atmósfera como un sistema de índole fundamentalmente caótico, donde las diferentes fuentes de incertidumbre inherente a los procesos de observación, procesamiento y modelamiento conducen a diferentes escenarios, cada uno de los cuales es una realidad plausible del futuro.

Los MCG tienen también incertidumbres propias de su formulación y de aquellas asunciones que adopta de los procesos físicos que aún desconocemos (parametrizaciones). Tenemos además, variables de gran incertidumbre que dependen de las decisiones que tome el hombre y la sociedad sobre tecnologías y formas de vida en el presente y que no podemos determinar a ciencia cierta, pero que sin duda conducirán a diferentes escenarios climáticos. La más importante de estas decisiones tiene que ver con las emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales modifican el balance de energía entrante y saliente del sistema tierra-atmósfera. Los MCG tienen además una resolución muy gruesa, de alrededor de 200 Km. (para el modelo no existe diferencias entre la localidad de Lima y la localidad de La Oroya), lo cual representa una seria limitación para una simulación más detallada de una determinada región. Tomar los resultados directamente de los modelos globales para una evaluación de detalle podría llevar a errores mayúsculos de apreciación. Es por esto muy importante el trabajo de regionalización mediante el uso de métodos dinámicos y estadísticos que nos permitan tomar las decisiones más pertinentes. En consecuencia, el proceso seguido en el presente trabajo pretende abordar cada uno de estos problemas en la Cuenca del Río Piura.

Todo estudio serio de cambio climático debe abordar un análisis de las series históricas que nos lleva a comprender como se está manifestando este cambio climático. Este estudio requiere además, por interés de la sociedad, investigar cual es el comportamiento de las extremas climáticas y para ello hemos empleado en la metodología del presente reporte, el software estadístico STARDEX desarrollado en la Universidad de East Anglia del Reino Unido, el cual es un esfuerzo europeo por analizar de una manera coherente si las manifestaciones extremas del clima (inundaciones, sequías, tropicalización, lluvias extremas, etc.) están incrementándose. Esta información es vital e importante para la planificación y la estimación del riesgo hidrometeorológico en la zona de estudio; además, el empleo de esta metodología nos permite comparar nuestros resultados con los de otras partes del mundo.

Para un mejor entendimiento del contenido del presente reporte, éste se ha estructurado de la siguiente manera: En el Capítulo I se detallan conceptos básicos relacionados con el Cambio Climático, sus bases teóricas, formas de variabilidad natural, entre las que destaca el ENOS como la fluctuación natural más intensa del clima a escala temporal interanual. Conceptos de los escenarios de emisión y concentración de CO<sub>2</sub> se detallan en el Capítulo II. Un diagnóstico de las variables de temperatura superficial de agua de mar, presión atmosférica para la determinación del Índice de Oscilación del Sur (IOS), nivel del mar y precipitación procedentes de siete MCG en los diferentes escenarios, lo podemos ver en el Capítulo III. En este mismo capítulo se hace una proyección para veinte años de El Niño, evento que genera grandes pérdidas y algunos beneficios en la región Piura. La regionalización dinámica (downscaling) con su respectivo balance hídrico para la zona de estudio y la regionalización estadística son detallados en los Capítulos IV y V respectivamente. Como no es suficiente conocer si se está elevando la temperatura media máxima de una región, ya que es necesario saber si en un período de retorno de 20 años se darán temperaturas mayores a un rango extremo y con qué frecuencia, o si en ese período se incrementarán los episodios de precipitaciones máximas registrados, en el Capítulo VI se analizan eventos de precipitación y temperatura extremas en base a la información histórica, así como la tendencia de estas extremas para los próximos veinte años. Finalmente, en el Capítulo VII se presentan las conclusiones generales.

Todas las cartas gráficas comprendidas en este estudio son el producto de un esfuerzo de un grupo de más de 20 profesionales que han analizado y procesado ingentes cantidades de información a fin de ofrecer a la comunidad piurana la más importante herramienta de planificación para el futuro cambio climático. Es conveniente recalcar que toda la información proyectada trae consigo incertidumbres y que pueden orientar una responsable toma de decisiones cuando éstas son usadas teniendo en cuenta el espectro de probabilidades y los posibles escenarios planteados así como el grado de certidumbre indicado en el análisis.

## **1.1 El cambio climático**

¿Está calentándose la Tierra?, ¿Este calentamiento es producido por la contaminación?, ¿El cambio en el clima traerá violentos fenómenos meteorológicos, tormentas, lluvias torrenciales, deshielo de los glaciares, subida del nivel del mar, desertización de grandes extensiones, etc.?

Todas estas preguntas son motivo de noticias y acaloradas polémicas. Es lógico que así sea porque estamos hablando de un problema con graves repercusiones para la vida de millones de personas.

Las evidencias científicas no son totalmente claras, pero en 1995 el principal organismo internacional que se encarga de coordinar todos los estudios sobre este tema, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático – IPCC (siglas en inglés), escribía en uno de sus Informes: "el conjunto de evidencias sugiere un cierto grado de influencia humana sobre el clima global". En el último informe del IPCC (Cambio Climático 2001: La Base Científica), este predice un calentamiento de 1.4 – 5.8 °C para el año 2100.

Los estudios más recientes indican que en los últimos años se está produciendo un aumento de la temperatura media de la Tierra de algunas décimas de grado. Dada la enorme complejidad de los factores que afectan al clima es muy difícil saber si

este incremento de la temperatura es parte de la variabilidad natural (debido a factores naturales) o si es debido al aumento del efecto invernadero provocado por la actividad humana (ver Fig. 1).

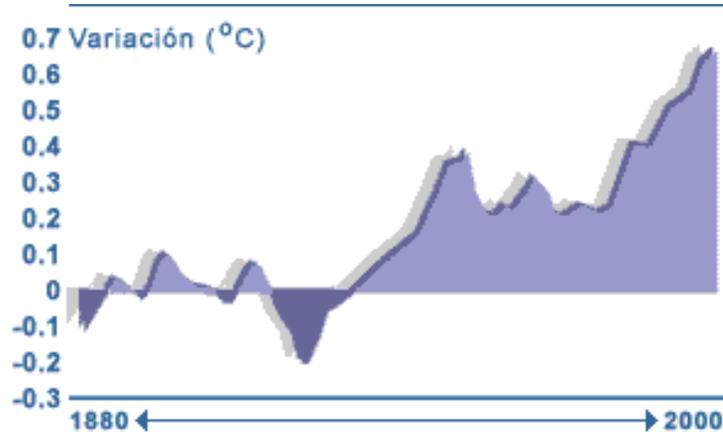


Fig. 1 Variación de la temperatura media global 1880 – 2000 (en °C)

Fuente: Centro Hadley, Oficina Meteorológica

Para analizar la relación entre las diversas variables y los cambios climáticos se usan modelos computacionales de una enorme complejidad. Hay diversos modelos de este tipo y, aunque hay algunas diferencias entre ellos, es significativo ver que todos ellos predicen una relación directa entre incremento en la temperatura media del planeta y el aumento de las concentraciones de gases con efecto invernadero.

## 1.2 Bases teóricas del cambio climático global

Para poder comprender el cambio climático global y el aumento de la temperatura global se debe primero comprender el clima global y cómo opera. El clima es consecuencia del vínculo que existe entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielos (criosfera), los organismos vivos (biosfera) y los suelos, sedimentos y rocas (geosfera). Sólo si se considera al sistema climático bajo esta visión *holística*, es posible entender los flujos de materia y energía en la atmósfera y finalmente comprender las causas del cambio global (GCCIP<sup>1</sup>, 1997). Para ello es necesario analizar uno de los compartimentos interrelacionados más importantes: la atmósfera.

Previamente es importante entender que el clima terrestre depende del balance energético entre la radiación solar y la radiación emitida por la Tierra. En esta reirradiación, sumada a la emisión de energía geotectónica, los gases de efecto invernadero juegan un rol crucial.

La atmósfera es uno de los componentes más importantes del clima terrestre. Su presupuesto energético determina el estado del clima global, por lo que resulta esencial comprender su composición y estructura. Los gases que la constituyen

<sup>1</sup> siglas en inglés de Programa de Información del Cambio Climático Global

están bien mezclados pero no es físicamente uniforme pues tiene variaciones significativas en temperatura y presión, relacionado con la altura sobre el nivel del mar (GCCIP, 1997).

Al analizar los gases atmosféricos, incluidos los gases invernadero, es importante identificar las *fuentes*, *sumideros* y el *ciclo de vida* de cada uno de ellos, datos cruciales para controlar la contaminación atmosférica.

Una *fuentes* es el punto o lugar donde un gas, o contaminante, es emitido o sea, donde entran a la atmósfera. Un *sumidero*, es un punto o lugar en el cual el gas es removido de la atmósfera, o por reacciones químicas o absorción en otros componentes del sistema climático, incluyendo océanos, hielos y tierra. El *ciclo de vida* denota el período promedio que una molécula de contaminante se mantiene en la atmósfera. Esto se determina por las velocidades de emisión y de captación en sumideros.

El aumento de Gases de Efecto Invernadero (GEI) ha incrementado la capacidad de la atmósfera de absorber ondas infrarrojas, aumentando su reforzamiento radiativo, que aumenta la temperatura superficial. Este fenómeno se mide en watts por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

En conclusión, la atmósfera esta principalmente constituida por nitrógeno, oxígeno y algunos otros gases traza y aerosoles que regulan el sistema climático, a través del balance energético entre la radiación solar incidente y la radiación terrestre que se emite. Debajo de los 12 km (en la troposfera) se producen todos los fenómenos que determinan el tiempo y clima terrestre, ya que aquí se concentra prácticamente todo el vapor de agua del aire, los núcleos de condensación, y las mayores variaciones de la temperatura. Además es aquí donde el efecto invernadero opera más notoriamente. Por encima de ella se encuentran capas que son definidas por sus temperaturas.

### 1.3 Los sistemas acoplados

El IPCC (2001) menciona que los procesos que rigen el sistema climático determinan su variabilidad natural y su respuesta a perturbaciones como el aumento de la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, donde los procesos de realimentación positiva y negativa, amplifican y reducen, respectivamente, los cambios que se producen en respuesta a una perturbación inicial y son por lo tanto muy importantes para poder simular con exactitud la evolución del clima.

Muchos efectos de realimentación se producen dentro de los distintos componentes individuales del sistema climático (atmósfera, océanos, criosfera y superficie terrestre). Sin embargo, hay muchos procesos y realimentación importantes que ocurren cuando se acoplan los distintos componentes del sistema climático. Su representación es importante para predecir reacciones a gran escala.

La mayoría de los científicos coinciden en que, siempre que los otros gases denominados de "invernadero" permanezcan constantes, el aumento de  $CO_2$  provocará un aumento de la temperatura ambiental global. No obstante los avances recientes, el *vapor de agua* y el  $CO_2$  no han podido ser modelados porque los patrones (en espacio y tiempo) de su distribución se conocen limitadamente.

#### 1.4 Formas de variabilidad natural

Según el IPCC (2001) hay un reconocimiento cada vez mayor de que las formas de circulación natural, como el fenómeno ENOS y la Oscilación del Atlántico Norte, desempeñan un papel fundamental en el clima mundial y en su variabilidad interanual y a más largo plazo. La mayor fluctuación natural del clima a escala interanual es el fenómeno ENOS. Es una modalidad intrínsecamente acoplada atmósfera-océano que tiene su principal actividad en el océano, pero que produce importantes impactos climáticos regionales en todo el mundo. Los modelos climáticos mundiales están apenas comenzando a señalar una variabilidad en la zona tropical del Pacífico, pero que produce importantes impactos climáticos regionales en todo el mundo.

Los modelos climáticos mundiales están apenas comenzando a señalar una variabilidad en la zona tropical del Pacífico que es similar al ENOS, principalmente debido al aumento de resolución meridional en el ecuador. Hay características de la temperatura de la superficie del mar y de la circulación atmosférica similares a las que se observan a escala interanual durante el ENOS que también se registran a intervalos decenales y a escala temporales más prolongadas.

Los índices más comúnmente asociados al ENOS es la Oscilación del Atlántico Norte (OAN), la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) y el Índice de Oscilación del Sur (IOS).

La Oscilación del Atlántico Norte (OAN) es la modalidad predominante de variabilidad de la circulación atmosférica en el hemisferio norte durante el invierno y se esta simulando de una forma cada vez más realista. La OAN esta estrechamente relacionada con la Oscilación del Ártico (OA), que tiene un componente anular adicional en torno al Océano Ártico. Hay claros indicios de que la OAN se deriva principalmente de procesos atmosféricos internos que abarcan todo el sistema troposfera-estratosfera. Las fluctuaciones de la temperatura de la superficie del mar en el Océano Atlántico están relacionadas con la intensidad de la OAN y existe una modesta interacción en ambos sentidos entre la OAN y el Océano Atlántico que determina una variabilidad decenal y que se esta convirtiendo en un elemento importante para la proyección del cambio climático.

El cambio climático puede manifestarse como un medio de transformación y también como una preferencia de cambio de determinados regímenes climáticos, como lo demuestra la tendencia hacia valores positivos observadas en el Índice de la OAN durante los últimos 30 años y el desplazamiento del clima en la zona tropical del Pacífico alrededor de 1976. Si bien los modelos acoplados simulan características de la variabilidad climática natural observada, como la OAN y el ENOS, lo que sugieren muchos procesos pertinentes están incluidos en los modelos, y es necesario seguir avanzando para poder describir estas modalidades naturales con exactitud. Además, como el ENOS y la OAN tienen una importancia clave como factores determinantes del cambio climático regional y pueden quizás provocar cambios abruptos y contrarios a lo que intuitivamente habría de esperar, ha aumentado la incertidumbre en torno a los aspectos del cambio climático que dependen fundamentalmente de los cambios regionales.

La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) es uno de los índices de variabilidad climática del ENOS (Tanimoto et al., 1993; Zhang et al., 1997). El ENOS y el ODP tienen un patrón espacial y de temperaturas similar, pero muestran diferencias en el

tiempo. Mientras que los eventos ENOS son fenómenos que ocurren a escalas interanuales, la ODP muestra cobertura decadal. La oscilación completa comprende una fase caliente y una fría, y puede extenderse sobre más de 50 años. La disimilitud es que los efectos climáticos primarios de la ODP se concentran en el Pacífico Norte y los efectos secundarios en las zonas tropicales. En tanto que los eventos ENSO dominan el Pacífico Ecuatorial y tienen efectos secundarios en otras partes del Pacífico (Mantua et al., 1997)<sup>2</sup>.

## **1.5 EL Niño Oscilación Sur (ENOS)**

La fluctuación natural más intensa del clima a escala temporal interanual es el fenómeno El Niño/Oscilación Sur (ENOS).

Las condiciones oceánicas y atmosféricas imperantes en la zona tropical del Pacífico son raramente uniformes, sino que fluctúan con cierta irregularidad entre los episodios de El Niño y su fase opuesta, la Niña, que consiste en un enfriamiento en toda la cuenca del Pacífico Tropical durante un período que por lo general abarca de tres a seis años. La fase más intensa de cada fenómeno habitualmente dura un año.

Hay un patrón característico de las temperaturas de la superficie del mar en el Océano Pacífico que anuncia el comienzo de los episodios del ENOS. Algunas características fundamentales son la “Piscina de Agua Caliente” en la zona del pacífico tropical occidental, donde se encuentran las aguas oceánicas más cálidas del mundo; aguas mucho más frías en el pacífico oriental, y una lengua de agua fría a lo largo del ecuador, que es más pronunciada en Octubre y menos marcada en Marzo. Los alisios atmosféricos del este en los trópicos amontonan las aguas cálidas en el oeste, produciendo una pendiente ascendente en el nivel del mar a lo largo del ecuador de 0,60 m de este a oeste. Los vientos impulsan las corrientes marinas superficiales, lo que determina el lugar donde fluyen y se separan las aguas superficiales. Entonces, las aguas más frías y ricas en nutrientes afloran desde abajo a lo largo del Ecuador y la costa occidental del continente americano, favoreciendo el desarrollo del fitoplancton, el zooplancton y, por lo tanto, de los peces. Como la convección y las tormentas eléctricas ocurren principalmente en aguas más cálidas, la configuración de las temperaturas de la superficie del mar determina la distribución de las lluvias en los trópicos, y esto a su vez, determina las tendencias de calentamiento de la atmósfera mediante la liberación de calor latente. El calentamiento impulsa las circulaciones de tipo monzónica en gran escala en los trópicos, y por ende determina los vientos. Este estrecho acoplamiento de la atmósfera y el océano en los trópicos da origen al fenómeno El Niño.

Durante El Niño, las aguas cálidas del Pacífico occidental tropical migran hacia el este a medida que los alisios amainan, desviando la trayectoria de los temporales de lluvias tropicales, atenuando aún más la fuerza de los alisios y acentuando así los cambios en las temperaturas del mar. A medida que las aguas cálidas avanzan hacia el este a lo largo del ecuador, el nivel del mar baja en el oeste, pero se eleva en el este hasta 0,25 m. Los cambios en la circulación atmosférica no se limitan a los trópicos, sino que se extienden por todo el planeta y repercuten en las corrientes en chorro y en la trayectoria de las tormentas en latitudes medias.

---

<sup>2</sup> Dr. Theodor Landscheidt  
Schroeter Institute for Research in Cycles of Solar Activity

Durante La Niña [la fase opuesta del fenómeno] se observan configuraciones aproximadamente inversas.

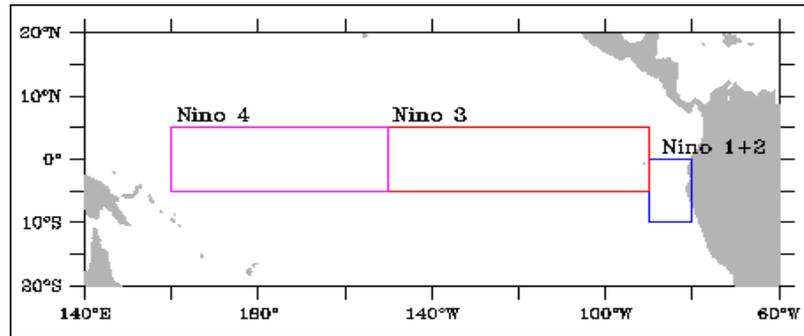


Fig. 2 Ubicación de las regiones El Niño en el Pacífico Tropical.

Los cambios asociados al ENOS producen grandes variaciones meteorológicas y climáticas en todo el mundo de un año a otro. Esto tiene a menudo profundas repercusiones en la humanidad y en la sociedad, a causa de las sequías, las inundaciones, las olas de calor y demás cambios asociados a este fenómeno, que pueden tener consecuencias muy perjudiciales para la agricultura, la pesca, el medio ambiente, la salud, la demanda de energía, la calidad del aire, y modificar además los riesgos de incendios. El ENOS desempeña también un papel preponderante en la modulación del intercambio de CO<sub>2</sub> con la atmósfera. El afloramiento normal de aguas frías ricas en nutrientes y CO<sub>2</sub>, en el Pacífico tropical, desaparece durante el episodio el Niño.

## 1.6 Cambios en la circulación atmosférica en el Pacífico tropical

El análisis del record de 1970-2004 del Índice de Oscilación del Sur (IOS) indica que el ciclo de los eventos El Niño y La Niña vienen ocurriendo con un período de retorno entre 3 y 8 años. La mayor frecuencia de episodios El Niño se presentaron en la década de los 90s.

Los episodios La Niña se han presentado con mayor frecuencia desde la década de los 70s, no obstante la serie más extendida del episodio La Niña se dio entre 1998-99 y 2001-2002. Comportamientos recurrentes de la Niña, especialmente entre eventos El Niño, se observa hacia finales de la década de los 80s. Asimismo ha ocurrido un similar período de valores del IOS negativos y positivos desde finales de la década de los 80s hacia final del siglo (Ver Figura 3).

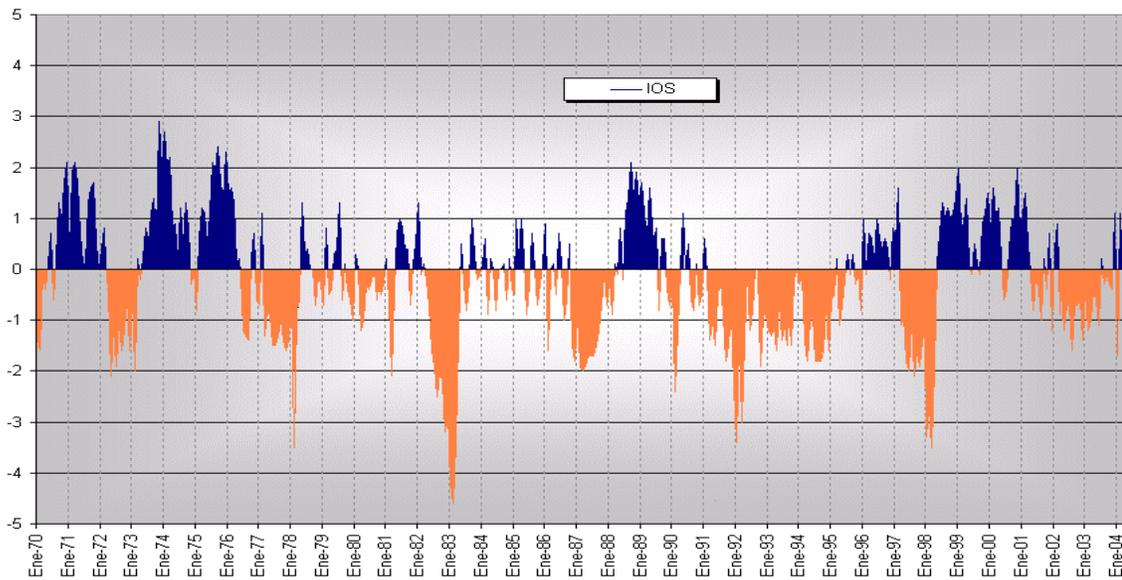


Fig. 3 Índice de Oscilación del Sur (IOS) estandarizado 1970-2004

Fuente: NCEP-NOAA/SENAMHI/DGM

### 1.6.1 Patrones de circulación atmosférica en la costa norte

Cambios en el régimen de la precipitación sobre el Océano Pacífico tropical y principalmente en la costa norte del Perú, están relacionados con cambios en el comportamiento del IOS y El Niño (ver Figuras 4a, 4b y 4c).

Las existencia de patrones consistentes entre el IOS y las lluvias principalmente en la costa norte del Perú (Departamento de Piura), se evidencian en el caso ENOS 82/83 y 97/98. Cuando los valores del IOS alcanzan valores negativos cercanos a -3 de dos a tres meses consecutivos, este comportamiento estaría asociado con una alta probabilidad de ocurrencia de lluvias por encima de su valor normal en la región costera de Piura, e incluso en la cuenca media y alta, tal como se aprecia en las figuras siguientes.

En tanto, los valores positivos de IOS, no necesariamente están relacionados con déficit de precipitación respecto a su valor medio en la cuenca del río Piura, tal como se muestra en las figuras. Valores mayores a +1,0 del IOS por más de 2 meses consecutivos “caso 88/89” están asociados a lluvias sobre su valor medio principalmente en la estación meteorológica Morropón y Huarmaca.

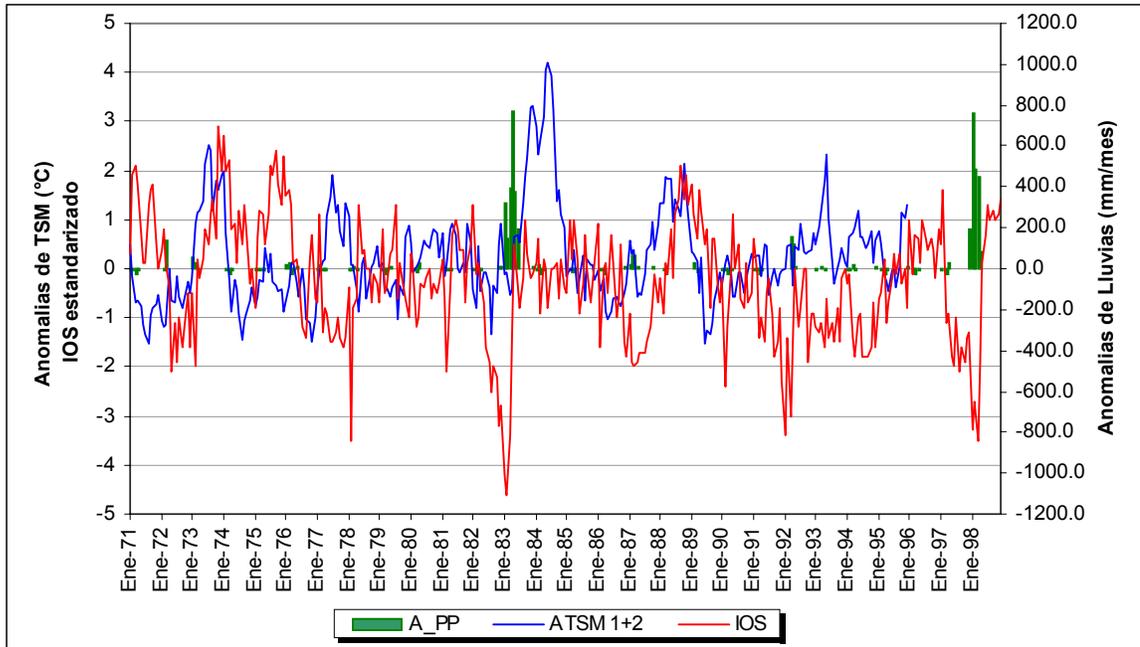


Fig. 4(a) Índice de Oscilación del sur, Anomalia de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM) en la región Niño 1+2 (10°S 90°W-80°W) y Anomalia de la precipitación (A\_PP) en la estación Morropón (5°10'47" S, 79°58'41" W, 140 msnm.).

Fuente datos: NCEP-NOAA/SENAMHI

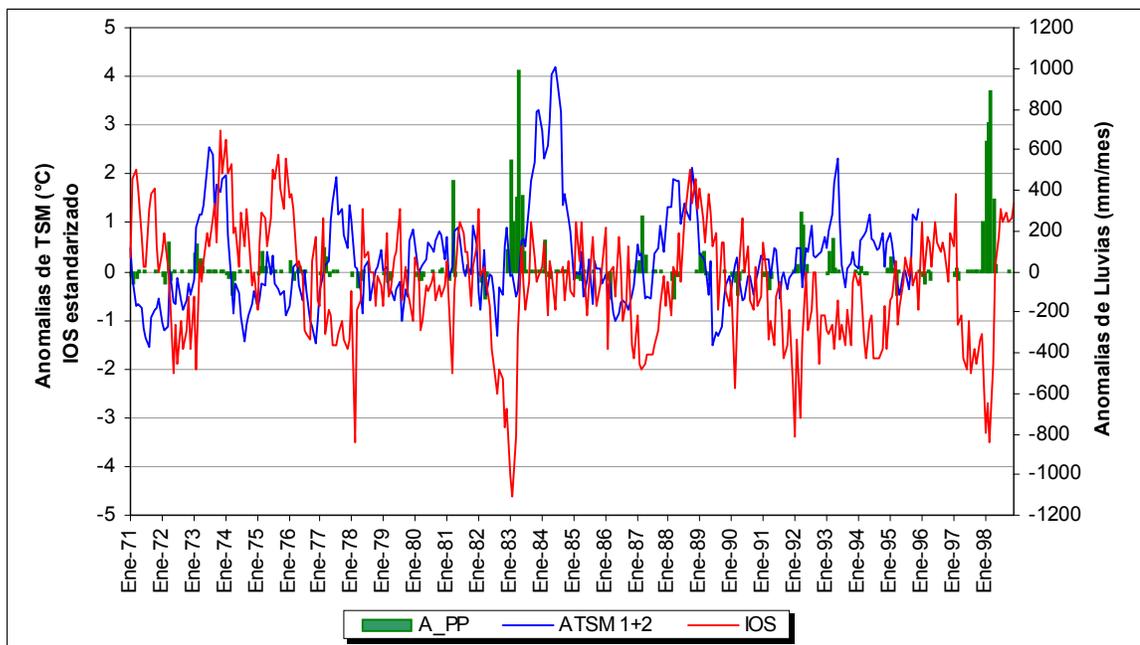


Fig. 4(b) Índice de Oscilación del Sur, Anomalia de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM) en la región Niño 1+2 (10°S 90°W-80°W) y Anomalia de la precipitación (A\_PP) en la estación Miraflores (5°10'00" S, 80°36'51" W, 30 msnm.).

Fuente datos: NCEP-NOAA/SENAMHI

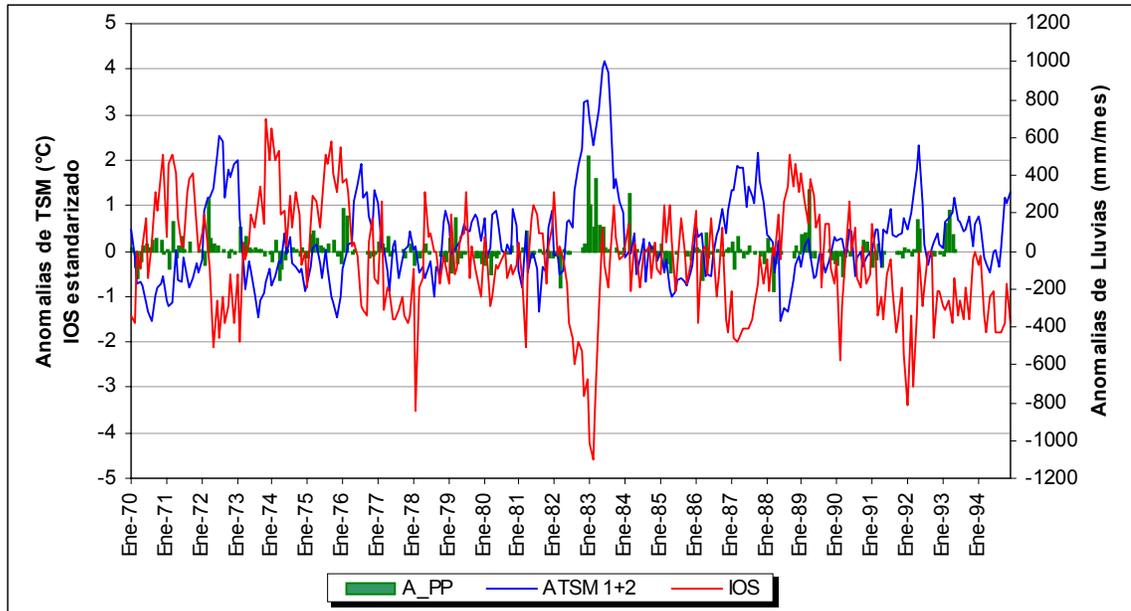


Fig. 4(c) Índice de Oscilación del Sur estandarizada (curva de color rojo), Anomalia de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM curva de color azul) en la región Niño 1+2 (10°S 90°W-80°W) y Anomalia de la precipitación (A\_PP barra de color verde) en la estación Huarmaca (5°10'00" S, 80°36'51" W, 30 msnm).

Fuente datos: NCEP-NOAA/SENAMHI

## 1.7 Great Pacific Climate Shift – “Gran Salto Climático del Pacífico”

Hace algún tiempo el Fenómeno El Niño era considerado como un evento aislado del Pacífico Sur que sólo afectaba a la costa este de Sudamérica, hasta que se observaron incrementos en la intensidad de éstos acompañados de otros fenómenos climáticos devastadores alrededor del mundo. Desde entonces, se ha dado mayor importancia al estudio de este fenómeno y con él, nuevos e importantes descubrimientos científicos permitieron dirigir la atención al tema del cambio climático como probable causa de esta aparente intensificación y mayor recurrencia del Fenómeno El Niño.

La evaluación de series de tiempo en los estudios de cambio climático ha motivado diversas hipótesis y conjeturas respecto a este proceso de calentamiento global, así como algunas interrogantes respecto al comportamiento observado en los últimos 30 años. Uno de ellos es el llamado “Great Pacific Climate Shift”, el cual refiere a un cambio en la temperatura del océano ocurrido entre los años 1976/1977 y que además reflejó un cambio en la temperatura del aire en ese mismo período. (Ver Figura 5)

Desde 1940 hasta mediados de la década de los 70's, la temperatura del aire se encontraba en un período de descenso continuo, por el cual muchos aseguraban una aproximación a un enfriamiento global. Entre 1976 y 1977, la temperatura del mar se incrementó bruscamente en el Pacífico Ecuatorial lo cual, al parecer, desencadenó una alteración en la intensidad y el tiempo de recurrencia del Fenómeno El Niño. Según Dam Shraggs del Departamento de la Tierra y Ciencias Planetarias de la Universidad de Harvard, los anillos de crecimiento en corales fosilizados muestran que el comportamiento de El Niño se mantuvo constante, con un tiempo de retorno de seis años hasta 1976. Después del salto de temperatura

en el 76, este comportamiento es diferente, con un tiempo de retorno menor de entre 3 a 5 años. (Science, 1999)

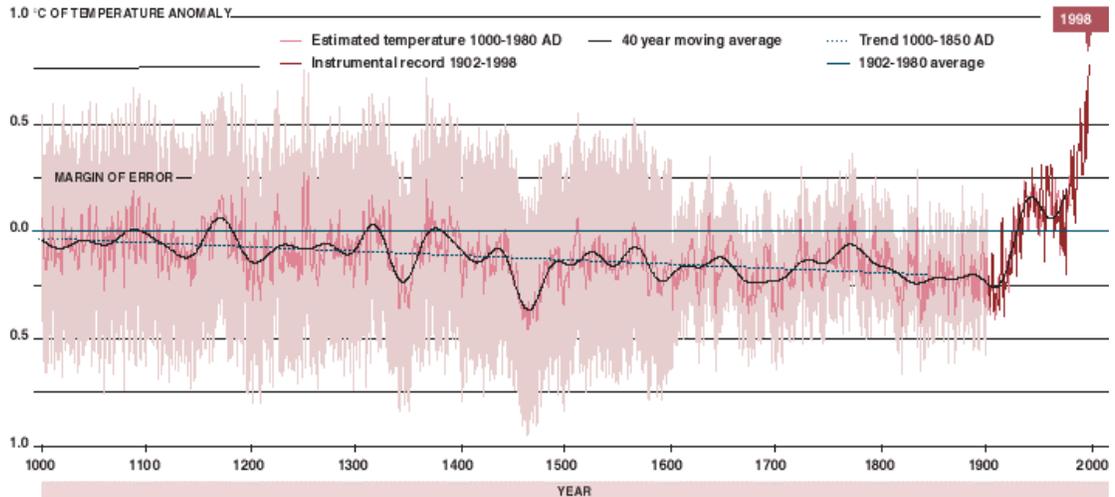


Fig. 5 Record Histórico de la temperatura media global del aire

Fuente: Michael E. Mann, Raymond S. Bradley, Malcolm K. Hughes

Existen varias hipótesis que tratan de explicar el cambio brusco de la temperatura del mar y del aire entre los años 1976 y 1977. Uno de ellos explica que ese cambio brusco es sólo debido a la variabilidad natural del sistema climático del planeta. En este caso postulan que tanto antes y después de 1976/77 no habían tendencias positivas de la temperatura de agua de mar y del aire, siendo la única diferencia la media. (ver Figura 6).

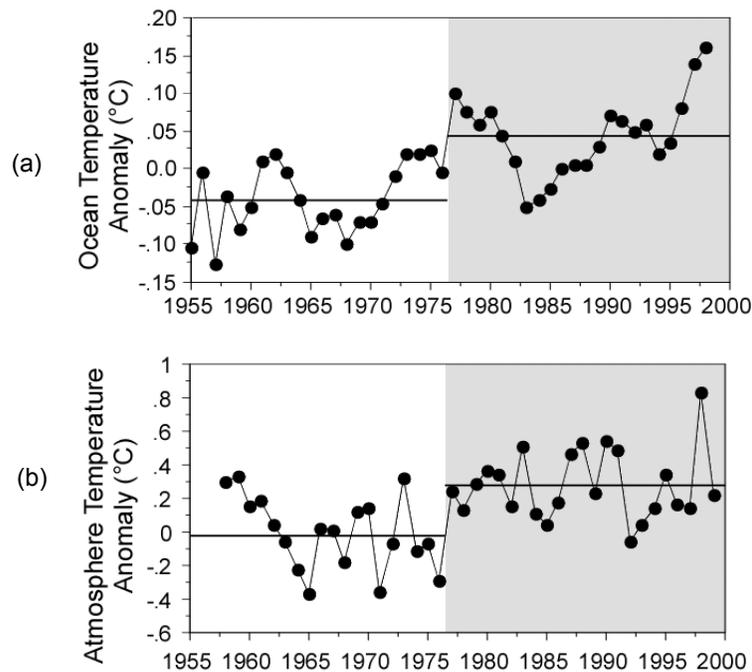


Fig. 6 Anomalías en la temperatura del océano (a) y en la temperatura del aire (b)

Fuente: Greening Earth Society, 2000

Otra de las probables causas de este gran cambio sería el incremento de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Sin embargo, aparentemente, esta hipótesis no explicaría el por qué del cambio tan brusco considerando que las emisiones de los GEI han tenido un incremento relativamente constante. Esto podría deberse a que el sistema climático, como la mayoría de sistemas naturales tiene una capacidad de amortiguamiento suficientemente grande como para permitir el ingreso de cierta cantidad de elementos contaminantes en ella, sin que el sistema se vea alterado, pero una vez pasado ese límite empieza a mostrar variaciones en su comportamiento. Lo cual indicaría que el sistema climático alcanzó su límite y se encontraría actualmente influenciado por la emisión de GEI a la atmósfera.

Esto se puede ver utilizando modelos de simulación del clima. En la actualidad tenemos buenos modelos acoplados que simulan el sistema climático y muestran la variabilidad natural que existe en él. Estos modelos nos permiten ver cual sería la variación del clima con proyección al futuro, sin tomar en consideración los gases de efecto invernadero. En la Fig. 7 (a), podemos ver que los valores observados coinciden con los simulados por el modelo sólo hasta los años 80 donde escapan del rango en el cual estaría operando el efecto de la variabilidad natural. En cambio en la Fig. 7 (b), en la cual han sido agregados los cambios de temperatura debido a las emisiones de gases invernadero, vemos que coinciden las temperaturas del modelo con las observaciones, lo que nos sugiere que el sistema climático si está siendo afectado por el incremento de gases de efecto invernadero y que se estaría dando un cambio en el clima a nivel mundial.

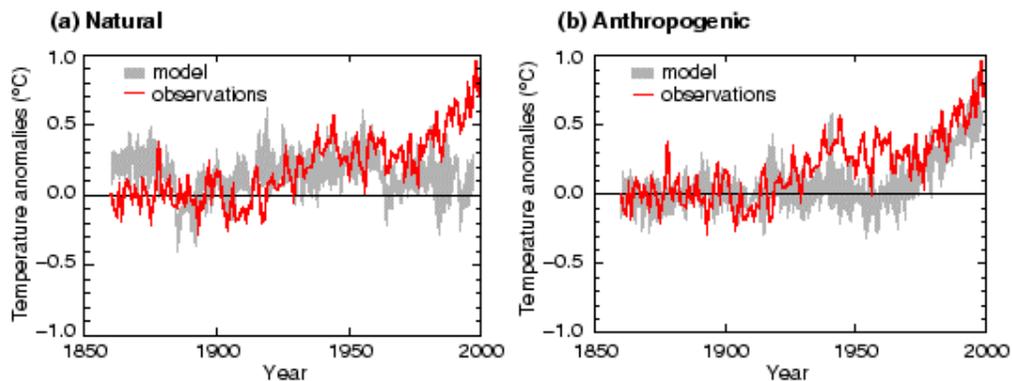


Fig. 7 Resultados de modelos de simulación del clima (a) natural y (b) con influencia antropogénica

Fuente: IPCC (2001)

Otro punto a considerar es que en la Figura 6 (a), se puede ver que hasta 1976/1977 la temperatura oscilaba con una variabilidad natural; sin embargo, después del salto de 1976/77, la temperatura ha seguido presentando pequeños saltos, dando una tendencia positiva. A partir del gráfico también se puede observar que estos saltos de temperatura se dieron en 1976/1977, 1982/1983 y 1996/1997, años en los cuales se presentaron eventos El Niño, sugiriendo que podría haber una relación estrecha entre este calentamiento y el ENOS.

## **CAPITULO II - LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO**

### **2.1 Concepto de escenarios**

Los escenarios en su forma mas simple son descripciones plausibles de cómo las cosas pueden cambiar en el futuro. La metodología empleada para la construcción de escenarios varía de acuerdo al propósito de la evaluación. Por muchos años, los escenarios han sido utilizados por los gobiernos en los ámbitos empresariales y militares como base para el planeamiento estratégico. Estos escenarios socioeconómicos proporcionan un marco para el pensamiento estructurado de cómo el futuro se puede revelar.

Entonces, ¿Qué es un “Escenario Climático”? Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático - IPCC<sup>3</sup>, los “escenarios climáticos” son descripciones coherentes y consistentes de cómo el sistema climático de la Tierra puede cambiar en el futuro. Por ejemplo, los escenarios pueden requerirse para:

- Ilustrar el cambio climático (en términos del presente clima)
- Proyección de las consecuencias potenciales del cambio climático, como por ejemplo, estimar el cambio futuro de la vegetación natural e identificar especies en riesgo.
- Planeamiento estratégico ante riesgos de incrementos de nivel del mar y de inundaciones.
- Políticas de control de las emisiones, etc.

### **2.2 Incertidumbres de escenarios**

El concepto de incertidumbre está implícito en la filosofía de desarrollo del escenario y su caracterización, y la cuantificación de la incertidumbre ha llegado a ser una rama principal de la investigación de los escenarios.

#### **2.2.1 Incertidumbre en la predicción del clima futuro**

Antes de empezar a hablar sobre las fuentes, causas y consecuencias de la incertidumbre es importante saber que es la incertidumbre. En términos más simples es algo de lo cual no estamos seguros. La incertidumbre que se tiene al predecir el clima futuro se da por dos razones. La primera está asociada al calentamiento global, el cual sabemos que se ha debido en gran parte en los últimos 50 años al incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero. Lo que no sabemos es cómo van a ser las emisiones de gases de efecto invernadero en el futuro. En segundo lugar no sabemos con exactitud cuales van a ser los efectos que tendrán estas emisiones sobre el sistema climático.

---

<sup>3</sup> Tercer Informe de Evaluación sobre el Cambio Climático 2001  
Impactos Adaptación y Vulnerabilidad

Debido a estas dos fuentes de incertidumbre, se van a presentar incertidumbres en los escenarios generados por los modelos de circulación de la atmósfera. Existen otras fuentes de incertidumbres como las que provienen de la regionalización y la variabilidad natural que también deben ser consideradas al analizar las salidas de los modelos.

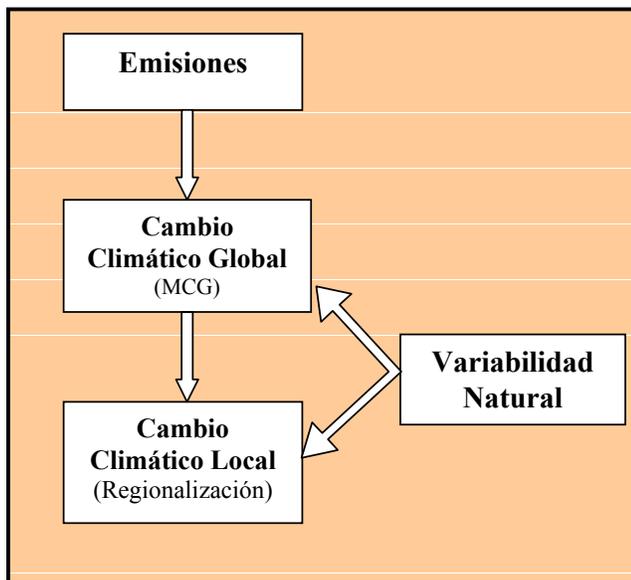


Fig. 8 Etapas en la generación de escenarios de cambio climático

Fuente: Hadley Centre

## 2.2.2 Fuentes de incertidumbre

### 2.2.2.1 Incertidumbre debido a las emisiones

Los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero provenientes de la actividad humana dependen de diversos factores socio-económicos como la población, el crecimiento económico, la tecnología, el uso de energías, entre otros. No se sabe como estos factores cambiarán en el futuro, pero si es posibles utilizar los escenarios de emisiones futuras generados por el Informe Especial de Escenarios de Emisiones (IEEE) del IPCC (Nakicenovic et al., 2000), que son escenarios de emisiones para las diferentes decisiones que podría tomar la humanidad. Estos escenarios nos dan un amplio rango de valores para las emisiones futuras. El rango de las emisiones acumuladas de carbono global desde 1990 al 2100 de los escenarios varía desde 800 GtC a 2500 GtC<sup>4</sup>. El IEEE afirma que no existe una forma objetiva de evaluar la probabilidad que uno u otro escenario se dé, de tal forma que no son igualmente probables y ninguno debería ser descartado.

<sup>4</sup> The UKCIP02 Scientific Report, Hadley Centre, April 2002

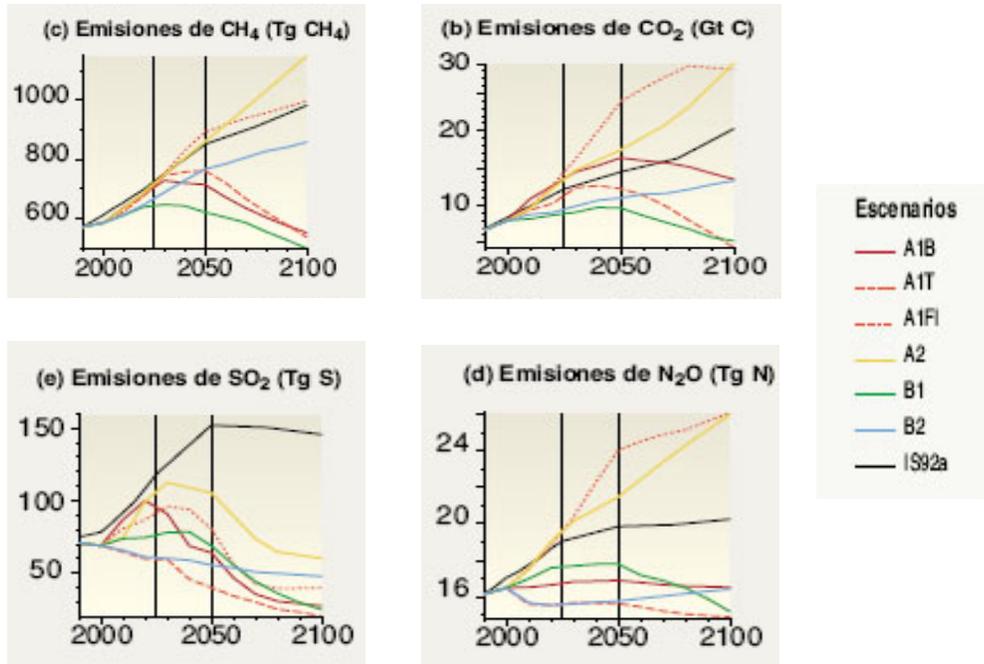


Fig. 9 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEIs) del 2000 al 2100 para los diferentes escenarios del IEE.

Fuente: IPCC

### 2.2.2.2 Incertidumbre debido a los modelos

Los modelos son representaciones de un objeto, proceso o sistema. En el caso de modelos de cambio climático, estos tienen que representar el sistema climático y los procesos internos que ocurren en él. Esto implica tener un conocimiento detallado del sistema. En el sistema climático ocurren muchos procesos cuyo conocimiento aún no es perfecto, lo que los hace más difíciles de modelar. Esto hace que de acuerdo al diseño del modelo, algunos de ellos representen la realidad de algunas variables mejor que otros. Un ejemplo claro es cuando se modela el ENOS: existen algunos modelos que lo pueden modelar bien (como el MPIfM) pero otros que no. Por eso se deben seleccionar los modelos que representen mejor la realidad, para lo cual no existe un método objetivo directo y requiere de un conocimiento detallado tanto del modelo como del sistema climático en conjunto con una fuente de observaciones del mismo.

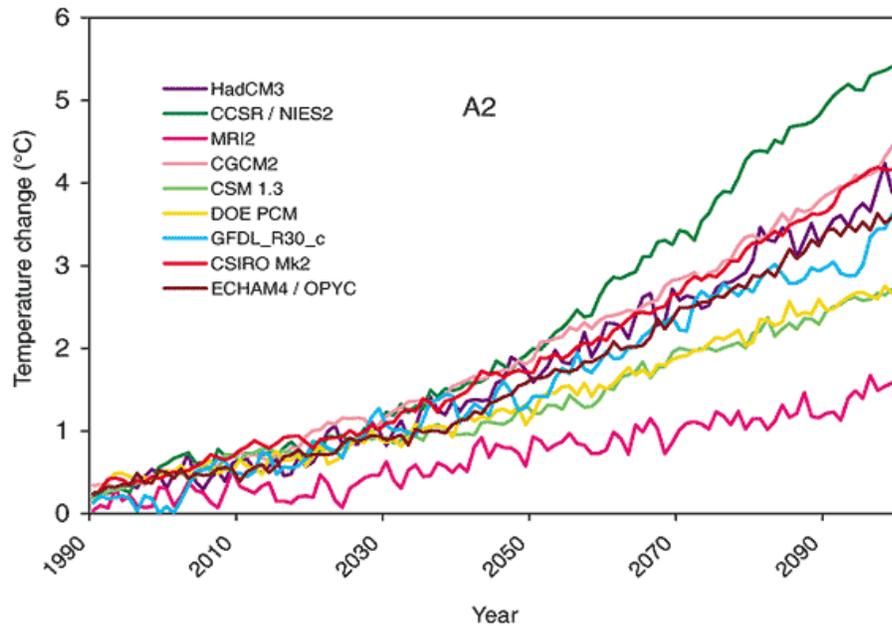


Fig. 10 Cambio en la temperatura global promedio simulado por nueve modelos climáticos para el escenario A2 del IPCC.

Fuente: IPCC TAR

### 2.2.2.3 Incertidumbre debido a la variabilidad natural

Otra fuente de incertidumbre en la predicción del clima futuro es la variabilidad interna del clima. Algunos cambios en el clima que ocurren de año a año no se deben al cambio climático global sino son cambios que ocurren en el sistema climático debido a su naturaleza caótica, que resulta de las fluctuaciones internas y causas externas, como la variabilidad solar o erupciones volcánicas. En un momento futuro dado, la variabilidad natural puede sumarse o restarse al cambio climático generado por la actividad humana. Desafortunadamente, no se puede predecir la variabilidad natural del clima para escalas de tiempo largas, y en especial en escala espacial pequeñas, ya que los efectos de la variabilidad natural aumentan al disminuirse la escala espacial. Es importante tener en cuenta si los cambios en eventos como el fenómeno ENOS son debido a una variabilidad interna del clima o debido al cambio climático global.

### 2.2.2.4 Incertidumbre debido a la regionalización

Los modelos de circulación global de la atmósfera que se utilizan para predecir el clima futuro son importantes ya que nos permiten evaluar el impacto que estos cambios producirán y crear planes de adaptación, y se requiere trabajar a un nivel regional. Los modelos de circulación global de la atmósfera trabajan con resoluciones espaciales muy bajas, normalmente de 300 a 500 km, y no nos permite conocer los cambios en las diferentes regiones del país. La incertidumbre aparece debido a la necesidad de rellenar los detalles regionales que faltan. Este proceso se conoce como regionalización o “downscaling”, y consiste en tomar en cuenta un número de influencias sobre el clima a una escala de grilla sub-MCG, que se dan por efecto de las montañas, líneas costeras, lagos y lagunas, mares tierra adentro, heterogeneidades en la cobertura superficial y procesos a menor

escala en la atmósfera. La regionalización puede ser dinámica, estadística o una mezcla de ambas.

La regionalización dinámica se lleva a cabo mediante un modelo climático regional con una mayor resolución que los MCGs, determinado por condiciones de menor resolución dadas por el modelo global. Es claro que se agregan incertidumbres debido a la regionalización dinámica ya que los diferentes modelos climáticos regionales (MCR) tendrán diferentes representaciones de los procesos climáticos.

Las diferencias en las predicciones de los diferentes MCGs son generalmente mucho mayores a las incertidumbre de la regionalización, y por ende podemos esperar que las diferencias en los resultados de los mismos MCR determinados por diferentes MCG sean mayores que las provenientes de diferentes MCRs determinados por el mismo MCG. En otras palabras es probable que la mayor incertidumbre se encuentre en la predicción global y no en él la regionalización dinámica usando modelos de circulación regional. (Hadley Centre, 2002)

En la regionalización estadística, las relaciones calibradas de las observaciones son utilizadas para deducir la relación entre los modelos de circulación global y el clima local.

Se ha encontrado que los dos métodos se llevan a cabo en forma similar cuando simulan variabilidad dentro del clima presente, pero son significativamente diferentes al simular cambios futuros. Estos cambios pueden deberse que la Regionalización Estadística (RE) no toma en cuenta el feedback físico que juega un papel importante en el cambio climático, pero que está excluido de la RE porque no es un buen predictor de la variabilidad climática. Sin embargo, muchos MCR no proveen de feedback al MCG "Madre".

Por otro lado, diferentes resultados pueden ocurrir dado que los MCRs no reproducen la relación inter-variable observada utilizada para calibrar las ecuaciones de la RE. Una tercera posibilidad es que las relaciones inter-variables simuladas por los MCRs pueden cambiar en respuesta al feedback climático físico, mientras que la RE asume que las relaciones que se presentan en el clima presente continuarán invariables en el futuro, y la validez de esta asunción no siempre es fácil de demostrar.

### **2.3 Los escenarios de emisiones**

Existen escenarios del "posible clima futuro", que son derivados de los escenarios de posibles emisiones futuras de gases de efecto invernadero, los cuales se utilizan en modelos climáticos como elemento introducido para el cálculo de proyecciones climáticas. Cualquier descripción posible del clima futuro dependerá de asunciones sobre las emisiones futuras de los gases de invernadero y otros agentes contaminantes; es decir, dependerán de la opción del panorama de las emisiones. Un panorama en el cual la emisión de gases de invernadero es baja, debe conllevar a un cambio menos rápido del clima que uno en el cual las emisiones son altas. Un panorama del cambio del clima por lo tanto es una descripción coherente de un cambio futuro del clima bajo asunciones específicas sobre el crecimiento de emisiones de gases de invernadero y de otros agentes contaminantes y sobre otros factores que puedan influenciar en el clima futuro.

Tyndall Centre (2002), señala que los escenarios son una descripción del clima futuro, el cual depende de asunciones acerca de futuras emisiones de gases de

efecto invernadero y otros contaminantes, dependiendo de las opciones de los escenarios de emisiones.

En el 2000, el IPCC finalizó su Informe Especial de Escenarios de Emisiones (IEEE) ideado por Nakicenovic y otros. Estos nuevos escenarios examinan el período de 1990 al 2100 e incluyen diversos supuestos socioeconómicos como la población mundial y el producto bruto interno. Los escenarios IEEE se han utilizado como base de las proyecciones climáticas de modelos de circulación general de la atmósfera (MCG) y modelo acoplados.

Los escenarios comprenden una línea evolutiva similar en lo que respecta a sus características demográficas, sociales, económicas y de cambio tecnológico y están constituidos por cuatro familias de escenarios: A1, A2, B1 y B2.

**A1:** La familia de escenarios y línea evolutiva A1 describe un mundo futuro de crecimiento económico muy rápido; la población mundial alcanza su nivel más alto a mitad de siglo y disminuye posteriormente, produciéndose una rápida introducción de nuevas tecnologías más eficientes. Las cuestiones más importantes son la interacción cultural y social entre las regiones y la capacitación, con una importante reducción de las diferencias regionales en los ingresos per cápita. La familia de los escenarios A1 se divide en tres grupos que describen las distintas direcciones del cambio tecnológico en el sistema energético. Los tres grupos A1 se distinguen por su énfasis tecnológico: fuentes de energía intensivas de origen fósil (A1F1), de origen no fósil (A1T) o un equilibrio entre todas las fuentes (A1B) donde el equilibrio se define como la no dependencia excesiva de una fuente de energía concreta, suponiendo que se apliquen ritmos similares de mejoras en todas las formas de aprovisionamiento energético y en las tecnologías de uso final.

**A2:** La familia de escenarios y línea evolutiva A2 describe un mundo muy heterogéneo. La cuestión subyacente es la autosuficiencia y preservación de las identidades locales. Los perfiles de fertilidad en las distintas regiones tienden a converger muy lentamente, lo cual acarrea un aumento continuo constante de la población. El desarrollo económico tiene una orientación principalmente regional y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico están fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

**B1:** La familia de escenarios y línea evolutiva B1 describe un mundo convergente, con la misma población mundial, que alcanza su nivel más alto a mediados del siglo para disminuir posteriormente, como línea evolutiva A1 pero con cambios rápidos en las estructuras económicas hacia una economía de la información y de los servicios, con reducciones en el consumo de materiales e introducción de tecnologías limpias y de recursos eficaces. En esta línea evolutiva se hace hincapié en las soluciones mundiales a la sostenibilidad económica social y ambiental, lo que comprende una mejora de la equidad.

**B2:** La familia de escenarios y línea evolutiva B2 describe un mundo en el que se hace hincapié en las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Se trata de un mundo cuya población mundial crece continuamente, a un ritmo menor al de la línea evolutiva A2, con niveles medios de desarrollo económico y cambios tecnológicos menos rápidos y más variados que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque el escenario también está orientado hacia la protección ambiental y a la equidad social, se centra en las escalas: local y regional.

## 2.4 Emisiones de CO<sub>2</sub> global

En la figura 11 se muestra las emisiones globales de CO<sub>2</sub> proveniente de la energía e industria desde 1900 a 1990 y en los 40 escenarios desde 1990 a 2100 indicados en forma de índice (1990=1).

Fig. 11 Rango de escenarios de emisiones de carbono globales publicadas hasta el 2100 y rango de emisiones calculados por el IEEA del IPCC.

Fuente: IPCC

Las líneas punteadas muestran los escenarios individuales y el área sombreada de azul denota la diversidad de escenarios aparecidos en las publicaciones, conforme se documenta en la base de datos del IEEA.

Los 40 escenarios son clasificados en 6 grupos, las barras coloreadas verticales indican el rango de emisiones en el 2100 de estos 6 grupos, asimismo se muestran los escenarios que incluyen iniciativas climáticas adicionales designados como “intervención”, aquellas que no tienen intervención y aquellas que no pueden ser asignadas a ninguna de las 2 categorías anteriores denominada “no clasificada”.

En la figura 12, se muestra el total global anual de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las diferentes fuentes (energía, industria y cambio de uso de la tierra) desde 1990 al 2100 en giga toneladas de carbono (Gt/año) por las familias en los 6 grupos de escenarios. Los 40 escenarios son presentados en 4 familias (A1, A2, B1 y B2) y los 6 grupos de escenarios: A1F1 uso intensivo de combustible fósil, A1T predomina el uso de combustible no fósil y un balanceado uso en A1, A2, B1 y B2. Cada banda coloreada de emisión muestra el rango de los escenarios armonizados<sup>5</sup>; y no armonizados dentro de cada grupo y se muestra el promedio marcado en líneas sólidas para las familias principales así como para A1F1 y A1T en líneas punteadas. Se puede observar que el escenario A2 emitiría 28Gt el 2100, mientras que el A1 14Gt, el B2 13Gt y B1 5Gt .

<sup>5</sup> Relación coherente entre población mundial, producto bruto mundial y consumo de energía

Fig. 12 Total global anual de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las diferentes fuentes desde 1990 al 2100 en giga toneladas de carbono (Gt/año) por las 4 familias A1, A2, B1, B2.

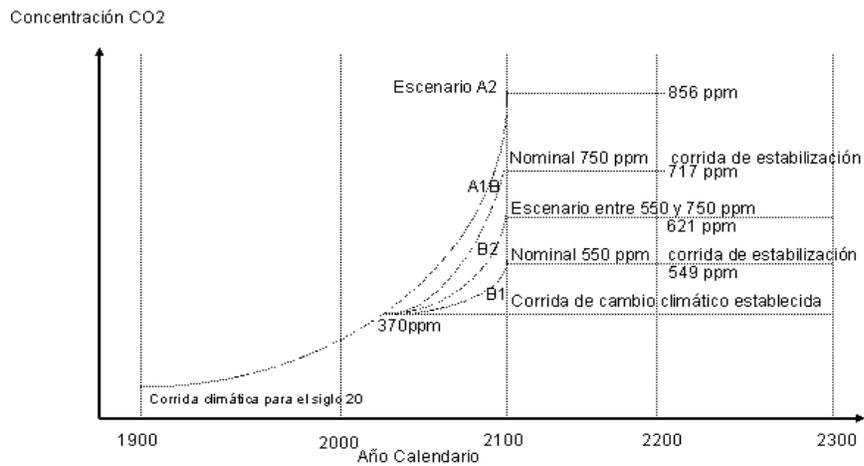
Fuente: IPCC

## 2.5 Concentración de CO<sub>2</sub> en los diferentes escenarios

De acuerdo a las concentraciones de CO<sub>2</sub> se puede observar en la figura 13 que el escenario A2 tendrá una concentración de 850 ppm (partes por millón) en el año 2100, mientras que el escenario A1 750 ppm, B2 621 ppm y B1 549 ppm.

### Estabilización de escenarios propuesta por IPCC WG1 TSU

El escenario A1B es preferible al escenario A2 porque la concentración en el 2100 del escenario A1B esta mas cercana a 750 ppm que A2.



- Fuente: IPCC
- (1) Corrida de Escenario (con ensamblado): A2, A1B, B2, B1
  - (2) Corrida de estabilización de escenario (con ensamblado): corrida CCC, 550 ppm, 750 ppm, overshoot

Fig. 13 Estabilización de Escenarios propuesta por el IPCC

## CAPITULO III – CUENCA DEL RIO PIURA

### 3.1 Ubicación

La cuenca del río Piura, se sitúa en la región de Piura, en el norte del Perú, entre los 99° 33' - 80° 58' longitud Oeste y 04°46' - 05°43', latitud Sur. Los límites de la cuenca son los siguientes:

- Este - Nor Este: Cuenca Alta del río Huancabamba
- Sur - Sur Oeste: Cuenca Alta de los ríos Ñaupe, Santa Rosa, Quebrada Piedra Blanca
- Oeste - Nor Oeste: Cuenca Alta del río Chira
- Sur Oeste: Océano Pacífico
- Sur Este: Lagunas Ramón y Ñapique y el desierto de Sechura

La Región Piura tiene 35,892.49 Km<sup>2</sup> de superficie, de la cual 12,216 Km<sup>2</sup> pertenecen a la cuenca del río Piura. La cuenca comprende:

- Provincia de Piura
- Provincia de Morropón
- Provincia de Sechura
- Provincia de Huancabamba

Fig. 14 Ubicación geográfica de la Cuenca del río Piura

Fuente: SENAMHI - SIG

### 3.2 Hidrografía

El río Piura, que pertenece al sistema hidrográfico de la Vertiente del Océano Pacífico, tiene su origen a 3400 m.s.n.m en las inmediaciones del cerro Parathón y desemboca en el Océano Pacífico, formando un delta en la zona de San Pedro. El río Piura tiene una longitud aproximada de 295 Km. Presenta una pendiente suave en un tramo de 248 km entre la desembocadura y la conexión con el río Huarmaca. El tramo final de 32 Km. tiene una pendiente promedio mayor de 7.8%.

La cuenca del río Piura está constituida por nueve sub cuencas: Huarmaca o San Martín, Pata, Puzmalca, Canchaque, Bigote, Corral del Medio, La Gallega, Yapatera y Charanal.

### 3.3 Características Climáticas

Según el mapa de clasificación climática del Perú (SENAMHI, 1988), en la cuenca del río Piura encontramos 4 climas diferentes.

En la parte más baja de la Cuenca, cerca a la desembocadura del río al Océano Pacífico tenemos un clima E(d) B1' H3, lo que corresponde a una zona desértica semi cálida con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y con humedad relativa calificada como húmeda. Esta clasificación corresponde a las localidades de Talara y Bayovar.

En la zona de Piura (el Valle del Bajo Piura) se da un clima de clasificación E(d) A' H2, la que la hace una zona desértica, cálida, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y con humedad relativa calificada como seca.

En la Cuenca Media, donde se encuentran las localidades de Morropón y Tejedores, tenemos una clasificación E(d) A' H3, una zona desértica, calida, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y con humedad relativa calificada como húmeda.

En algunas partes altas de la Cuenca tenemos un clima lluvioso, semi frío, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno.

### 3.4 Hidrogeología

Las aguas de la cuenca son originadas por precipitaciones pluviales, que de acuerdo a la información, meteorológica y apreciación preliminar de campo tiene las siguientes características (CONDESAN, 2003):

**Franja de la parte alta:** las precipitaciones son casi constantes y la infiltración es intensa formando así los manantiales, vertederos, puquios que dan origen a las diferentes quebradas que forman el cauce principal del río Piura (partes altas de Canchaque, Santo Domingo, Chalaco, Lalaquí, Frías, Huarmaca, etc).

**Franja de la parte media – superior:** con precipitaciones medianamente abundantes, infiltración de acuerdo a litología y estructuras; es el límite superior de los afloramientos de fuentes de vertientes (Pambarumbe, Paltashaco, San Jorge, Los Ranchos, La Filadera).

**Franja de la parte media – Inferior:** Zona con precipitaciones escasas, circulación de las aguas por fisuras, escorrentía nula y con la napa subterránea en varios acuíferos intensamente explotados (valle del alto Piura).

**Franja de la parte baja:** tiene precipitaciones esporádicas, escorrentía casi nula, donde el aprovechamiento de las aguas de los reservorios Poechos, San Lorenzo y Los Ejidos es intensa (Piura, Bajo Piura, Sechura, Bernal, Catacaos, etc.).

### 3.5 Uso del Agua de la Cuenca del Río Piura

#### Uso Agrícola

El uso del agua de la cuenca del río Piura está orientado principalmente a la producción agrícola. Los cultivos principales como algodón, maíz, arroz, hortalizas y forrajes se consumen 551668 MMC/ año, de los cuales 502987 MMC corresponde a la primera campaña y 48671 a la segunda campaña.

#### Uso No Agrícola

Los otros usos de agua en la cuenca corresponde al poblacional, que en total para el año 2001, la Empresa Prestadora de Servicios Grau (EPS Grau S.A.) ha calculado en 32739 MMC, distribuido en 1855 MMC/ año para satisfacer a una población de 98010 habitantes de la cuenca alta y 30.883 MMC/ año para satisfacer una población de 396,447 habitantes de las Cuencas Media y Baja del río Piura.

Con respecto a uso minero en la cuenca del río Piura, se registra un consumo de 0.57 MMC/año en el Centro Minero de Bayóvar.

### 3.6 Actividad Agrícola

La distribución de cultivos en la cuenca del río Piura está en relación a los pisos altitudinales, la disponibilidad de agua y las condiciones climáticas, y de acuerdo a su período vegetativo están considerados como transitorios, permanentes o semi permanentes. Las áreas de cultivo correspondientes a cada categoría son las siguientes:

- **Cultivos transitorios:** son aproximadamente 70 896 ha.
- **Cultivos permanentes:** se encuentran instaladas 28 971 ha.
- **Cultivos semi Permanentes:** con 9 100 ha.

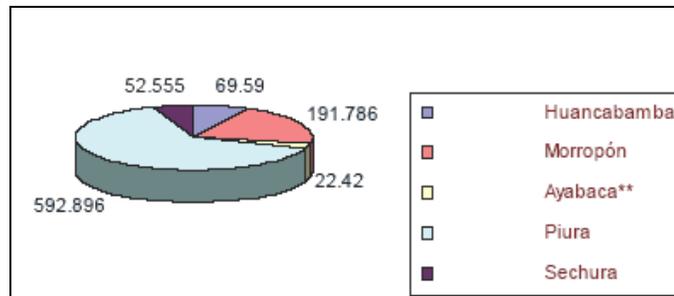
Por zonas:

- **Cultivos de la zona baja:** limón, mango, tamarindo, cocotero, espárrago, pasto elefante, alfalfa, arroz, maíz amarillo duro, maíz choclo, hortalizas, frijol castilla, entre otros.
- **Cultivos de la zona media:** papayo, tuna, tamarindo, cocotero, limonero, mango, palto, café, cacao, plátano, gramalote, arroz, maíz amiláceo, maíz amarillo duro, trigo, ají pprika, yuca, frijoles, camote, algodón.

- **Cultivos de la zona alta:** maracuyá, palto, lúcuma, café, granadilla, maíz amiláceo, arveja, pasto elefante, frijol, ajo, trigo, maíz amarillo duro, cacao, mamey, caña de azúcar, naranja, mango ciruelo.

### 3.7 Población

La población de la Cuenca del río Piura, considerando los distritos que la conforman, registra 929247 hab., que representa el 55.9% de la población Regional. Tiene una tasa de Crecimiento Poblacional Promedio para el año 2001-2002 de 0.82% para los distritos de la cuenca. (INEI, 2001)



\* No incluye los distritos de Huancabamba, Sónдор, Sondorillo y Carmen de la Frontera  
 \*\* Incluye sólo el distrito de Frías.

Fig. 15 Distribución de la Población en la Cuenca del Río Piura

FUENTE: INEI- Compendio Estadístico Departamental 1999-2000.

### Población económicamente activa

Según el censo de Población y Vivienda de 1993, la población económicamente activa de la región Piura es de 400080, de esta cantidad 310192 son hombres (77.5 %) y 89988 (22,5%) son mujeres. Existen 284079 habitantes en la zona urbana y 116001 en la zona rural.

PEA Urbana y Rural, Sexo, Área, Actividad Económica por Edades

Provincia	Total	Sexo		Área			
		Hombre	Mujer	Urbana	%	Rural	%
Total	400 080	310 192	89 988	284079	100.0	116001	100.0
Piura	159 351	119 132	40 219	136699	48.1	22652	19.5
Ayabaca	35 602	29 684	5 819	3798	1.3	31804	27.4
Huancabamba	34 729	26 183	8 546	4252	1.5	30477	26.3
Morropón	46 494	38 290	8204	25463	9.0	21031	18.1
Paita	21 851	17 733	4 118	20316	7.2	1535	1.3
Sechura*	-	-					
Sullana	66 592	51 966	58465	58465	20.6	8127	7.0
Talara	35 461	27 204	35 086	35 086	12.4	375	0.3

\*Sin información

FUENTE: Censo Nacional de Población y Vivienda 1993

La población económicamente activa mayor de 15 años por rama de la actividad económica es como sigue:

- Agricultura, ganadería, caza y selvicultura: 148,115 habitantes (37%).
- Comercio: 50107 (12.5%).
- Industria manufacturera: 31588 (7.9%).
- Enseñanza: 17411 (4.3%).

Existe un 11% de actividades de ocupación que no son declaradas y las actividades en las que hay menor ocupación son los rubros de electricidad, gas y agua e intermediación financiera.

## **CAPITULO IV - ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE CIRCULACION GENERAL DE LA ATMÓSFERA (MCG)**

### **4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS DE CIRCULACION GENERAL**

Los modelos de circulación general de la atmósfera (MCG) son algoritmos matemáticos que intentan simular el sistema climático de la tierra. Estos modelos se encuentran en el extremo superior de la jerarquía de modelos del clima, son acoplados (atmósfera-océano y suelo) y predicen cambios de las variables en un mayor tiempo. Las expresiones matemáticas que configuran un MCG se pueden analizar por separado dentro de las tres principales partes de que constan estos modelos:

- La dinámica del sistema del clima que describe el movimiento a gran escala de las masas de aire y el transporte de la energía y momentum.
- La física del sistema climático tal como transmisión de la radiación a través de la atmósfera, la termodinámica, y la evaporación.
- Otros factores tales como la interacción océano-atmósfera, topografía, y parámetros de la vegetación.

Estas expresiones son basadas en las leyes físicas tales como la conservación de energía y masa así como las relaciones empíricas basadas en características y tendencias observadas, tales como fórmulas que relacionen temperatura y humedad con la formación de la nube.

Los MCG utilizan las mismas ecuaciones de movimiento que un modelo de predicción numérica del tiempo (PNT), siendo su propósito simular numéricamente cambios en el clima como resultado de cambios lentos en algunas condiciones de frontera (tales como la constante solar) o parámetros físicos (tal como la concentración de los gases de efecto invernadero). Los modelos PNT se utilizan para predecir el tiempo futuro a corto plazo (1-3 días) y medio plazo (de 4-10 días). Los modelos MCG corren para mayor tiempo (años); tiempo suficiente para aprender sobre el clima en un sentido estadístico (es decir la media y la variabilidad).

Los MCG por ser globales tienen una menor resolución, por lo cual no son muy indicados para estudios e investigación de zonas específicas; en ese sentido es necesario el uso de un modelo regional el cual puede tomar mayores resoluciones y ser más hábiles en la determinación del clima de una zona. Entonces, para determinar el clima se utilizan dos modelos: uno global, el cual da las condiciones de frontera al otro modelo regional, denominándose a este proceso regionalización dinámica.

Una comparación entre los modelos MCG y los modelos PNT están resumidos en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de los modelos PNT y MCG

<b>Contrastes</b>	PNT	MCG
Objetivo	Para predecir el tiempo	Simular la evolución del clima
Cobertura espacial	Regional o global	Global
Rango temporal	Días	Años
Resolución espacial	Variable (20-100 km)	Usualmente de 3° a 5°
Importancia de las condiciones iniciales	Alta	Baja
Importancia de la radiación (nubosidad)	Baja	Alta
Importancia de la superficie (suelo, hielo, océano...)	Baja	Alta
Importancia de la dinámica y termodinámica oceánica	Baja	Alta
Importancia del modelo de estabilidad	Baja	Alta
<b>Similitudes</b>		
Física	Ecuaciones de movimiento	
Método	Diferencias finitas o representación espectral	
Salidas	Variables de estado y movimiento de la atmósfera en tres dimensiones	
Máximo tiempo de cada integración	Controlado por la resolución espacial	

#### 4.1.1 Modelos utilizados en este estudio

Los modelos utilizados provienen de siete Centros de Predicción del Clima y Cambio Climático. Todos ellos son modelos acoplados con el océano. En este Reporte se ha trabajado con los modelos listados en la tabla 2. Para el análisis de TSM no se utilizó el modelo del Hadley Centre (2) por la no disponibilidad de datos pronosticados para esta variable; pero si se utilizó para el análisis de la presión a nivel del mar. A continuación se hace una breve descripción de los modelos citados en la tabla 2:

##### 1. Instituto Max Planck de Alemania

Cuyo modelo es el ECHAM4/OPYC3 que fue desarrollado en cooperación entre el Instituto de Meteorología Max Planck (MPI) y Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ) en Hamburgo, Alemania. El modelo MPI ECHAM4 (T42 L19) puesto en funcionamiento desde el año 1996 es el cuarto de una serie de los modelos desarrollados en MPI que originalmente derivaron del modelo de rango medio para Europa (ECMWF).

En la representación horizontal utiliza el modo espectral (funciones armónicas esféricas) con transformaciones a la grilla gauseana para el cálculo de cantidades no lineales y de alguna variable física. Usa la truncación triangular 42 (T42) o equivalente a 2.8 x 2.8 grados latitud-longitud. En el dominio vertical, va desde la superficie hasta los 10 hPa. Para una superficie de 1000 hPa, el más bajo nivel atmosférico es en 996 hPa. Utiliza la coordenada híbrida sigma-presión en la vertical con 19 niveles.

## **2. Hadley Centre para la Predicción Climática e Investigación de Inglaterra**

El modelo es el denominado HADCM3 el cual es un modelo acoplado océano-atmósfera MCG descrito por Gordon (1999). Este modelo tiene una climatología de control estable.

La componente atmosférica del modelo tiene 19 niveles con una resolución horizontal de 2.5° de latitud con 3.75° de longitud, los cuales producen una grilla global de 96 x 73; esto es equivalente a una resolución de 417 km X 278 km sobre el ecuador, reduciéndose a 295 km X 278 km en 45° de latitud, comparable con una resolución T42.

La componente atmosférica del modelo opcionalmente permite la emisión, transporte, oxidación y deposición de los componentes sulfúricos para ser simulados interactivamente.

La componente oceánica del HadCM3 tiene 20 niveles con una resolución horizontal de 1.25° X 1.25°, la cual es una resolución que hace posible la representación de importantes detalles de la estructura normal oceánica.

El modelo es inicializado directamente del estado observado del océano (Levitus, 1994) en reposo con un adecuado estado atmosférico y del hielo oceánico. La atmósfera y el océano intercambian información una vez por año. Los flujos de calor y de agua son conservados exactamente en la transferencia entre sus diferentes puntos de grilla.

## **3. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization de Australia**

El modelo utilizado es el CSIRO-Mk2, el cual es acoplado y espectral con una resolución horizontal R21, cuya grilla es aproximadamente 625 km X 350 km. Tiene 9 niveles en la atmósfera vertical.

Los flujos de calor ajustados son aplicados al océano para representar el calor desde las profundidades del océano y el efecto de las corrientes. Los flujos son determinados por un experimento de 10 años de las temperaturas de agua de mar observadas el cual es manejado separadamente.

El modelo no toma en cuenta todos los procesos (natural y antropogénico) los cuales afectan la variabilidad climática y el cambio climático. Algunos procesos no son bien entendidos y otros deben estar representados en una manera simplificada que pueda asegurar una eficiencia computacional.

Este modelo no incluye el efecto de enfriamiento regional producido por los sulfatos lo cual ha sido identificado por el IPCC como un importante elemento antropogénico para el cambio climático.

#### 4. National Centre for Atmospheric Research - CSM de Estados Unidos

Este modelo acoplado CCSM (Community Climate System Model) es un modelo para simular el sistema climático de la tierra; integrado por cuatro componentes separados que simulan simultáneamente la atmósfera, el océano, la superficie y hielo marino, y un componente central acoplador. El CCSM permite a los investigadores conducir la investigación fundamental del pasado, presente y futuros estados del clima.

El proyecto de CCSM es un esfuerzo cooperativo de los investigadores del clima de los Estados Unidos apoyado principalmente por el National Science Foundation (NSF) y centrado en el National Center for atmospheric Research (NCAR) en Boulder, Colorado. El desarrollo científico de este modelo CCSM es dirigido por los grupos de trabajo del CCSM, que se reúnen dos veces al año. El taller principal de CCSM se realiza en el mes de junio de cada año para mostrar los resultados de los grupos de trabajo y coordinar el futuro del CCSM.

Las componentes del CCSM son los siguientes:

<b>Cpl</b>	:	El acoplador
<b>Atm</b>	:	Componente atmosférica
<b>Ocn</b>	:	Componente oceánica
<b>Ice</b>	:	Componente de hielo marino
<b>Lnd</b>	:	Componente de la superficie terrestre

Durante el curso de una integración de CCSM, cada uno de los cuatro modelos componentes integra hacia delante en tiempo simultáneamente y periódicamente se detiene para intercambiar la información por el acoplador. El acoplador recibe campos de los modelos, cálculos, mapas y fusiona esta información y envía de regreso los campos a las componentes del modelo. Para manejar esta secuencia de los intercambios de comunicación, el acoplador maneja el tiempo de proceso del modelo acoplado.

El modelo atmosférico utilizado se denomina Community Atmosphere Model (CAM), el cual es un modelo atmosférico de circulación general desarrollado a partir de NCAR-CCM3. Tiene una resolución horizontal de T42 con 26 niveles en la vertical, posee una coordenada vertical híbrida unida a una coordenada sigma cercana a la superficie y una coordenada de presión en el tope de la atmósfera.

El modelo oceánico es una extensión del Parallel Ocean Program (POP) de Los Alamos National Laboratory (LANL). Las grillas del POP tienen 1° X 3.6° de resolución horizontal.

La componente de hielo marino del CCSM se denomina Community Sea-Ice Model (CSIM4), que incluye esquemas dinámicos, espesores de la distribución de hielo, conservación y termodinámica de la energía, y un modelo de una capa de mezcla. Este modelo tiene la habilidad de correr usando concentraciones de hielo preescritos anteriormente.

## **5. Canadian Centre for climate modelling and Análisis de Canadá**

El modelo de circulación general acoplado CGCM2 consta de dos componentes una atmosférica y oceánica. El modelo atmosférico es espectral con truncación triangular T32, la cual corresponde aproximadamente a una resolución horizontal de  $3.7 \times 3.7^\circ$ , además tiene 10 niveles en la vertical. La componente oceánica esta basada en el modelo MOM1.1 y tiene una resolución de  $1.8^\circ \times 1.8^\circ$  y 29 niveles en la vertical. El modelo usa los flujos de calor sensible y latente obtenidos de los modelos oceánicos y atmosféricos corridos sin acoplar 10 y 4000 años respectivamente, seguidos por un procedimiento de adaptación en la cual los flujos son calibrados o ajustados por 14 años de integración del modelo acoplado.

La habilidad de este modelo climático para reproducir el clima presente y su variación histórica le añade confianza a las proyecciones del cambio climático futuro.

## **6. Center for Climate System Research (CCSR) - National Institute for Environmental Studies (NIES) de JAPON/USA**

Este modelo CCSR/NIES es un modelo acoplado con truncación triangular en el número de onda 21. En la componente atmosférica la resolución horizontal es cerca de  $5.6^\circ \times 5.6^\circ$  y 20 niveles en la atmósfera vertical. En la parte oceánica la resolución es de  $2.8^\circ \times 2.8^\circ$  y 17 niveles en la vertical. Flujos de ajustes son aplicados para el intercambio del calor sensible y latente entre la atmósfera y el océano para prevenir una deriva en el clima modelado.

## **7. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory de Estados Unidos**

El modelo utilizado es un modelo espectral con resolución espectral R30 que equivale a una resolución aproximada de  $2.25^\circ$  por latitud y  $3.75^\circ$  por longitud.

Tiene una resolución vertical de 14 niveles y consta con una orografía realista y variación estacional de la radiación, de la temperatura superficial del mar así como el hielo marino.

El efecto de las nubes, dióxido de carbono y ozono están incluidos en el cálculo de la radiación solar. El ozono es especificado como una función de la latitud, altura y estación astronómica basada en las observaciones.

Tabla 2: Características Generales de los Modelos de Circulación General de la Atmósfera (MCG) utilizados

N°	Centro	País	Acrónimos	Modelo	Acoplado	Resolución	Escenarios	Años
1	Max Planck Institute für Meteorologie	Alemania	<u>MPIfM</u>	<u>ECHAM4/OPYC3</u>	si	T42	<u>A2</u> , <u>B2</u>	1970-2050
2	Hadley Centre for Climate Prediction and Research	Inglaterra	<u>HCCPR</u>	<u>HADCM3</u>	si	3.75° x 2.5°	<u>A2</u> , <u>B2</u>	1970-2050
3	Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation	Australia	<u>CSIRO</u>	<u>CSIRO-Mk2</u>	si	R21	A1, A2, B1, B2	1970-2050
4	National Centre for Atmospheric Research	EEUU	NCAR	<u>NCAR-CSM</u>	si	T42	A2	2000-2050
				<u>NCAR-PCM</u>		T42	A2, B2	2000-2050 1980-2050
5	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	Canadá	<u>CCCma</u>	<u>CGCM2</u>	si	T32	A2, B2	1970-2050
6	Center for Climate System Research (CCSR) National Institute for Environmental Studies (NIES)	Japón/ EEUU	<u>CCSR/</u> <u>NIES</u>	CCSR/NIES AGCM + CCSR OGCM	si	T21	A1, A2, B1, B2	1970-2050
7	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	EEUU	GFDL	R30	si	R30	A2, B2	1990-2050

FUENTE: REEE escenarios IPCC-DDC

## 4.2 TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (TSM)

### 4.2.1 METODOLOGÍA

Esta variable se ha analizado a escala regional y en las zonas Niño 4, Niño 3 y Niño 1+2 (Fig. 2).

- Escala regional: El dominio para esta escala fue la zona tropical del Océano Pacífico; se analizaron las diferencias entre las salidas multianuales promedio (2005-2050) respecto al período 1990-2004 de todos los modelos clasificados (para este reporte), en los dos tipos de escenarios extremos, A2 y B2 (ver tabla 2). Esto nos servirá para ver si hay condiciones favorables para la formación de los eventos fríos y cálidos (La Niña y El Niño) y los cambios posibles en estos eventos extremos.
- Índices específicos: Se ha analizado el comportamiento de la TSM para las dos zonas importantes en la generación de eventos El Niño: la zona del Niño 4, la cual está comprendida entre 5°N - 5°S y 160°E - 150°W y la zona del Niño 3 la que comprende entre 5°N - 5°S y 90°W - 150°W.

Así mismo, se obtuvo la TSM en la zona de Niño 1+2 (0°-10°S y 80°W - 90°W) para los dos escenarios extremos A2 y B2 y para los que tengan mayor y menor tasa de crecimiento.

Para el estudio de El Niño, se procedió a determinar el espectro de potencias, esto es determinar las diferentes frecuencias de la señal para cada modelo utilizando el periodograma o espectro de potencia normalizado de Lomb-Scargle, en la cual se determina la media y la variancia. Es un programa de uso libre y que necesita sólo una serie de tiempo cuyos intervalos de las muestras no necesitan ser uniformes, lo cual es una ventaja a los otros métodos de estimación de espectros de potencia. La versión original fue basada en el algoritmo descrito en *Astrophysical J* 338:277-280 (1989) por Press, W.H. y Rybicki, G.B. que posteriormente fue modificada en 1992 usando las versiones del algoritmo presentada en *Numerical Recipes*.

Posteriormente se utilizó las frecuencias del evento El Niño determinándose entre 2 a 5 años para ver si hay cambios de la variabilidad relativa (2 - 5 años) de los eventos ENSO, esto es si la señal se identifica con el tiempo, los eventos Niño se tornarán más intensos en el futuro, para lo cual se analizó la variancia o la potencia de la señal, la cual es igual a la sumatoria de la potencia en las frecuencias indicadas para todo el período de tiempo (1990 - 2050) y para todos los modelos utilizados. Asimismo se utilizó los datos observados del Niño 3 para el período 1950 al 2003 para hallar la variancia explicada de los datos observados y compararlos con los obtenidos por los modelos.

### 4.2.2 RESULTADOS

#### 4.2.2.1 A escala regional

En esta parte se ha trabajado con 6 modelos y sus respectivos escenarios A2 y B2 (ver tabla 2) a excepción del modelo HCCPR (2) de Inglaterra, para la zona Tropical del Pacífico porque no se disponía de TSM pronosticada.

La figura 16 es un esquema gráfico que muestra los incrementos de la TSM para el Pacífico Tropical en los escenarios A2 y B2, para el periodo del 2005 al 2050 respecto a 1990-2004. En dicho esquema se observa que los incrementos mayores de la TSM en el escenario A2 oscilan entre 0.8 y 1.2 °C (modelo GFDL), mientras que los menores incrementos oscilan entre 0.2 y 0.3°C (modelo NCAR). En los otros cuatro modelos utilizados, la TSM oscila en promedio entre 0.4 y 0.6 °C. En lo que concierne al escenario B2, los incrementos mayores oscilan de 0.6° a 0.8°C, mientras que los incrementos menores varían entre 0 y 0.4°C.

En la Fig. 17, se muestra la variación espacial de la TSM entre los años 2005 al 2050 respecto al período 1990-2004 (denominado período de referencia), para el escenario A2 y la Fig.18 muestra lo mismo para el escenario B2. De ambas figuras podemos observar que el 50% de los modelos (3 de 6 modelos utilizados), indican que las diferencias son mayores en el escenario A2 respecto al B2, mientras el 33.3% de los modelos (2 de 6 modelos), indican que ambos escenarios tienen similar anomalía y sólo un modelo indica que el escenario B2 presenta mayor incremento de la TSM en la Zona Tropical del Pacífico entre los años 2005-2050 respecto al período de referencia.

Asimismo, podemos observar en la Fig. 17 que la zona adyacente a la costa peruana y chilena, la TSM presentaría un incremento entre 0.2 y 0.8°C en el escenario A2. Similarmente, el escenario B2 presentaría anomalías positivas con mayor intensidad en el modelo CSIRO, que superaría el 1°C.

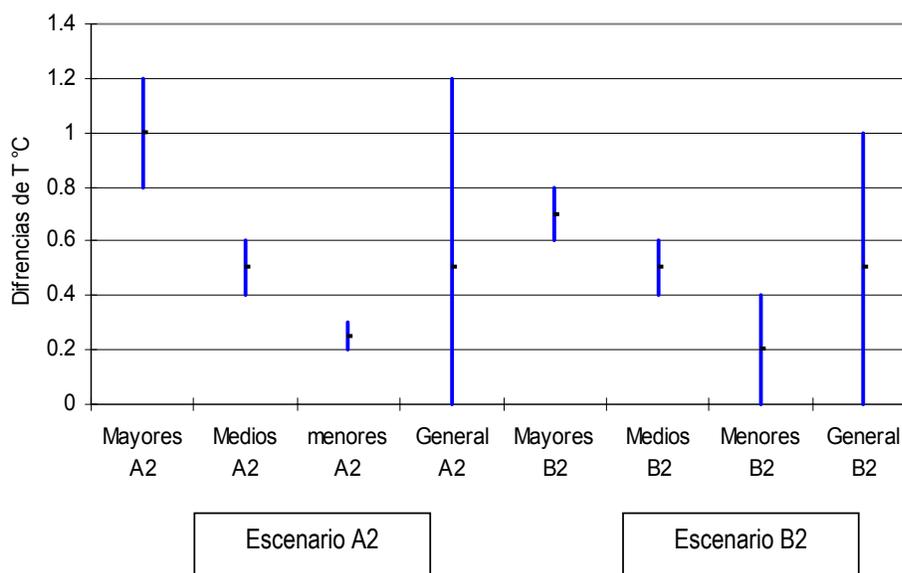


Fig. 16 Esquema gráfico de las diferencias de Temperatura Superficial del Mar (TSM) para los escenarios A2 y B2

Fig. 17 Diferencia de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) entre 2005 -2050 con respecto a 1990 -2004: Escenario A2

Fig. 18 Diferencia de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) entre 2005 -2050 con respecto a 1990 -2004: Escenario B2

#### 4.2.2.2 A escala local

##### 4.2.2.2.1 Región Niño 1+2

Debido a la poca resolución de los MCG, se procedió a calcular la TSM para la zona del Niño 1+2 la cual está comprendida entre 0° y -10°S y entre 80° y 90°W, en reemplazo de la zona costera frente a Piura. El período de análisis para esta región fue del 2004 al 2050.

Todos los modelos analizados para esta región tienen similar tendencia; es decir, un crecimiento paulatino a través de los años, por lo cual se escogieron dos modelos y dos escenarios extremos (A2 y B2), los cuales son: el modelo australiano CSIRO escenario B2, el cual tiene la mayor tasa de crecimiento en el tiempo, y el modelo alemán MPIfM A2 con la tasa de crecimiento mínimo. Los resultados de ambos modelos fueron corregidos con los datos observados del período 1990 – 2003.

En ese sentido, se han obtenido las Fig. 19, 20, 21 y 22 que corresponden a la variación temporal de la TSM para ambos modelos en los trimestres enero – marzo (EFM), abril – junio (AMJ), julio - septiembre (JAS) y octubre - diciembre (OND) respectivamente, durante el período 2004 - 2050.

En la Fig. 19 (trimestre EFM), podemos observar que ambos modelos indican que no habrá cambios significativos de la temperatura de agua de mar hasta aproximadamente el año 2020, para luego presentar una tendencia ascendente hasta el año 2050. Esto se relaciona con los resultados sobre la intensidad futura de los eventos El Niño (analizado posteriormente en la región de Niño 3), en la cual los Niños incrementarían su intensidad hacia esa temporada.

En la Fig. 20, (trimestre AMJ), ambos modelos tienen similar tendencia al trimestre anterior; esto es, incrementos de la TSM a partir del año 2025. En la Fig. 21 (trimestre JAS), ambos modelos difieren; es decir, el modelo CSIRO B2 muestra la tendencia ascendente desde 2025 hasta el final del 2050, mientras que el modelo MPIfM A2 tiene una ligera tendencia decreciente entre el 2004 al 2035 para luego incrementar hacia el final del período. En la Fig. 22 (trimestre OND), la tendencia ascendente del modelo Australiano es muy lenta comparado a los períodos anteriores, lo mismo que el modelo MPIfM el cual indica condiciones estacionarias hasta el 2050 con presencia de algunos picos de elevada temperatura.

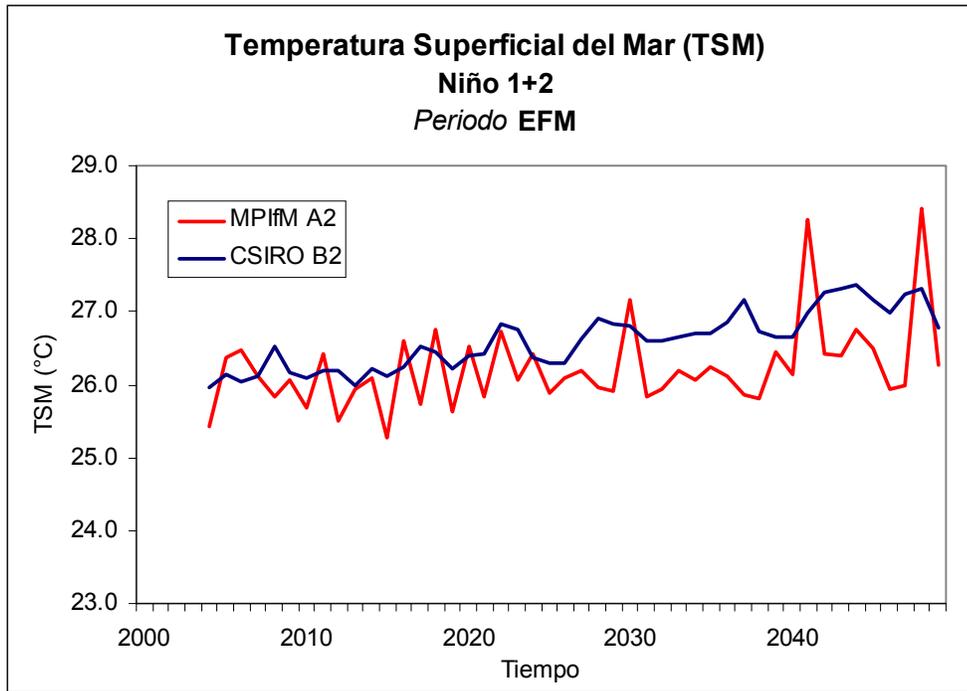


Fig. 19 Variación temporal de la TSM en la región Niño 1+2 durante EFM

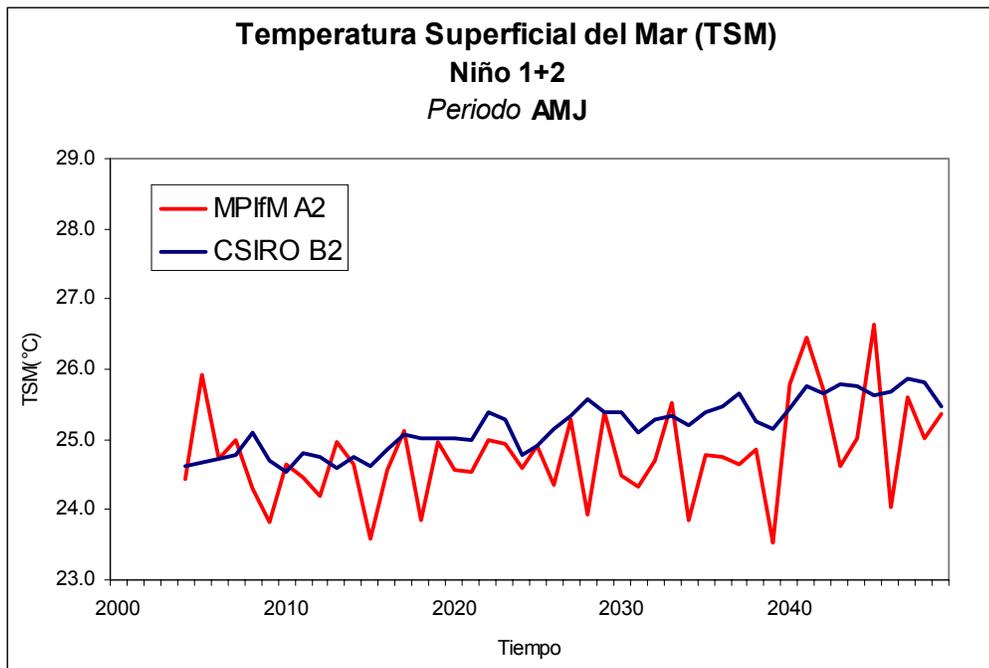


Fig. 20 Variación temporal de la TSM en la región Niño 1+2 durante AMJ

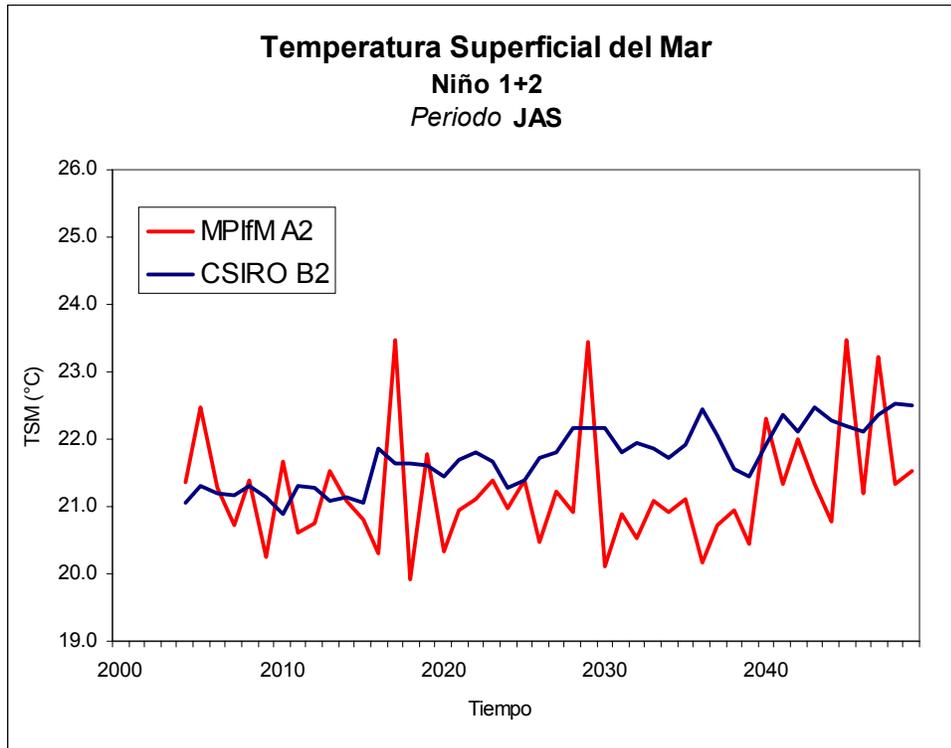


Fig. 21. Variación temporal de la TSM en la región para Niño 1+2 durante JAS

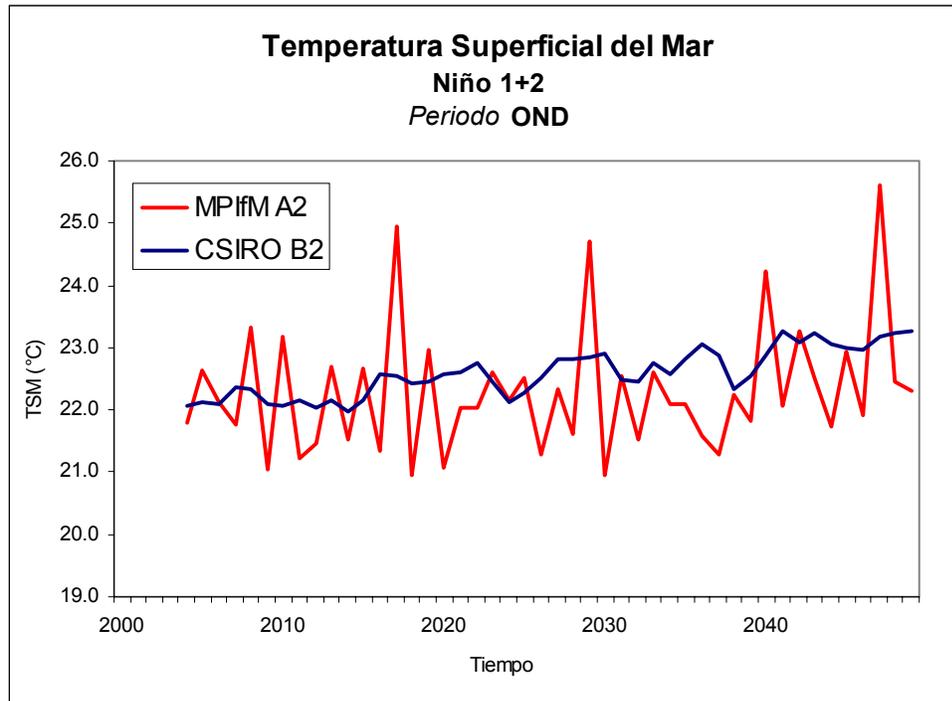


Fig. 22: Variación temporal de la TSM en la región para Niño 1+2 durante OND.

En la tabla 3 se muestra las características estadísticas de los dos modelos CSIRO y MPIfM, para el promedio multianual de los cuatro trimestres del año en el período 2004 -2050. En dicha tabla se muestra la media, desviación estándar y la tendencia por año de ambos modelos, en la cual observamos que las mayores desviaciones estándar se dan en el modelo MPIfM y las mayores tendencias o tasas de crecimiento se presentan en el primer y segundo trimestre del año y los menores crecimientos en el tercer trimestre, mientras en el modelo CSIRO la mayor tasa de crecimiento se dá en el tercer trimestre y el menor crecimiento en el segundo y cuarto trimestre. Asimismo, la mayor variabilidad de los datos respecto a la media se presenta en el modelo MPIfM.

Tabla 3: Parámetros estadísticos para los modelos CSIRO y MPIfM en forma trimestral.

Período	Modelo CSIRO B2			Modelo MPIfM A2		
	Media (°C)	Desviación estándar (C)	Tendencia por año (°C)	Media (°C)	Desviación estándar (°C)	Tendencia por año (°C)
EFM	26.59	0.40	0.026	26.22	0.59	0.016
AMJ	25.19	0.38	0.025	24.79	0.67	0.016
JAS	21.73	0.45	0.029	21.23	0.86	0.010
OND	22.59	0.39	0.025	22.3	1.02	0.014

En la tabla 4, se muestran las estimaciones de los valores de la Temperatura Superficial del Mar para la región Niño 1+2 para los dos escenarios extremos y para el período trimestral desde el 2004 al 2050.

Tabla 4: Escenarios de temperatura del mar (°C) para la región Niño 1+2 durante 2004 -2050  
 Modelo Alemán escenario A2 MPIfM  
 Modelo Australiano escenario B2 CSIRO

AÑO	MPIfM A2	CSIRO B2						
	EFM	EFM	AMJ	AMJ	JAS	JAS	OND	OND
2004	25.43	25.95	24.43	24.63	21.35	21.06	21.79	22.07
2005	26.37	26.15	25.91	24.68	22.48	21.31	22.65	22.11
2006	26.48	26.04	24.74	24.73	21.28	21.20	22.13	22.09
2007	26.11	26.11	25.00	24.78	20.73	21.17	21.77	22.38
2008	25.84	26.53	24.30	25.10	21.40	21.31	23.32	22.33
2009	26.07	26.17	23.83	24.71	20.25	21.15	21.05	22.10
2010	25.68	26.08	24.64	24.55	21.67	20.90	23.17	22.07
2011	26.42	26.19	24.47	24.82	20.60	21.31	21.23	22.14
2012	25.51	26.19	24.20	24.75	20.76	21.27	21.47	22.03
2013	25.94	25.99	24.98	24.60	21.52	21.08	22.69	22.14
2014	26.08	26.21	24.64	24.75	21.08	21.14	21.52	21.98
2015	25.28	26.11	23.58	24.63	20.80	21.07	22.68	22.15
2016	26.60	26.24	24.56	24.86	20.31	21.87	21.36	22.58
2017	25.72	26.52	25.11	25.06	23.49	21.63	24.95	22.55
2018	26.75	26.44	23.84	25.03	19.91	21.63	20.96	22.43
2019	25.62	26.21	24.96	25.01	21.77	21.62	22.97	22.45
2020	26.53	26.40	24.58	25.01	20.34	21.45	21.06	22.58
2021	25.82	26.43	24.55	24.99	20.93	21.69	22.04	22.59
2022	26.72	26.84	24.99	25.38	21.10	21.80	22.04	22.75
2023	26.07	26.76	24.93	25.29	21.38	21.66	22.60	22.46
2024	26.41	26.38	24.60	24.79	20.97	21.26	22.14	22.13
2025	25.89	26.28	24.92	24.92	21.39	21.38	22.51	22.28
2026	26.08	26.30	24.36	25.14	20.48	21.71	21.29	22.52
2027	26.18	26.62	25.29	25.33	21.22	21.81	22.33	22.83
2028	25.97	26.91	23.92	25.59	20.92	22.17	21.63	22.81
2029	25.91	26.82	25.38	25.39	23.44	22.16	24.72	22.83
2030	27.16	26.81	24.48	25.39	20.11	22.17	20.94	22.90
2031	25.84	26.61	24.32	25.10	20.90	21.82	22.54	22.47
2032	25.93	26.60	24.70	25.27	20.53	21.95	21.51	22.44
2033	26.20	26.64	25.53	25.34	21.09	21.87	22.60	22.76
2034	26.06	26.71	23.85	25.20	20.92	21.73	22.10	22.57
2035	26.25	26.70	24.77	25.40	21.12	21.93	22.10	22.81
2036	26.12	26.86	24.76	25.48	20.17	22.44	21.58	23.07
2037	25.85	27.15	24.63	25.66	20.73	22.06	21.30	22.87
2038	25.80	26.72	24.87	25.26	20.94	21.54	22.23	22.35
2039	26.45	26.65	23.53	25.15	20.45	21.44	21.83	22.55
2040	26.15	26.64	25.78	25.45	22.32	21.91	24.23	22.88
2041	28.26	26.97	26.45	25.76	21.34	22.37	22.06	23.26
2042	26.43	27.27	25.71	25.66	21.99	22.12	23.25	23.09
2043	26.40	27.33	24.63	25.79	21.33	22.48	22.52	23.25
2044	26.75	27.38	25.01	25.76	20.76	22.28	21.73	23.06
2045	26.50	27.16	26.64	25.64	23.46	22.18	22.93	22.99
2046	25.93	26.97	24.03	25.68	21.21	22.12	21.90	22.97
2047	26.00	27.25	25.61	25.87	23.22	22.36	25.61	23.19
2048	28.40	27.31	25.01	25.80	21.34	22.54	22.44	23.24
2049	26.26	26.79	25.37	25.47	21.52	22.50	22.32	23.27

#### 4.2.2.2 Regiones NIÑO 4 y NIÑO 3

Para poder tener una idea más clara de cómo es la tendencia de la Temperatura Superficial del Mar en la zona del Pacífico Ecuatorial Occidental y Central se analizaron dos regiones denominadas como Niño 4 y Niño 3.

La Fig. 23 muestra la variación pentanual. Se estimó la media móvil de 5 años de la TSM en la región Niño 4, con el propósito de ver la tendencia debido a que ésta es una variable conservativa; es decir, no cambia bruscamente con el tiempo.

Tabla 5: Parámetros estadísticos de la TSM de los diferentes MCG para las regiones Niño 4 y Niño 3.

Modelos	TSM Niño 4			TSM Niño 3		
	Media (°C)	Desviación estándar (°C)	Tendencia por año (°C)	Media (°C)	Desviación Estándar (°C)	Tendencia por año (°C)
CCCma A2	29.25	0.54	0.019	27.23	0.40	0.022
CCCma B2	29.25	0.50	0.015	27.27	0.36	0.019
CCSR/NIES A1	28.41	0.71	0.026	26.03	0.49	0.028
CCSR/NIES A2	28.40	0.59	0.021	25.98	0.35	0.020
CCSR/NIES B1	28.24	0.56	0.016	25.84	0.30	0.017
CCSR/NIES B2	28.37	0.66	0.023	25.98	0.40	0.023
CSIRO A1	29.04	0.42	0.013	26.7	0.25	0.014
CSIRO A2	29.07	0.58	0.025	26.72	0.45	0.024
CSIRO B1	29.00	0.50	0.022	26.66	0.37	0.021
CSIRO B2	29.04	0.54	0.025	26.69	0.41	0.024
MPIfM A2	29.75	0.64	0.017	26.87	0.36	0.018
MPIfM B2	29.82	0.59	0.018	26.90	0.37	0.020
GFDL A2	29.98	1.00	0.026	27.62	0.48	0.024
GFDL B2	30.00	0.92	0.018	27.60	0.37	0.019
NCAR Csm A2	29.00	0.79	0.011	27.28	0.97	0.011
NCAR Pcm B2	27.17	1.07	0.017	25.05	0.97	0.018
Rango (Valores mínimos y máximos)	27.17 30.0	0.42 1.07	0.011 0.026	25.05 27.62	0.25 0.97	0.011 0.028

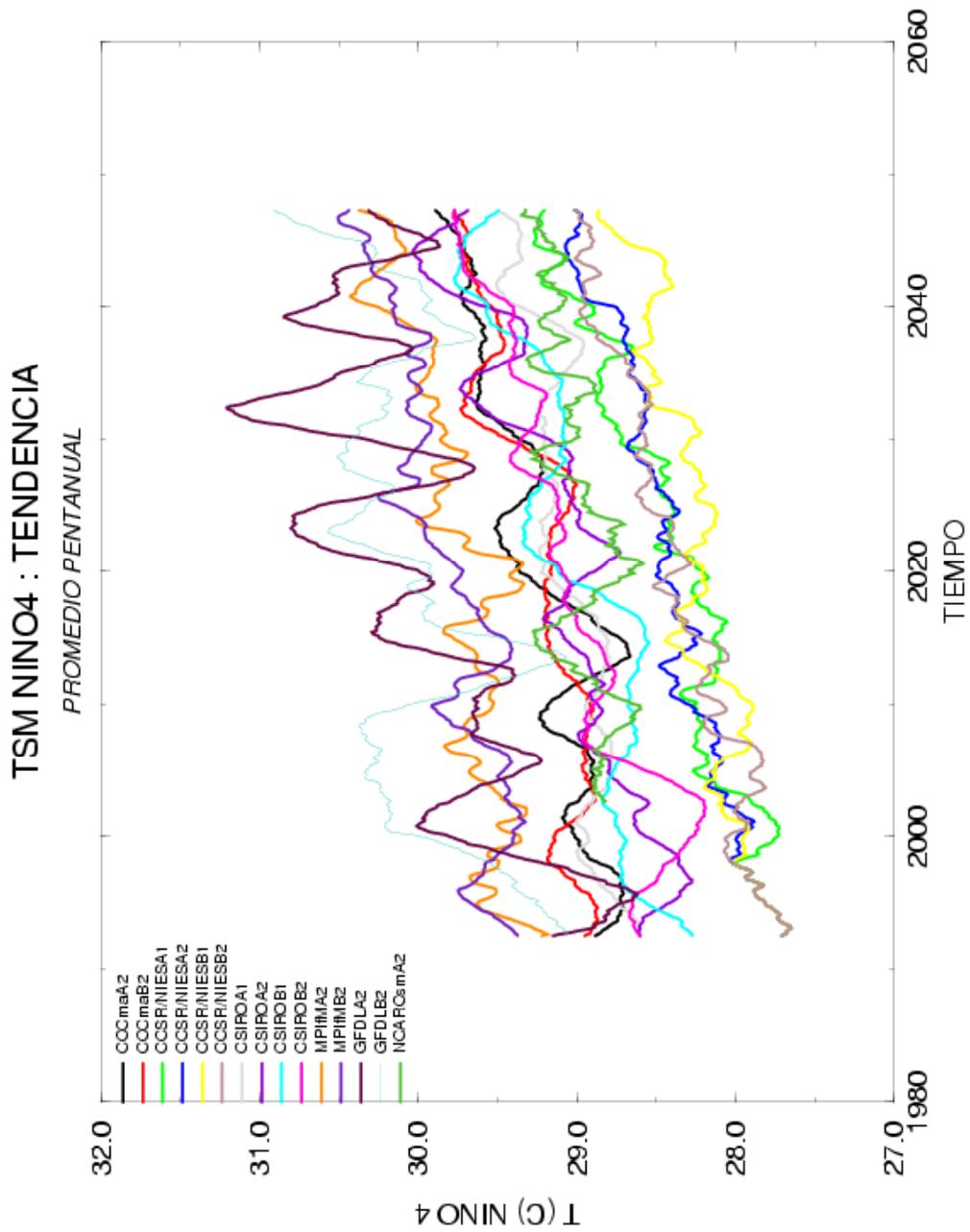


Fig. 23: Escenarios de las temperaturas superficial del mar (TSM) para la región de Niño 4

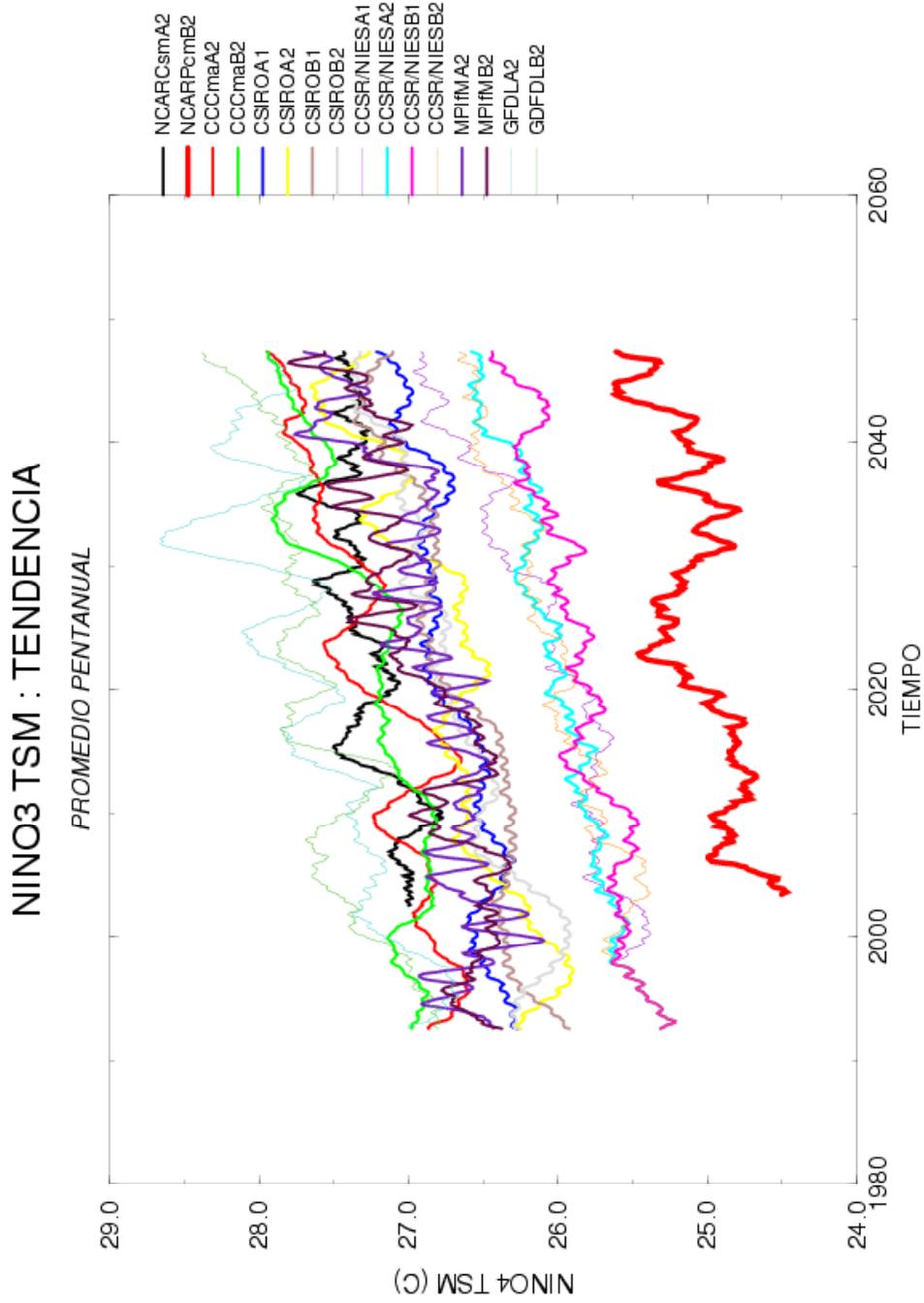


Fig. 24 Escenarios de la temperatura superficial del mar (TSM) para la región de Niño 3

La Fig. 23 muestra en forma sostenida por todos los modelos, una tendencia ascendente a través del tiempo. Esto indicaría que la superficie marina en esta zona, cada año se estaría calentando en forma gradual llegando al año 2050 con un incremento máximo de alrededor de  $1.2^{\circ}\text{C}$  y mínimo de  $0.5^{\circ}\text{C}$ , tal como se observa en la tabla 5. De acuerdo a esta tabla, todos los modelos tienen una tendencia similar de crecimiento; asimismo, los modelos que presentan mayor variabilidad, (la mayoría de los datos están alejados de su media), son los modelos GFDL y NCAR PCM.

La Fig. 24 muestra la variación pentanual de la TSM en la región Niño 3, en la cual podemos observar una similar tendencia ascendente respecto a la región del Niño 4. Asimismo, podemos observar que el incremento máximo será del orden de  $1.3^{\circ}\text{C}$  y el mínimo de  $0.5^{\circ}\text{C}$  a finales del año 2050 (tabla 6). Del mismo modo observamos que los incrementos en esta zona serán mayores respecto al Niño 4, lo cual es de suma importancia ya que en esta zona se desarrollan los eventos El Niño.

De la tabla 5 podemos observar para esta región que los mayores incrementos se presentan en el modelo CCSR/NIES y los mínimos incrementos en el modelo NCAR. Respecto a la desviación estándar en la región de Niño 3 son similares a excepción del modelo NCAR que presenta la mayor desviación estándar.

Con los resultados de esta región Niño 3, en la cual muestra el calentamiento sostenido, no se puede concluir que tendremos mayor frecuencia de Niños ya que este calentamiento formaría parte del comportamiento promedio y solamente los Niños se presentarían cuando ocurra una variación fuerte respecto al calentamiento pronosticado.

Sin embargo, en muchos modelos que se muestran en la Fig. 24 se observa valores cercanos a  $28^{\circ}\text{C}$ , hacia los años 2030. Este valor es considerado el límite en la climatología moderna, para relacionarlo con convección lo que formaría parte de la alimentación en la génesis de los Niños.

En forma general, de acuerdo a la tabla 5, los modelos predicen una variación de la TSM media en el Niño 4 entre  $27^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ , mientras que en el Niño 3 la variación oscila entre  $25^{\circ}\text{C}$  y  $27^{\circ}\text{C}$ .

#### ➤ **ANÁLISIS DE LOS EVENTOS EL NIÑO**

Para poder inferir sobre la variabilidad del ENSO de los modelos MCG, fue necesario determinar si éstos tenían estas frecuencias (2 a 5 años) en las salidas de sus diferentes escenarios, para lo cual se determinó el espectro de potencia de cada modelo. De dicho análisis podemos decir que los modelos muestran un rango amplio de los ciclos anuales y en menor grado la variabilidad relativa a El Niño.

Por otro lado, para poder realizar una comparación respecto a la habilidad de los modelos en pronosticar los eventos El Niño, se confeccionó la tabla 5 en la cual se muestra la fracción de la variancia de los datos observados de la región del Niño 3 para el período de 1950 al 2003 de las frecuencia Niño; de similar forma se hizo este cálculo para los modelos globales para el período 1990 al 2010.

De la tabla 6, se observa que la fracción de la variancia del Evento El Niño de los datos observados es de 0.256, mientras los modelos indican menores fracciones a excepción del modelo MPIfM y NCAR que tienen valores cercanos a lo observado;

por lo tanto en la mayoría de los modelos se ve la debilidad de representar los Niños.

En concordancia con la tabla 6 y de acuerdo al espectro de potencias, la Fig. 25 presenta las diferentes frecuencias que tienen los modelos de Canadá (CCCma A2) y de Alemania (MPIfM A2), en la cual se nota que al modelo de Canadá no le es fácil pronosticar los Niños, mientras el modelo Alemán presenta mayor habilidad para este tipo de frecuencias.

Tabla 6: Variancia de los Niños para los diferentes modelos y datos observados

Modelos	Fracción de variancia de eventos El Niño
Datos Observados (1950 -2004)	0.256
CCCma A2 (1990- 2010)	0.014
CCCma B2	0.017
CCSR/NIES A1	0.032
CCSR/NIES A2	0.030
CCSR/NIES B1	0.032
CCSR/NIES B2	0.077
CSIRO A1	0.015
CSIRO A2	0.015
CSIRO B1	0.013
CSIRO B2	0.008
MPIfM A2	0.897
MPIfM B2	0.464
GFDL A2	0.049
GFDL B2	0.047
NCAR-PCM B2	0.226
NCAR-CSM A2	0.068

Asimismo, en la Fig. 26 se muestra las frecuencias que presenta el modelo NCAR, el cual presenta limitaciones en representar el ciclo anual, pero tiene mayor habilidad para los eventos con períodos de 5 a 20 años, lo cual se muestra en la tabla 6.

Fig. 25: Frecuencias del espectro de la TSM para el modelo de CCCma y MPIfM

Fig. 26: Frecuencias del espectro de la TSM para el modelo NCAR

Para poder observar la intensidad de los eventos El Niño futuros, se procedió a analizar el cambio de la fracción de la variancia (intensidad) de dichos eventos con respecto al tiempo, tal como se puede observar en las Fig.27 (a) y (b), que son salidas de los modelos que tienen buena representación de El Niño (Modelos MPIfM y NCAR).

Las Fig. 27(a) y 27(b) muestran la frecuencia total de la señal, la frecuencia de El Niño y su relación con la frecuencia total, de donde podemos observar que el modelo MPIfM indica diferencias en ambos escenarios, mientras en los modelos de NCAR uno de ellos presenta intensidad de El Niño con el tiempo y el otro muestra que la intensidad se mantendrá uniforme durante el período.

Por lo tanto, considerando los 4 escenarios que tenemos, uno de ellos indica que la intensidad de los Niños futuros no variará y permanecerá sin cambios en todo el período; 3 de los 4 escenarios indican que los Niños incrementarán su intensidad pero no hay uniformidad en los tiempos de recurrencia en que puede darse esta intensidad, tal como puede observarse en la Fig. 28.

Fig. 27(a): Intensidad de la frecuencia El Niño para los escenarios A2 (arriba) y B2 (abajo) del modelo MPIfM

Fig. 27(b): Intensidad de la frecuencia El Niño para los escenarios A2 (arriba) y B2 (abajo) del modelo de NCAR

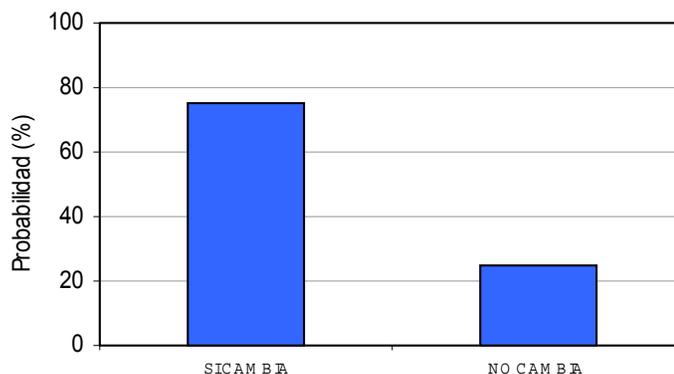


Fig. 28: Probabilidad de cambio de intensidad de los eventos El Niño

Del grupo de escenarios que muestran cambios en la intensidad de los Niños sólo un escenario indica que la intensidad de los Niños irá en forma creciente siendo su máximo hacia el año 2030 para luego decrecer al finalizar el período, los otros dos modelos tienen oscilaciones de incremento y decrecimiento de intensidad por períodos no similares tal como puede verse en la Fig. 27(a).

Por otro lado, la Fig.29 muestra la fracción de la variancia del evento El Niño de los datos observados. Se observa que la variancia de El Niño ha incrementado a partir de la década del 60, presentando períodos de incremento y decrecimiento y que han estado en fase con el incremento de la variación total pero que esta variancia total está incrementándose sostenidamente a través del tiempo debido a otros eventos diferentes a El Niño.

Fig. 29: Intensidad de la frecuencia El Niño para los datos observados entre 1950 y 2003

**En resumen:**

- Sobre el Pacífico tropical, todos los modelos MCG en ambos escenarios indican incrementos de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) durante los próximos 50 años, estos incrementos varían de un escenario a otro, pero se puede establecer que el 50% de los modelos indican que las anomalías del escenario A2 son mayores que el escenario B2, mientras el 16.7% indica que las anomalías del escenario B2 son mayores a A2 y el 33.3% indica que ambos escenarios tienen la misma anomalía positiva.
- La TSM en la región Niño 1+2 se incrementaría notoriamente a partir del año 2025, especialmente en el trimestre de Enero a Marzo. El incremento máximo probable en esta zona sería de aproximadamente 1.2°C hacia el año 2050 y el incremento mínimo probable sería de 0.6°C.
- En las regiones de Niño 4 y Niño 3 los incrementos mínimos probables serían de 0.5°, mientras los incrementos máximos probables serían de 1.2° y 1.3° respectivamente hacia el año 2050.
- La mayoría de los modelos MCG muestran poca habilidad para representar los eventos El Niño, pero las excepciones son los modelos MPIfM y NCAR PCM.
- Sobre la intensidad de los Niños futuros, el 75% de los modelos indican que los Niños variarán de intensidad, pero no están de acuerdo en las fechas, presentando la mayor parte de los modelos un incremento hacia el año 2020 y 2030. El 25% de los modelos indican que no habrá cambios en la intensidad del Niño.

### **4.3 PRESIÓN ATMOSFÉRICA A NIVEL DEL MAR COMO INDICADOR DE EVENTOS EL NIÑO**

#### **4.3.1 METODOLOGIA**

Como ya se sabe, El Niño - Oscilación Sur (ENOS)<sup>6</sup> se produce por la interacción de dos componentes: la Atmosférica y la Oceánica. Una de las componentes atmosféricas corresponde a la diferencia de presión entre las estaciones de registro barométrico de Tahití (Pacífico Oriental) y Darwin (Pacífico Occidental), la cual se identifica como el Índice de Oscilación del Sur (IOS). Una de las componentes oceánicas es la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y su anomalía en el Pacífico Tropical.

Para los estudios de monitoreo y predictabilidad del ENOS uno de los índices más comúnmente estudiados es el IOS y su relación con la TSM en el Pacífico tropical. Si el IOS es negativo y se observa un calentamiento superficial de la temperatura del mar frente a la costa occidental sudamericana, es un indicativo de la fase cálida del ENOS. Si el IOS es positivo y se observa un enfriamiento de la temperatura superficial del mar, es un indicativo de la fase fría del ENOS.

Conociendo entonces la importancia del IOS para el monitoreo del ENOS, en el presente informe se realiza la proyección futura (próximos 30 años) de este índice, a partir de la presión a nivel del mar pronosticada por los Modelos de Circulación General de la Atmósfera (MCG) y acoplados.

La información utilizada fue la siguiente:

- Información histórica del período 1900 - 2004 de la Presión a Nivel del Mar de las estaciones de Tahití y Darwin.
- Información de la Presión a Nivel del Mar proyectada para el período 1970-2050, resultado de las salidas de los MCG 1, 2, 3, 4 y 6 de la tabla 2.

Para el cálculo del IOS en el Pacífico Tropical, se recopiló la información de la variable presión a nivel del mar de 17 escenarios (ver tabla 2), proyectados por seis MCG acoplados entre 1970 y 2004. Los datos de presión a nivel del mar, fueron extraídos en forma puntual en las coordenadas correspondientes a Tahití y Darwin.

Una vez obtenido el IOS proyectado y real, se procedió a calcular la media móvil pentadal y la tendencia del IOS, asociada a una distribución de probabilidad T de Student.

Finalmente, para conocer la evolución en el pasado y presente del IOS, se analizó la serie histórica de 1900 al 2004 (Konnen et al. 1998), lo cual nos permitió conocer las distintas fases por las que atravesó el IOS y su estado actual. Asimismo, se analizaron las proyecciones del IOS para los próximos 50 años en relación a la ocurrencia de circulaciones atmosféricas cálidas y frías del ENOS.

#### **4.3.2 RESULTADOS**

Los resultados de gran parte de los escenarios de IOS estimados a partir de la información de presión a nivel del mar, proyectados por los MCG al 2050

---

<sup>6</sup> Arntz y Farbach, 1991

(CCSR/NIES A1, A2, B1 y B2; CSIRO B1 y B2; EH40PYC A2 y B2, HADCM3 A2 y B2; NCAR-CSM A2 y NCAR-PCM A2) indican con un nivel de significancia mayor al 75%, la ocurrencia de valores de IOS positivos. Valores que estarían asociados a la predominancia de circulaciones atmosféricas frías en el Pacífico Tropical y en la región costera sudamericana (Ver Fig. 30).

En tanto, los modelos CSIRO A2, CCCma A2 y B2 y el IOS real, indican con un nivel de significancia del 75% y de 99.9% para el NCAR-PCM B2, la ocurrencia de IOS con valores de negativos. Valores que estarían asociados a la predominancia de circulaciones atmosféricas cálidas en el Pacífico tropical y en la región sudamericana en los próximos 45 años. (Fig. 30)

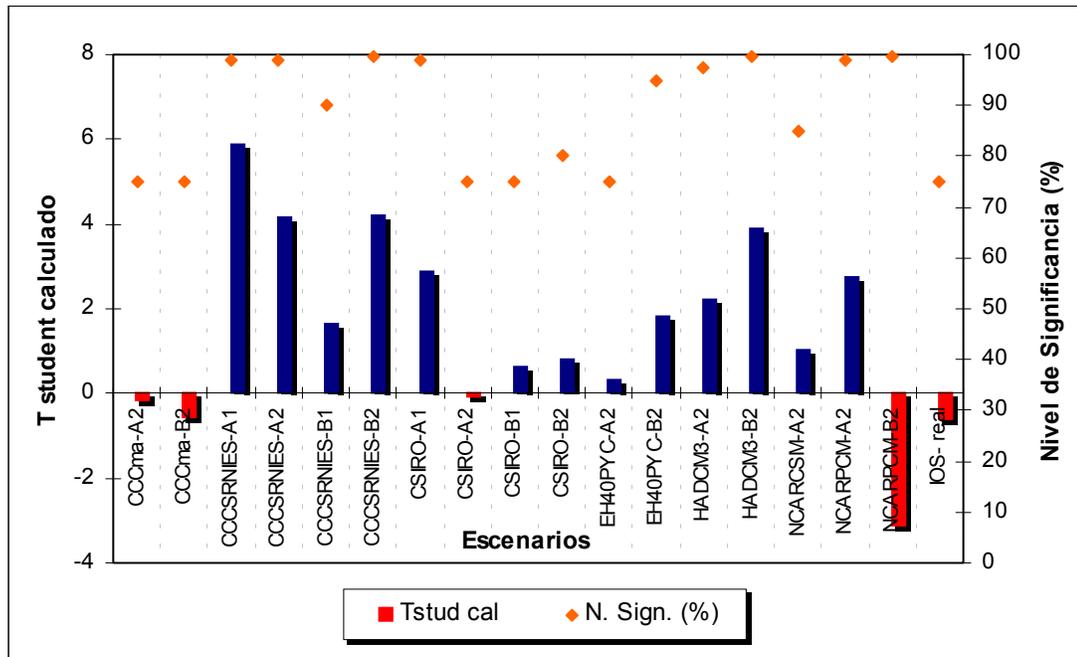


Fig. 30: Nivel de significancia de la tendencia del IOS proyectado al 2050 en base a seis modelos acoplados y Nivel de significancia de la tendencia del IOS real.

Si bien se ha encontrado que la mayoría de los MCG proyectan que los patrones de circulación atmosférica configurarían más eventos fríos en relación a eventos cálidos, en los próximos cuarenta y cinco años, estos estarían asociados a cambios climáticos en la circulación atmosférica en esta región del Pacífico y principalmente en la región costera sudamericana.

Sin embargo, el grado de confianza de estas proyecciones de IOS podrían verse reducidas debido a la complejidad de simular realísticamente la interacción del sistema océano-atmósfera por los modelos y la capacidad de predicción del ENOS. En el análisis de la temperatura superficial del agua de mar se encontró que la mayoría de los MCG (tabla 2) tienen debilidad de representar los Niños, a excepción del modelo EH40PYC (MPIfM) y NCAR-PCM (ver tabla 6).

Finalmente, podemos inferir en función a la habilidad de representar El Niño por los GCM, que las proyecciones del modelo EH40PYC (MPIfM) escenario A2 y B2 y el modelo NCAR-PCM escenario A2, indican con un nivel de significancia entre 75 y

99%, la ocurrencia de valores de IOS positivos al 2050, valores que estarían asociados a la predominancia de circulaciones atmosféricas frías en el Pacífico Tropical y en la región costera sudamericana, principalmente.

En tanto el modelo NCAR-PCM escenario B2 y el escenario de IOS real, indican con nivel de significancia de 75 a 99.9%, la ocurrencia de valores de IOS negativos, valores que estarían asociados a la predominancia de circulaciones atmosféricas cálidas en el pacífico tropical y en la región costera sudamericana, en los próximos 45 años. Asimismo, estarían relacionados con El Niño y cambios en el régimen de la precipitación sobre el Océano Pacífico Tropical y principalmente en la Costa Norte del Perú<sup>7</sup>.

La Fig.31 (a) y (b) nos muestra el IOS histórico (1900 al 2004) y la gama de los escenarios extremos (A2 y B1) del IOS y los escenarios A2 y B2 proyectados de 1970 al 2050 por los diferentes MCG, como se observa algunos de ellos pudieron simular valores cercanos al IOS real presentado en el ENOS de 1982/83 y 1997/98. Otros lograron simular con diferente intensidad los rangos alcanzados por IOS real, debido a las condiciones con que fueron inicializadas y a que pese a ser muchos de ellos modelos que tienen las características de ser acoplados, no representan bien el acoplamiento océano-atmósfera.

Otra hipótesis que surge al respecto es que muchos de los eventos ENOS podrían deberse a factores externos fuera de la estructura vertical de la atmósfera no considerada por los modelos, estos factores externos podrían ser el desbalance energético y cambio en la órbita terrestre, que no han sido simulados realísticamente por los modelos.

En la actualidad los procesos de acoplamiento de las componentes océano-atmósfera-tierra están en procesos de mejoras y “tunning”.

Según IPCC (2001), los procesos que rigen el sistema climático determinan la variabilidad natural del sistema climático y su respuesta a perturbaciones como el aumento de la concentración de GEI en la atmósfera. Donde los procesos de realimentación amplifican o reducen los cambios que se producen en respuesta a una perturbación inicial y son por lo tanto, muy importantes para poder simular con exactitud la evolución del clima.

CRU (1999), señala que el comportamiento de los eventos El Niño no siempre está bien representado en los modelos climáticos, por lo que predecir como cambiarán éstos eventos debido al calentamiento global es difícil – ya que cualquier cambio en el fenómeno de El Niño podría tener un impacto en la región. Por lo que los escenarios deben ser derivados de modelos climáticos que incluyan la mejor representación posible de los procesos en la atmósfera, océanos y continentes, dados los conocimientos científicos actuales y la tecnología informática con la que se cuenta.

Basándonos en las premisas anteriores, podemos observar que parte de los modelos acoplados considerados, podrían estar amplificando o reduciendo los valores de la presión a nivel del mar y por ende del IOS. Sin embargo, otros modelos como el modelo EH40PYC del Instituto Max Planck de Alemania (MPIfM) y el modelo NCAR-PCM de la National Centre Atmosphere Research de los EEUU, tienen una mejor respuesta en la representación de El Niño y por consiguiente el cálculo del IOS.

---

<sup>7</sup> Ver ítem 1.6

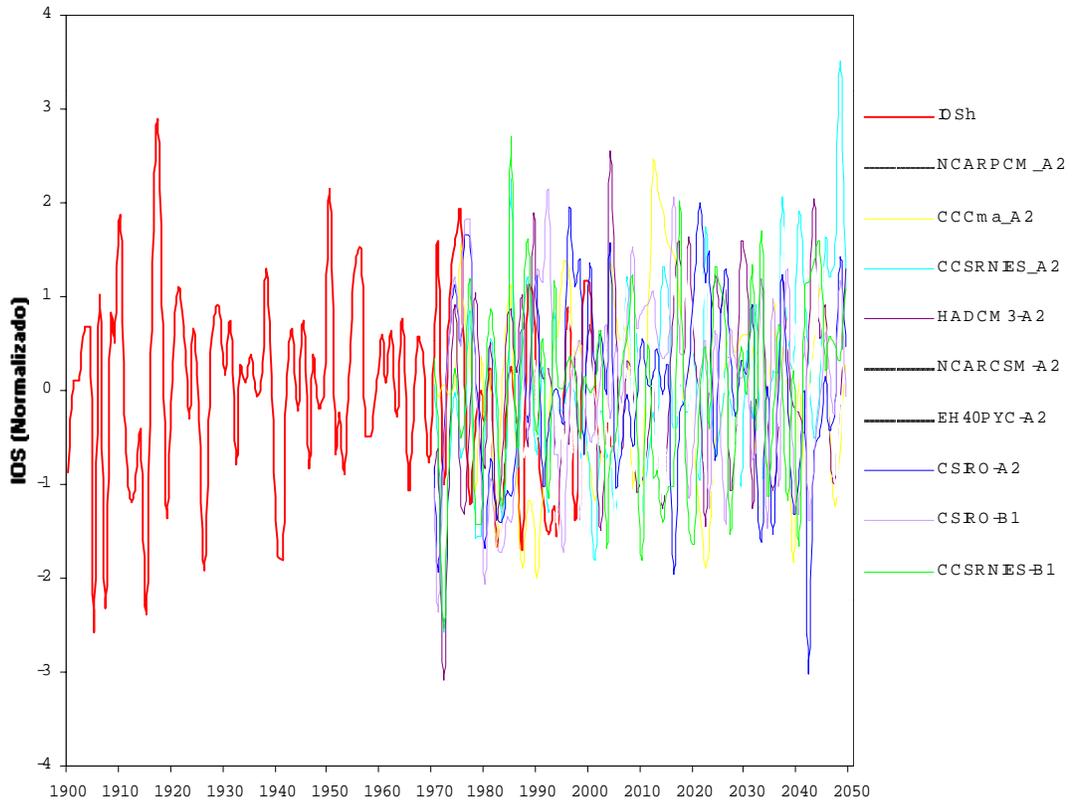


Fig. 31 (a) Escenarios extremos normalizados A2 y B1 de la tendencia del IOS proyectada al 2050. La curva roja es el IOS real normalizado.

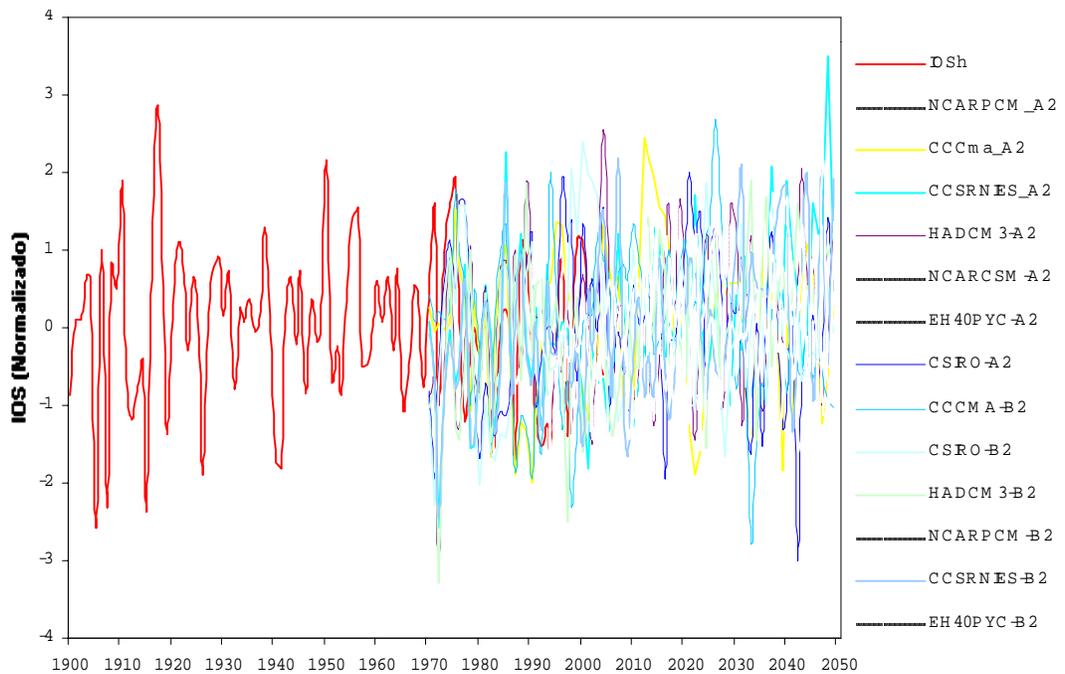


Fig. 31 (b) Escenarios normalizados A2 y B2 de la tendencia del IOS proyectada al 2050 y Escenario del IOS real normalizado en color rojo

Finalmente del panorama de las proyecciones extremas del IOS mostradas, podemos inferir, que las circulaciones atmosféricas tanto cálidas como frías, que pudieran producirse en los próximos 45 años, cabe la posibilidad que se presenten de magnitud ligeramente inferior a las ocurridas en el evento ENOS de 1997-98 y de magnitud ligeramente superiores presentadas en el episodio frío de 1999-2001; siendo los rangos extremos de -1,0 a 1,5 de los escenarios A2 y B1 de los IOS proyectados al 2050.

Si bien es cierto que en muchos de los modelos acoplados, el proceso de acoplamiento actualmente está en mejora y por lo tanto, estarían amplificando o reduciendo los escenarios de la presión a nivel del mar y por consiguiente el IOS estimado. Sin embargo; las proyecciones dadas a partir de éstos, constituyen una herramienta que debería tenerse en consideración. Proyecciones que nos indicarían cambios climáticos en los patrones de circulación atmosférica, que no están necesariamente asociados al ENOS, dado que la tendencia futura de las TSM (ver tabla 5)<sup>8</sup> en la región Niño 3 y 4 indica un ligero incremento gradual hacia el 2050.

#### En resumen:

De los resultados analizados de los escenarios de IOS proyectadas al 2050, estimados a partir de la información de presión a nivel del mar de los MCG, se puede concluir:

- El modelo EH40PYC (MPIfM) escenario A2 y B2 y el modelo NCAR-PCM escenario A2 indican con un nivel de significancia entre 75 y 99%, la ocurrencia de valores de IOS positivos al 2050, valores que estarían asociados a la predominancia de circulaciones atmosféricas frías en el Pacífico Tropical y en la región costera sudamericana, principalmente.
- Los modelos CCCma A2 y B2; NCAR-PCM B2 y el escenario de IOS real, indican con nivel de significancia de 99.9%, la ocurrencia de valores de IOS negativos, valores que estarían asociados a la predominancia de circulaciones atmosféricas calidas en el Pacífico Tropical y en la región costera sudamericana, principalmente, en los próximos 45 años. Asimismo, estarían relacionados con cambios en el régimen de la precipitación sobre el Océano Pacífico tropical y principalmente en la costa norte del Perú.
- Los rangos extremos de los escenarios A2 y B1 de los IOS proyectados al 2050 oscilarán entre -3,0 y 3,0.
- La mayoría de las proyecciones de IOS al 2050 nos indican la predominancia de circulaciones atmosféricas frías, pero con niveles de significancia ligeramente menores (1%) en relación a las proyecciones positivas del IOS, proyecciones que estarían relacionadas a cambios climáticos que no necesariamente estarían asociadas a la fase negativa del ENOS.

---

<sup>8</sup> Ver ítem 4.2.2.2.2

## 4.4 NIVEL MEDIO DEL MAR

### 4.4.1 METODOLOGIA

El análisis de la variable Nivel Medio del Mar, se realizó en base a dos fuentes de diagnóstico: datos observados (ver Tabla 7), y salidas de los MCG CCSR/NIES y GFDL hasta el período 2050 (ver Tabla 2).

#### ➤ **Observaciones**

Se ubicaron estaciones en la costa occidental de América, las cuales se indican a continuación:

Tabla 7: Ubicación de mareógrafos

Estación	Longitud	Latitud	Registro
Seattle	122°20'W	47°36'N	1900-2001 (101 años)*
San Francisco	122°28'W	37°48'N	1856-2001 (145 años)*
San Diego	117°10'W	32°43'N	1907-2001 (94 años)*
Honolulu	157°52'W	21°19'N	1906-2001 (95 años)*
Balboa	79°34'W	08°58'N	1909-1996 (87 años)*
Santa Cruz	90°19'W	00°45'S	1979-2000 (21 años)**
Talara	81°17'W	04°37'S	1942-1969 (27 años)*
Paita	81°10'W	05°05'S	1988-2003 (15 años)***
Callao	77°09'w	12°03'S	1970-2001 (31 años)**

\* Información proporcionada por El Sistema de Observación Global del Nivel del Mar – GLOSS (siglas en inglés), datos ajustados a un control de calidad.

\*\* Información proporcionada por El Sistema de Observación Global del Nivel del Mar (GLOSS), datos recibidos desde los representantes de cada país en relación a nivel del mar.

\*\*\* Información proporcionada por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN)

Por otro lado, también se observaron las variaciones del volumen del océano en la capa superior para el Pacífico Tropical, área comprendida entre 15°N y 15°S, para el período de 1975 al 2003 (28 años), el cual fue calculado desde un campo grillado de desviaciones del nivel medio del mar. Más detalles de este cálculo son dados por Wyrski (Journal of Geophysical Research, 1987- Vol.90, pp. 7129-7132).

#### ➤ **Diagnóstico de modelos globales**

El análisis de la presente variable se realizó en dos escalas.

- Escala Global: Se utilizaron dos de los siete MCG que se muestran en la tabla 2: CCSR/NIES y GFDL, sobre la tendencia a nivel mundial del incremento del nivel medio del mar hacia los años 2020 y 2050.
- Escala Regional: Para este análisis, teniendo de base el comportamiento del modelo global GFDL, se analizó la tendencia observada del nivel medio del mar en la estación de Paita.

### 4.4.2 RESULTADOS

El Nivel Medio del Mar es una parte integral del complejo sistema integrado por una serie de procesos acoplados océano-atmósfera y océano-tierra. El nivel medio del

mar varía como resultado de procesos en un amplio rango de escalas de tiempo, desde segundos a millones de años. Lo concerniente a este reporte es con procesos relacionados al clima que tienen efecto en escalas de tiempo de décadas a siglos. El presente análisis se realizará con datos observados del nivel medio del mar (ver Tabla 7) y las perspectivas en los próximos 20 a 50 años desde dos de los modelos globales (ver Tabla 2).

El cambio en el nivel medio del mar no sólo responde a cambios cortos diarios, estacionales o anuales, también responde a cambios en la entrada de agua dulce, flujo de calor y a causa de movimientos y cambios en la circulación del océano. Al mismo tiempo, uno debe notar que las señales importantes de los procesos de cambio climático son encubiertas por la variabilidad natural.

El Nivel medio del mar en la costa es definido como la altura del mar con respecto a un punto de referencia local en tierra, promediado sobre un período de tiempo, tal como un mes o un año, lo suficientemente largo para que las fluctuaciones causadas por las ondas y corrientes o mareas sean ampliamente removidas (IPCC, Climate Change 2001: The Scientific Basis).

Posibles incrementos en el nivel medio del mar se espera que tengan un gran impacto en la futura evolución costera. Efectos potenciales sugieren erosión costera, incursión de agua salada hacia los acuíferos de agua en tierra, inundación de estuarios, pantanos y daños especialmente en las poblaciones costeras e instalaciones de puertos. Por lo que, es urgente conocer si es necesario implementar estrategias para adaptar el problema del incremento del nivel medio del mar en los planeamientos a largo plazo.

#### **4.4.2.1 Observaciones**

La principal fuente de información para tendencias globales del nivel del mar durante el pasado siglo, han sido los mareógrafos. Se debe tener presente que los registros del nivel del mar contienen una significativa variabilidad interanual y decadal (IPCC, Climate Change 2001: The Scientific Basis); por lo que la presencia de registros largos son requeridos a fin de obtener información fiable que sea representativa del siglo.

Cambios en el nivel medio del mar son medidos por los mareógrafos, los cuales son llamados “cambios relativos del nivel del mar”, ya que ellos son espacialmente variables a causa de movimientos de la tierra (temblores, terremotos) y cambios en la circulación oceánica (IPCC, Climate Change 2001: The Scientific Basis). Estos dos términos pueden tener similar tasa de cambio sobre escalas de tiempo grandes como décadas.

Fig. 32 Cambios en el nivel del mar registrados por los mareógrafos en localidades ubicadas en la costa occidental de América. Cada serie de tiempo ha sido ajustada verticalmente para propósitos de presentación

Basado en información de mareógrafos, el nivel medio del mar en promedio global se incrementó aproximadamente en 1.5 mm/año (0.15 cm/año) durante el siglo 20, esto debido a un determinado número de factores que incluyen expansión termal del calentamiento de las aguas del océano y el derretimiento de glaciares (IPCC, Climate Change 2001: The Scientific Basis). En la Fig. 32 se tiene el registro en series de tiempo de los valores observados por los mareógrafos en localidades de la costa occidental de América, donde se observa un incremento en el nivel del mar desde el siglo pasado, período en el cual el efecto invernadero no era muy fuerte o no tenía una influencia marcada en las actividades antropogénicas; asimismo se tiene que este incremento continúa, sumándose durante este período el calentamiento global.

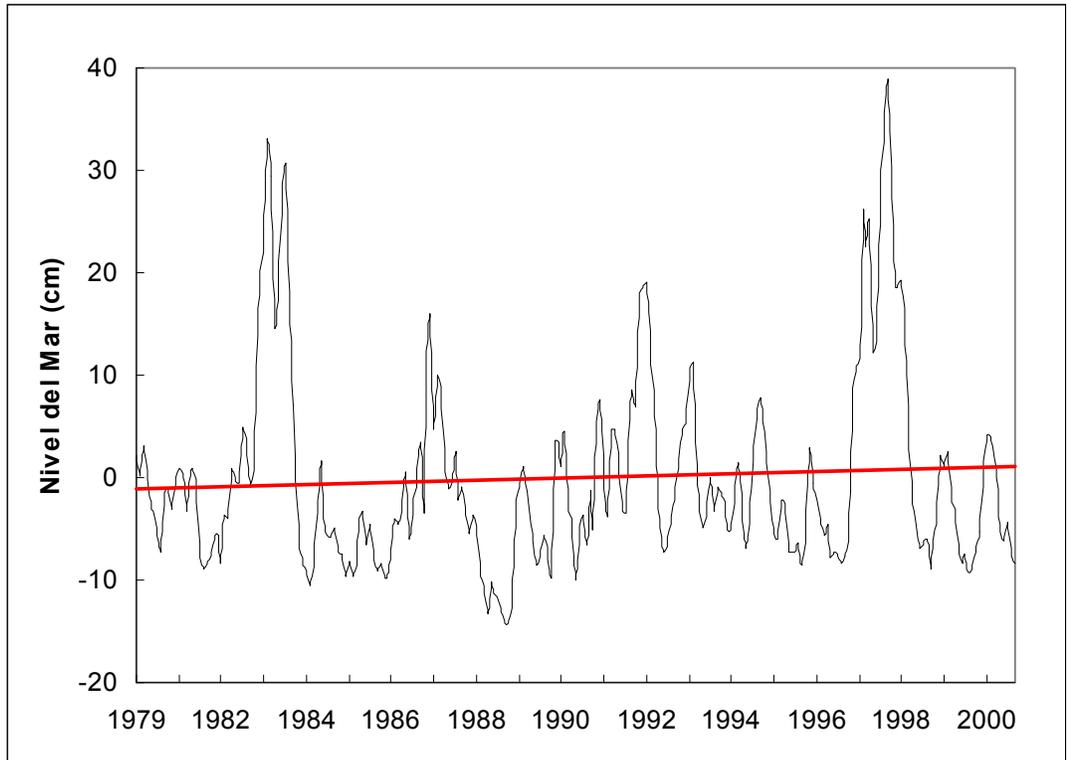


Fig. 33 Datos observados del nivel del mar (1979-2000) en la estación Santa Cruz (00°45'S, 90°19'W)

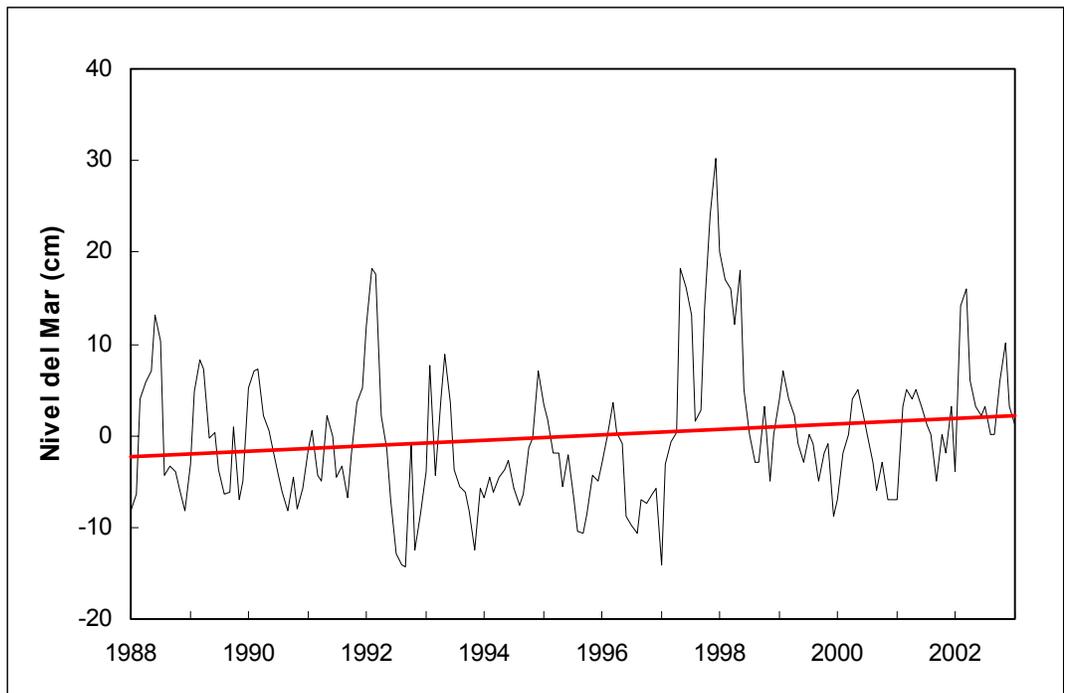


Fig. 34 Datos observados del nivel del mar (1988-2003) en la estación Paita (05°05'S, 81°10'W)

La estimación del incremento del nivel del mar desde mareógrafos, se muestra en la Tabla 8, donde se aprecia un muy alto nivel de significancia (99.9%) de la tendencia en estaciones alrededor de la costa del Pacífico de Norte y Centro América, localidades con amplio registro de información (ver Tabla 7). En las localidades de Sur América con un corto período de registro el nivel de significancia es de medio a alto, observándose una tendencia similar a las anteriores. En promedio para las localidades evaluadas el incremento fue de 0.13 cm/año (valor que oscila a lo señalado por el IPCC). Por otro lado, se debe tener en cuenta la alta incertidumbre presente a causa de eventos “El Niño”, período en el cual el nivel medio del mar se ve incrementado, con valores que llegan hasta 40 centímetros (ver Fig. 33 y Fig. 34), durante los episodios 1982-83 y 1997-98.

Tabla 8: Estimaciones del incremento del nivel medio del mar desde mareógrafos en localidades ubicadas en la costa occidental de América.

Estación	Longitud	Latitud	Nivel de significancia (%)	Tasa $\pm$ e.e * (cm/año)
Seattle	122°20'W	47°36'N	99.9	0.20 $\pm$ 0.01
San Francisco	122°28'W	37°48'N	99.9	0.14 $\pm$ 0.01
San Diego	117°10'W	32°43'N	99.9	0.21 $\pm$ 0.01
Honolulu	157°52'W	21°19'N	99.9	0.14 $\pm$ 0.01
Balboa	79°34'W	08°58'N	99.9	0.15 $\pm$ 0.01
Santa Cruz	90°19'W	00°45'S	75.0	0.01 $\pm$ 0.01
Talara	81°17'W	04°37'S	75.0	0.10 $\pm$ 0.08
Paita	81°10'W	05°05'S	95.0	0.24 $\pm$ 0.11
Callao	77°09'w	12°03'S	< 50.0	0.01 $\pm$ 0.05

\* La incertidumbre es representada por el error estándar (e.e) de las estimaciones del nivel medio del mar desde los mareógrafos.

En la Fig. 35, se tiene la serie de tiempo mensual de las variaciones del volumen en la capa superior del Pacífico Tropical (15°N – 15°S), donde se observa una tendencia positiva desde el año 1975 al 2003.

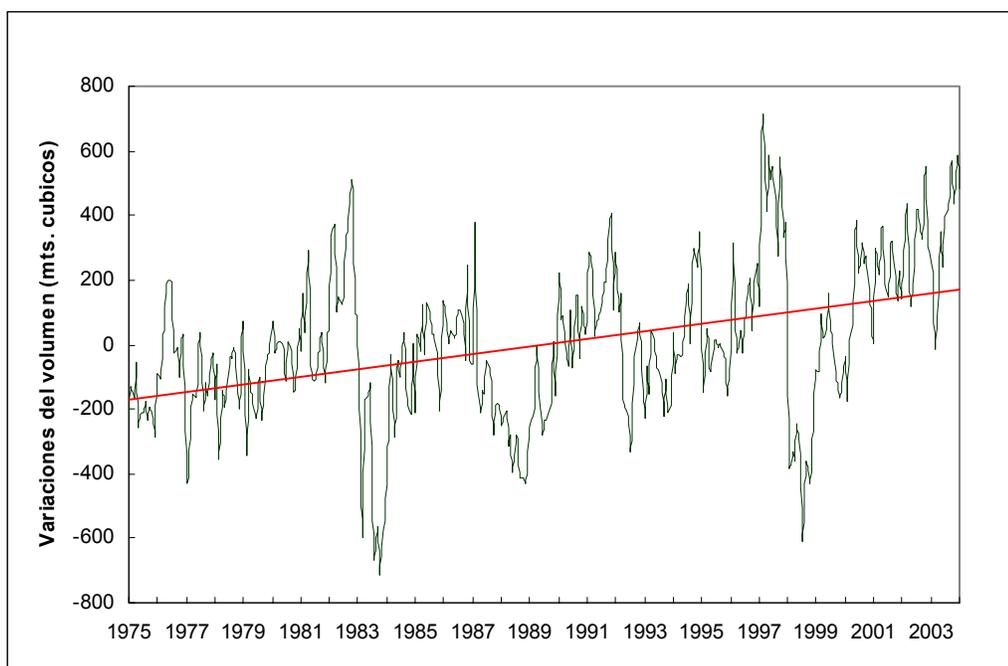


Fig. 35 Variaciones del volumen en la capa superior del Pacífico Tropical (15° N – 15° S).

#### 4.4.2.2 Modelos Globales

##### 4.4.2.2.1 Cambios del nivel medio del mar a nivel global

Los cambios en el promedio global del nivel medio del mar son importantes consecuencias de cambios en la temperatura global, principalmente el incremento a través de la expansión termal del agua en el océano y también a través del derretimiento de los glaciares en montaña.

Los escenarios analizados en los modelos globales CCSR/NIES y GFDL (ver Fig. 36), proyectan un incremento del nivel medio del mar de 4 a 6 cm al año 2020. Considerando que el océano está integrando en el tiempo una fuente de calor anómala cada vez más grande (GEI's), estas proyecciones podrían oscilar entre 15 a 21 cm hacia el año 2050. Debe enfatizarse además, que el margen de variación obtenido, refleja la incertidumbre sistemática que caracteriza la elaboración de los modelos (ver Tabla 9).

De otro lado, debe notarse que el modelo global CCSR/NIES simula correctamente la tendencia del nivel medio del mar observado en la estación de Talara (costa norte de Perú); no obstante, los cambios puntuales a mayor detalle en dicha estación, propios de su variabilidad natural, no fueron advertidos por el modelo global debido a su baja resolución horizontal (integración simulada de todo el globo).

Tabla 9: Estimaciones del incremento del nivel del mar según los modelos.

Modelo	Nivel de significancia (%)	Tasa $\pm$ e.e * (cm/año)
GFDL	99.9	0.15 $\pm$ 0.01
CCSRA2	99.9	0.21 $\pm$ 0.01
CCSRB2	99.9	0.21 $\pm$ 0.01

\* La incertidumbre es representada por el error estándar (e.e) de las estimaciones del nivel del mar desde los modelos.

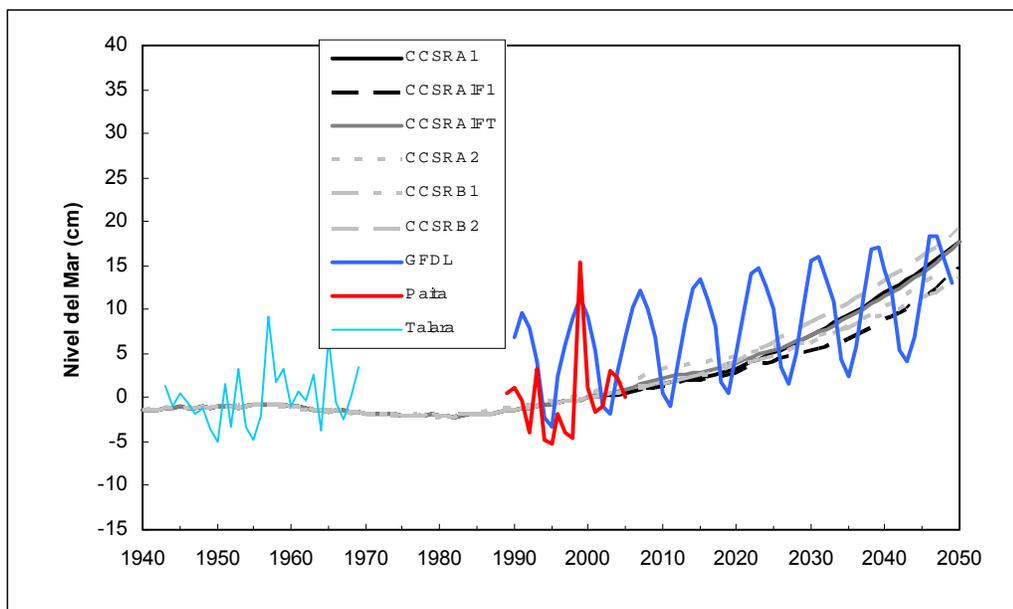


Fig. 36 Cambio global del nivel del mar proyectado hasta el año 2050 (modelos globales CCSR/NIES y GFDL) y datos observados en las estaciones de Paita y Talara.

#### 4.4.2.2 Cambios del nivel medio del mar a nivel regional

El cambio en el nivel medio del mar relativo a la tierra no será el mismo en cualquier localidad a causa de los movimientos naturales de la tierra y las variaciones regionales. Por otro lado, también se debe tener en cuenta que en estos modelos globales los efectos de consolidación de sedimentos no se incluyen, ya que estos son problemas muchas veces de localidad y pueden variar en áreas costeras a muy corta distancia. Así mismo, esta variable se vería incrementada al incrementarse la precipitación en el norte del Perú.

Al analizar el comportamiento de los datos observados en la estación de Paita, se tiene que estos siguen una tendencia muy similar al modelo GFDL (ver Fig. 36), el cual proyecta para el período 1990 al 2050 un cambio de 0.15 cm/año, con una incertidumbre propia del modelo de  $\pm 0.01$ . Es importante destacar que los datos observados nos permiten apreciar las fluctuaciones altas que se producen en el nivel medio del mar por efecto de eventos extremos como es el evento El Niño, algo que el modelo GFDL no aprecia por presentar muy baja variancia en la representación de dicho evento (ver Tabla 5).

##### En resumen:

- Se observó un incremento en promedio del nivel medio del mar a través del análisis de los datos observados de 0.13 cm/año en localidades ubicadas en la costa occidental de América
- En la estación de Paita, el incremento en el nivel medio del mar fue de 0.24 cm/año.
- Las variaciones del volumen en la capa superior sobre el Pacífico Tropical presentan una tendencia positiva desde 1975 hasta el año 2003.
- A través de los datos observados se aprecia que durante eventos El Niño el nivel medio del mar sufre notorios incrementos.
- Los modelos globales a nivel mundial proyectan variaciones graduales en el nivel medio del mar en el rango de 4 a 6 cm al 2020. Hacia el año 2050, los modelos proyectan incrementos que estarían en el rango de 15 a 21 cm.
- Los datos del nivel medio del mar de la estación de Paita, siguen un comportamiento muy similar en sus fluctuaciones a los simulados por el modelo GFDL, salvo los picos observados durante eventos extremos como el evento El Niño.

## 4.5 PRECIPITACIÓN

### 4.5.2 METODOLOGÍA

Análisis en tres escalas

- Escala Regional: Comprende el área tropical de Sudamérica y el Pacífico Central y Oriental, para la determinación de las condiciones a macro escala que afectan el comportamiento del tiempo en el Perú. Asimismo se realizó el análisis para dos meses, febrero (representativo del período lluvioso en el Perú) y agosto (del mes de estiaje) para los dos escenarios extremos A2 y B2 de los modelos indicados en la tabla 2. Se presentan figuras con los totales de precipitación promedio comprendido en el período 2005 - 2050 para los meses indicados.
- Escala Perú: Se analizaron las diferencias entre la precipitación promedio para el mes de febrero del período 2005 - 2050 con la del período 1990-2005, denominado período de referencia, para poder determinar si hay incrementos o disminución notorios en la temporada futura. Este análisis se realizó para los dos tipos de escenarios extremos A2 y B2, así como para el promedio anual.
- Escala Local: En este caso, se ubicó el punto de grilla más cercano a la zona de Piura en los MCG acoplados para determinar la tendencia de la precipitación para los diferentes escenarios.

### 4.5.3 RESULTADOS

#### 4.5.3.2 A escala regional

Para este análisis se han tenido disponible la información de los siete modelos de las diversas instituciones descritos en la tabla 2 con sus respectivos escenarios totalizando 18 escenarios.

La Fig. 37(a) representa las precipitaciones promedio del mes típico de verano (febrero) en el período 2005-2050 de dos modelos CCSR/NIES y CSIRO en sus respectivos escenarios tales como A2, B2, A1 y B1, en la cual podemos observar que sobre Sudamérica se presentan precipitaciones similares en sus respectivos escenarios, diferenciándose sólo en intensidades en las precipitaciones localizadas sobre la Amazonía Noroccidental (CCSR/NIES).

En la Fig. 37(b) se presentan las precipitaciones promedio del 2005 – 2050 para el mes de febrero para los escenarios extremos A2 y B2 de cuatro modelos, en forma similar se presenta la Fig. 37(c) para los modelos de NCAR. En las figuras últimas podemos observar que las precipitaciones proyectadas por estos modelos tienen características diferentes a las proyectadas en la Fig. 37(a); es decir, que se estiman núcleos de máximas precipitaciones sobre el Altiplano adicional a la zona de la Amazonía.

Entonces de acuerdo a las Fig. 37 (a), (b) y (c) sólo analizaremos los siete modelos con sus respectivos escenarios extremos (A2 y B2) totalizando 14 escenarios. En ese sentido, 10 de los 14 escenarios indican que la zona de Colombia y Venezuela presentarán menor lluvia comparada con la Amazonía, y 5 de 14 estiman que el nordeste brasilero presentará lluvias por debajo de 50 mm.

Por otro lado, cinco escenarios de los 14 indican que los núcleos de máxima precipitación se darán en la Zona Sur (Altiplano) durante el mes de febrero; de similar forma, otros 7 de los 14 estiman que el máximo núcleo de precipitaciones se presentará en la Amazonía Norte, mientras 2 de los 14 presentan los dos máximos localizados en ambas zonas.

Asimismo, podemos observar de manera general que las máximas precipitaciones tienen una orientación NW-SW en América del Sur, la que estaría relacionada con la orientación de la Cordillera de los Andes así como con la presencia de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS), típica de este mes.

Por otro lado, debemos mencionar que la gran mayoría de los modelos de circulación general han simulado cualitativamente la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) a excepción de NCAR en sus dos modelos (Fig. 37(c)), en los cuales, la ZCIT está ubicada excesivamente al sur de su posición normal lo cual es aparentemente un desplazamiento erróneo o anormal.

Fig. 37 (a): Precipitación promedio en febrero 2005 – 2050 (mm/mes) según los modelos CSIRO y CCSR/NIES

Fig. 37 (b): Precipitación promedio en febrero 2005 - 2050 (mm/mes) para algunos modelos de los escenarios extremos A2 y B2

Fig. 37(c): Precipitación promedio febrero 2005 -2050 (mm/mes) para el modelo NCAR

Con respecto a las precipitaciones, debemos mencionar que esta variable es la más difícil de todos los campos y varían de modelo a modelo asociado a la parametrización de la convección, resolución entre los aspectos más importantes.

De la misma manera para el mes de agosto (mes de estiaje) se han analizado los 14 escenarios y se presenta la Fig. 38 que muestra las precipitaciones para agosto durante el período comprendido entre el 2005 - 2050 para algunos modelos y escenarios.

Fig. 38: Precipitación promedio en agosto 2005 - 2050 (mm/mes) por algunos modelos de escenarios extremos

De la Fig. 38 podemos inferir que todos los modelos tienen mayor habilidad de simular la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) ubicándola dentro de la posición habitual para esta época, además presentan las máximas precipitaciones sobre la zona de Colombia, Ecuador y Venezuela.

Del análisis de los 14 escenarios para este mes, se puede estimar que 12 de los escenarios indican precipitaciones menores a 50 mm en la Amazonía Central, 6 de los 14 indican precipitaciones entre 50 a 100 mm sobre la zona del Altiplano, las que estarían relacionadas a los ingresos de los sistemas frontales que se dan en esta temporada. Sobre nuestro territorio podemos observar que las lluvias significativas se darán en el norte del país, característica habitual.

De acuerdo a las figuras anteriores podemos afirmar que los modelos están caracterizando mucho mejor la estación seca que la estación lluviosa sobre la parte tropical de Sudamérica.

#### **4.5.3.3 A escala Perú**

Para esta sección, se han analizado las diferencias entre los dos períodos 2005 - 2050 y el período de referencia a nivel del Perú para el mes de febrero y para la distribución promedio anual, de acuerdo a 6 modelos y a sus escenarios extremos. No ha sido incluido el modelo GFDL por presentar núcleos excesivos o subjetivamente irreales de las precipitaciones en sus dos escenarios.

Debido a que los modelos tienen una baja resolución que oscilan entre 3° y 5° no se puede obtener muchos detalles localizados y sólo se analizarán en forma cualitativa. Asimismo, cada modelo tiene una representación de la topografía muy diferente a la realidad y que está de acuerdo al tipo de resolución del modelo, la cual influye directamente en las precipitaciones. Así por ejemplo, presentamos la Fig. 39 en la cual se muestra la topografía de dos modelos con diferentes resoluciones T42 y T21, en la cual podemos observar cómo ambos modelos representan de diferente forma la Cordillera de los Andes, teniendo como máxima altura 3500 m en el modelo MPIfM, mientras en el modelo CCSR/NIES sólo 1600 m sobre Bolivia (en esta región la altura de Cordillera llega a los 5000 msnm).

En la Fig. 40 se presenta la diferencia de la precipitación para el mes de febrero entre el 2005 y 2050 con respecto al período de referencia, para el escenario A2. En esta figura podemos observar que no se puede distinguir una similar tendencia, debido a las diferencias de la representación de la topografía abrupta en los diversos modelos.

De acuerdo a los seis modelos utilizados, podemos afirmar que 4 modelos del escenario A2 muestran incrementos de precipitación sobre la selva o Amazonía, los cuales estarían oscilando entre un 30 y 60%. Sobre el comportamiento de la Sierra, los modelos tienen alta dispersión en sus resultados, debido a la topografía, lo cual indica elevada incertidumbre en esta zona, presentando en forma general decrementos del orden del 30% indicado por 3 modelos.

Fig. 39: Topografía en Sudamérica (en metros), según los modelos MPIfM y CCSR/NIES



Fig. 40: Diferencias en porcentaje de las precipitaciones febrero 2005 – 2050 respecto del período 1990 -2004. Escenario A2 (%)

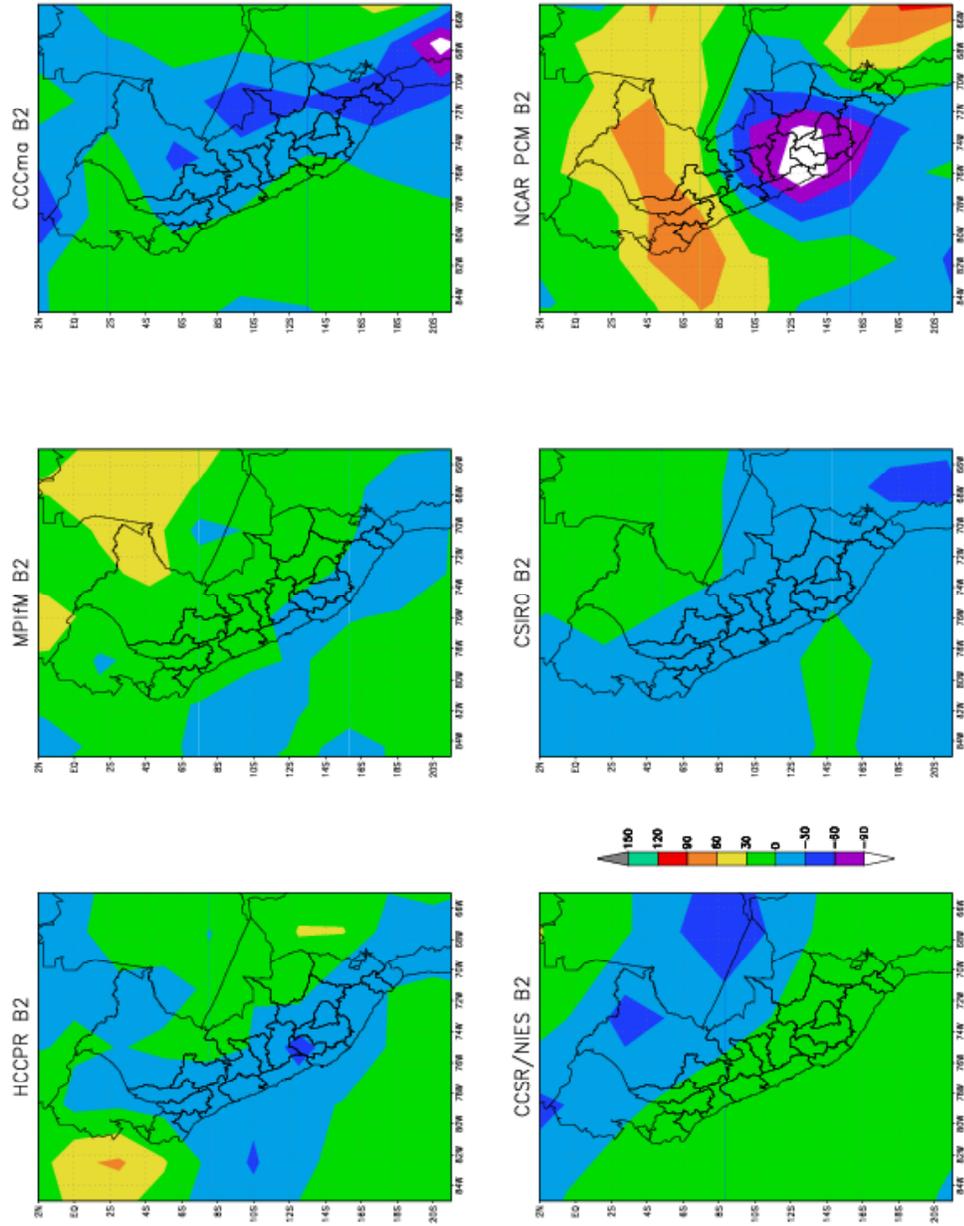


Fig. 41: Diferencias en porcentaje de las precipitaciones febrero 2005 – 2050 respecto del periodo 1990 -2004. Escenario B2 (%)

Asimismo, dada la estrechez que tiene la costa peruana asociada a la baja resolución de los modelos, el comportamiento de las precipitaciones en esta zona en la mayoría de los modelos es una continuación de la parte oriental, por lo que los modelos presentan una gran dispersión.

En la Fig. 41 se presenta las diferencias de las precipitaciones para el mes de febrero y el escenario B2. Similar a la figura anterior, las salidas muestran gran dispersión, presentando 3 de los 6 modelos incrementos del 30% en la selva, especialmente en la Zona Norte. En este escenario B2, el modelo NCAR muestra grandes incrementos y decrementos en la Zona Norte y Sur del país respectivamente.

Asimismo, 3 de los 6 modelos indican un decremento de las precipitaciones del orden del 30% en la sierra.

Para poder generalizar cual podría ser el comportamiento general, ya que sólo se han analizado 2 meses, fue necesario la confección de los gráficos anuales. En ese sentido se muestra la Fig. 42, la cual indica las diferencias de precipitaciones en forma anual entre el 2005 – 2050 y el período de referencia para el escenario A2. De dicha figura se puede observar que las anomalías tanto positivas como negativas tienen un bajo valor numérico que se encuentra entre -15 a 30%.

En la Fig. 42 se observa que en la selva 4 de los 6 modelos indican que las precipitaciones anuales presentarán incrementos del orden del 15%, mientras en la sierra y costa los modelos no se ponen de acuerdo para una similar tendencia debido a los problemas descritos anteriormente.

En la Fig. 43 se muestra las diferencias de las precipitaciones en forma anual entre 2005 - 2050 y el período de referencia, para el escenario B2. Con respecto a la Fig. 42, ambos escenarios tienen similares diferencias. Así en la región de la selva, 2 de los 6 modelos indican incrementos con respecto al período de referencia en un 15%, mientras 3 de los modelos indican incrementos en la sierra.

#### **4.5.3.4 A escala local**

En esta sección se han analizado las precipitaciones obtenidas directamente de los diferentes modelos para la zona de Piura. En este punto debemos tener mucho cuidado, ya que si seleccionamos la grilla más cercana a las localidades de interés, no necesariamente va estar sobre la ciudad requerida, debido a las bajas resoluciones de cada modelo y a la topografía utilizada.

La Fig. 44 muestra la topografía para la zona de Piura por los modelos MPIfM y CCSR/NIES, en la cual podemos observar que ambos modelos tienen diferente representación de la Cordillera de los Andes, presentando una topografía más plana en el modelo de menor resolución T21 (CCSR/NIES). La figura se realizó haciendo variar las longitudes y manteniendo constante la latitud 5°S (Piura).

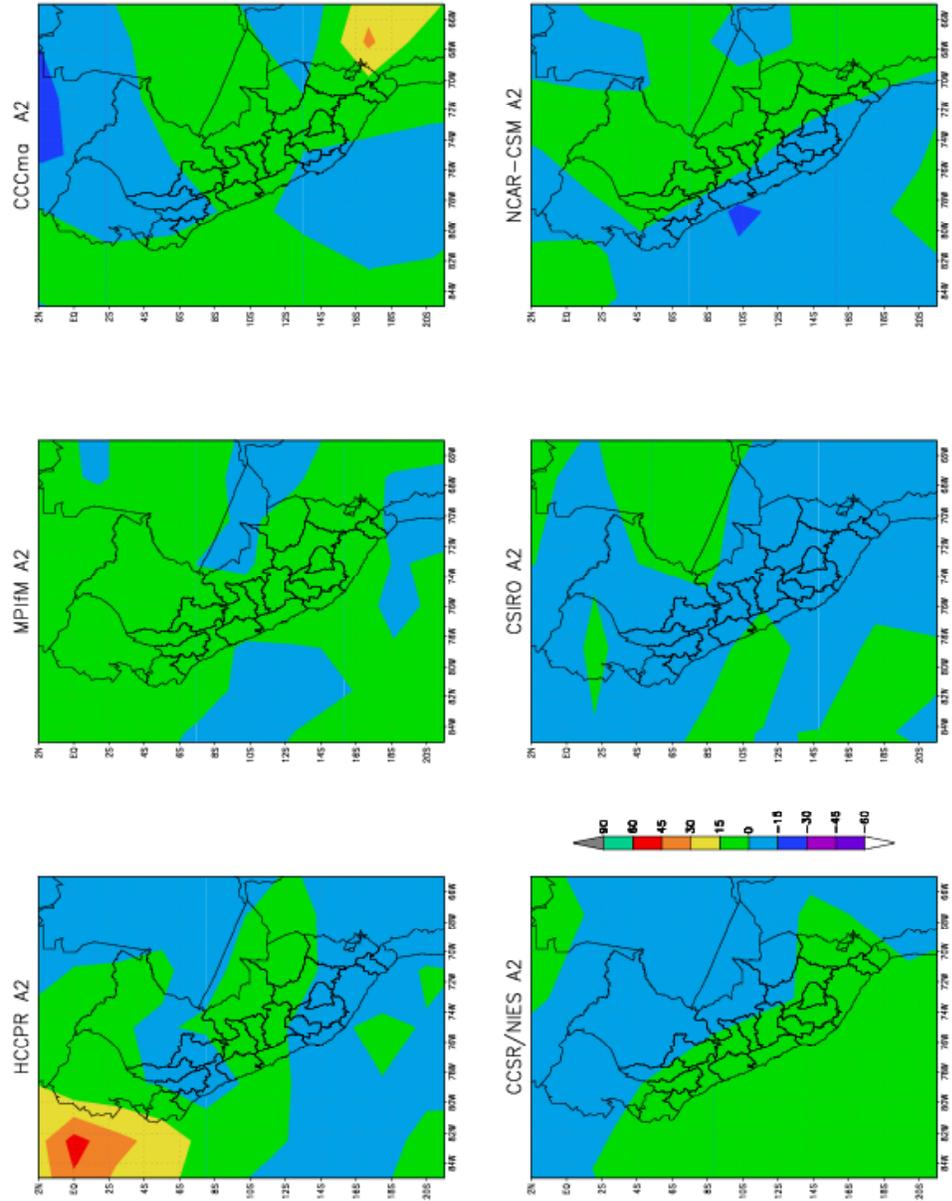


Fig. 42: Diferencias en porcentaje de las precipitaciones anuales 2005 – 2050. Escenario A2 (%)

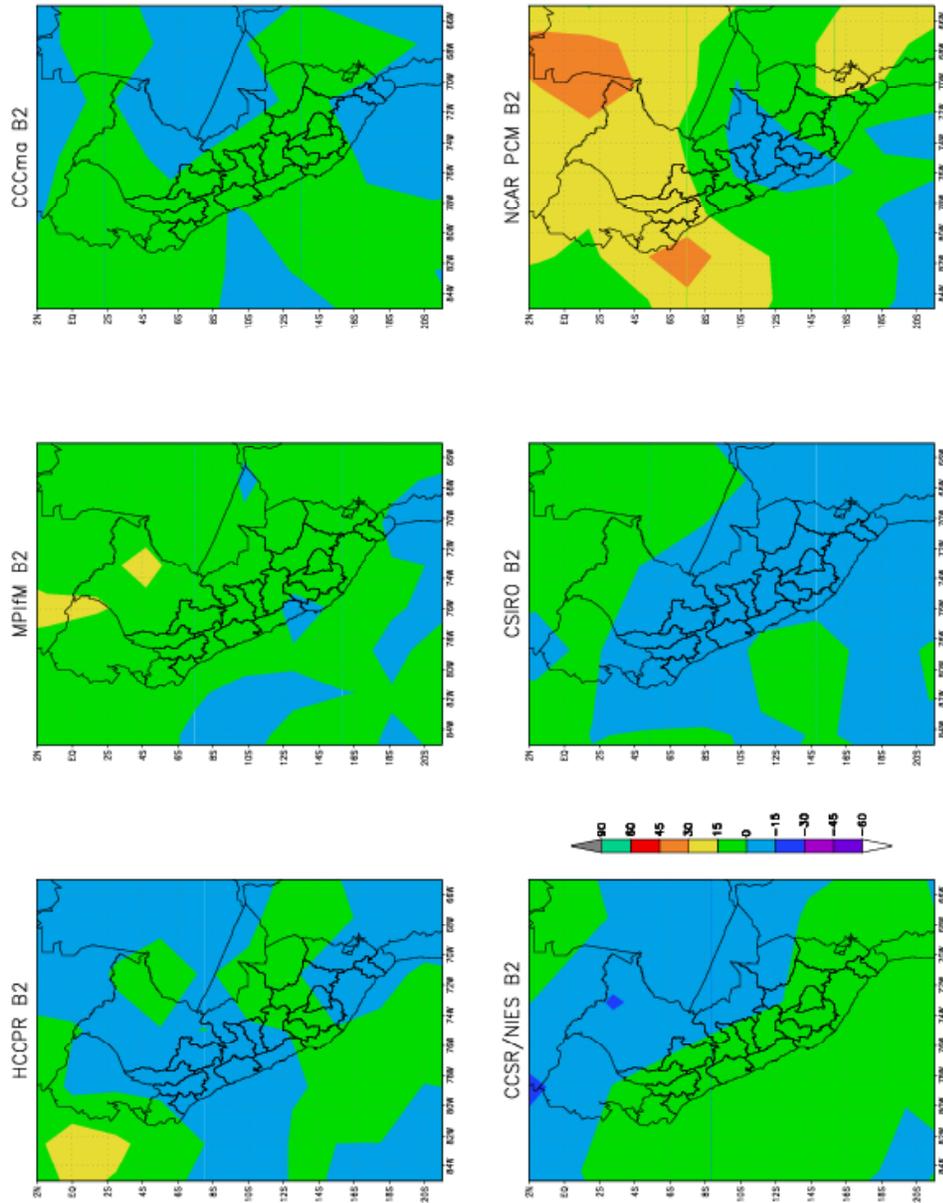


Fig. 43: Diferencias en porcentaje de las precipitaciones anuales 2005 – 2050. Escenario B2 (%)

Por lo tanto, el punto localizado para Chulucanas que los modelos nos representan, varían de posición y están comprendidos en la parte oeste, el Océano Pacífico frente a Piura, en la parte norte, la zona del Ecuador, en la parte este, la zona de Jaén; por lo cual se notan en los diferentes valores de precipitaciones, presentando en gran parte de los modelos valores muy altos para la zona de Chulucanas.

Fig. 44: Topografía en metros para la latitud 5°S por los modelos MPIfM y CCSR/NIES

---o---o MPIfM T42  
+----+-- CCSR/NIES T21

#### 4.5.2.3.1 Zona de Piura - Chulucanas

En este caso, se han obtenido 7 modelos de Circulación general con sus diferentes escenarios A y B, totalizando 18 escenarios de precipitaciones en esta zona. Del análisis de estos resultados podemos obtener que dentro del escenario límite extremo A2, el 60% de los escenarios, esto es 6 de los 10 modelos del escenario A, indican que las precipitaciones tienen tendencia a disminuir en los próximos 50 años, estos descensos oscilarían entre 30 a 60 mm que representa el 8 a 15% de su valor anual, al finalizar el año 2050. El 20%, esto es 2 de los 10 modelos, indican que las lluvias tendrán una tendencia creciente entre 50 a 100 mm, (que representa el 12 al 25% de su valor anual) y por último el 20% de los modelos (2 de 10), indican que las precipitaciones no tendrían ningún cambio durante los próximos 50 años.

Fig. 45 Escenarios de precipitación para Piura 2000 - 2050 y su tendencia (mm/año)

Para el escenario B2, cuatro de los ocho modelos del escenario B, indican que las precipitaciones incrementarán en promedio 80 mm (20 % de su valor anual) al finalizar el año 2050, mientras el 37.5% de los modelos (3 de 8) indican que las precipitaciones disminuirán unos 100 mm (25% de su valor anual) y finalmente el 12.5% de los modelos (1 de 8) estiman que las precipitaciones no cambiarían en este período.

Por otro lado, es necesario indicar que los descensos estimados durante los próximos 50 años en el escenario A2 son menores comparados con el escenario B2 mientras que los ascensos en ambos escenarios son muy similares.

En el escenario A2 todos los modelos sugieren decrecimiento de las precipitaciones pero debe ser tomado con mucha cautela debido a que la tendencia actual de los datos observados indican tendencia creciente; mientras que en el escenario B2, no hay una tendencia muy definida.

La Fig. 45 muestra los escenarios de precipitaciones del modelo MPIfM en la que se observa una tendencia ascendente de las precipitaciones para los próximos 50 años y se muestra este modelo ya que fue el único cuyos resultados para esta zona están de acuerdo a los valores numéricos observados. Este modelo, ubica a Chulucanas sobre el Pacífico, por lo que las cantidades de precipitaciones son más realistas, comparadas con los otros modelos.

#### En resumen:

- Para el análisis de la precipitación en el período simulado, es recomendable recurrir a la metodología de estimación estadística debido a la alta dispersión de los resultados, lo cual genera valores de incertidumbre muy altos.
- A nivel regional, el 36% de los modelos MCG indican núcleos de máximas precipitaciones sobre el Altiplano y con un 50% de los modelos indican otro núcleo de precipitaciones máximas en la amazonía norte, mientras un 14 % indican ambos máximos de precipitaciones durante febrero.
- Aparentemente, basándonos en nuestros conocimientos sinópticos de Sudamérica, las simulaciones de los MCG de la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) para agosto es mejor que para febrero en promedio.
- A nivel nacional, durante el mes lluvioso de febrero, las simulaciones basadas en ambos escenarios de emisiones (A2 y B2), indican para la selva, precipitaciones por encima de sus promedios entre 30% y 60%, con un 66% a 50% de los modelos en los escenarios A2 y B2 respectivamente. Dada la baja resolución de los modelos hay mucha dispersión sobre la sierra y costa.
- En el comportamiento anual ambos escenarios indican incrementos de las precipitaciones del orden del 15% especialmente para la selva.

## CAPITULO V - REGIONALIZACIÓN DINÁMICA

### 5.1 METODOLOGÍA

#### 5.1.1 Datos Preliminares

Los datos usados en la regionalización de escenarios climáticos en el Perú fueron generados por la National Center for Atmospheric Research (NCAR), según los escenarios de emisión proyectados en el IEE del IPCC (*ver mas detalle en Capítulo II*). Dos escenarios son regionalizados en este reporte; los escenarios son llamados **A2** y **B2**, correspondiendo a un estado de alta y baja emisión de GEI respectivamente. [El lector debe saber que para realizar la regionalización dinámica, era necesario contar con información proyectada en formatos de cada seis horas, lo cual sólo fue posible obtener del modelo arriba mencionado]

La información del NCAR describe los escenarios del sistema climático futuro de la Tierra, estos datos proporcionados al Centro de Predicción Numérica (CPN) del SENAMHI, están disponibles como archivos temporales con una frecuencia diaria entre el período 2000-2020 y de 6 horas entre el período 1983-2000. Esta información fue usada para generar las condiciones iniciales y de frontera de un modelo regional climático.

El modelo usado por NCAR para la generación de escenarios globales, es el Community Climate System Model (CCSM), el cual está basado en una estructura que divide el sistema climático en modelos componentes conectados por un acoplador, donde CCSM es un acoplador de modelos individuales que describen el comportamiento del océano, atmósfera, suelo y agua-hielo. Así por ejemplo, para la atmósfera se usa el modelo CAM (Community Atmosphere Model).

En el caso usual, el acoplamiento entre un modelo global (como el de NCAR) y un modelo regional es llevado a cabo estableciendo las variables estado del modelo (vientos, temperatura, densidad y humedad) en los puntos grilla a lo largo del las fronteras laterales del modelo regional, y en las grillas internas del modelo al inicio del tiempo de simulación. Para la simulación descrita aquí, el grupo usual de condiciones de frontera de atmósfera del modelo de larga escala no estuvieron disponibles. Específicamente, la altura geopotencial en los niveles verticales del modelo de la atmósfera (estos datos, junto a la temperatura, proporcionan la densidad de información requerida), fue aproximada por extrapolación hacia arriba (y hacia abajo) de la elevación de superficie conocida y la temperatura cerca de la superficie usando la ecuación hidrostática (relacionando temperatura y cambios de presión en la vertical) con una razón de cambio de temperatura asumido en la vertical. Junto a la temperatura y presión conocida en la superficie del modelo, permite el cálculo de las alturas de la superficie vertical. El método descrito es una aproximación, pero una necesidad para la disponibilidad de datos.

#### 5.1.2 Simulación Regional

El modelo regional usado en estos experimentos fue el Regional Atmosphere Modeling System (RAMS) versión 4.4. El RAMS, originalmente desarrollado en Colorado State University (Pielke et al. 1992), es un modelo tridimensional, no-hidrostático, con capacidad para anidamientos de dominios, ofrece varios esquemas de turbulencia, radiación, inicialización y condiciones de frontera.

En esta simulación se definieron dos dominios de integración: el primero con una resolución de 60 kilómetros, que cubre todo el Perú, y el segundo anidado<sup>(9)</sup> definido en toda la extensión de la Cuenca del Río Piura, con una resolución de 20 kilómetros (ver Fig. 46).

El anidamiento es una técnica que aumenta la resolución de la simulación en un área de interés, que para nuestro estudio es la Cuenca del Río Piura. Este anidamiento es en dos direcciones, esto significa que los cambios en la atmósfera por efectos de orografía o por esquemas de parametrización son transmitidos del dominio anidado al dominio madre.

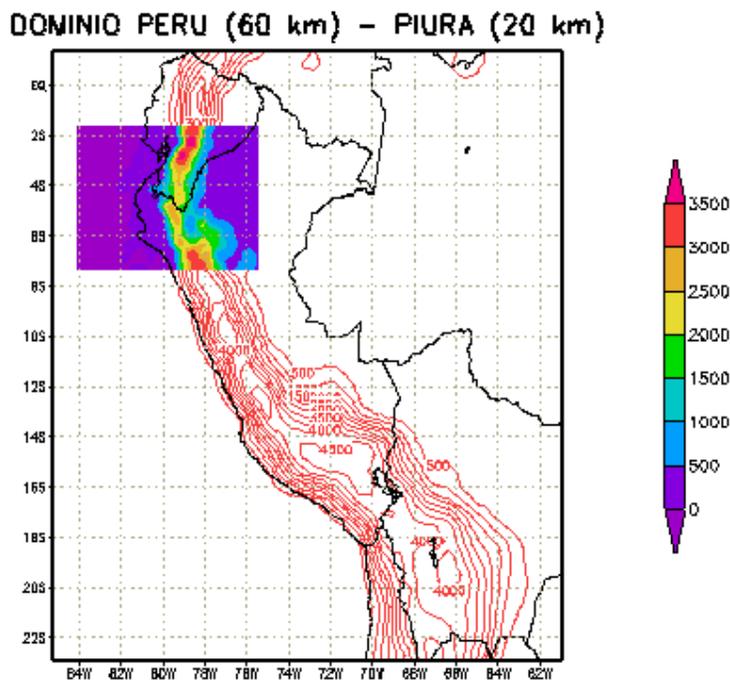


Fig. 46: Representación de los dominios de simulación. El área mayor es el dominio madre (Perú, 60 Km) y el área sombreada es el anidado (Piura, 20 Km.)

El período de simulación del modelo es de 1983 al 2020, siendo el “model timestep” o paso de tiempo de 50 segundos. Esto significa hacer una integración<sup>(10)</sup> de las ecuaciones gobernantes<sup>(11)</sup> de la atmósfera cada 50 segundos. Por tanto, el número total de integraciones en este período de simulación es aproximadamente 1198368000, esto sólo para cada uno de los puntos de grilla del dominio. Al dominio de Perú le corresponde un arreglo de 47 x 47 y para Piura una grilla de 50 x 35 en la horizontal y 30 niveles en la vertical.

Existen dos maneras generales de proceder con una simulación extendida. En un caso, la simulación extendida es conducida por simple actualización de las forzantes laterales con datos del modelo de larga escala. La circulación interior y las condiciones superficiales de suelo evolucionan libremente. Alternativamente, en

<sup>9</sup> El término anidado se usa para definir una región dentro de otra

<sup>10</sup> La integración se realiza al resolver una ecuación diferencial

<sup>11</sup> Sistema de ecuaciones diferenciales que rigen la dinámica de un fluido geofísico.

un segundo caso el modelo regional puede hacer la integración numérica en grupos de “sub-simulaciones” en el cual las variables internas del modelo RAMS (dentro del dominio) son periódicamente re-inicializadas, estas variables internas pueden incluir condiciones de superficie y humedad de suelo.

En esta simulación particular se escogió la segunda opción, estableciéndose los siguientes esquemas de acoplamiento entre el modelo de larga escala y el modelo regional:

- Cada 10 días los dominios de 60 y 20 km del modelo regional fueron reinicializados en las grillas internas y en la frontera con condiciones de atmósfera y suelo del modelo global de NCAR. (En la atmósfera, los datos de altura geopotencial fueron aproximados como se indica en ítem 5.1.1). Los datos de temperatura superficial del mar (TSM) fueron inicializados de los valores climáticos estándar de RAMS, los que provienen de una base de datos mensuales del globo en formato grillado. La humedad de suelo fue inicializada usando un esquema similar (manual de RAMS p. 34), el cual usa la condición inicial (temperatura, humedad) de atmósfera (i.e. del modelo de larga escala) para inicializar los perfiles de humedad de suelo.
- El dominio madre (60 km) del modelo regional fue “corrido” por 10 días usando condiciones de frontera laterales del modelo de gran escala con la aproximación acotada en ítem 5.1.1. La humedad de suelo evolucionó libremente durante los 10 días y la TSM permaneció fija desde el inicio al fin de este período.
- Cada 10 días el dominio anidado (20 km) del modelo fue re-inicializado de la misma manera que el dominio madre, y el tiempo de integración para los siguientes 10 días usando condiciones de frontera del dominio madre del modelo regional.

El esquema de acoplamiento definido es coherente con los fines de simulación requeridos, pero debido a que las condiciones atmosféricas globales que alimentarán la regionalización climática no son reales, algunos posibles problemas pueden definirse, entre los cuales se puede resaltar la continuidad del acoplamiento de la TSM, la re-inicialización de la humedad del suelo y los choques de la re-inicialización atmosférica.

Si el dominio del modelo regional incluye océano, es usual usar la TSM del modelo global en el modelo regional. En esta simulación, la temperatura superficial del mar del modelo regional estuvo fija, con valores apropiados para la última mitad del siglo XX. Una evaluación de los cambios de TSM a lo largo de la costa de Ecuador y la Costa Norte del Perú, como aparecen en los escenarios climáticos, sugiere consistentemente incrementos en TSM del orden de 0.3°C durante el período 2000-2020. Asumiendo que esto es real, implica que el contenido de humedad cercano a la superficie podría ser pequeño también hacia el final de la simulación, resultando posiblemente en un ligero sesgo en simulación de precipitación.

La re-inicialización de la humedad de suelo del modelo regional calculado en base a las condiciones iniciales del modelo de larga escala, representa una aproximación poco usual. Pudo haber sido mejor transportar de manera continua los datos de humedad de suelo hacia el fin de la simulación. Sin embargo, se puede esperar que los cambios en las condiciones de larga escala (MCG) sean reflejados en la re-inicialización de la humedad de suelo en el modelo regional.

El esquema de re-inicialización de los dominios internos del modelo regional con condiciones de larga escala cada 10 días, produce significativas perturbaciones debido a este acople en la inicialización, las que afectan los primeros 1-2 días para cada 10 días de período. Los datos de este período “spin-up” fueron removidos de los resultados. El efecto de este acoplamiento perturbado está siendo evaluado por el Centro de Predicción Numérica del SENAMHI. Un método sugerido a futuro podría ser permitir la evolución continua de la circulación del modelo regional. No hay garantía que este método produzca aceptables resultados. Alternativamente, un período de tiempo mas largo podría probablemente ser usado entre re-inicialización con los datos de un apropiado modelo de “spin-up” removido.

### 5.1.3 Variables Analizadas

Se presenta la simulación de escenarios regionales de dos variables: precipitación y temperatura (máxima, mínima y media). Las cartas son mostradas en quinquenios, las que se definen en seis períodos de análisis, los que corresponden a los años: 2006-2010, 2011-2025, 2016-2020, 2021-2025, 2026-2030, y 2031-2035. Los quinquenios son agrupados en frecuencias estacionales que a su vez se agrupan en: diciembre, enero y febrero (*DEF*); marzo, abril y mayo (*MAM*), junio, julio y agosto (*JJA*) y setiembre, octubre y noviembre (*SON*). El análisis se realizó para las variables mencionadas en el período descrito anteriormente. Se elimina el BIAS del modelo con la siguiente relación:

$$\text{MAP} = \text{VARSCENR} - \text{VARCLIM} + \text{CLIMOBS}$$

Donde: MAP es el mapa presentado, VARSCENR es el escenario como sale del modelo, es decir, sin procesamiento, VARCLIM es la climatología del modelo RAMS en una simulación durante el período 1983-2003 y CLIMOBS es la climatología observada de estaciones en la cuenca del río Piura. La climatología observada para la precipitación se calculó con las estaciones de la tabla 10 y la climatología observada para la temperatura con las estaciones de la tabla 11.

Tabla 10: Estaciones en la Cuenca del Río Piura con información de precipitación

Estación	Coordenadas Geográficas (grados y minutos)		Coordenadas UTM	
	Longitud	Latitud	Este	Norte
Bernal	80,45	5,38	528610,6800	9396382,6300
Chilaco	80,30	4,42	555421,4852	9480446,5635
Chalaco	79,50	5,02	629301,5296	9443504,9041
Chulucanas	80,09	5,06	592722,2800	9436830,5800
Chusis	80,50	5,31	518429,7609	9390190,4628
Frias	79,51	4,56	627472,9159	9454564,2309
Hcda. Bigote	79,49	5,20	634781,5207	9410325,6539
Hcda. Schumaya	79,21	5,22	682798,3258	9406527,8387
Huancabamba	79,27	5,15	660662,4235	9419484,2232
Huarmaca	79,31	5,34	664271,9517	9384459,7378
La Esperanza	81,04	4,55	492578,0378	9456516,2037
Lambayeque	79,55	6,42	619737,0600	9259282,8100
Mallares	80,44	4,51	529537,0904	9463879,9020
Miraflores	80,37	5,10	542452,8040	9428869,1398
Morropon	79,59	5,11	612645,0352	9426949,2896

Motupe	79,44	6,09	640122,9185	9320017,4037
Olmos	79,43	5,59	640717,2677	9337492,2247
Paíta	81,08	5,05	485191,2845	9434407,3282
Porculla	79,31	5,50	665363,1048	9354262,7803
San Miguel	80,41	5,14	535060,5547	9421503,7755
San Pedro	80,02	5,05	607119,7547	9438013,4052
Santo Domingo	79,53	5,02	623758,0053	9443514,5948
Sapillica	79,59	4,47	612713,1902	9471171,5593
Sondorillo	79,28	5,20	677266,2014	9410228,5820
Tuluce	79,22	5,24	680916,3667	9393631,2420
El Virrey	79,59	5,32	612580,9241	9388254,3618

Tabla 11: Estaciones en la Cuenca del Río Piura con información de temperatura

Estación	Coordenadas geográficas (grados y minutos)		Coordenadas UTM	
	Longitud	Latitud	Este	Norte
Arenales	79,51	4,55	627476,0911	9456406,9395
Bayovar	81,01	4,49	498121,1719	9467570,3557
Chilaco	80,30	4,42	555421,4852	9480446,5635
Chulucanas	80,09	5,06	592722,2800	9436830,5800
Chusis	80,50	5,31	518429,7609	9390190,4628
Cruceta	80,16	4,52	581280,8272	9461999,3647
Curvan	80,18	4,57	577574,9587	9452791,0163
El Tablazo	80,29	4,53	559102,7316	9460177,7372
Sasape	79,54	6,29	621632,1900	9283234,3900
Hcda Pabur	80,02	5,13	607097,4340	9423272,8331
Hda. Yapatera	80,08	5,04	596036,7962	9439871,6749
Huancabamba	79,27	5,15	660662,4235	9419484,2232
Huarmaca	79,31	5,34	664271,9517	9384459,7378
La Esperanza	81,04	4,55	492578,0378	9456516,2037
Lambayeque	79,55	6,42	619737,0600	9259282,8100
Miraflores	80,37	5,10	542452,8040	9428869,1398
Montegrande	80,44	5,10	533207,3666	9408608,1962
Morrote	80,01	6,32	608719,7300	9277732,8600
Morropon	79,59	5,11	612645,0352	9426949,2896
Motupe	79,44	6,09	640122,9185	9320017,4037
Olmos	79,43	5,59	640717,2677	9337492,2247
San Miguel	80,41	5,14	535060,5547	9421503,7755
Tejedores	80,14	4,43	584991,4472	9474892,4147

Adicionalmente, se presentan mapas de tendencia para precipitación y temperatura (máxima, media, y mínima). Las tendencias se presentan en tres periodos: 2004-2020, 2021-2035, y 2004-2035, la cual se calcula de la pendiente de una regresión lineal de una grafica de la variable en cuestión versus el tiempo, el método usado para la regresión lineal es mínimos cuadrados. La tendencia de precipitación es presentada como porcentaje de su normal, y la tendencia de la temperatura en grados centígrados por años, el cual dependerá del periodo (2004-2020, 2021-2035, o 2004-2035).

## 5.2 RESULTADOS

### 5.2.1 Análisis de la información histórica

#### 5.2.1.1 Tendencia Histórica de la Precipitación

##### ➤ *Bajo Piura*

Es bastante difícil hablar de tendencia de las precipitaciones en esta zona, debido a que normalmente esta área es bastante desértica con precipitaciones ligeras en los meses de verano, las que algunas veces se magnifican cuando están asociadas a los efectos del fenómeno El Niño, todo esto se deduce de los análisis hechos en todas las estaciones meteorológicas ubicadas en esta zona. En las últimas dos décadas se ha tenido una mayor frecuencia de Fenómenos El Niño de características extraordinarias a moderadas, los cuales han inducido precipitaciones extremadamente fuertes y por lo tanto han sesgado la línea de tendencia hacia el lado positivo, tal como puede verse en la Fig. 47, en la que se presenta la variación temporal de las precipitaciones en los 4 trimestres del año para Chusis.

En los trimestres DEF y MAM puede notarse ese sesgo de la tendencia; por otro lado en el trimestre JJA la tendencia es decreciente y también está sesgada debido a que el Niño 1982-83 mantuvo lluvias fuertes hasta junio, influenciando la línea de tendencia en toda la zona (Fig. 47). De la información observada, el trimestre SON muestra tendencia decreciente y puede verse claramente que las lluvias o lloviznas ligeras de primavera han ido cada año decreciendo ligeramente entre 0.7 a 1mm/10 años.

##### ➤ *Cuenca Media*

Esta área, al igual que la zona baja, está influenciada en gran parte por los eventos El Niño por lo que la tendencia parcialmente se encuentra sesgada por este efecto. De la evaluación de estaciones ubicadas en esta zona de la cuenca del Piura podemos observar tres puntos importantes:

- Los trimestres lluviosos de DEF y MAM presentan lluvias que no están relacionadas a los eventos Niño y que son de magnitud parecida a las lluvias con efecto de El Niño.
- Los años consecutivos de deficiencia de lluvias en los últimos años ha decrecido alternando rápidamente con períodos lluviosos, especialmente en el trimestre DEF.
- Comparando ambos Niños 1982/83 y 1997/98 de extraordinaria intensidad, en el trimestre DEF las cantidades de lluvia fueron superiores en toda la zona en el Niño 1997/98, mientras en el trimestre MAM las lluvias fueron superiores en el Niño 1982/83.

En la misma Fig. 47 se muestra la distribución temporal de la lluvia en los 4 trimestres del año para la estación Hacienda Bigote. En dicha figura podemos observar los tres puntos anteriormente descritos; así en el trimestre DEF se muestra que entre los años 1975 a 1985 hubo períodos consecutivos de 5 y 3 años

de deficiencia de lluvias, mientras que a partir de 1985 hasta la actualidad este período se redujo a 1 ó 2 años.

De otro lado, en ambos trimestres lluviosos DEF y MAM se presentaron lluvias que totalizaron cantidades muy similares a las ocurridas en los eventos de Niños Moderados, tal como se observa para Hacienda Bigote en el trimestre DEF en los años 1989/90, 1999/2000 y 2000/2001 y en trimestre MAM en los años 1989, 1999, 2000 y 2001.

En el trimestre JJA las lluvias son insignificantes, pero puede observarse el efecto que tuvo todavía en este trimestre El Niño 1982/83 en todas las estaciones ubicadas en esta zona. Finalmente en el período SON, que corresponde al trimestre con pocas lluvias y de acuerdo a la información evaluada, no se observa una clara tendencia de las precipitaciones ya que predominan las condiciones locales como la topografía.

### ➤ *Cuenca Alta*

Esta zona hasta aproximadamente los 600 m de altitud, tiene aún una marcada influencia de los eventos El Niño en lo que se refiere a distribución e intensidad de la precipitación; no obstante, en las localidades superiores a este nivel en promedio se puede observar que las precipitaciones registradas en los trimestres más lluviosos DEF y MAM, las lluvias asociadas a los eventos El Niño no juegan un papel principal.

De las estaciones meteorológicas ubicadas en esta zona podemos apreciar una tendencia de incremento de las lluvias las que han sido más frecuentes a partir de la década del 90 hasta la actualidad. En la Fig. 47, que muestra la distribución temporal de las lluvias en Sapillica se observa esta tendencia ascendente de las lluvias; asimismo se puede notar que en el trimestre DEF las lluvias asociadas a eventos Niño no han sido significativas, presentando lluvias de mayor intensidad en otros años que no guardan relación con eventos El Niño como el 83/84, 89/90, 94/95 y 98/99. Estas lluvias ocurridas en los últimos 20 años pueden deberse al calentamiento atmosférico que está teniendo la zona del Bajo Piura y Zona Media y que es observable en las temperaturas extremas ya descritas anteriormente, por lo que el aire de la brisa marina y de montaña se encuentran más inestables y rápidamente puede condensarse y precipitar al ascender por la cordillera.

En el trimestre MAM las lluvias son afectadas por los eventos El Niño, presentando cantidades superiores a sus valores medios en gran parte de esta zona, asimismo se nota un efecto de los Niños de moderada intensidad como fue el período cálido de 1991 al 1994.

Por otro lado, en ambos trimestres podemos notar un decrecimiento paulatino de las precipitaciones a partir del año 1999 hasta la actualidad.

Asimismo, de los análisis de las estaciones Sapillica y Chalaco para el trimestre JJA, se observa que no muestran un comportamiento similar; así, en la Fig. 47 se observa la tendencia ligeramente decreciente en Sapillica a diferencia de Chalaco el cual presentó una tendencia estacionaria (no se muestra), mientras que el trimestre SON presenta ligera tendencia positiva que en parte es debida a los eventos lluviosos del año 1997 ocurridos en la primavera, esto es, lluvias en pre-Niño asociadas a la componente de aire cálido y húmedo proveniente del océano.

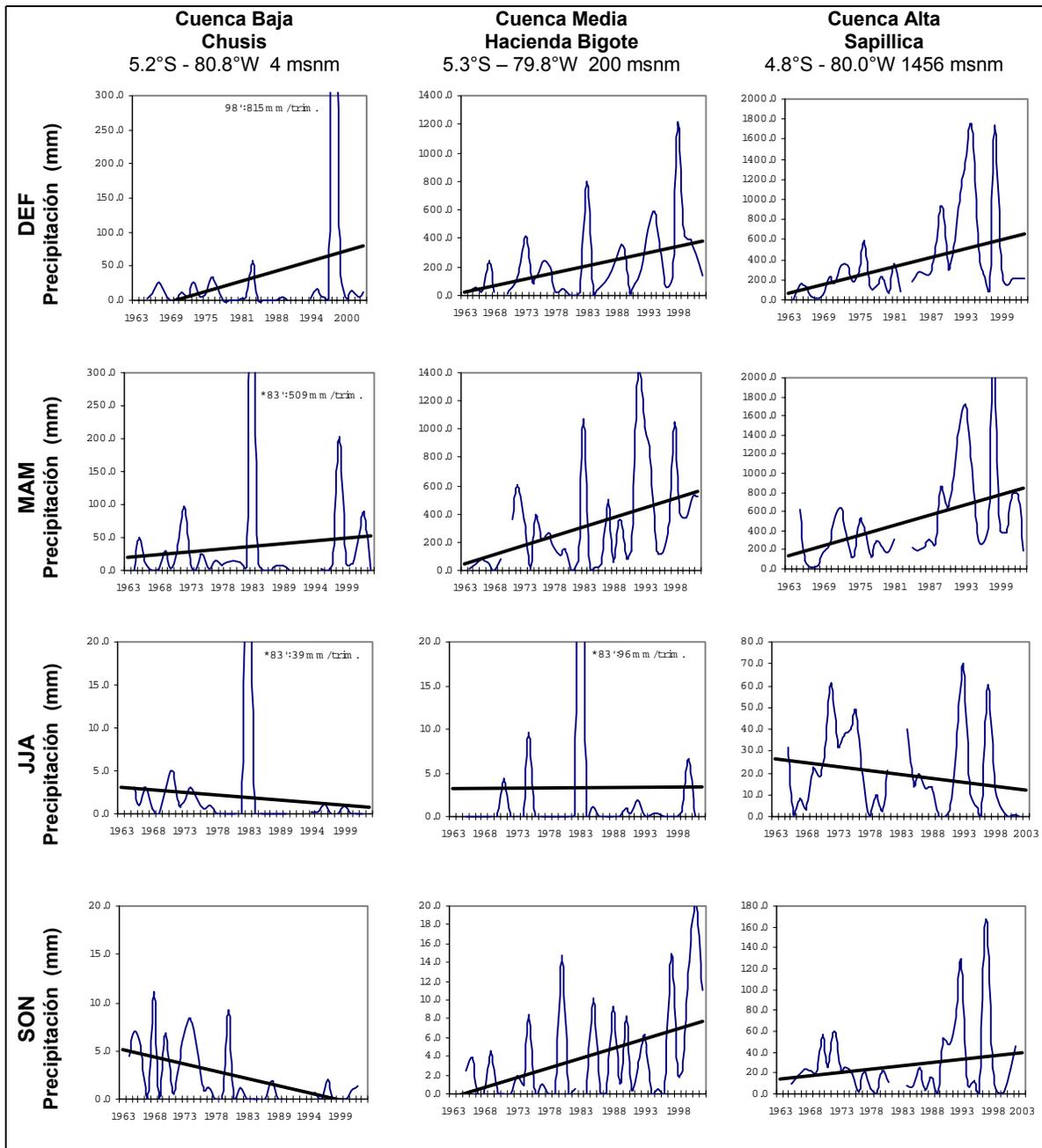


Fig. 47 Precipitación histórica durante los trimestres DEF, MAM, JJA y SON en estaciones representativas de la Cuenca del río Piura

**En resumen:**

- En el Bajo Piura y Cuenca Media, las precipitaciones en los trimestres DEF y MAM están fuertemente ligados a los eventos El Niño, principalmente en las inmediaciones de Tambogrande y Chulucanas en donde suelen ocurrir los máximos de precipitaciones acumuladas durante eventos extraordinarios de El Niño.
- En el Bajo Piura, en el trimestre SON correspondiente a la estación de primavera se observa una tendencia a la disminución de las precipitaciones.
- En la Cuenca Media y Cuenca Alta del Río Piura, se puede observar que en los trimestres DEF y MAM vienen presentándose lluvias de magnitudes similares o superiores a las de El Niño.
- En la Cuenca Alta, la influencia de los eventos El Niño es notoria en el trimestre MAM.
- Se observa una tendencia positiva de la precipitación en la Cuenca Alta; no obstante, puede observarse en los últimos años (a partir de 1999) que las lluvias han ido decreciendo paulatinamente.
- En el período de inicio de lluvias, trimestre SON, puede observarse claramente lluvias intensas en la Cuenca Alta, probablemente debido a que el mar adyacente a Piura estuvo caliente por lo que pudo haber contribuido con lluvias moderadas en ese trimestre, tal como el año 1993 y 1997.

### 5.2.1.2 Tendencia Histórica de la Temperatura Máxima

#### ➤ *Bajo Piura*

De las estaciones Chusis, Miraflores y San Miguel, analizadas en toda esta zona, se puede observar que la temperatura máxima tiene tendencia ascendente en gran parte de los trimestres del año, a excepción del trimestre JJA, el cual se ha presentado casi estacionario en más de 30 años sobre la zona baja de la cuenca. En la Figura 48 se observa la variación temporal de la temperatura máxima en la estación Chusis, representativa de la zona baja con una clara tendencia positiva de alrededor  $1^{\circ}\text{C}/39$  años en el trimestre SON, el cual es el trimestre que presenta los mayores incrementos en la región. La estación Miraflores registra incrementos menores de hasta  $0.5^{\circ}\text{C}/39$  años para SON (no se muestra). Los menores incrementos de la tendencia positiva se dan en el trimestre DEF con  $0.4^{\circ}\text{C}/39$  años en Chusis y  $0.3^{\circ}\text{C}/33$  años en Miraflores mientras en San Miguel presentan una tendencia estacionaria en casi todo el año, estas estaciones no son mostradas en gráficos.

#### ➤ *Cuenca Media*

En esta zona no se cuenta con estaciones meteorológicas especialmente ubicadas en las cuencas de interés que tengan suficiente récord histórico; algunas de ellas como la estación de Curvan sólo posee información hasta 1975, así como la estación El Tablazo. Cabe mencionar que hemos utilizado estaciones meteorológicas que superan la década del 70 debido a que en algunas zonas se ha mostrado un cambio brusco de sus temperaturas en esta década. Por esta razón fueron utilizadas para el análisis respectivo las estaciones de Chulucanas y Morropón, ubicadas sobre esta zona. En la misma figura 48 se puede observar el comportamiento temporal a través de todo el año en la estación Morropón, el cual presenta una tendencia ascendente en todos los trimestres del año a excepción del trimestre MAM en la que hay una tendencia estacionaria a través del tiempo; el mayor incremento fue de  $1.0^{\circ}\text{C}/39$  años en los trimestres JJA y SON y el menor incremento en el trimestre DEF con  $0.3^{\circ}\text{C}/39$  años. En Chulucanas se presenta un comportamiento similar con un incremento de esta variable en casi todos los trimestres del año a excepción de DEF que tiene una tendencia decreciente de  $0.3^{\circ}\text{C}/31$  años. Dicha estación registra un incremento ligeramente mayor con respecto a Morropón en el trimestre SON con  $1.2^{\circ}\text{C}/31$  años y el menor incremento en MAM con  $0.6^{\circ}\text{C}/31$  años, cuyos gráficos no se muestran.

#### ➤ *Cuenca Alta*

En dicha zona contamos con dos estaciones: la de Arenales que tiene información hasta el año 1991 y que puede representar a la cuenca alta del Yapatera, y la de Huarmaca, la cual es una estación operativa hasta la actualidad y que también representa la parte alta de la Cuenca del río Piura. En la misma Figura 48 se muestra la variación temporal de la temperatura máxima en Huarmaca así como la tendencia marcadamente ascendente en todos los trimestres del año, con incrementos entre  $1.5$  a  $2.0^{\circ}\text{C}/30$  años. Mientras que en Arenales el mayor incremento fue de  $0.7^{\circ}\text{C}/18$  años en JJA y el menor incremento de  $0.2^{\circ}\text{C}/18$  años en el trimestre SON.

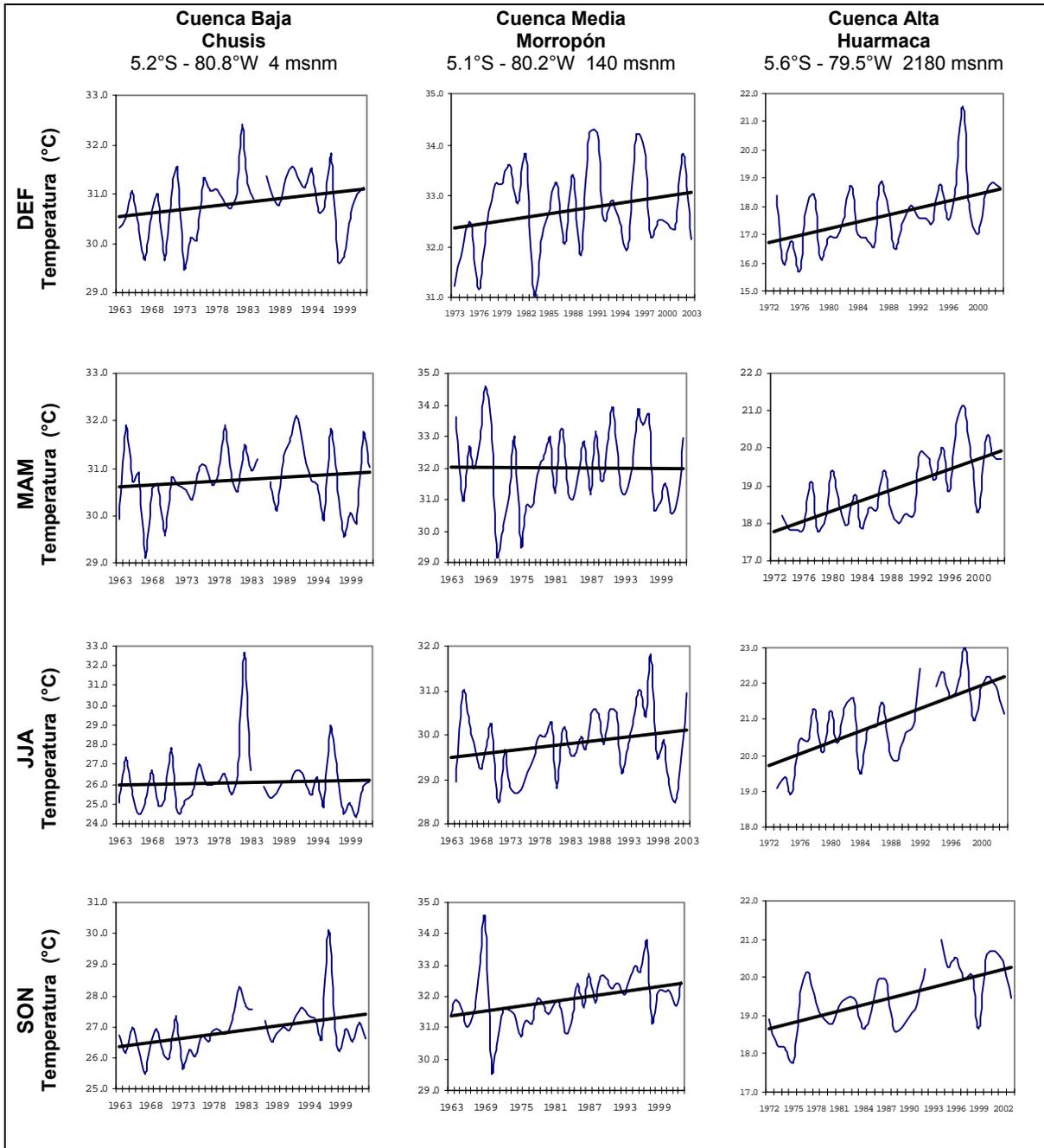


Fig. 48: Temperatura Máxima Histórica durante los trimestres DEF, MAM, JJA y SON en estaciones representativas de la Cuenca del río Piura

### 5.2.1.3 Tendencia Histórica de la Temperatura Media

#### ➤ *Bajo Piura*

De acuerdo a la información histórica de las estaciones Chusis, Miraflores y San Miguel, se observan incrementos de la temperatura media en todos los trimestres del año para esta zona. Así, en la figura 49, que muestra la variación trimestral de la temperatura media para la estación de Chusis se observa que los mayores incrementos se dieron en los trimestres DEF y SON con aproximadamente  $1.0^{\circ}\text{C}/39$  años y el menor incremento en el trimestre JJA con  $0.6^{\circ}\text{C}/39$  años. En San Miguel y Miraflores, el mayor incremento sólo se ha dado en el trimestre MAM con  $1.2^{\circ}\text{C}/30$  años y  $0.9^{\circ}\text{C}/33$  años respectivamente. Mientras que los menores incrementos fueron  $0.5^{\circ}/30$  años en el trimestre DEF en San Miguel y de  $0.1^{\circ}\text{C}/33$  años en Miraflores en el trimestre JJA, similar a Chusis.

#### ➤ *Cuenca Media*

Se muestra incrementos en todos los trimestres del año, según el análisis de las estaciones Morropón y Chulucanas, representativas de la zona media. En la misma Figura 49 se muestra la variación temporal de esta variable en la estación de Morropón, con el mayor incremento en el trimestre SON con  $1.5^{\circ}\text{C}/39$  años mientras que los menores incrementos fueron en MAM y en JJA con  $0.6^{\circ}\text{C}/39$  años. En Chulucanas los incrementos fueron menores comparados con Morropón, así en Chulucanas el mayor incremento fue en MAM con  $0.5^{\circ}\text{C}/31$  años, mientras que los menores incrementos se dieron en DEF y JJA con  $0.2^{\circ}\text{C}/31$  años.

#### ➤ *Cuenca Alta*

Según el análisis de las estaciones de Huarmaca y Arenales, ubicadas sobre la zona alta de la cuenca, la temperatura media también tuvo un ascenso en los últimos 30 años aproximadamente. En la misma Figura 49 se muestra la variación temporal de esta variable en Huarmaca, con incrementos de hasta  $1.5^{\circ}\text{C}/30$  años en el trimestre JJA y de  $0.6^{\circ}\text{C}/30$  años en SON. En Arenales el mayor incremento fue de  $0.6^{\circ}\text{C}/18$  años en los trimestres DEF y JJA mientras que en SON el incremento mínimo fue de  $0.2^{\circ}\text{C}/18$  años.

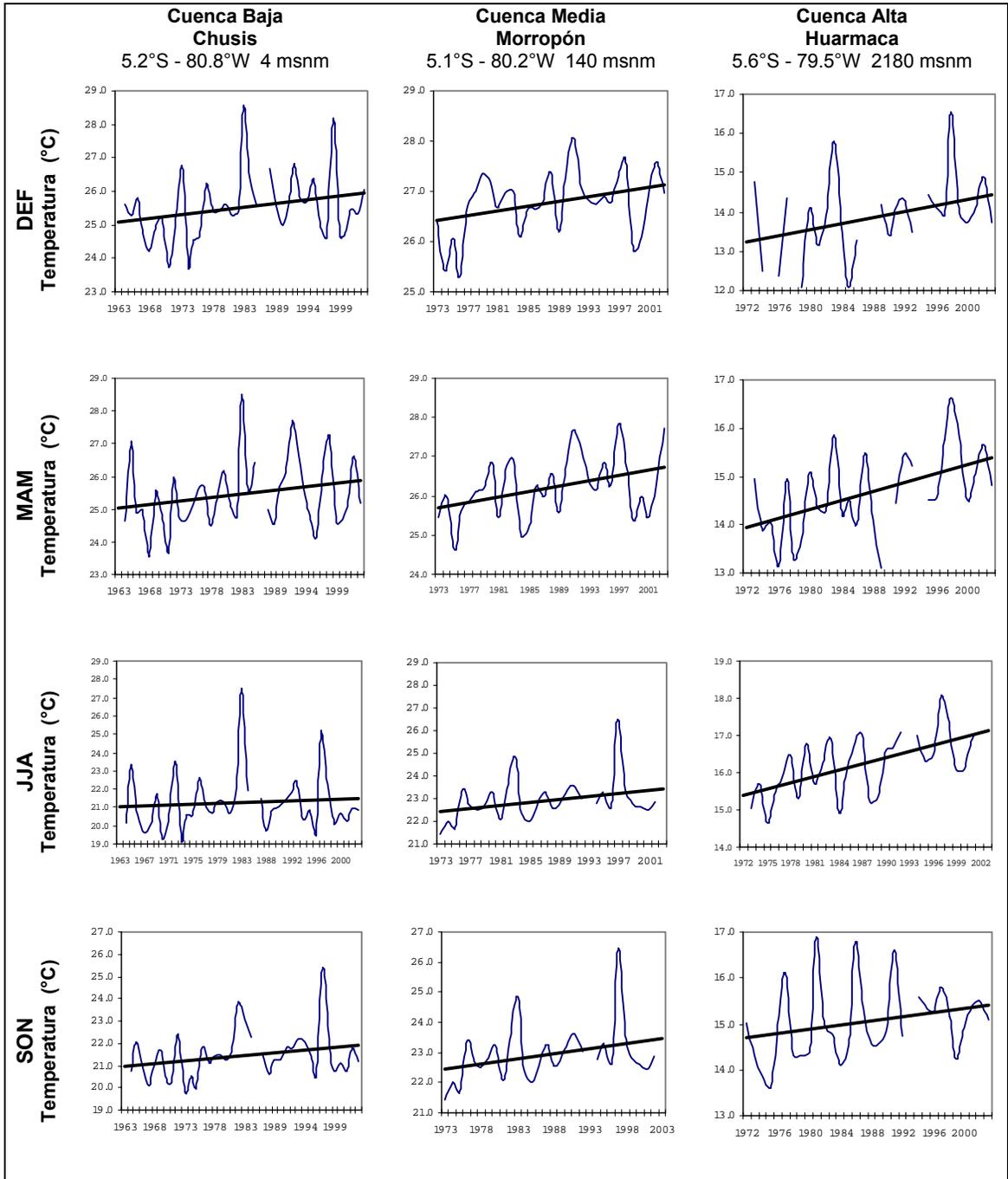


Fig. 49: Temperatura media histórica durante los trimestres DEF, MAM, JJA y SON en estaciones representativas de la Cuenca del río Piura

#### 5.2.1.4 Tendencia Histórica de la Temperatura Mínima

##### ➤ *Bajo Piura*

En toda la zona y en todo el año las temperaturas mínimas se han incrementado en un grado en promedio durante las últimas décadas especialmente desde la década del 70, según el análisis de las estaciones Chusis, Miraflores y San Miguel, a excepción de una ligera tendencia decreciente de  $0.3^{\circ}\text{C}/30$  años en San Miguel en el trimestre JJA. Se puede observar en la figura 50, que muestra la variación trimestral de las temperaturas mínimas para Chusis, la tendencia ascendente de esta variable y que representa los mayores valores de ascenso del Bajo Piura; así, en el trimestre DEF registró un incremento de  $1.9^{\circ}\text{C}/39$  años mientras que en JJA presentó un incremento de  $1.0^{\circ}\text{C}/39$  años. En Miraflores los menores incrementos se dieron en DEF y JJA con  $0.8^{\circ}\text{C}/33$  años, mientras los mayores ascensos se dieron en MAM y SON con  $1.0^{\circ}/33$  años. En San Miguel el menor incremento fue en DEF con  $0.2^{\circ}\text{C}/30$  años y el mayor fue de  $0.6^{\circ}\text{C}/30$  años en el trimestre MAM.

##### ➤ *Cuenca Media*

De acuerdo a la información histórica de las estaciones consideradas, podemos observar un comportamiento diferente entre ellas: mientras en Chulucanas puede observarse tendencia ligeramente descendente entre  $0.1$  a  $0.2^{\circ}\text{C}/31$  años en todos trimestres del año, en Morropón la tendencia es ascendente con un incremento de  $0.8^{\circ}\text{C}/39$  años en promedio. En la misma Figura 50 se muestra la variación temporal de esta variable en Morropón, en la cual observamos que la mayor tendencia positiva se presenta en el trimestre SON con  $1.1^{\circ}\text{C}/39$  años y el menor incremento en DEF con  $0.4^{\circ}\text{C}/39$  años. Se han evaluado otras estaciones cercanas que no cuentan con un suficiente registro histórico, las cuales no han permitido establecer un patrón respecto a las tendencias en la Cuenca Media. Podemos asumir por lo tanto que, en general, están predominando las condiciones locales, por lo que no tenemos suficientes argumentos para definir la tendencia de esta zona.

##### ➤ *Cuenca Alta*

La temperatura mínima muestra un comportamiento ascendente en todo el año, según las estaciones analizadas de Huarmaca y Arenales. En la Figura 50 se muestra la variación temporal de esta variable en Huarmaca, en donde el mayor incremento fue de  $1.2^{\circ}\text{C}/30$  años en DEF y MAM y el menor incremento fue de  $0.7^{\circ}\text{C}/30$  años en JJA y SON. En Arenales el mayor incremento fue de  $1.4^{\circ}\text{C}/18$  años en JJA y el menor incremento fue en el trimestre DEF con  $0.6^{\circ}\text{C}/18$  años.

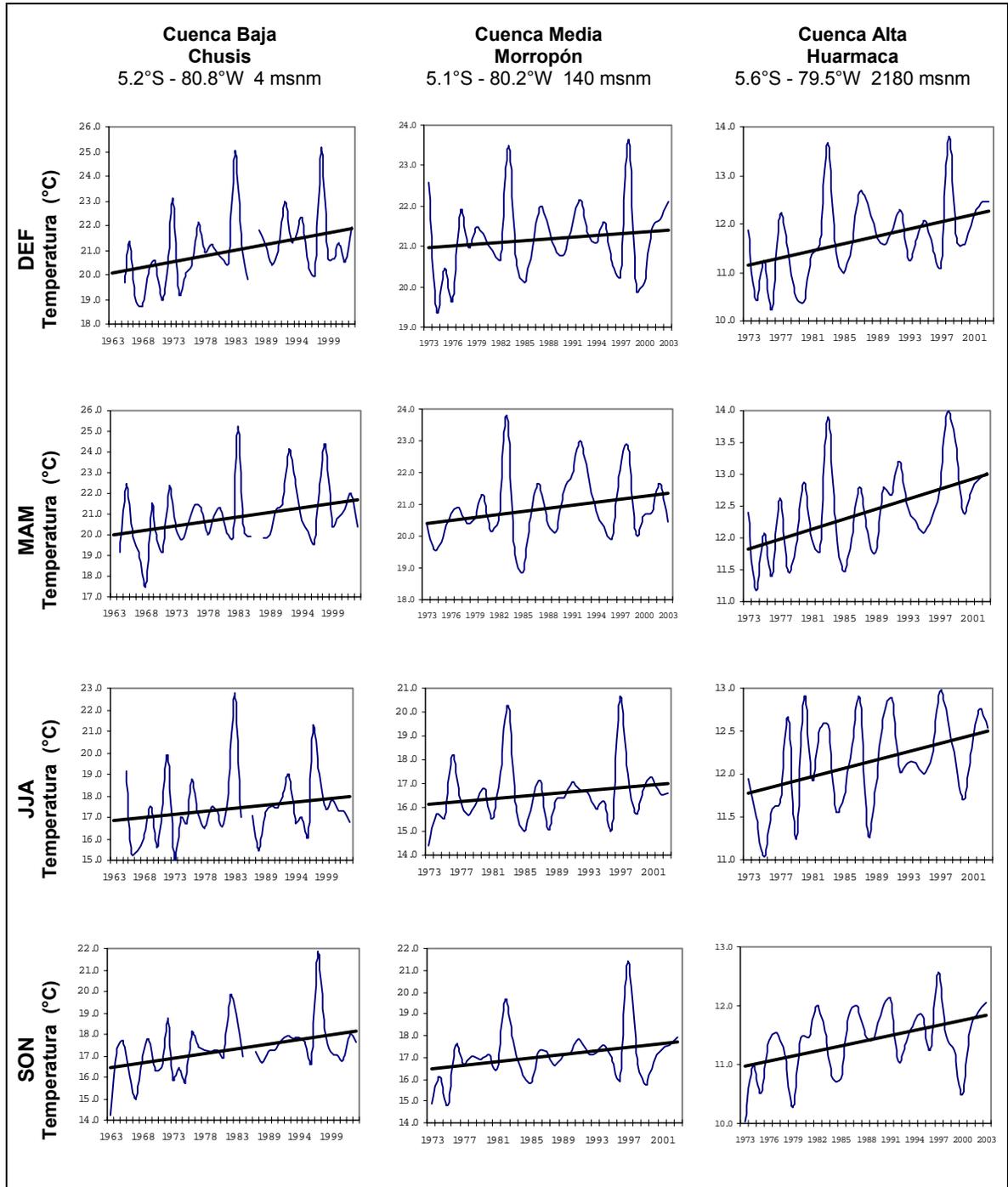


Fig. 50: Temperatura mínima histórica durante los trimestres DEF, MAM, JJA y SON en estaciones representativas de la Cuenca del río Piura

**En resumen:**

De acuerdo a la información histórica de las estaciones ubicadas en la Cuenca del Río Piura podemos afirmar que en general en los últimos 30 a 35 años, la *tendencia de la Temperatura del Aire es positiva* en todos los trimestres del año. Desagregando por trimestres y Áreas de Interés tenemos las siguientes conclusiones:

- La Temperatura Máxima tiene su mayor incremento en la estación de primavera (SON) en el Bajo Piura y Cuenca Media; mientras en la Cuenca Alta el mayor incremento se da mayormente en el invierno (JJA), lo cual está relacionado con la menor nubosidad que predomina en esta zona durante esta estación por lo que el ingreso de la radiación solar es mayor, contrariamente a lo que acontece en la parte Media y Baja de la Cuenca, en donde mayormente están afectadas por la nubosidad baja o estratiforme del invierno. En la estación de verano (DEF), se observa el incremento menor de esta variable en todas las Áreas de Interés. Los mayores incrementos de la Temperatura Mínima en el Bajo Piura se dan en los trimestres DEF y MAM que están relacionados con el incremento de la temperatura de agua de mar, por consiguiente asociados a El Niño ó ingresos de ondas Kelvin a esta zona del litoral. En la Cuenca Alta, los mayores incrementos de la Temperatura Mínima también se da en dichos trimestres lluviosos.
- En el *Bajo Piura* la Temperatura del Aire (Extremas y Media), viene mostrando incrementos generalizados a través del tiempo; así por ejemplo, la tendencia positiva de la Temperatura Máxima está en el orden de 1 a 2.5°C/100 años; mientras que en la Temperatura Mínima, la tendencia varía en el rango de 0.6 a 4°C/100 años.
- En la *Cuenca Media*, las Temperaturas Máxima y Media también muestran tendencia positivas en todos los trimestres del año; mientras que la Temperatura Mínima muestra un comportamiento opuesto en esta zona. Los incrementos de la Temperatura Máxima oscilan entre 0.8 y 3.9°C /100 años. La Temperatura Mínima en las localidades que presentaron incrementos fueron del orden de 1.0 a 2.8°C/100 años y en las zonas de decrecimiento fue de 0.6°C/100 años.
- En la *Cuenca Alta*, la Temperatura del Aire (Extremas y Media), presentaron incrementos en todos los trimestres del año. Los incrementos de la Temperatura Máxima fueron entre 1.1 y 6°C /100 años; mientras que en la Temperatura Mínima fue entre 3 y 4°C/100 años.

## 5.2.2 Análisis de la información proyectada

### 5.2.2.1 PRECIPITACION

Los mapas de precipitación que se muestran en el anexo, corresponden a los promedios de 5 años (quinquenios), dentro del período 2004-2035, para los cuatro trimestres del año en el contexto de los escenarios de emisiones A2 y B2. Adicionalmente, se muestran las tendencias de las precipitaciones para los períodos de tiempo 2004-2020 y el 2004-2035.

#### 5.2.2.1.1 Análisis trimestral

##### ➤ *Trimestre DEF*

La precipitación media para este trimestre en el escenario A2, se muestran en los mapas A2:a.1, A2:a.2, A2:a.3 y corresponden a los quinquenios 2006-2010, 2011-2015 y 2016-2020 respectivamente. Asimismo se muestran los mapas B2:a.1, B2:a.2 y B2:a.3 que corresponden al escenario B2 en los mismos quinquenios antes mencionados.

En el trimestre DEF, las precipitaciones en el escenario A2, se presentarían similares en los tres quinquenios con valores entre 10 a 200 mm/mes, cuyos máximos promedios podrían ubicarse en la parte alta de la cuenca (estaciones de Santo Domingo y Huarmaca).

En el Bajo Piura en el escenario A2 primer quinquenio, las precipitaciones oscilarían entre 10 a 30mm/mes, mientras que en el segundo y tercer quinquenio las precipitaciones disminuirían presentando valores entre 10 a 20mm/mes, las cuales corresponden a su variabilidad normal. En el escenario B2, las precipitaciones en el primer y segundo quinquenio oscilarían entre 10 a 20 mm/mes, mientras en el tercer quinquenio, podrían presentar lluvias menores de 10mm/mes, lo cual indicaría lluvias deficientes en este quinquenio.

En la sub cuenca de San Francisco las precipitaciones en el escenario A2, se presentarían normales en la parte media y ligeramente lluviosa en la parte alta y los valores podrían variar entre 60 a 100 mm/mes, mientras en el escenario B2, las precipitaciones oscilarían en promedio entre 40 a 110 mm/mes, con valores ligeramente por debajo de sus normales en la parte media de esta sub cuenca.

En la sub cuenca Yapatara, en ambos escenarios tienden a presentarse ligeras deficiencias en la parte alta de esta sub cuenca, con precipitaciones entre 70 a 140 mm/mes en el escenario A2 y de 40 a 150 mm/mes en el escenario B2.

##### ➤ *Trimestre MAM*

Las precipitaciones en los tres quinquenios para el escenario A2 se muestran en los mapas A2:a.6, A2:a.7 y A2:a.8, mientras en el escenario B2 para los mismos quinquenios se muestran en los mapas B2:a.6, B2:a.7 y B2:a.8.

En el escenario A2, en los tres quinquenios, continuarían presentándose valores máximos de precipitación en la parte Cuenca Alta, especialmente en la

estación de Santo Domingo, con promedios mensuales hasta 260 mm/mes; en la Cuenca Media las precipitaciones oscilarían entre 40 a 80 mm/mes, mientras que en el Bajo Piura se presentarían valores menores de 40 mm/mes.

En el Bajo Piura, en el primer y tercer quinquenio las precipitaciones totalizarían en promedio 30 mm/mes, valores dentro de su rango de variabilidad, mientras que en el segundo quinquenio entre 10 a 20 mm/mes, las cuales representarían ligeras deficiencias. En el escenario B2, las precipitaciones podrían totalizar valores muy similares en los tres quinquenios, entre 20 a 30 mm/mes, los cuales estarían dentro de su variabilidad normal.

En la sub cuenca San Francisco las precipitaciones oscilarían entre 80 a 110 mm/mes en el primer y tercer quinquenio, los cuales serían ligeramente deficientes en la parte alta de la sub cuenca y presentarían valores entre 60 a 100 mm/mes en el segundo quinquenio. En el escenario B2, el primer quinquenio podría presentarse ligeramente lluvioso (20%) y con precipitaciones entre 80 a 170 mm/mes, disminuyendo en el segundo y tercer quinquenio entre 70 a 150 mm/mes, las cuales corresponden a su variabilidad normal.

En Yapatera las precipitaciones se podrían presentar entre 90 a 140 mm/mes en el primer y tercer quinquenio, que corresponden a una deficiencia del 15% especialmente en la Parte Alta, incrementándose la deficiencia a un 20% en el segundo quinquenio y con precipitaciones entre 70 a 130 mm/mes. En el escenario B2, el trimestre sería ligeramente lluvioso (10%) en los dos primeros quinquenios especialmente en la parte alta y en el tercer quinquenio sería normal; las precipitaciones en promedio se presentarían entre 80 a 180 mm/mes.

#### ➤ *Trimestre JJA*

Las precipitaciones en los tres quinquenios para el escenario A2 se muestran en los mapas A2:a.11, A2:a.12 y A2:a.13, mientras en el escenario B2 para los mismos quinquenios se muestran en los mapas B2:a.11, B2:a.12 y B2:a.13.

En el escenario A2 las precipitaciones en los tres quinquenios en toda la Cuenca del río Piura estarían en el rango de 5 a 10 mm/mes las que estarían dentro de su variabilidad normal. En el escenario B2, las precipitaciones también se podrían presentar dentro de sus rangos normales y sus valores oscilarían entre 0 a 10 mm/mes en todas las sub cuencas de interés. Asimismo se observa que el primer quinquenio se presentaría ligeramente más lluvioso en la parte alta de la Cuenca (Chalaco, Huarmaca) cuya precipitación promedio estaría entre 10 a 20 mm/mes.

#### ➤ *Trimestre SON*

Las precipitaciones en los tres quinquenios para el escenario A2 se muestran en los mapas A2:a.16, A2:a.17 y A2:a.18, mientras en el escenario B2 para los mismos quinquenios se muestran en los mapas B2:a.16, B2:a.17 y B2:a.18.

Las precipitaciones máximas en el escenario A2 en este período de inicio de lluvias, se localizarían en la zona sur de la Cuenca Alta, con valores entre 100 a 110 mm/mes, mientras en la parte media entre 10 a 40 mm/mes y menores a 10 mm/mes en la Parte Baja.

En el Bajo Piura, para el primer y segundo quinquenio, las precipitaciones se presentarían entre 10 a 20 mm/mes y para el tercer quinquenio éstas serían menores a 10 mm/mes, las cuales estarían por encima de sus valores normales. En el escenario B2, en el primer y segundo quinquenio, las precipitaciones se presentarían entre 0 a 10 mm/mes, mientras en el tercer quinquenio se estima lluvias mayores de 10 mm/mes.

En la sub cuenca de San Francisco las precipitaciones en promedio estarían entre 30 a 40 mm/mes, cantidades por encima de sus valores normales. En el escenario B2, en los tres quinquenios, las lluvias estarían entre 10 a 20 mm/mes, cantidades por encima de sus valores normales pero en menor proporción que el escenario A2.

En la sub cuenca Yapatera las precipitaciones en promedio estarían entre 20 a 40 mm/mes, cantidades por encima de sus valores normales. En el escenario B2, las lluvias en promedio estarían dentro de sus valores normales y podrían oscilar entre 10 a 20 mm/mes.

Cuadro Resumen 1: Precipitaciones estimadas en los escenarios A2 y B2

Período Trimestral	Precipitaciones estimadas mm/mes					
	Bajo Piura		Sub Cuenca San Francisco		Sub Cuenca Yapatera	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2
DEF	10 - 30 (1) 10 - 20 (2,3)	10 - 20 (1,2) < 10 (3)	60 - 100	40 - 110	70 - 140	40 - 120 (1,2) 40 - 150 (3)
MAM	30 (1,3) 10 - 20 (2)	20 - 30	80 - 110 (1,3) 60 - 100 (2)	80 - 170 (1) 70 - 150 (2,3)	90 - 140(1,3) 70 - 130 (2)	80 - 180
JJA	5 - 10	0 - 10	5 - 10	0 - 10	5 - 10	0 - 10
SON	10 - 20 (1,2) < 10 (3)	0 - 10 (1,2) >10 (3)	30 - 40 (1,2) 20 - 30 (3)	10 - 20	30 - 40 (1,2) 20 - 30 (3)	10 - 20

(1, 2,3): Representan el primer (2006-2010), segundo (2011-2015) y tercer 2016-2020) quinquenio respectivamente

### 5.2.2.1.2 Análisis de Tendencias Futuras

#### 5.2.2.1.2.1 Tendencia de la precipitación 2004-2020

##### ➤ Trimestre DEF:

La tendencia de la precipitación en este trimestre para el período 2004-2020 correspondiente al escenario A2, se muestra en el mapa A2:a.4, en la cual se observa que la zona del Bajo Piura presentaría una tendencia decreciente entre 5 al 10% con respecto a su normal y con un nivel de significancia menor a 80%. En la Cuenca Media igualmente podría predominar la tendencia negativa hasta un 5% y con un nivel de significancia menor al 80% mientras en la Cuenca Alta la tendencia proyectada sería positiva entre 0 (sin tendencia) a 5% superior a

su valor normal, con un nivel de significancia entre 80 a 95%. En el escenario B2, cuyos mapas no se adjuntan se encontraron similares tendencias.

En la sub cuenca San Francisco, la tendencia proyectada podría ser 5% superior a su valor normal con un valor de significancia menor al 80%, mientras en el escenario B2 se proyecta hasta un 3% superior. En la sub cuenca Yapatera la tendencia proyectada sería del 5% superior a su valor normal con un nivel de significancia menor a 90% y en el escenario B2 la tendencia sería superior hasta un 3% respecto a su normal.

#### ➤ *Trimestre MAM*

En el escenario A2, las tendencias (ver mapa A2:a.9) podrían ser positivas en toda la Cuenca del río Piura, con valores de 0 a 5% superior a su valor normal y con niveles de significancia de 80% en el Bajo Piura, entre 80 a 90% en la Cuenca Media y mayor a 95% en la Cuenca Alta. Esta tendencia implica a las sub cuencas de interés de San Francisco y Yapatera.

En el escenario B2, cuyo mapa no se adjunta, la tendencia de las precipitaciones en la zona del Bajo Piura sería muy similar al escenario A2, mientras las sub cuenca San Francisco y Yapatera muestran una tendencia inversa, esto es, ligeramente decreciente entre un 5 a 10% pero con niveles de significancia muy bajos (menor del 40%), lo cual significaría que para este escenario no habría tendencia.

#### ➤ *Trimestre JJA*

En el Bajo Piura, se estima que la tendencia (ver mapa A2:a.14) en el escenario A2, sería decreciente entre un 5 al 10% respecto a su valor normal, con un nivel de significancia muy bajo (< 45%), en la sub cuenca San Francisco se proyecta una tendencia negativa hasta de 5% inferior a su valor normal y en la sub cuenca Yapatera una tendencia negativa de 10%, con niveles de significancia menores al 45%.

En el escenario B2, cuyos mapas no se muestran, las tendencias negativas muestran también niveles de significancia menores al 40% en las tres zonas de interés. En el Bajo Piura la tendencia sería decreciente alrededor del 10% respecto a su normal, en la sub cuenca San Francisco, en un 15% mientras en la sub cuenca Yapatera entre 10 al 20%.

#### ➤ *Trimestre SON*

La tendencia en el escenario A2 (ver mapa A2:a.19) en el Bajo Piura se proyecta negativa entre 10 a 15% inferior a su valor normal con un nivel de significancia menor al 45%, en el escenario B2, cuyo mapa no se muestra la tendencia sería muy similar. Para las Cuencas Media y Alta en el escenario A2, la tendencia continúa siendo negativa entre 5 a 10% con un nivel de significancia menor al 45%, a excepción de la parte sur (Hacienda Bigote, Huarmaca, El Virrey) en las cuales podrían ser ligeramente positivas pero con niveles de significancia entre 50 al 60%.

En las sub cuencas de San Francisco y Yapatera la tendencia negativa sería hasta 5% inferior a su normal con niveles de significancia menores al 45%, las mismas tendencias se presentarían en el escenario B2, por lo cual, para ambos escenarios no habría tendencia.

#### 5.2.2.1.2.2 Tendencia de la precipitación 2004-2035

##### ➤ Trimestre DEF

Las tendencias para este período se muestran en los mapas A2:a.5 y B2:a.5, que corresponden a los escenarios A2 y B2, respectivamente.

En ambos escenarios A2 y B2, se observa que en el Bajo Piura continuaría con la tendencia decreciente entre un 15% y 13% respectivamente y con niveles de significancia menores al 50% en ambos escenarios.

En la sub cuenca de San Francisco, la tendencia en la Parte Media sería decreciente o negativa en ambos escenarios del orden del 12 y 10% respectivamente, mientras en la parte mas alta podría predominar una ligera tendencia positiva no mayor del 5% en ambos escenarios y con niveles de significancia del 65 y 70 %.

La sub cuenca Yapatera muestra una tendencia similar a la sub cuenca anterior, en la parte media la tendencia negativa podría ser del 18 y 14% en los escenarios A2 y B2 respectivamente, mientras en la Parte Alta la tendencia sería positiva en 8 y 4% respectivamente con un nivel de significancia del 80 y 75% en los escenarios A2 y B2.

##### ➤ Trimestre MAM

Los mapas de tendencias 2004-2035 para este trimestre, en ambos escenarios se muestran en los mapas A2:a.10 y B2: a.10 respectivamente.

En el escenario A2, en la zona del Bajo Piura, podría presentarse una tendencia decreciente del 15 al 20%, con niveles de significancia relativamente bajos (<40%), mientras en el escenario B2 podría predominar la tendencia positiva hasta un 8% con un nivel de significancia del 70 a 75%, con lo cual tiene mayor sustento estadístico, sugiriendo una mayor probabilidad de que esta tendencia realmente pueda darse.

En la sub cuenca de San Francisco, la tendencia en la parte media sería decreciente en el escenario A2 del 10% respecto a su normal, mientras en la parte mas alta podría predominar una ligera tendencia positiva no mayor del 5% con un nivel de significancia del 70 %, mientras para el escenario B2, en toda la sub cuenca predominaría la tendencia decreciente entre 5 al 10% con niveles de significancia muy bajos (<40%), por lo que estadísticamente no habría tendencia para este escenario.

En el escenario A2, en la sub cuenca Yapatera, la tendencia podría ser decreciente en la parte media de esta sub cuenca, con valores alrededor del 15% con respecto a su normal, mientras en la parte alta la tendencia sería positiva del orden del 8% superior a sus valores normales, con un nivel de

significancia del 90%. En el escenario B2, predominaría la tendencia decreciente entre 0 a 5% respecto a sus valores normales pero con niveles de significancia menores al 40%, por lo que estadísticamente podría implicar una tendencia cero o simplemente no habría tendencia.

#### ➤ *Trimestre JJA*

Las tendencias para este trimestre se muestran en los mapas A2:a.15 y el B2:a.15 que corresponden a los escenarios A2 y B2. En el Bajo Piura, en el escenario A2, la tendencia sería negativa entre un 15 a 25% inferior a su valor normal con un nivel de significancia menor de 40%, por lo que significaría que para este escenario no habría tendencia; mientras en el escenario B2, la tendencia sería positiva entre un 10 al 15% superior a su normal con un nivel de significancia del 80%.

En la sub cuenca San Francisco, la tendencia sería decreciente entre un 30 a 35% con un nivel de significancia menor del 40%, por lo cual para este escenario no habría tendencia, mientras en el escenario B2, la tendencia podría ser positiva entre un 5 a 10% con un nivel de significancia entre 60 al 75%.

En la sub cuenca Yapatera, en el escenario A2, la tendencia sería negativa entre un 25 a 30% con niveles de significancia muy bajos, mientras en el escenario B2, la tendencia sería positiva del orden de 5 a 10% respecto a su normal y con un nivel de significancia entre 60 a 75%.

#### ➤ *Trimestre SON*

Las tendencias para los escenarios A2 y B2 se muestran en los mapas A2:a.20 y B2:a.20, respectivamente. En el Bajo Piura la tendencia sería decreciente del orden de 50% en el escenario A2 y del 25% en el escenario B2, pero ambos con niveles de significancia muy bajos, por lo que se estima que en este trimestre no hay tendencia para ambos escenarios.

En la sub cuenca San Francisco, la tendencia sería negativa en ambos escenarios, entre 15 al 40% en el escenario A2 y entre 5 al 20% en el B2; ambas tendencias con niveles de significancia menores del 50%.

En la sub cuenca Yapatera, la tendencia también sería decreciente en ambos escenarios, para el A2, entre el 15 al 50%, mientras en el B2 estas deficiencias serían menores alcanzando hasta el 25%; asimismo los niveles de significancia son menores del 50%, por lo tanto para este trimestre en ambos escenarios no habría tendencia.

A continuación se muestra el cuadro resumen 2 con las tendencias en ambos períodos de proyección. Cabe mencionar que en el cuadro resumen presentado en la primera edición de este reporte, erróneamente se mostró que la tendencia de la precipitación para el trimestre JJA fue positiva en todas las áreas de interés, lo cual no era consistente con el análisis en el texto ni con el mapa.

Cuadro Resumen 2. Tendencias y Niveles de Significancia de las Precipitaciones

PRECIPITACIONES									
Período	Sub cuencas	Tendencia (%) (2004-2020)		Significancia (%)		Tendencia (%) (2004-2035)		Significancia (%)	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
D E F	Bajo Piura	-5 a -10	ST	<80	NS	ST	ST	NS	NS
	San Francisco	0 a +5	ST	85	NS	ST	+5	NS	70
	Yapatera	0 a +5	ST	>85	NS	+8	+5	80	75
M A M	Bajo Piura	0 a +5	ST	80	NS	ST	+5	NS	70
	San Francisco	0 a +5	ST	90	NS	+3	ST	70	NS
	Yapatera	0 a +5	ST	>90	NS	+5	ST	90	NS
J J A	Bajo Piura	ST	ST	NS	NS	ST	+10 a +15	NS	80
	San Francisco	ST	ST	NS	NS	ST	+5 a +10	NS	75
	Yapatera	ST	ST	NS	NS	ST	+5 a +10	NS	75
S O N	Bajo Piura	ST	ST	NS	NS	ST	ST	NS	NS
	San Francisco	ST	ST	NS	NS	ST	ST	NS	NS
	Yapatera	ST	ST	NS	NS	ST	ST	NS	NS

DEF	=	DICIEMBRE –ENERO – FEBRERO	2004-2020, 2004-2035
MAM	=	MARZO – ABRIL – MAYO	2004-2020, 2004-2035
JJA	=	JUNIO – JULIO – AGOSTO	2004-2020, 2004-2035
SON	=	SETIEMBRE – OCTUBRE – NOVIEMBRE	2004-2020, 2004-2035
NS	=	No significante referido a la tendencia	
ST	=	Sin Cambio en la Tendencia	

### En resumen:

Las precipitaciones proyectadas en los escenarios A2 y B2, para los tres quinquenios 2006-2010, 2011-2015 y 2016-2020 son muy similares, incluso para la proyección al 2035, lo cual demostraría que los cambios drásticos de las precipitaciones en esta Cuenca asociados al efecto de los GEIs podrían visualizarse en un período de tiempo más largo.

Desagregando por Área de Interés, trimestre y escenario tenemos las siguientes conclusiones:

- En el *Bajo Piura*, las lluvias se presentarían normales en ambos escenarios durante todos los trimestres, a excepción del trimestre SON, en donde el escenario A2 estima mayores precipitaciones que el escenario B2.
- En la *sub cuenca San Francisco*, las precipitaciones en el trimestre DEF se presentarían por encima de sus valores normales en el escenario A2, mientras en el escenario B2, el incremento de éstas sería menor. En MAM, las precipitaciones tienden a ser ligeramente deficientes en el escenario A2, mientras que en el escenario B2 se presentarían entre normales y ligeramente por encima de sus valores promedios. Para el trimestre SON, ambos escenarios tienden a ser lluviosos pero con menor intensidad en el escenario B2.
- En la *sub cuenca Yapatera*, en el trimestre DEF las precipitaciones tienden a ser deficientes en ambos escenarios. En MAM, las lluvias en el escenario A2

serían deficientes, mientras que en el B2, las lluvias estarían por encima de sus promedios. Finalmente en el trimestre SON, en ambos escenarios las lluvias estarían por encima de sus valores medios, pero con menor intensidad en el escenario B2.

- Las tendencias proyectadas de precipitación media al año 2035, en los trimestres lluviosos DEF y MAM según los modelos NCAR-CSM/RAMS, estarían hasta 5% superior respecto a su valor normal, principalmente en las partes altas de las sub cuencas San Francisco y Yapatera en el escenario A2; mientras que en el escenario B2 no habrían cambios durante el trimestre MAM, pero sí en el trimestre DEF, donde la tendencia sería positiva con valores cercanos al 5%.
- La tendencia proyectada al año 2035 de la precipitación media para el trimestre de escasa precipitación (JJA), indica que no hay tendencia en el escenario A2; mientras que el escenario B2 para el período 2004 - 2035 proyecta un incremento de hasta 10% en ambas sub cuencas de interés.
- La tendencia proyectada al año 2035 para el trimestre de inicio de lluvias (SON), especialmente en las dos sub cuencas de interés, muestra que no habría cambios en ambos escenarios, a pesar que se observa decrementos del orden del 15 al 20% pero con bajos niveles de significancia.

### 5.2.2.2 TEMPERATURA MAXIMA

El análisis de tendencias futuras de la Temperatura Máxima, se sustenta en los resultados proyectados por el modelo regional RAMS para el período 2004-2020 y 2004-2035, en el contexto de los escenarios A2 y B2.

#### ➤ *El Bajo Piura*

Los valores de las tendencias, tanto en el escenario A2 y B2, para los trimestres DEF y JJA, indican valores positivos (ver cuadros resumen 3 y 4), siendo el escenario A2, para los dos trimestres en consideración, el de mayor significancia (>95%), cuyos rangos de tendencia del 2004-2020, se proyecta que oscilen entre 1.8 y 2.0°C/16 años y de 0.6 - 0.8°C/16 años, para los trimestres mencionados. Asimismo, los rangos de la tendencia del período comprendido entre el 2004 y 2035, tanto para el escenario A2 y B2, indican tendencias positivas con un nivel de significancia mayor al 90%, presentándose la tasa de mayor incremento en el escenario A2 (de 0.9 y 1.0 °C/31 años).

Para el trimestre SON, se muestran tendencias positivas de 2.1 a 2.5°C/16 años para el A2 con niveles significantes (>95%), en tanto el escenario B2 la tendencia no muestra grandes cambios (0.1°C/16 años) con un nivel de significancia menor al 70%, siendo el escenario A2 estadísticamente más probable. La serie proyectada 2004-2035, para ambos escenarios, sugieren tendencias positivas con niveles de significancia mayores al 90%, cuyos rangos se proyectan entre 1.6 y 2.0°C/31 años.

Para el trimestre MAM, ambos escenarios (A2 y B2) no proyectan grandes cambios en la tendencia (de -0.1 a 0.1 y de -0.3 a -0.20), siendo el escenario A2, el de mayor significancia (70%). Sin embargo, la tendencia total de la serie proyectada del 2004-2035, la mayor significancia (>95%) se obtuvo en el escenario A2, oscilando sus valores entre 0.8 y 1.0°C/31 años. Siendo, esta tendencia de incremento estadísticamente más probable, en relación a la tendencia de la serie proyectada del 2004 al 2020.

#### ➤ *Sub Cuenca San Francisco*

Los valores de la tendencia del 2004 - 2020, tanto en el escenario A2 y B2, para los trimestres DEF y JJA, indican ligeros cambios en el primero y significativos en el segundo (cuadros resumen 3 y 4), siendo el escenario A2 el de mayor significancia (>70%), se proyecta que oscilen entre -0.1 y 0.2 °C/16 años, para el trimestre DEF. En tanto para el trimestre JJA, se proyecta que éstas oscilen entre 0.6 y 0.7°C/16 años con un nivel de significancia mayor a 95 %. Asimismo, los rangos de la tendencia del período comprendido del 2004 al 2035, tanto para el escenario A2 y B2, son similares para los trimestres DEF y JJA, proyectándose tendencias de -0.2 a 0.3 °C/31 años y de 0.6 a 0.9°C/31 años, para cada trimestre, respectivamente. Siendo el nivel de significancia para ambos trimestres y escenarios, mayor al 95 %.

En tanto, para el trimestre SON, se proyectan altas tendencias positivas de 1.0 a 1.8 °C/16 años con el escenario A2 con 85% de significancia, y el escenario B2 con ligeros cambios de 0.2 a 0.4 °C/16 años con nivel no significativo,

siendo el escenario A2 estadísticamente más probable. La serie proyectada 2004-2035, para ambos escenarios, indican tendencias positivas, siendo el escenario A2 más fuerte, cuyos rangos se proyectan entre 0.9 a 1.7°C/31 años, con niveles de significancia del 99 %.

Para el trimestre MAM, ambos escenarios (A2 y B2) proyectan tendencias ligeramente negativas (-0.8 a -0.4 y -0.3 a -0.2), siendo el escenario A2, el de mayor significancia (>70%). Sin embargo, en la tendencia de la serie proyectada del 2004-2035, la mayor significancia (>85%) se obtuvo en ambos escenarios, oscilando este entre 0.2 y 0.5°C/31 años; siendo, esta tendencia de incremento estadísticamente más probable, en relación a la tendencia de la serie proyectada del 2004 al 2020.

#### ➤ *Sub Cuenca Yapatera*

Los valores de la tendencia del 2004 - 2020, tanto en el escenario A2 y B2, para los trimestres DEF y JJA, indican de ligeros a moderados cambios (cuadros resumen 3 y 4), siendo el escenario A2 el de mayor significancia en toda la Cuenca y en ambos trimestres con 70 y 95% y se proyecta que los valores oscilen de -0.1 a 0.3, y de 0.6 a 0.8 °C/16 años, para cada trimestre respectivamente. Asimismo, los rangos de la tendencia del período comprendido del 2004 al 2035, tanto para el escenario A2 y B2, muestran tendencias positivas para DEF y JJA, siendo el escenario B2 (>85% en ambos trimestres). Las tendencias proyectadas van de 0.1 a 0.5 °C/31 años para el trimestre DEF y de 0.6 a 0.8 °C/31 para JJA.

En tanto, para el trimestre SON, se proyectan altas tendencias positivas de 0.5 a 1.4 °C/16 años con el escenario A2 con niveles significantes (>80%), y el escenario B2 con ligeros cambios que van de 0.1 a 0.5 °C/16 años con nivel de significancia entre 70 y 85%, siendo el escenario A2 estadísticamente más probable. La serie proyectada 2004-2035, para ambos escenarios, indican tendencias positivas, cuyos rangos se proyectan entre 0.6 -1.9°C/31 años, con niveles de significancia mayores a 90%.

Para el trimestre MAM, ambos escenarios (A2 y B2) proyectan tendencias ligeramente negativas (-0.4 a -0.02 y -0.3 a 0.1), siendo el escenario A2, el de mayor significancia (80 %). Sin embargo, en la tendencia total de la serie proyectada del 2004-2035, para ambos escenarios, la tendencia es positiva, cuyos rangos se proyectan entre 0.2-0.7 °C/31 años, con niveles de significancia mayor a 90%; siendo, esta tendencia de incremento estadísticamente más probable, en relación a la tendencia de la serie proyectada del 2004 al 2020.

A continuación se presenta los cuadros resumen 3 y 4 de rangos estimados de la Temperatura Máxima futura y las tendencias y niveles de significancia respectivamente.

Cuadro Resumen 3: Rangos de Temperatura Máxima estimada al 2020 en los escenarios A2 y B2

TEMPERATURA MÁXIMA			
PERÍODO	SUB CUENCAS	RANGOS (2004-2020)	
		A2	B2
DEF	BAJO PIURA	32 - 36	32 - 35
	SAN FRANCISCO	26 - 38	26 - 35
	YAPATERA	18 - 36	18 - 35
MAM	BAJO PIURA	31 - 34	30 - 33
	SAN FRANCISCO	25 - 36	24 - 34
	YAPATERA	18 - 34	18 - 33
JJA	BAJO PIURA	26 - 29	26 - 29
	SAN FRANCISCO	24 - 30	24 - 30
	YAPATERA	18 - 30	18 - 30
SON	BAJO PIURA	28 - 33	27 - 31
	SAN FRANCISCO	25 - 36	25 - 33
	YAPATERA	18 - 34	18 - 34

D E F = DICIEMBRE –ENERO – FEBRERO 2004-2020, 2004-2035  
 M A M = MARZO – ABRIL – MAYO 2004-2020, 2004-2035  
 J J A = JUNIO – JULIO – AGOSTO 2004-2020, 2004-2035  
 S O N = SETIEMBRE – OCTUBRE – NOVIEMBRE 2004-2020, 2004-2035

Cuadro Resumen 4: Tendencias y Niveles de Significancia de la Temperatura Máxima

TEMPERATURA MÁXIMA									
Período	Sub Cuencas	Tendencia (2004-2020)		Significancia (%)		Tendencia (2004-2035)		Significancia (%)	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
D E F	Bajo Piura	1.80 - 2.00	ST	>95	NS	0.90 - 1.00	0.8 - 1.0	> 95	> 95
	San Francisco	-0.10 - 0.20	ST	75	NS	ST	0.2 - 0.5	NS	>75
	Yapatera	-0.10 - 0.30	0.20 - 0.90	75	70 - 85	-0.10 - 0.90	0.2 - 0.9	>70	>85
M A M	Bajo Piura	-0.10 - 0.10	ST	75	NS	0.80 - 1.00	0.5	>95	>90
	San Francisco	-0.80 - -0.40	ST	75	NS	0.20 - 0.50	0.2-0.5	>85	>85
	Yapatera	-0.40 - -0.20	ST	80	NS	0.20 - 0.80	0.2-0.5	>90	>90
J J A	Bajo Piura	0.60 - 0.80	0.20 - 0.40	>95	75	0.80 - 0.90	0.60 - 0.70	>90	95
	San Francisco	0.60 - 0.70	0.40	>95	80-85	0.60 - 0.90	0.70 - 0.90	>95	>99
	Yapatera	0.60 - 0.80	0.20 - 0.60	>95	80	0.60 - 0.90	0.60 - 0.80	>90	98
S O N	Bajo Piura	2.0-2.50	ST	>95	NS	1.60 - 1.90	1.60 - 2.00	>90	> 99
	San Francisco	1.00-1.80	ST	>85	NS	0.90 - 1.70	0.80 - 1.50	99	>93
	Yapatera	0.5-1.40	0.10 - 0.50	>80	70 - 85	0.60 - 1.90	0.60 - 1.90	>99	>95

D E F = DICIEMBRE –ENERO – FEBRERO 2004-2020, 2004-2035  
 M A M = MARZO – ABRIL – MAYO 2004-2020, 2004-2035  
 J J A = JUNIO – JULIO – AGOSTO 2004-2020, 2004-2035  
 S O N = SETIEMBRE – OCTUBRE – NOVIEMBRE 2004-2020, 2004-2035  
 NS = No significativo referido a la tendencia  
 ST = Sin Cambio en la Tendencia

### 5.2.2.3 TEMPERATURA MÍNIMA

El análisis de tendencias futuras de la Temperatura Mínima, se sustenta en los resultados proyectados por el modelo regional RAMS para el período 2004-2020 y 2004-2035, en el contexto de los escenarios A2 y B2.

#### ➤ *El Bajo Piura*

Los valores de la tendencia, tanto en el escenario A2 y B2, para los trimestres DEF, JJA y SON, indican valores positivos (ver cuadro resumen 5), siendo el escenario A2, para los tres trimestres en consideración, el de mayor significancia (95%), cuyos rangos de tendencia del 2004-2020, estarían entre 0.45 y 0.75°C/16 años. Asimismo, los rangos de la tendencia del período comprendido entre el 2004 - 2035, tanto para el escenario A2 y B2, indican tendencias positivas con un nivel de significancia de 95%, presentándose la tasa de mayor incremento entre 0.30 a 0.70°C/31 años en el escenario A2.

En el trimestre MAM, se muestran ligeras tendencias positivas de 0.05 a 0.10°C/16 años en el escenario A2 con niveles de 80% de significancia, en tanto el escenario B2 la tendencia muestra ligeros cambios negativos (de -0.25 a -0.20°C/16 años) con niveles bajos de significancia,

A nivel del total de la serie proyectada 2004-2035, para ambos escenarios, la tendencia es positiva, con niveles de significancia mayores al 95 %, cuyos rangos se proyectan entre 0.30 y 0.70°C/31 años.

#### ➤ *Sub Cuenca San Francisco*

Los valores de la tendencia del 2004 - 2020, tanto en el escenario A2 y B2 para los trimestres DEF, JJA y SON, indican cambios positivos (cuadro resumen 5) con mayores niveles de significancia (>90%) y también mayores rangos de tendencia en el escenario A2 (0.25 - 0.80°C/16 años) que en el B2 (-0.10 - 0.85°C/16 años). En tanto para el trimestre MAM, se proyecta que estas tendencias sean muy ligeras e incluso negativas con tendencia a lo normal con niveles no significantes.

Asimismo, los rangos de la tendencia del período comprendido del 2004 al 2035, tanto para el escenario A2 y B2, son muy similares y con valores positivos para los cuatro trimestres en estudio DEF, MAM, JJA y SON, con valores entre 0.21 – 0.75°C/16 años y en ambos escenarios con nivel de significancia del 95%.

#### ➤ *Sub Cuenca Yapatera*

El período 2004 - 2020 presenta tendencias positivas en el escenario A2 para los cuatro trimestres analizados DEF, MAM, JJA y SON con valores entre 0.0 - 0.70°C/16 años y con nivel de significancia mayor a 80%, mientras que el escenario B2 sus tendencias son ligeramente negativas también para los cuatro trimestres y con niveles de 70% de significancia.

En relación, al período 2004 - 2035, los niveles de tendencia son muy parecidos entre ambos escenarios y para los trimestres DEF, JJA y SON, con valores

entre 0.25 - 0.75°C/16 años, a excepción del trimestre MAM donde las tendencias del escenario B2 son menores a la del escenario A2, aunque el porcentaje de significancia para todos los casos es del 95%.

A continuación se presenta un cuadro resumen de tendencias y niveles de significancia de la Temperatura Mínima futura.

Cuadro Resumen 5: Tendencias y Niveles de Significancia de la Temperatura Mínima

TEMPERATURA MINIMA									
Período	Sub cuencas	Tendencia (2004-2020)		Significancia (%)		Tendencia (2004-2035)		Significancia (%)	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
D E F	Bajo Piura	0.40 - 0.50	0.30 - 0.40	95	85	0.30 - 0.40	0.30 - 0.40	95	95
	San Francisco	0.20 - 0.40	-0.10 - 0.10	90	70	0.30 - 0.40	0.30 - 0.40	95	95
	Yapatera	0.30 - 0.40	-0.10 - 0.20	90	70	0.30 - 0.40	0.20 - 0.40	95	95
M A M	Bajo Piura	-0.10 - 0.10	ST	80	NS	0.30 - 0.50	0.30 - 0.50	95	95
	San Francisco	-0.10 - 0.10	ST	80	NS	0.40 - 0.50	0.20 - 0.40	95	95
	Yapatera	0.00 - 0.20	-0.30 - 0.10	80	70	0.40 - 0.50	0.10 - 0.40	95	95
J J A	Bajo Piura	0.50 - 0.80	0.20 - 0.30	95	>70	0.50 - 0.70	0.20 - 0.60	95	80
	San Francisco	0.60 - 0.80	0.60 - 0.80	95	>80	0.60 - 0.80	0.70 - 0.80	95	95
	Yapatera	0.50 - 0.90	0.20 - 0.80	>90	80	0.50 - 0.80	0.60 - 0.80	95	95
S O N	Bajo Piura	0.50 - 0.80	ST	95	NS	0.60 - 0.80	0.40 - 0.60	95	95
	San Francisco	0.60 - 0.80	ST	95	NS	0.20 - 0.40	0.40 - 0.50	>90	95
	Yapatera	0.50 - 0.70	-0.20 - 0.20	95	70	0.20 - 0.60	0.40 - 0.60	>90	95

D E F = DICIEMBRE -ENERO - FEBRERO 2004-2020, 2004-2035  
 M A M = MARZO - ABRIL - MAYO 2004-2020, 2004-2035  
 J J A = JUNIO - JULIO - AGOSTO 2004-2020, 2004-2035  
 S O N = SETIEMBRE - OCTUBRE - NOVIEMBRE 2004-2020, 2004-2035  
 NS = No significante referido a la tendencia  
 ST = Sin Cambios en la Tendencia

#### 5.2.2.4 TEMPERATURA MEDIA

El análisis de tendencias futuras de la Temperatura Media, se sustenta en los resultados proyectados por el modelo regional RAMS para el período 2004-2020 y 2004-2035, en el contexto de los escenarios A2 y B2.

##### ➤ Bajo Piura

Durante el período 2004-2020, las tendencias se muestran mayormente positivas en ambos escenarios A2 y B2, a excepción de los trimestres MAM y SON en el escenario B2, los cuales presentan ligeras tendencias negativas, aunque con niveles no significativos (ver Cuadro Resumen 6). El escenario A2 presenta los mayores niveles de significancia (>90%) en los trimestres DEF, JJA y SON, con valores entre 0.5 y 1.4°C/16 años, mientras que en el trimestre MAM el nivel de significancia fue ligeramente menor (>75%) con valores más bajos, de hasta 0.1°C/16 años. Para el período 2004-2035, las tendencias se muestran positivas en ambos escenarios, con niveles de significancia mayores a 75%. El escenario A2 muestra valores de tendencia entre 0.5 a 0.7 °C/31 años en los trimestres DEF y MAM, y de 0.7 a 1.4 °C/31 años en los trimestres JJA y SON.

Los trimestres DEF y SON presentan las mayores tendencias positivas en el Bajo Piura con valores de 0.9 – 1,1°C/16 años y 1.0 – 1.4°C/16 años respectivamente, y niveles de significancia altos (>90%). Esto se mantiene para el período 2004-2035, en el cual SON sigue siendo el trimestre con cambios más significativos de temperatura media.

El trimestre MAM, presenta el menor valor de tendencia con 0.1°C/16 años, lo cual indica que el Bajo Piura no presentaría mayores cambios de temperatura media en el trimestre MAM.

##### ➤ Sub Cuenca San Francisco

Para el período 2004 - 2020, ambos escenarios A2 y B2, proyectan tendencias mayormente positivas, principalmente en los trimestres DEF, JJA y SON, mientras que en el escenario A2, el trimestre MAM presenta tendencias ligeramente negativas con un nivel de significancia mayor a 75%. El escenario B2 presenta valores más bajos en general, sin embargo esto no es significativo estadísticamente (cuadro resumen 6). De manera similar al Bajo Piura, la Sub Cuenca San Francisco presenta cambios notorios en el escenario A2 y ligeros en el escenario B2. Los trimestres JJA y SON presentan los mayores valores, 0.6 – 0.7°C/16 años y 0.7 – 1.1°C/16 años respectivamente, con niveles de significancia mayores a 95%. Los trimestres DEF y MAM proyectaron tendencias muy bajas de 0.1 – 0.3°C/16 años y -0.3 - -0.1°C/16 años respectivamente con niveles de significancia mayores a 75%.

Para el período 2004-2035, se mantiene la proyección de mayores tendencias en los trimestres JJA y SON oscilando entre 0.6 y 1.1°C/31 años con niveles de significancia mayores a 97%, mientras que los trimestres DEF y MAM son los más bajos con tendencias que oscilan entre 0.1 y 0.5°C/31 años y con más de 70% de significancia. El escenario B2 presenta similar comportamiento para este período pero con tendencias menores.

En el Cuadro Resumen 6, se observa que según el escenario A2, en la sub cuenca San Francisco los mayores cambios de temperatura media se estarían dando en el trimestre SON, mientras que el trimestre DEF no presentaría mayores cambios, siendo este comportamiento similar en ambos períodos de análisis.

#### ➤ Sub Cuenca Yapatera

Para el período 2004 - 2020, el escenario A2 muestra una tendencia positiva en los trimestres DEF, JJA y SON, mientras que el trimestre MAM la tendencia es negativa pero muy baja y poco significativa (ver Cuadro Resumen 6). En el escenario B2, las tendencias son positivas en los trimestres DEF y JJA, mientras que es negativa en MAM y SON pero con valores muy bajos. En el escenario A2 las proyecciones indican que el trimestre SON presentará un mayor cambio en la temperatura media con tendencias de 0.45 a 0.9°C/16 años con un nivel de significancia mayor a 96%. Por otro lado la menor variación en la sub cuenca Yapatera se estaría presentando durante el trimestre MAM con valores muy bajos que oscilan entre -0.05 a 0.1°C/16 años con un nivel de significancia de menos de 80%. Según el escenario B2, el mayor cambio ocurriría en el trimestre JJA con una tendencia de 0.2 a 0.6°C/16 años y nivel de significancia menor a 85%.

Para el período 2004-2035, las variaciones de temperatura media en el escenario A2 mantienen tendencias positivas en todos los trimestres, con los mayores incrementos para los trimestres JJA y SON con tendencias que oscilan entre 0.6 – 0.8°C/31 años y 0.4 – 1.3°C/31 años respectivamente, con niveles de significancia mayores a 97%. Por otro lado en el escenario B2 los mayores incrementos se dan en los trimestres JJA y SON con valores que oscilan entre 0.2 – 0.8°C/31 años con niveles de significancia mayores a 75%. A continuación se presenta un cuadro resumen de tendencias y niveles de significancia de la Temperatura Media futura.

Cuadro Resumen 6: Tendencias y Niveles de Significancia de la Temperatura Media

TEMPERATURA MEDIA									
Período	Sub cuencas	Tendencia (2004-2020)		Significancia (%)		Tendencia (2004-2035)		Significancia (%)	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
D E F	Bajo Piura	0.85 - 1,05	0.25 - 0.35	> 90	> 90	0.60	0.45 - 0.6	> 90	> 95
	San Francisco	0.10 - 0.30	0.10 - 0.25	< 80	>75	0.10 - 0.40	0.25 - 0.45	>70	> 90
	Yapatera	0.15 - 0.30	0.05 - 0.30	>75	>75	0.20 - 0.60	0.20 - 0.55	>85	> 95
M A M	Bajo Piura	0.00 - 0.10	ST	75	NS	0.50 - 0.70	0.25 - 0.40	95	97
	San Francisco	-0.25 - -0.05	ST	75	NS	0.30 - 0.50	0.20 - 0.35	>90	>95
	Yapatera	-0.05 - 0.10	0.00 - 0.20	75	>75	0.30 - 0.60	0.15 - 0.35	>95	>95
J J A	Bajo Piura	0.50 - 0.70	ST	>95	NS	0.70 - 0.80	0.40 - 0.60	97	>85
	San Francisco	0.55 - 0.70	0.40 - 0.60	>95	>75	0.60 - 0.80	0.70 - 0.80	> 97	95
	Yapatera	0.50 - 0.75	0.20 - 0.60	>95	>75	0.60 - 0.80	0.60 - 0.80	> 97	>90
S O N	Bajo Piura	1.00- 1.40	ST	>95	NS	1.00 - 1.40	0.70 - 0.90	>99	> 95
	San Francisco	0.70 - 1.10	ST	95	NS	0.60 - 1.10	0.10 - 0.40	>99	<75
	Yapatera	0.45 - 0.90	0.20 - 0.40	>95	>75	0.40 - 1.30	0.20 - 0.80	>99	>75

DEF	=	DICIEMBRE -ENERO - FEBRERO	2004-2020,2004-2035
MAM	=	MARZO - ABRIL - MAYO	004-2020,2004-2035
JJA	=	JUNIO - JULIO - AGOSTO	004-2020,2004-2035
SON	=	SETIEMBRE - OCTUBRE - NOVIEMBRE	2004-2020,2004-2035
NS	=	No significante referido a la tendencia	
ST	=	Sin Cambios en la Tendencia	

**En resumen:**

- La tendencia proyectada al 2035 de la *Temperatura Máxima* en todas las Áreas de Interés de la Cuenca, tanto para el escenario A2 y B2, indican tendencias de ligeramente negativas a positivas en general y los rangos se proyectan entre -0.1 y 2.0 °C/31 años, con un nivel de significancia mayor al 70%, presentándose la tasa de mayor incremento en el escenario A2. Tendencias ligeramente negativas se proyectan en la sub cuenca San Francisco (-0.8 a -0.4 °C/16 años), y en la sub cuenca Yapatera (-0.4 a -0.2 °C/16años) con niveles de significancia entre 70 y 80% en el trimestre MAM (ver cuadro resumen 3).
- En relación a las *Temperaturas Mínimas*, éstas no presentan significativos cambios entre los quinquenios analizados, tanto en el escenario A2 como en B2. En los trimestres DEF y MAM, se mantienen los valores para el Bajo Piura entre 20 - 24°C, sub cuenca de San Francisco entre 16 - 20°C y en la sub cuenca de Yapatera entre 10 - 20°C; mientras que para los trimestres de JJA y SON los valores se encuentran para el Bajo Piura entre 16 - 18°C, en la sub cuenca San Francisco entre 12 - 16°C y finalmente en la sub cuenca de Yapatera entre 8 - 16°C. (ver mapas en anexo A). De otro lado, las tendencias de la *Temperatura Mínima* en el escenario A2 en ambos períodos de proyección (2004-2020 y 2004-2035), para los cuatro trimestres, presentan valores ligeramente mayores que los mostrados en el escenario B2. Asimismo, los niveles de significancia fueron mayores en el escenario A2 que en el B2, principalmente en el período 2004-2020, registrándose valores muy similares de 95% durante el período total de 2004-2035 (ver cuadro resumen 5)
- Las tendencias de la *Temperatura Media* en ambos escenarios, A2 y B2, se muestran mayormente positivas a los largo de toda la cuenca a excepción del trimestre MAM, el cual para el período de proyección 2004-2020 presenta ligera tendencia negativa de -0.15°C/17años en la sub cuenca de San Francisco. En general, el escenario A2 mostró valores y tendencias ligeramente más altas con respecto al escenario B2 así como niveles de confianza más significativos (en ambos períodos 2004-2020 y 2004-2035) con valores mayores al 95%. El Bajo Piura presenta los cambios más notorios principalmente en los trimestres de DEF y SON con valores que oscilan entre 0.8 – 1.4°C/17 años. De otro lado, las sub cuencas San Francisco y Yapatera proyectan los mayores cambios en los trimestres JJA y SON con tendencias entre 0.5 – 1.1°C/17 años (Ver cuadro resumen 6).

### 5.3 BALANCE HIDRICO EN LA CUENCA DEL RIO PIURA

La cuenca del río Piura se encuentra ubicada en el norte del Perú, siendo su ubicación geográfica entre las latitudes de 4°85' a 5°80' y longitudes de 79°00' a 81°00'. Su altitud varía desde los 0 msnm hasta los 4500 msnm en Huarmaca y Canchaque, teniendo una altura promedio de 1400 msnm. Su comportamiento hídrico es bastante estacional; es decir, las lluvias solamente se dan entre los meses de diciembre a marzo mientras que de abril a noviembre son nulas ocasionando que el caudal del río Piura llegue muchas veces a cero.

El planeamiento de las diferentes demandas del recurso hídrico se basa en un conocimiento anticipado del balance correcto entre los volúmenes de agua disponibles y los volúmenes requeridos. En este sentido, el balance hídrico viene a ser la comparación entre los valores estimados de la evapotranspiración potencial y el aporte por la precipitación, normalmente tomando como base períodos mensuales o anuales como se ha realizado en este estudio. En aquellos meses y/o años en los cuales la precipitación es mayor que la evapotranspiración, se presenta un exceso de agua y disminuye la necesidad de riego. Por el contrario, en los períodos con valores de precipitación menores que los de evapotranspiración potencial, se presenta un déficit de agua que debe ser satisfecho por otras fuentes (pozos, embalses, etc).

#### 5.3.1 METODOLOGIA

##### ➤ Datos

Se utilizaron los datos históricos de precipitaciones y temperaturas de las diferentes estaciones correspondientes a la Cuenca del río Piura tal como se muestra en las tablas 10 y 11.

##### ➤ Modelo de evapotranspiración

Se utilizó la fórmula de Thornthwaite que fue desarrollado en los Estados Unidos para estimar la evapotranspiración en base a muchos experimentos con lisímetros, habiéndose estudiado la correlación entre la temperatura y la evapotranspiración.

La evapotranspiración para un mes cualquiera con una temperatura media T°C esta dada por:

$$ETP = 16 \left( \frac{10t}{J} \right)^a \quad (mm / mes)$$

Donde:

$$J = \sum_{i=1}^{12} j \quad (\text{para los 12 meses}) \quad ; \quad j = \left( \frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = (675 \times 10^{-9}) J^3 - (771 \times 10^{-7}) J^2 + (179 \times 10^{-4}) J + 0.492$$

t : Temperatura media mensual de cada mes

ETP : Evapotranspiración Potencial

El valor de la ETP es un valor mensual estándar teórico basado en una duración de 30 días con 12 horas de sol cada uno. La evapotranspiración actual (ET) para un mes en particular con temperatura media  $t$  es entonces:

$$ET = ETP \times \frac{DT}{360} \quad (mm)$$

Donde:

D = número de días del mes

T = número medio de horas de luz entre la salida y puesta del sol para el mes considerado.

### ➤ Generación de escenarios futuros

En la actualidad existe un consenso científico generalizado de que el efecto antropogénico de las actividades de nuestra sociedad, a través del efecto invernadero está generando un calentamiento, una alteración climática, que de seguir así provocará un fuerte impacto negativo ambiental y socioeconómico en nuestro planeta.

Por eso existe el interés de muchos sectores productivos en nuestro país de saber cuales serán los cambios en las variables climáticas en los próximos años. El empleo de modelos numéricos del clima nos permite generar escenarios climáticos futuros basados en las acciones que tome el hombre hoy y en los próximos años. Estos escenarios futuros nos proporcionarán una valiosa información sobre los posibles cambios en las variables de precipitación, temperatura y evapotranspiración, sobre las que se basa el balance hídrico.

En este estudio se ha utilizado los productos de la regionalización dinámica para el dominio correspondiente a la Cuenca del río Piura, a través del modelo regional RAMS en el contexto del escenario de emisión A2, escenario que corresponde a un estado de alta emisión de GEI. Los resultados son mostrados en las tablas 12(a,b) y 13(a,b).

## 5.3.2 RESULTADOS

En las tablas 12a y 12b se presentan los resultados correspondientes a las proyecciones de precipitación anual para cada uno de los quinquenios considerados entre el 2006 – 2035, procedentes de la regionalización del modelo RAMS.

Es necesario enfatizar que los resultados quinquenales que se presentan en este ítem, no dan cuenta de algún tipo de variabilidad quinquenal del recurso hídrico, por lo que el orden de los resultados debe tomarse con cautela; es decir, si bien puede ocurrir alguna deficiencia del recurso no necesariamente puede darse en el quinquenio indicado sino en cualquiera de ellos.

El análisis de disponibilidad hídrica quinquenal se hizo con la finalidad de ver si era factible determinar periodos de alternancia de eventos secos y húmedos en los próximos 30 años, así como los periodos de recurrencia de los mismos.

Tabla 12.a: Proyecciones de precipitación anual para los tres quinquenios del período 2006-2020 (Modelo RAMS)

ESTACION QUINQUENIO	QUINQUENIO 1	QUINQUENIO 2	QUINQUENIO 3	NORMAL
	2006 – 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	
BERNAL	121.24	99.64	104.88	136.41
CHALACO	1467.12	1492.20	1502.76	1175.73
CHILACO	424.60	329.68	358.08	358.02
CHULUCANAS	518.72	466.48	476.60	464.17
CHUSIS	85.36	73.12	78.92	78.35
FRIAS	1387.72	1430.24	1432.52	1095.25
HACIENDA BIGOTE	803.56	895.92	931.44	613.09
HACIENDA SHUMAYA	1505.12	1628.04	1582.92	1196.42
HUANCABAMBA	594.28	693.52	683.76	501.13
HUARMACA	1314.12	1413.76	1440.72	997.63
LA ESPERANZA	120.44	99.88	119.32	109.11
LAMBAYEQUE	77.12	61.88	66.84	40.37
MALLARES	212.96	179.04	217.44	231.55
MIRAFLORES	185.16	176.44	174.32	210.83
MORROPON	493.00	421.32	463.88	391.89
MOTUPE	364.68	313.32	327.28	223.26
OLMOS	443.00	359.88	384.44	278.96
PAITA	169.00	147.96	161.36	175.65
PORCULLA	1365.28	1442.08	1458.84	1026.68
SAN MIGUEL	127.76	98.96	167.32	153.45
SAN PEDRO	870.08	794.72	841.96	694.39
SANTO DOMINGO	1519.56	1516.76	1553.96	1211.67
SAPILLICA	1209.56	1306.68	1303.36	952.56
SONDORILLO	562.24	620.76	630.00	451.50
TULUCE	1836.60	1968.16	1909.40	1427.73
VIRREY	572.76	533.40	582.24	452.70

Tabla 12.b: Proyecciones de precipitación anual para lo tres quinquenios del período 2021-2035 (Modelo RAMS)

ESTACION QUINQUENIO	QUINQUENIO 4	QUINQUENIO 5	QUINQUENIO 6	NORMAL
	2021 – 2025	2026 - 2030	2031 - 2036	
BERNAL	105.68	98.64	115.28	136.41
CHALACO	1500.20	1520.28	1489.88	1175.73
CHILACO	365.56	275.16	278.64	358.02
CHULUCANAS	468.00	442.16	452.16	464.17
CHUSIS	83.04	59.28	84.96	78.35
FRIAS	1430.08	1452.44	1438.16	1095.25
HACIENDA BIGOTE	863.44	884.48	916.80	613.09
HACIENDA SHUMAYA	1681.04	1557.16	1583.12	1196.42
HUANCABAMBA	661.44	664.84	664.28	501.13
HUARMACA	1405.16	1418.04	1408.16	997.63
LA ESPERANZA	124.24	84.00	99.16	109.11
LAMBAYEQUE	73.20	89.48	105.32	40.37
MALLARES	223.12	198.20	148.96	231.55

MIRAFLORES	187.48	153.52	137.80	210.83
MORROPON	471.16	399.40	452.56	391.89
MOTUPE	382.92	321.16	307.84	223.26
OLMOS	457.64	341.88	359.48	278.96
PAITA	145.76	133.16	129.16	175.65
PORCULLA	1407.20	1415.60	1443.52	1026.68
SAN MIGUEL	128.00	110.64	116.12	153.45
SAN PEDRO	820.44	778.64	822.20	694.39
SANTO DOMINGO	1530.20	1553.00	1548.80	1211.67
SAPILLICA	1281.88	1318.32	1320.64	952.56
SONDORILLO	626.92	624.00	582.72	451.50
TULUCE	2017.88	1883.00	1990.96	1427.73
VIRREY	546.20	505.36	563.80	452.70

En las tablas 13.a y 13.b observamos los resultados correspondientes a las proyecciones de Evapotranspiración anual por el método Thornthwaite para cada uno de los quinquenios considerados entre el 2006 y 2035, en base a las proyecciones de temperatura simuladas por el modelo de regionalización RAMS. Los valores estimados con el método de Thornwaite han sido corregidos empleando un factor igual a 1.5 puesto que este método subestima los valores de Evapotranspiración.

Tabla 13.a: Evapotranspiración proyectada en base a las proyecciones de temperatura media anual 3 quinquenios 2006 – 2020 del modelo RAMS

ESTACION	Quinquenio 1	Quinquenio 2	Quinquenio 3	NORMAL
	2006 – 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	
ARENALES	919.80	923.85	924.75	918.15
BAYOVAR	1713.15	1794.60	1764.90	1722.24
CHILACO	2087.10	2200.50	2163.60	2026.74
CHULUCANAS	2153.70	2325.15	2278.80	2101.46
CHUSIS	1826.10	1941.30	1907.55	1813.28
CRUCETA	2186.55	2300.85	2266.65	2127.59
CURVAN	2181.15	2312.10	2274.30	2132.44
EL TABLAZO	2074.50	2214.00	2168.10	2014.20
GRANJA MILITAR SASAPE	1581.30	1661.85	1638.45	1591.95
HACIENDA PABUR	2485.80	2648.70	2607.75	2435.60
HACIENDA YAPATERA	2076.75	2182.05	2155.05	2048.32
HUANCABAMBA	1250.55	1254.15	1260.00	1246.77
HUARMACA	1063.35	1067.85	1070.55	1054.69
LA ESPERANZA	1753.65	1837.80	1807.65	1749.32
LAMBAYEQUE	1541.25	1602.45	1587.15	1548.05
MIRAFLORES	2023.65	2181.15	2132.55	1978.46
MONTEGRANDE	1908.90	2050.65	2008.35	1881.44
MORROPE	1625.40	1701.90	1683.90	1634.27
MORROPON	2116.35	2226.60	2193.75	2098.93
MOTUPE	1835.55	1935.00	1913.40	1839.05
OLMOS	1923.75	2021.85	1999.35	1929.80
SAN MIGUEL	1929.60	2074.50	2030.85	1894.09
TEJEDORES	2051.10	2140.65	2114.55	2009.47

Tabla 13.b: Evapotranspiración proyectada en base a las proyecciones de temperatura media anual 3 quinquenios 2021 – 2035 del modelo RAMS

ESTACION	Quinquenio 4	Quinquenio 5	Quinquenio 6	NORMAL
	2021 – 2025	2026 - 2030	2031 - 2035	
ARENALES	924.30	931.50	927.45	918.15
BAYOVAR	1751.85	1822.95	1813.05	1722.24
CHILACO	2134.80	2244.60	2222.55	2026.74
CHULUCANAS	2240.10	2378.25	2371.50	2101.46
CHUSIS	1882.80	1966.95	1964.25	1813.28
CRUCETA	2238.30	2343.15	2310.75	2127.59
CURVAN	2240.55	2355.30	2329.20	2132.44
EL TABLAZO	2133.90	2255.40	2236.05	2014.20
GRANJA MILITAR SASAPE	1615.05	1670.85	1660.05	1591.95
HACIENDA PABUR	2557.35	2710.80	2662.20	2435.60
HACIENDA YAPATERA	2128.95	2223.90	2196.45	2048.32
HUANCABAMBA	1261.35	1280.25	1267.65	1246.77
HUARMACA	1070.55	1083.15	1074.60	1054.69
LA ESPERANZA	1793.25	1865.25	1858.95	1749.32
LAMBAYEQUE	1566.45	1607.40	1601.10	1548.05
MIRAFLORES	2097.45	2223.45	2211.30	1978.46
MONTEGRANDE	1977.75	2083.95	2077.65	1881.44
MORROPE	1658.70	1711.80	1703.25	1634.27
MORROPON	2164.05	2271.15	2232.45	2098.93
MOTUPE	1889.55	1965.60	1945.35	1839.05
OLMOS	1975.50	2057.40	2033.10	1929.80
SAN MIGUEL	2000.25	2111.40	2102.85	1894.09
TEJEDORES	2092.50	2177.10	2146.95	2009.47

A partir de los resultados mostrados en los dos cuadros anteriores se ha procedido a la elaboración de los mapas de Precipitación y Evapotranspiración que viene a constituir la disponibilidad y demanda hídrica respectivamente, para luego por diferencia entre los mapas de Precipitación y Evapotranspiración hallar los mapas de Balance para cada uno de los tres quinquenios pronosticados, de igual manera se elaboraron los mapas de anomalías de Precipitación, anomalías de Evapotranspiración y anomalías de Balance Hídrico para cada uno de los quinquenios pronosticados.

### 5.3.2.1 Disponibilidades hídricas

#### ➤ Área de Interés del Bajo Piura

Analizando los mapas de disponibilidades en cada uno de los seis quinquenios en la zona baja del área de interés las precipitaciones varían de 60 mm a 110 mm. En la zona media del área de interés las precipitaciones varían de 110 mm a 130 mm en algunos quinquenios; entre 90 a 110 mm en otros y entre 100 a 115 hacia el último quinquenio. En la zona alta del área de interés las precipitaciones variarían entre 130 mm a 150 mm en los primeros quinquenios, entre 110 mm y 130 mm en alguno de los

quinquenios intermedios y entre 115 mm a 125 mm hacia el final del periodo analizado (ver apéndice 1).

➤ **Área de Interés de San Francisco**

Analizando los mapas de disponibilidades en cada uno de los seis quinquenios en la zona baja del área de interés las precipitaciones se mantienen constantes entre un rango de 150 mm a 450 mm en todos los quinquenios. En la zona media del área de interés las precipitaciones se mantienen constantes de 450mm a 700mm en los primeros quinquenios y entre 450 a 750 mm en los últimos quinquenios. En la zona alta del área de interés, las precipitaciones oscilarían entre 650 y 1050 mm., con algunos variaciones en algunos de los quinquenios analizados. (ver apéndice 1).

➤ **Área de Interés de Yapatera**

En la parte baja las precipitaciones oscilarían entre 400 mm a 750 mm en los primeros quinquenios y entre 400 mm a 750 mm en el sexto quinquenio. En la zona media del área de interés las precipitaciones variarían entre 700 mm a 1050 mm. En la zona alta del área de interés las precipitaciones variarían entre 1050 mm a 1400 mm. (ver apéndice 1).

### 5.3.2.2 Demandas hídricas

➤ **Área de Interés del Bajo Piura**

Analizando los mapas de demanda en cada uno de los seis quinquenios en la zona baja del área de interés la evapotranspiración oscilaría entre 1840 mm y 1880 mm al inicio del periodo de estudio, para luego presentar un ligero incremento entre 1900 y 2050 mm en los quinquenios posteriores.

En la zona media del área de interés la evapotranspiración variaría entre 1880 mm y 1940 mm en el primer quinquenio y de 2000 mm a 2110 mm en los quinquenios finales.

En la zona alta del área de interés, la evapotranspiración varía en general entre 1940 mm y 2140 mm. (ver apéndice 2).

➤ **Área de Interés de San Francisco**

Los mapas de demanda indican que en la zona baja del área de interés la evapotranspiración oscilaría entre 2170 mm y 2050 mm en el primer quinquenio para luego presentar un ligero incremento en los quinquenios restantes. En la zona media del área de interés la evapotranspiración variaría entre 1900 mm y 2150 mm. En la zona alta del área de interés la evapotranspiración sería menor, oscilando entre 1900 mm y 1650 mm en los quinquenios iniciales y entre 2000 mm y 1750 mm en los quinquenios finales (ver apéndice 2).

➤ **Área de Interés de Yapatera**

Analizando los mapas de demanda en cada uno de los seis quinquenios en la zona baja del área de interés la evapotranspiración variaría de 1950 mm a 2400. En la zona media del área de interés la evapotranspiración variaría de 1650 mm a 2100 mm en general. En la zona alta del área de interés la evapotranspiración sería menor con valores que oscilarían entre 1150 mm y 1750 mm. (ver apéndice 2).

### 5.3.2.3 Balance hídrico

➤ **Área de Interés del Bajo Piura**

Analizando los mapas quinquenales de balance hídrico, los déficit en la zona baja del área de interés serían menores a inicios del periodo de análisis (de -1740 mm a -1770 mm) y se presentaría un mayor déficit en alguno de los quinquenios posteriores (de -1900 mm a -1940 mm).

Valores similares se encontrarían en la zona media del área de interés; y en la parte alta del área de interés los déficit variarían de -1800 mm a -1840 mm en el quinquenio inicial y se acentuaría a finales del periodo de estudio con valores que oscilarían entre -1980 mm y -2040 mm. (ver apéndice 3).

➤ **Área de Interés de San Francisco**

Analizando los mapas de balance en la zona baja del área de interés los déficit variarían entre -2010 mm a -1600 mm a inicios del periodo, de -2100 a -1650 mm en alguno de los quinquenios intermedios y de -2180 mm a -1800 mm en los quinquenios finales.

En la zona media del área de interés los déficit proyectados disminuirían, oscilando entre -1600 mm y -1100 mm al inicio del periodo analizado, aumentando ligeramente en los quinquenios intermedios entre -1650 mm y -1200 mm y de -1800 mm a -1350 mm en los quinquenios finales.

En la zona alta del área de interés los déficit serían menores y variarían entre -1100 mm a -700 mm en el quinquenio inicial y de -1350 mm a -700 mm en los últimos quinquenios. (ver apéndice 3).

➤ **Área de Interés de Yapatera**

Los mapas de balance hídrico en la zona baja de Yapatera indican déficit, los cuales variarían de -1750 mm a -1200 mm en alguno de los quinquenios iniciales y de -2000 mm a -1300 mm en alguno de los quinquenios finales.

En la zona media, los déficit serían menores y variarían entre -1200 mm y -600 mm en alguno de los quinquenios iniciales y entre -1300 a -600 mm a finales del periodo proyectado.

Las proyecciones de balance hídrico al 2030 indican que en la zona alta de Yapatera, los déficit serían menores que la parte baja y media de esta área

de interés, oscilando entre -600 mm y 200 mm en la mayoría de los quinquenios analizados. (ver apéndice 3).

#### **5.3.2.4 Anomalías de disponibilidades hídricas (precipitación)**

Respecto a las anomalías de precipitación en los tres primeros quinquenios, según se visualiza en los 3 mapas correspondientes (ver mapas en anexo B), el área de interés del Bajo Piura tendría un déficit entre 0 y -25 mm al inicio de esta proyección y entre -10 y -20 mm hacia finales del 2020.

El área de San Francisco tendría superávit crecientes durante los tres primeros quinquenios que fluctuarían desde 0 hasta 275 mm.

Finalmente la sub cuenca Yapatera tendría un comportamiento bastante estable con superávit fluctuando entre los 50 a 350 mm a inicios del periodo proyectado y entre 0 a 400 mm al 2020, lo cual es parte de su variabilidad normal.

Adicionalmente, para los quinquenios 4, 5 y 6, ver apéndice 4.

#### **5.3.2.5 Anomalías de demandas potenciales hídricas (evapotranspiración)**

Observando los mapas de anomalías de demandas hídricas potenciales de los tres quinquenios (ver mapas anexo B), podemos decir que las anomalías son positivas, lo cual indica que los valores de evapotranspiración en los tres quinquenios superarían sus valores normales. Se observa también un núcleo marcado en la cuenca media en donde se concentran las mayores anomalías, esta zona está ubicada al sur-oeste de la ciudad de Chulucanas.

Existen comportamientos similares entre los quinquenios 2 y 3 en cuanto a magnitud de anomalías, ambos superan los valores de anomalías obtenidos en el quinquenio 1.

Las anomalías en la sub cuenca del Bajo Piura varían entre 15 mm en su parte baja a 40 mm en su parte alta a inicios del periodo proyectado y de 100 mm en su parte baja a 190 mm en su parte alta, en los dos quinquenios siguientes.

En la sub cuenca de San Francisco varían desde 50 mm en su parte más baja a 25 mm en su parte más alta; no obstante, esta anomalía variaría entre 180 mm en la parte más baja hasta los 70 mm en la parte más alta en alguno de los quinquenios posteriores.

Finalmente, en la sub cuenca de Yapatera las anomalías variarían desde 50 mm en la parte baja hasta 10 mm en la parte más alta, incrementándose esta anomalía en los quinquenios siguientes, especialmente en la parte baja de esta área de interés con anomalías de hasta 210 mm.

Adicionalmente, para los quinquenios 4, 5 y 6, ver apéndice 5.

### 5.3.2.6 Anomalías de Balance Hídrico

Observando los mapas de anomalía de balance hídrico para los tres quinquenios podemos decir que las anomalías son negativas (déficit) en la parte baja y fluctúan entre deficitario, normal y superior al histórico en las Cuencas de San Francisco y Yapatera. Además se puede identificar un área con mayor déficit hídrico a inicios del periodo proyectado ubicado entre las estaciones Miraflores y Tambogrande. Para los siguientes quinquenios, este déficit muestra un desplazamiento y se ubica entre las estaciones Miraflores y Chulucanas.

Adicionalmente, para los quinquenios 4, 5 y 6, ver apéndice 6.

En el cuadro resumen 7(a,b y c), se muestran los resultados proyectados para las tres sub cuencas de interés y para los seis quinquenios:

Cuadro Resumen 7: Anomalías de Disponibilidades Hídricas (a), Demandas Potenciales Hídricas (b) y de Balance Hídrico (c) en la Cuenca del Río Piura por quinquenios (2006-2020) en el escenario A2.

#### ANOMALIAS DE DISPONIBILIDADES HIDRICAS

	BAJO PIURA ( mm )	SAN FRANCISCO ( mm )	YAPATERA ( mm )
Q1	0 a -25	0 a 200	50 a 350
Q2	-20 a -50	0 a 250	0 a 375
Q3	-10 a -20	0 a 275	0 a 400
Q4	0 a -30	0 a 250	0 a 400
Q5	-30 a -50	0 a 275	-25 a 400
Q6	0 a -50	0 a 275	-25 a 400

(a)

#### ANOMALIAS DE DEMANDAS POTENCIALES HIDRICAS

	BAJO PIURA ( mm )	SAN FRANCISCO ( mm )	YAPATERA ( mm )
Q1	15 a 40	50 a 25	50 a 10
Q2	130 a 190	180 a 90	210 a 30
Q3	100 a 140	140 a 70	170 a 20
Q4	70 a 110	110 a 60	130 a 20
Q5	160 a 230	230 a 110	270 a 50
Q6	150 a 220	200 a 90	260 a 40

(b)

#### ANOMALIAS DE BALANCE HIDRICO

	BAJO PIURA ( mm )	SAN FRANCISCO ( mm )	YAPATERA ( mm )
Q1	-10 a -60	-50 a 175	0 a 350
Q2	-140 a -240	-175 a 175	-225 a 350
Q3	-150 a -225	-150 a 200	-200 a 350
Q4	-80 a -140	-110 a 200	-140 a 360
Q5	-180 a -280	-220 a 160	-300 a 350
Q6	-150 a -270	-200 a 200	-250 a 350

(c)

### **En resumen:**

El comportamiento pluviométrico en el Bajo Piura y parte de la Cuenca Media es por naturaleza deficitario, este déficit es cubierto por el reservorio Poechos mediante un sistema de canales que trasvasan el agua de la Cuenca del Río Chira a la Cuenca del Piura.

Según los mapas de escenarios generados para los seis quinquenios y con la incertidumbre que se presenta en todos los modelos, se concluye que:

- Es probable que se presenten las mayores anomalías en las variables evapotranspiración y consecuentemente en balance hídrico en alguno de los quinquenios segundo, tercero, quinto y sexto
- Es probables que el mayor déficit de balance hídrico se presentaría después del 2025 y en las tres Áreas de interés:

#### *Área de interés del Bajo Piura:*

- Las precipitaciones serían deficitarias en los seis quinquenios, lo cual sumado al incremento de evapotranspiración se traducirá en un déficit de balance hídrico en los seis quinquenios.
- En el mejor de los casos el déficit de balance sería de 10 mm en la parte baja y de 60 mm en la parte alta.
- En el peor de los casos el déficit de balance sería de de 180 mm en la parte baja y de 280 mm en la parte alta.

#### *Área de interés Sub Cuenca de San Francisco*

- Las precipitaciones en las partes altas de esta sub cuenca serían superiores aproximadamente en 250 mm respecto a su valor medio histórico en los seis quinquenios; sin embargo la evapotranspiración en algunas zonas sería superior a la precipitación lo cual resultaría en un balance hídrico deficitario en la parte baja, un balance próximo al normal en la parte media y ligeramente superior al histórico en la parte alta de esta sub cuenca.
- En el mejor de los casos el balance hídrico superaría sus valores normales en las partes altas de esta sub cuenca, pudiéndose presentar excesos de hasta 200 mm en los quinquenios finales del periodo proyectado.
- En el peor de los casos el balance hídrico sería deficitario hasta en 220 mm, esto se podría presentar en las partes bajas de esta sub cuenca.

### *Área de interés Sub Cuenca de Yapatera*

- Las precipitaciones esperadas para las partes altas de esta sub cuenca serían superiores en 390 mm en promedio en todos los quinquenios mientras que en las partes bajas podrían ser deficitarias hasta en 25 mm en los quinquenios finales.
- En el mejor de los casos el balance hídrico superaría sus valores normales en las partes altas de esta sub cuenca, pudiéndose presentar excesos de hasta 350 mm en la mayoría de los quinquenios analizados.
- En el peor de los casos el balance hídrico sería deficitario hasta en 300 mm, esto se podría presentar en las partes bajas de esta sub cuenca.

## 5.4 DISPONIBILIDAD DE AGUA REGULADA PARA LA CUENCA DEL BAJO PIURA Y PARTE DEL MEDIO PIURA

A través del trasvase de las aguas del sistema regulado de Poechos el Proyecto Especial Chira - Piura dota de 70m<sup>3</sup>/s de agua al área de interés del Bajo Piura y Cuenca Media de Piura, los cuales en los momentos actuales cubren los déficit de los balances históricos mostrados en los resultados los cuales también tendrían que cumplir la misma función en el futuro ya que los balances para el escenario futuro A2 en cada uno de sus quinquenios analizados también presentan déficit.

### 5.4.1 Máxima Duración de Período Seco Histórico

#### ➤ Bajo Piura

El análisis de los mapas de Máxima Duración de Período Seco Histórico indica que en la zona baja varía de 12 años en el trimestre DEF a 7 años en el trimestre MAM, en la zona media de 10 años en el trimestre DEF a 8 años en el trimestre MAM y en la zona alta de 8 años en el trimestre DEF a 9 años en el trimestre MAM.

#### ➤ Sub cuenca de San Francisco

Analizando los mapas de Máxima Duración de Período Seco histórico se observa que en la zona baja varía de 7 años en el trimestre DEF a 9.5 años en el trimestre MAM, en la zona media de 7.5 años en el trimestre DEF a 8.5 años en el trimestre MAM, en la zona alta de 8 años en el trimestre DEF a 7.5 años en el trimestre MAM.

#### ➤ Sub cuenca de Yapatera

Analizando los mapas de Máxima Duración de Período Seco se observa que en la zona baja varía de 6 años en el trimestre DEF a 9 años en el trimestre MAM, en la zona media de 6.5 años en el trimestre DEF a 7 años en el trimestre MAM, en la zona alta de 7 años en el trimestre DEF a 6.5 años en el trimestre MAM.

### 5.4.2 Máxima Duración de Período Seco Pronosticado escenario A2 2004-2020

#### ➤ Bajo Piura

Analizando los mapas de Máxima Duración de Período Seco Pronosticado en la zona baja, estos variarían de 3.2 en el trimestre DEF a 3 años en el trimestre MAM, en la zona media variaría de 3.5 en el trimestre DEF a 3.2 años en el trimestre MAM, en la zona alta de 3.4 en el trimestre DEF a 3.6 años en el trimestre MAM.

➤ **Sub cuenca de San Francisco**

Analizando los mapas de Máxima Duración de Período Seco en la zona baja, estos variarían de 1.6 años en el trimestre DEF a 1.7 años en el trimestre MAM, en la zona media variaría de 1.3 años en el trimestre DEF a 1.4 años en el trimestre MAM, en la zona alta de 1.1 años en el trimestre DEF a 1 año en el trimestre MAM.

➤ **Sub cuenca de Yapatera**

El análisis de los mapas de Máxima Duración de Período Seco indica que en la zona baja variaría de 1.1 años en el trimestre DEF a 1.5 años en el trimestre MAM, en la zona media variaría de 1 año en el trimestre DEF a 1.2 años en el trimestre MAM, en la zona alta variaría de 0.8 en el trimestre DEF a 1 año en el trimestre MAM.

### **5.4.3 Tiempo de Retorno de Período Seco Histórico**

➤ **Bajo Piura**

El análisis de los mapas de Tiempo de Retorno de Período Seco Histórico muestra que en la zona baja los períodos de retorno varían de 3.5 años en el trimestre DEF a 5 años en el trimestre MAM, en la zona media de 4 años en el trimestre DEF a 5.5 años en el trimestre MAM, en la zona alta el período de retorno es de 4 años en ambos trimestres.

➤ **Sub cuenca de San Francisco**

El análisis de los mapas de Tiempo de Retorno de Período Seco Histórico muestra que en la zona baja los períodos de retorno varían de 4.7 años en el trimestre DEF a 3.5 años en el trimestre MAM, en la zona media varía de 4.6 en el trimestre DEF a 4 años en el trimestre MAM, en la zona alta el período de retorno se mantiene con un valor constante de 5 años en ambos trimestres.

➤ **Sub cuenca de Yapatera**

Analizando los mapas de Tiempo de Retorno de Período Seco Histórico se observa que en la zona baja varía de 5 años en el trimestre DEF a 4 años en el trimestre MAM, en la zona media de 5.5 años en el trimestre DEF a 5 años en el trimestre MAM, en la zona alta varía de 6 años en el trimestre DEF a 6.5 años en el trimestre MAM.

### **5.4.4 Tiempo de Retorno de Período Seco Pronosticado escenario A2 2004-2020**

➤ **Bajo Piura**

El análisis de los mapas de tiempo de retorno pronosticado en la zona baja, indica que variaría de 5 años en el trimestre DEF a 6.5 años en el trimestre

MAM, en la zona media de 5 años en el trimestre DEF a 6 años en el trimestre MAM, en la zona alta de 5.5 años en el trimestre DEF a 4.5 años en el trimestre MAM.

➤ Sub cuenca de San Francisco

Analizando los mapas de tiempo de retorno en la zona baja indican que estos variarían de 13 años en el trimestre DEF a 12 años en el trimestre MAM, en la zona media de 14.5 años en el trimestre DEF a 13.5 años en el trimestre MAM y en la zona alta de 16 años en el trimestre DEF a 15 años en el trimestre MAM.

➤ Sub cuenca de Yapatera

Analizando los mapas de tiempo de retorno en la zona baja indican que estos variarían de 16.5 años en el trimestre DEF a 15 años en el trimestre MAM, en la zona media de 17 años en el trimestre DEF a 12 años en el trimestre MAM y en la zona alta de 18 años en el trimestre DEF a 16 años en el trimestre MAM.

## CAPITULO VI - REGIONALIZACION ESTADISTICA

Dado que los modelos de circulación general (MCG) tienen menor resolución espacial, su representación del clima en la escala regional necesita de aproximaciones empíricas (estadísticas) lo que se denomina Regionalización o Downscaling. La regionalización es un término adoptado en los últimos años que describe un conjunto de técnicas que relacionan las variables climáticas de la escala local o regional con los forzamientos atmosféricos de la gran escala (Hewitson BC, Crane RG, 1996).

Las relaciones entre las variables climáticas de gran escala y las variables locales pueden ser aplicadas a la generación de escenarios climáticos, dado 2 asunciones (Goodess C. M., 2003):

- Confiabilidad de los modelos climáticos para generar las variables de gran escala
- Estacionalidad, por la cual esta relación entre estas dos escalas permanece inalterable a un cambio climático.

Entonces, para este caso, revisando información histórica de la precipitación en el área de Piura, observamos que durante algunos episodios del Fenómeno El Niño, tal como los correspondientes a 1982-83 y 1997-98 presentó fuerte desarrollo de tormentas y una alta frecuencia de lluvias, siendo la característica principal de dicho fenómeno el calentamiento anómalo de la superficie del mar en el Océano Pacífico Ecuatorial. Por esto, se planteó la hipótesis de que tal temperatura podría ser un adecuado predictor de la precipitación en el área, es decir que dependiendo de las anomalías de dicha temperatura en el Océano Pacífico, se podría tener una mayor o menor precipitación en el área de interés.

### 6.1 METODOLOGIA

Para realizar un estudio complejo, así como determinar el grado de asociación de ambas variables (temperatura superficial del mar - TSM y lluvias en la zona de Piura), no se puede recurrir a los métodos comunes de correlación lineal ya que tanto la precipitación como la temperatura del mar se miden en diferentes puntos de su correspondiente área en diferentes días, meses y años. En otras palabras se realiza un análisis estadístico de la correlación espacio-temporal de la temperatura del mar en el Océano Pacífico con la precipitación en Piura, la cual se denomina Funciones Ortogonales Empíricas (EOF), para posteriormente realizar el Análisis de Correlación Canónica (CCA). Estos métodos nos reafirmaron que la temperatura de agua de mar es el adecuado predictor.

Por lo tanto, teniendo en cuenta esta relación, se procedió a identificar, dentro de los pronósticos de la temperatura superficial del mar (TSM) para la región de Niño 3, los modelos que indican los incrementos máximos así como los incrementos mínimos. Asimismo, se seleccionaron los dos modelos que tienen mayor habilidad de pronosticar El Niño (MPIfM y NCAR-PCM) para poder establecer esa relación. Estos resultados nos darán la tendencia de los próximos 50 años durante el período de Enero a Marzo, época de las máximas precipitaciones durante el período lluvioso normal de la zona.

Los datos de la TSM provenientes de los modelos, para poder ser empleados se les ha ajustado, ya que por el tipo de resolución en que trabajan tienen un rango amplio de valores al inicio. Para esto se les encontró el error sistemático de cada modelo y se procedió a sustraerlo.

## 6.2 RESULTADOS

En esta ocasión, se trabajó solamente con la estación de Chulucanas, la cual tiene muy buena correlación con la circulación de escala global ( $r=0.8$ ) y por lo tanto puede ser tomada como una estación piloto en esta regionalización.

Teniendo en cuenta los datos observados de las precipitaciones en la zona de Chulucanas desde 1950 – 2003 y de la TSM en la región Niño 3 para ese mismo período, se pudo encontrar una relación funcional de segundo grado entre ambas regiones con un coeficiente de correlación del 90% (ver Fig. 51).

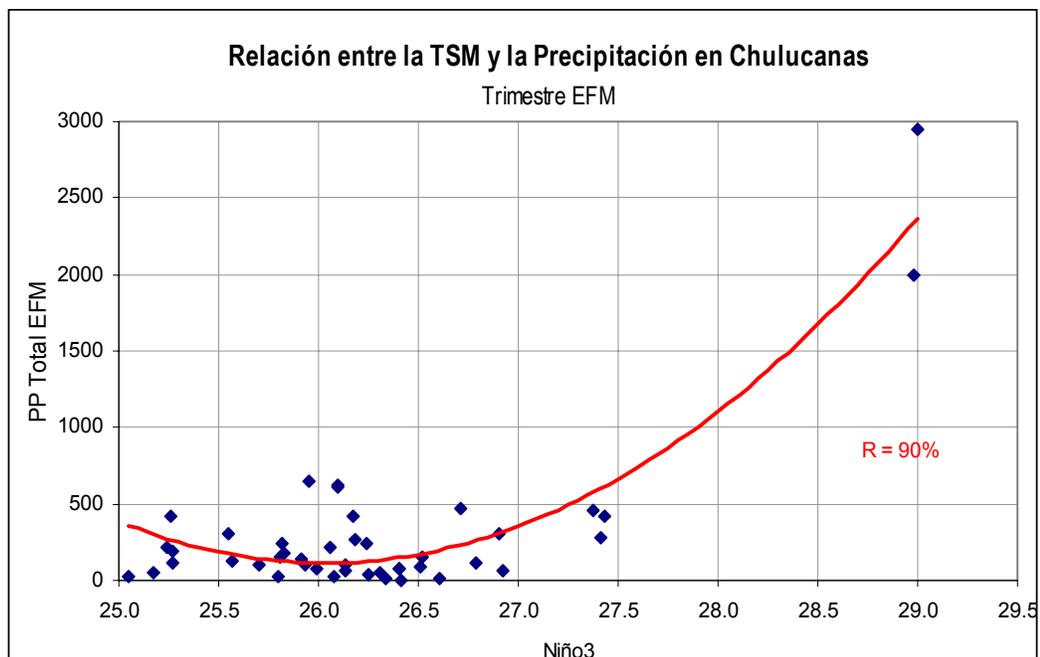


Fig. 51 Relación funcional de segundo grado entre la TSM de la región Niño 3 y las precipitaciones en Chulucanas en el trimestre EFM

Por otro lado, con los resultados de los modelos globales (Fig.23), se identificaron los escenarios extremos de calentamiento en la zona del Niño 3 y se determinaron 3 escenarios. Asimismo, se seleccionaron los escenarios del modelo MPIfM y NCAR PCM B2 por ser los modelos que tienen mejor habilidad de pronosticar El Niño.

Dentro de los escenarios de máximo calentamiento y pertenecientes al escenario pesimista A, hemos tomado los resultados de los modelos de Canadá CCCma A2 y del modelo Japonés CCRS/NIES A1 y se ha obtenido la tendencia de las precipitaciones para esta zona durante los próximos cincuenta años en el período Enero a Marzo, lo que se observa en la Figura 52 (a,b), respectivamente.

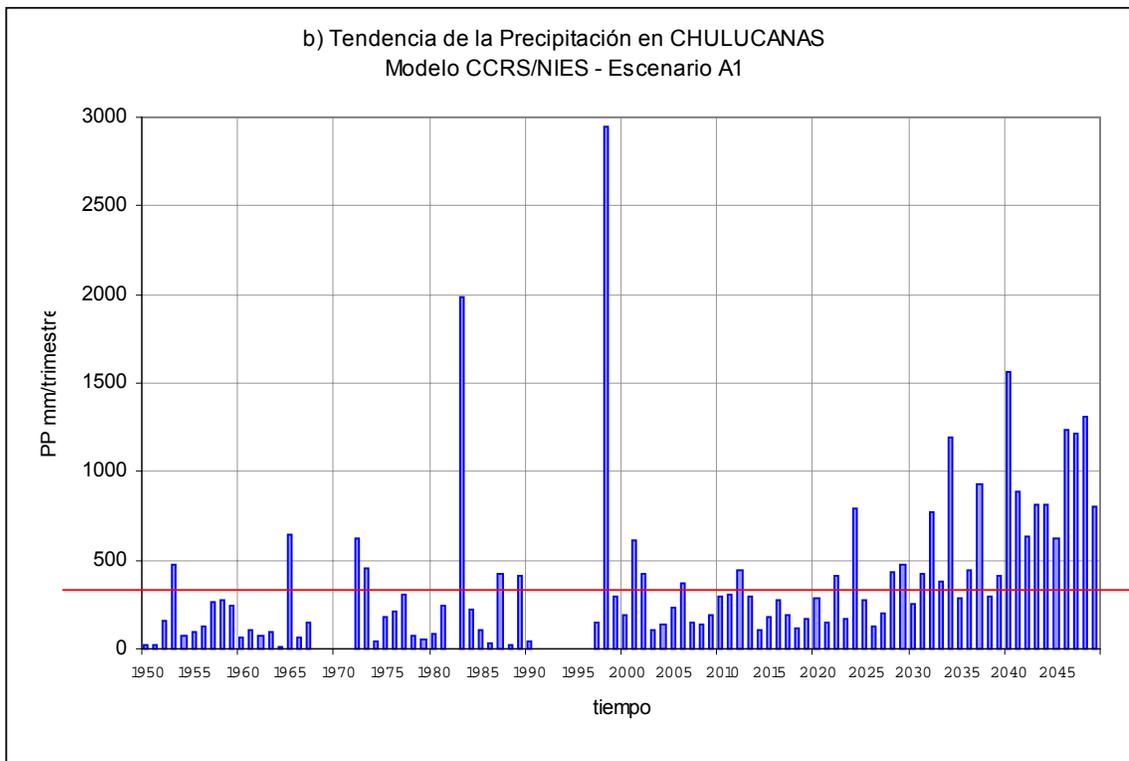
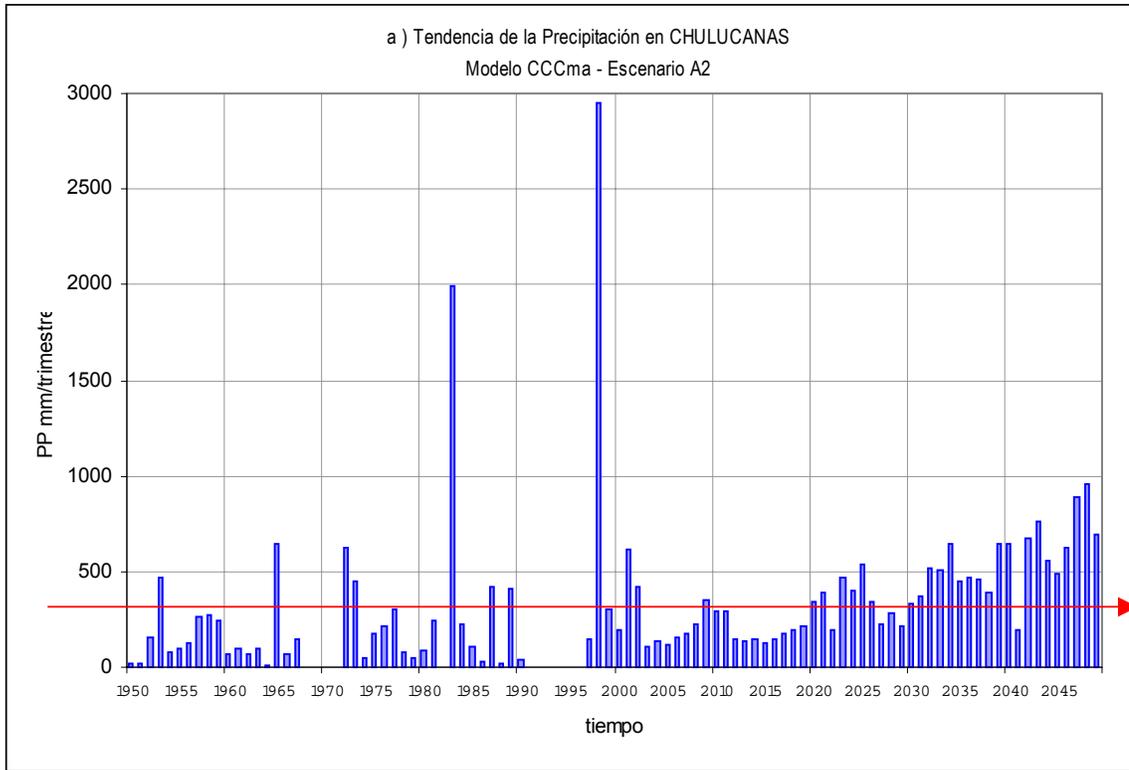


Fig. 52 (a,b) Tendencia de la precipitación para los escenarios A2 (arriba) y A1 (abajo) en Chulucanas

De la Figura 52 (a,b) podemos observar que las precipitaciones estarían por encima de sus promedios normales hacia los últimos 25 años del período, siendo más intensas en el escenario CCRS/NIES A1. Cabe señalar que el promedio normal para el primer trimestre de año es de 300 mm.

En la Figura 53, se observan las tendencias de las precipitaciones por el escenario optimista B del modelo Japonés CCRS/NIES B1. Se muestra una similar tendencia pero en menor intensidad respecto a la figura anterior.

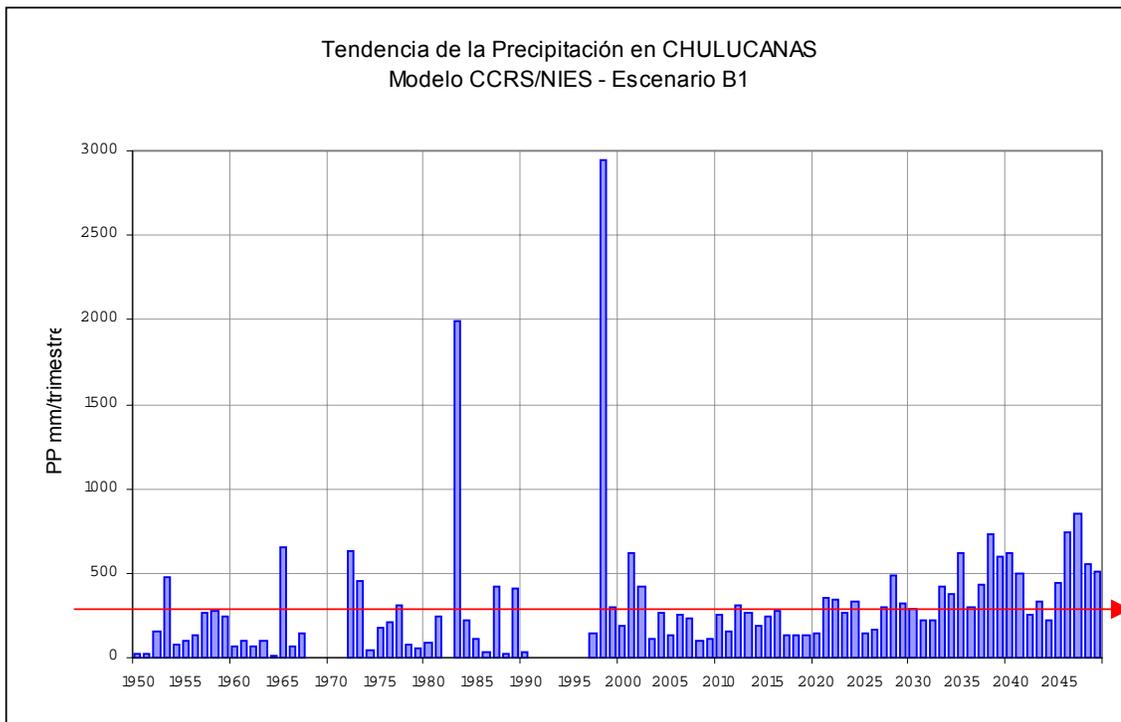


Fig. 53 Tendencia de la precipitación para el escenario B1 en Chulucanas

De las figuras 52 y 53, podemos observar que desde la actualidad hasta el año 2020, las lluvias en la zona de Chulucanas tienden a presentarse de normal a ligeramente deficientes. Asimismo, no se observa presencia de picos altos de precipitaciones tal como es la variabilidad natural de la zona y es debido a que estos modelos no simulan muy bien estos episodios de Niño, por lo cual se adicionaron otros tres escenarios que simulan (hindcasts) con mayor eficacia los eventos El Niño.

Se analizaron las salidas de los dos modelos que simulan mejor los eventos El Niño y se obtuvo la Figura 54 (a,b) en las que se muestran los dos escenarios extremos del modelo MPIfM. Con estos nuevos resultados se observan diferencias con las figuras anteriores ya que estos nuevos resultados muestran una variabilidad más cercana al período observado entre 1950 - 2004.

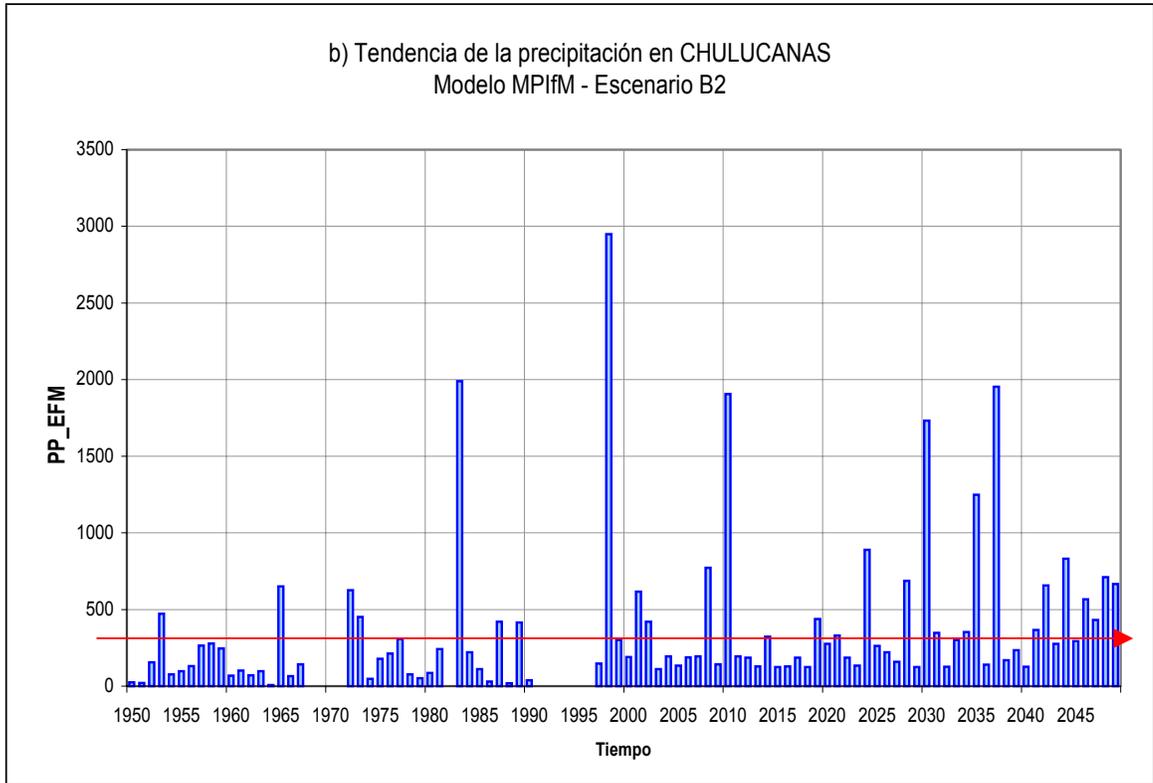
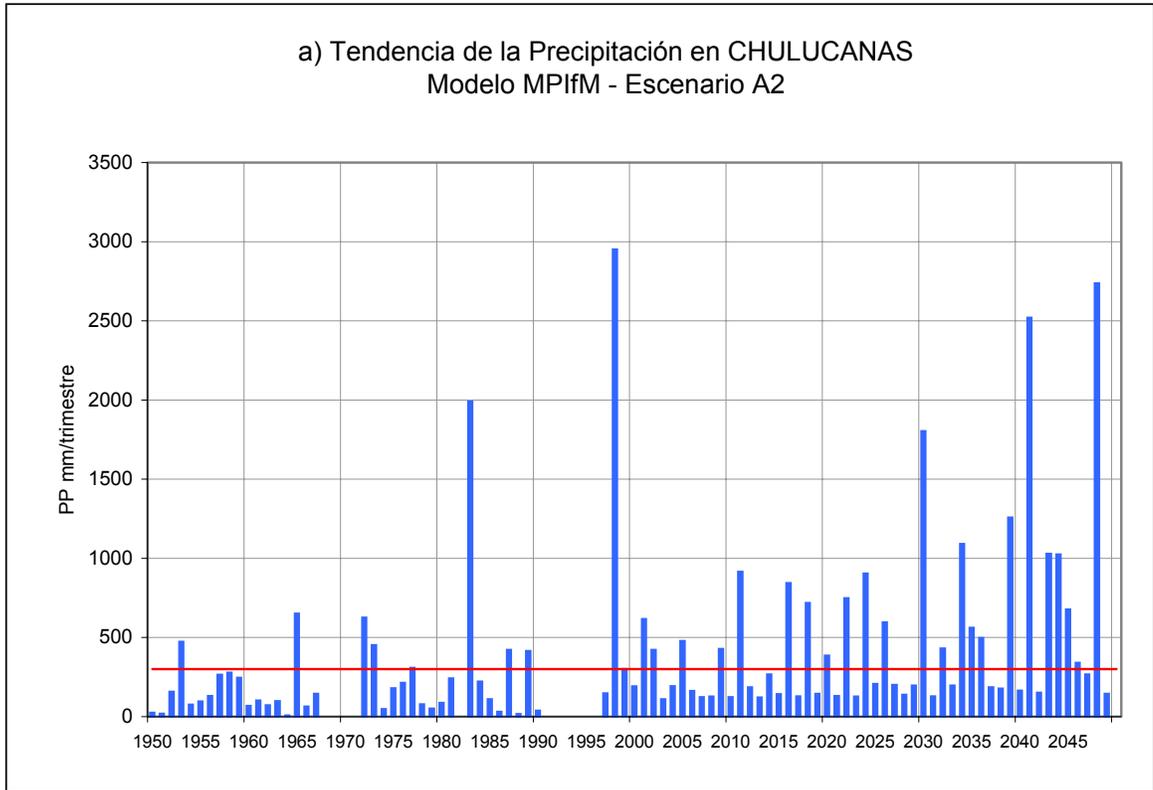


Fig. 54(a,b) Tendencia de la precipitación de los escenarios extremos A2 (arriba) y B2 (abajo) del Modelo MPIfM

De la Figura 54 (a,b) podemos observar que las precipitaciones sobre Chulucanas para el escenario A2 presentará una alta frecuencia de episodios de lluvias fuertes cuya intensidad irá creciendo con respecto al tiempo, esto es, el mayor incremento de intensidad de las precipitaciones se dará entre el 2030 al 2050, mientras que en el escenario B2 la frecuencia de episodios es menor y está concentrado entre el 2010 -2035.

De similar forma se obtuvo la Figura 55 que corresponde al modelo NCAR, en la cual se muestra que los episodios de fuerte lluvia tienen una frecuencia similar al escenario B2 de MPIfM y están concentrados durante todo el período futuro 2005 – 2050.

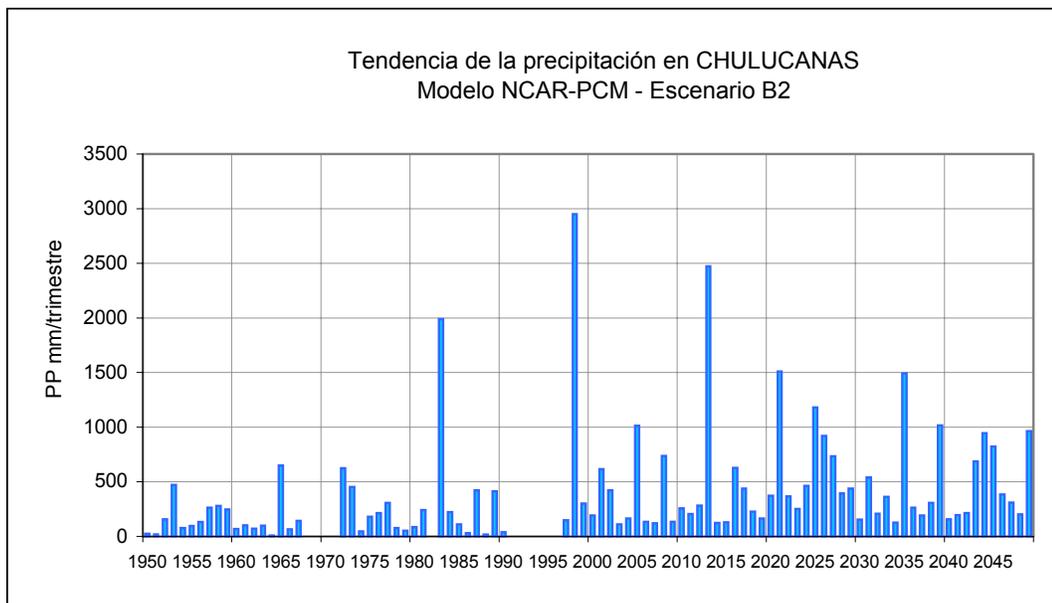


Fig. 55 Tendencia de la precipitación en Chulucanas proyectada por el Modelo NCAR-PCM en el escenario B2

De las Figuras 54 y 55 se puede obtener que el promedio de las precipitaciones para el trimestre EFM en la zona de Chulucanas, se incrementaría respecto al valor actual, debido a esta relativa frecuencia de lluvias fuertes.

#### En resumen:

- De acuerdo a la regionalización estadística es muy probable que las precipitaciones medias del período EFM para Chulucanas se incrementen, debido a la mayor frecuencia de episodios fuertes de precipitaciones asociados a El Niño, lo cual sería una característica de la Cuenca Media del río Piura.
- Si sólo nos referimos a los modelos, que dentro del rango de predicción presentan buena performance para el pronóstico de eventos extremos probablemente asociados a la ocurrencia de El Niño, podemos concluir que dos de los tres escenarios nos indican que se presentarían precipitaciones en tres oportunidades, dentro del período 2005-2050, con lluvias similares o mayores a El Niño 1982-83, pero de menor magnitud que el episodio 1997-98. Asimismo, un escenario indica que sólo habrá un evento con lluvias mayores al evento 1982-83 pero menores al de 1997-98. →

## CAPITULO VII - ANALISIS DE EXTREMOS REGIONALES

Si en un lugar desértico como la parte baja del departamento de Piura un cierto día de 1983 o 1998 precipita en un solo día 100 mm de lluvia, podemos decir que ese es un evento extremo de precipitación en esa zona debido a que es un fenómeno no muy común e intenso. Por otro lado si en algún lugar de Europa o de Australia donde las temperaturas máximas normalmente no exceden de los 27° C, en un cierto día éstas son mayores de 40°C, ese también es un evento climático extremo.

Por consiguiente podemos definir un evento extremo como un episodio climático raro que impacta a una población. En el presente Capítulo, vamos a considerar eventos de precipitación y temperaturas extremas en la Cuenca del Río Piura. Aunque nuestro interés general es toda la cuenca, prestaremos mayor atención a la región del *Bajo Piura y sub cuencas de San Francisco y Yapatera*, según lo solicitado por las autoridades de esta región. (ver mapas en Anexo C).

### 7.1 METODOLOGIA

Para el análisis se hizo uso del software denominado STARDEX desarrollado en la Unidad de Investigación de Clima de la Universidad de East Anglia del Reino Unido (UK). En el referido software, el elemento estadístico básico es el percentil. Para un mejor entendimiento de este concepto, consideremos por ejemplo el percentil 95 de la precipitación. Dicho percentil, que denominaremos P, se calcula de manera que el 95% de las observaciones de precipitación durante un período determinado sean menores que P, y el 5% de ellas, mayores que P. En lugar del percentil 95, podemos usar otros valores y así definir el percentil 90, 80, 10, etc.

Para una mejor comprensión, consideremos un ejemplo en el que el percentil 95 de la precipitación durante el período Diciembre 1982 – Febrero 1983 sea de 71 mm/día en Chulucanas. Adicionalmente consideremos que durante el mismo período la precipitación promedio total es 810 mm en los 90 días del período, es decir una media de 9 mm/día.

Un percentil 95 de 71 mm significa que sólo en el 5% (aproximadamente 4 casos) del número total de observaciones diarias de precipitación (90 días) de diciembre a febrero, la lluvia registrada fue mayor que 71 mm. Ello nos permite considerar a dicha lluvia como un evento extremo y no muy común ya que ocurre solamente durante un 5% del número total de las observaciones.

Se puede apreciar la diferencia de ese evento extremo de 71 mm de precipitación en un día con la precipitación promedio diaria de 9 mm durante el período. La precipitación extrema fue mucho mayor que la media diaria.

Ahora consideremos el año de 1984 en el que el percentil 95 de la precipitación en el mismo lugar y período fue de 28 mm/día. Adicionalmente se ha calculado que la precipitación promedio en el período fue de 2.7 mm/día. Nuevamente puede concluirse que solo en 4 observaciones (5%) del total de mediciones (90) se registraron lluvias mayores que 28 mm por lo que puede afirmarse que ese fue también un evento extremo de precipitación ese año. Puede apreciarse nuevamente la diferencia notable entre la intensidad de la lluvia de 28 mm/día en el evento extremo y la precipitación promedio de 2.7 mm/día.

Adicionalmente podemos apreciar la diferencia de las intensidades de la precipitación durante los eventos extremos mediante el percentil 95. Durante El

Niño de 1983 ésta fue de 71 mm mientras que durante La Niña de 1984, fue de sólo 28 mm, indicando claramente que mayores valores extremos de precipitación pueden esperarse durante los eventos El Niño. Los mismos conceptos pueden aplicarse a otras variables.

Con datos históricos de precipitación y temperatura de estaciones meteorológicas (aproximadamente 30 años), ubicadas en la Cuenca del Río Piura (ver tabla 14), se determinó las tendencias de los máximos valores extremos (percentil 95) de precipitación y máximos valores extremos (percentil 90) de temperatura máxima y mínima para los trimestres diciembre-enero-febrero (DEF) y marzo-abril-mayo (MAM).

Tabla 14: Estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis de eventos extremos de precipitación y temperaturas máxima y mínima en la Cuenca del río Piura

Estación	Longitud	Latitud	Altitud
Ayabaca	-79.72	-4.63	2700
Huancabamba	-79.55	-5.25	1950
Chulucanas	-80.17	-5.10	29
Chusis	-80.83	-5.52	14
Miraflores	-80.62	-5.17	30
Morropón	-79.98	-5.18	150
San Miguel	-80.68	-5.23	29
Tejedores	-80.23	-4.75	230
Sapillica	-79.98	-4.78	1456
Chalaco	-79.83	-5.03	2276
Hacienda Bigote	-79.78	-5.33	200
Virrey	-80.00	-5.50	230

Adicionalmente, para determinar las tendencias de los valores extremos de esos parámetros para los próximos 30 años en la Cuenca del río Piura, se aplicó el mismo programa STARDEX a los pronósticos de precipitación, temperatura máxima y mínima obtenidos mediante la regionalización de escenarios climáticos con el modelo atmosférico RAMS. En este caso sólo se han considerado los resultados de emisiones A2, para dos períodos de proyección: 2004-2020 y 2021-2035.

## 7.2 RESULTADOS

### 7.2.1 Análisis de la información histórica

#### 7.2.1.1 Precipitación extrema histórica

A continuación se presentan series de tiempo del percentil 95 (Fig. 56-60) de la precipitación en algunas estaciones de la Cuenca del Río Piura durante los trimestres DEF y MAM.

La característica más notable del análisis histórico, es la presencia de tendencias positivas de las precipitaciones extremas en la mayoría las estaciones analizadas. Así por ejemplo, en la estación Virrey (Fig. 56) se encontró valores altos de aproximadamente 100 mm/100 años para DEF. Un panorama similar se puede observar en las estaciones de Hda. Bigote, Morropón, y Ayabaca. En el trimestre MAM las tendencias son variadas, con valores positivos altos en las estaciones de

Hda. Bigote, mientras que en la estación Morropón se observa una tendencia ligeramente negativa (Fig. 58).

Cohientemente con la información descrita, en los mapas C.1 y C.2 (ver anexo C), se presentan dichas tendencias del percentil 95 de la precipitación durante DEF y MAM respectivamente. En el trimestre DEF, claramente puede apreciarse un centro de máximo valor de la tendencia cerca de Virrey con una intensidad de alrededor de 100 mm/100 años (mapa C.1). Las tendencias disminuyen progresivamente hacia el norte. Valores altos también son notorios cerca de Miraflores y San Miguel (aproximadamente 50 mm/100 años).

En el trimestre MAM (mapa C.2), la zona cercana a Morropón y Chulucanas es la de menor crecimiento del percentil 95, mientras que regiones ubicadas en los alrededores de Tejedores y Hda. Bigote son las de mayor incremento.

En el mismo anexo C, se presentan los mapas C.3 y C.4 de los máximos valores del percentil 95 de precipitación; es decir, los valores extremos más altos de la precipitación para los trimestres DEF y MAM respectivamente. Estos mapas son indicadores de máximos extremos de precipitación en diferentes partes de la cuenca. Por ejemplo si en una estación el indicador tiene un valor de 120 mm, ese es el mayor valor del percentil 95 de la precipitación alcanzada en los años de registro histórico.

Durante DEF y MAM las estaciones de Virrey, Chusis, Miraflores y San Miguel, son las que presentan los máximos extremos de precipitación, alcanzando valores cercanos a 110 mm/día y 150 mm/día (ver mapas C.3 y C.4). Esta información nos indica que la referida zona es la que soporta los máximos riesgos de precipitaciones extremas con valores cercanos a 120 mm/día. En el resto de la Cuenca, los valores se encuentran en el rango de los 50 mm/día.

Una demostración de la veracidad de nuestra afirmación es la relación que se puede apreciar entre los mapas C.1 y C.3. Regiones de altas tendencias tienen altos valores de precipitaciones extremas.

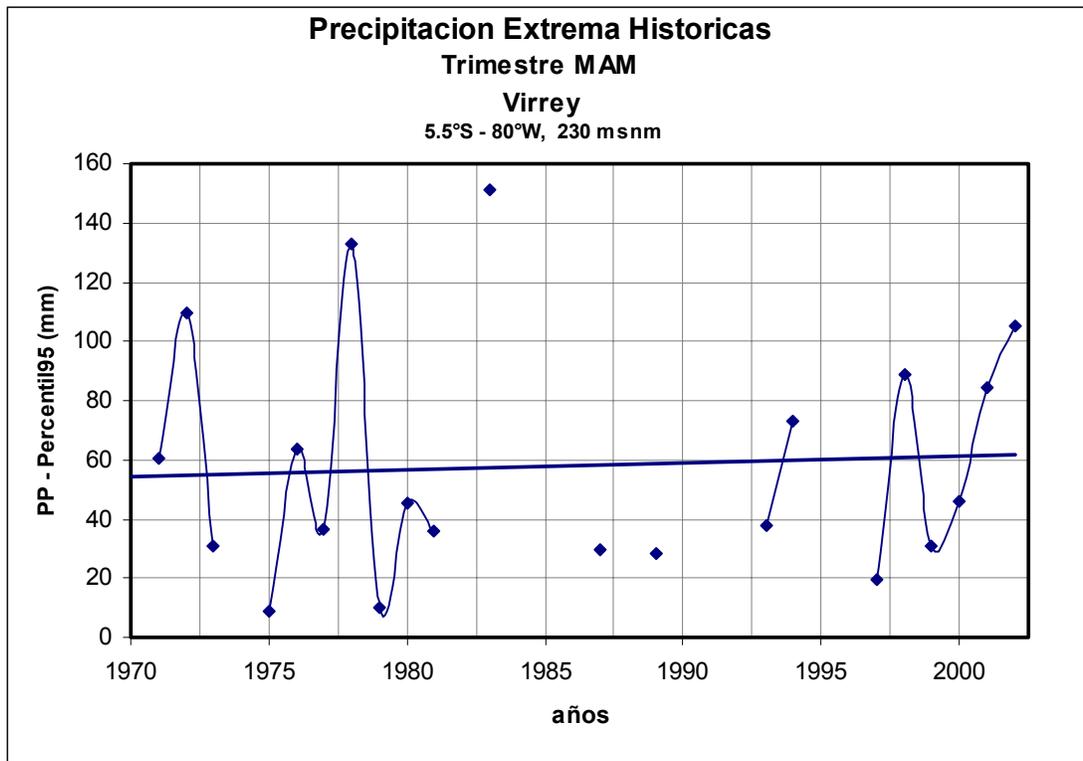
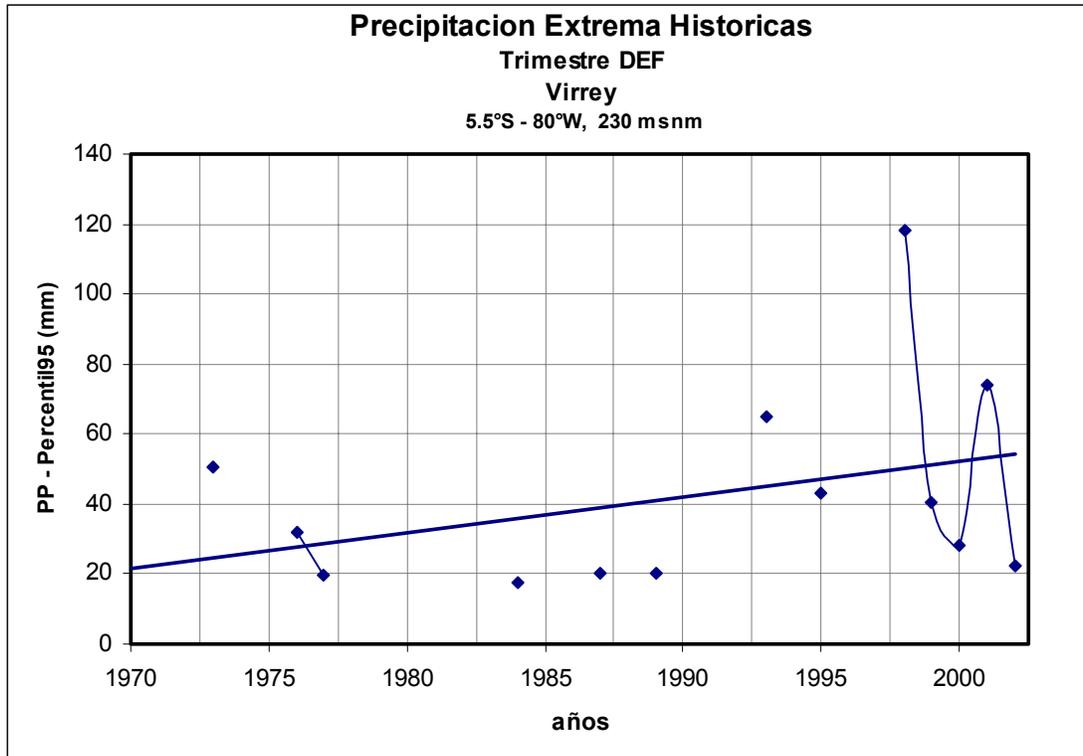


Fig.56 Precipitación extrema histórica (percentil 95) durante DEF y MAM – Estación Virrey

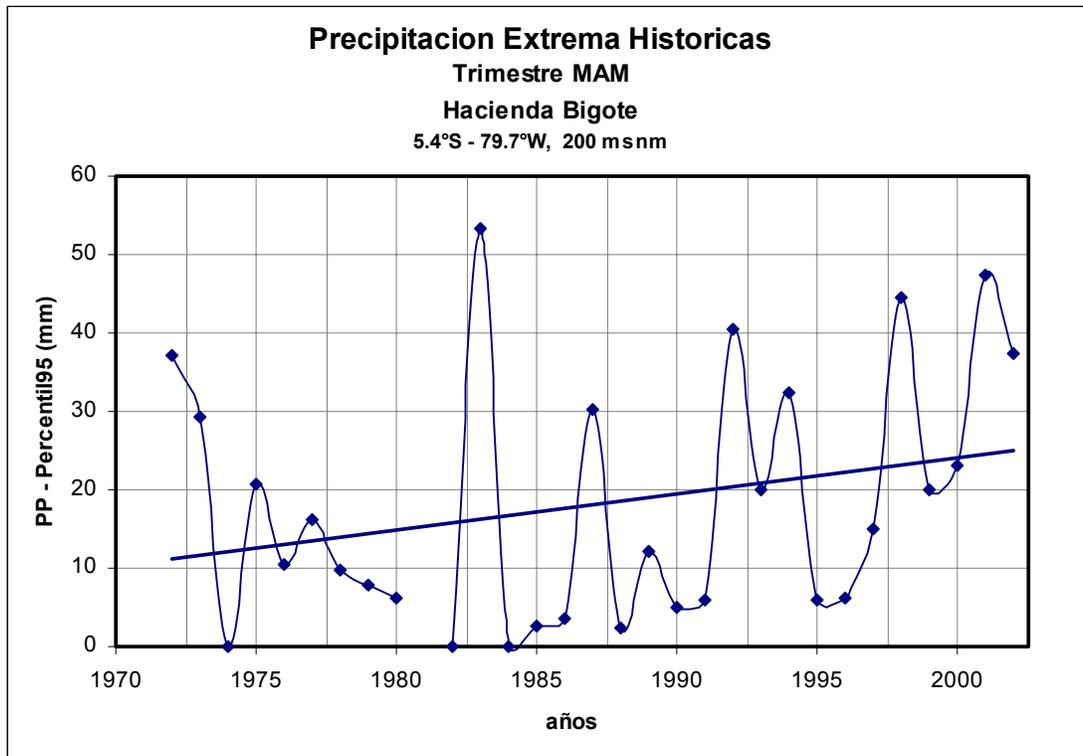
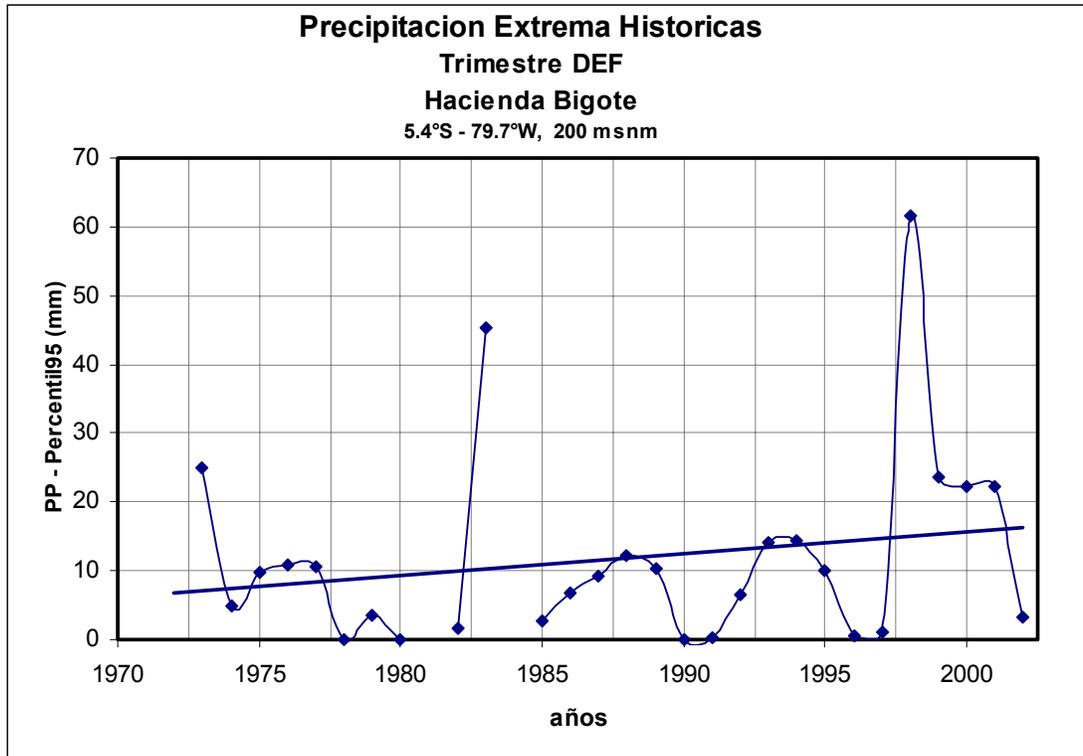


Fig. 57 Precipitación extrema histórica (percentil 95) durante DEF y MAM – Estación Hacienda Bigote

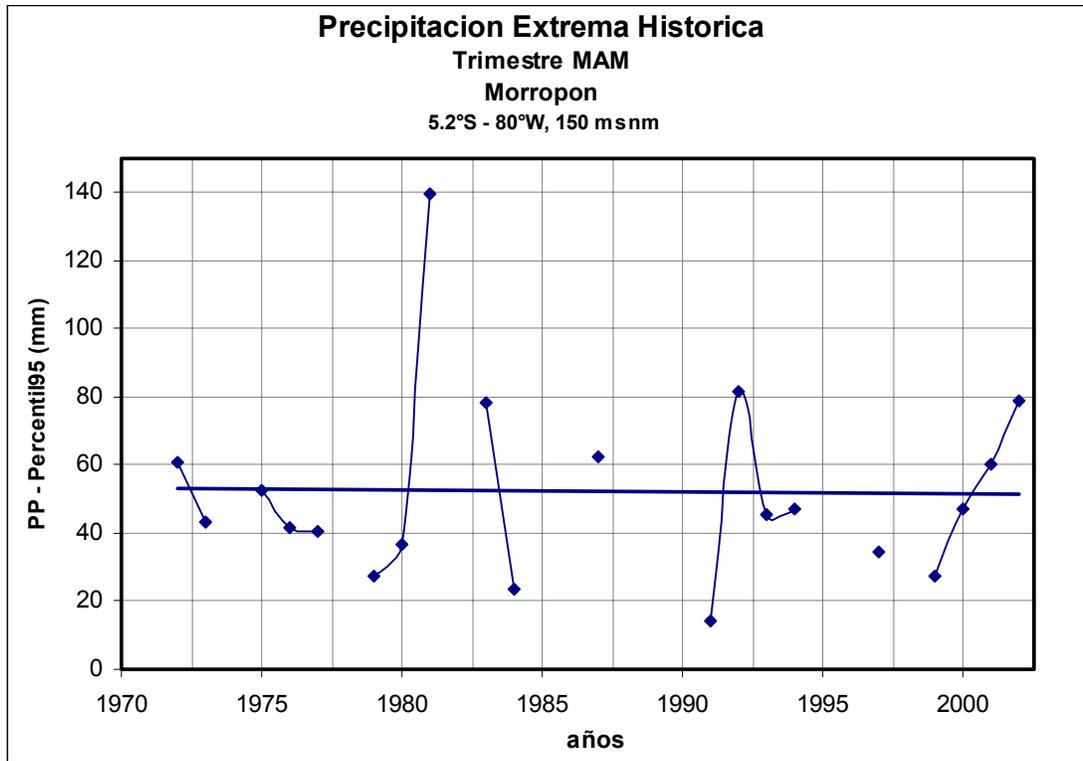
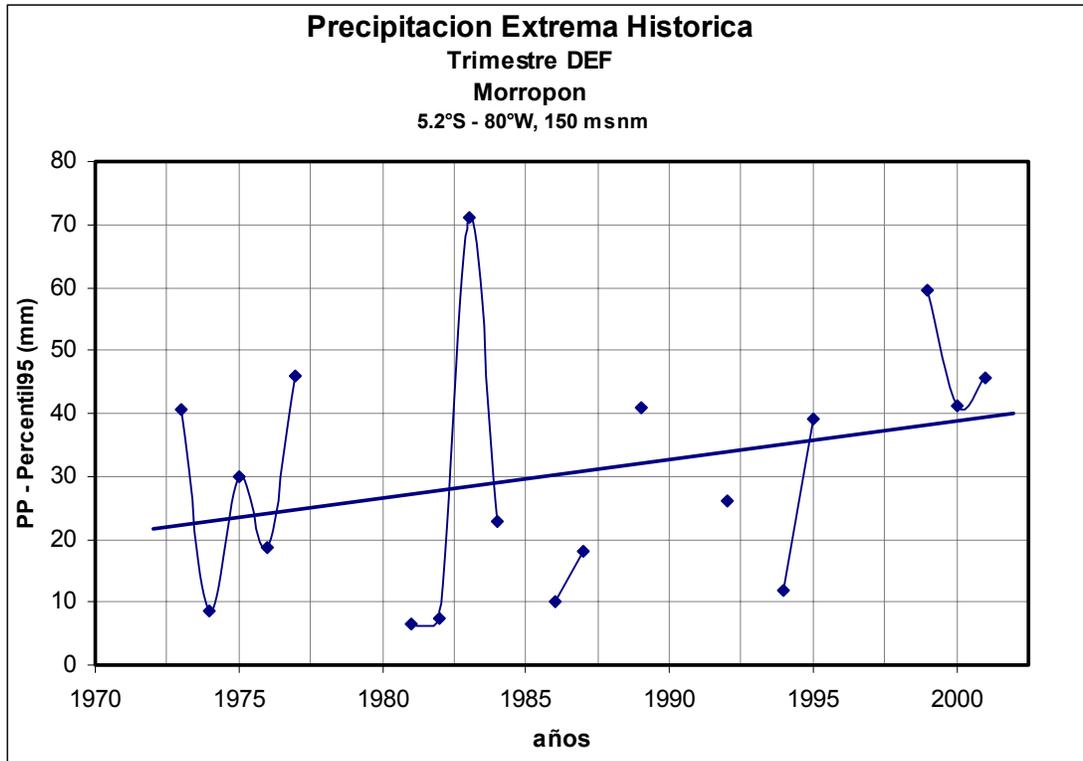


Fig. 58 Precipitación extrema histórica (percentil 95) durante DEF y MAM – Estación Morropón

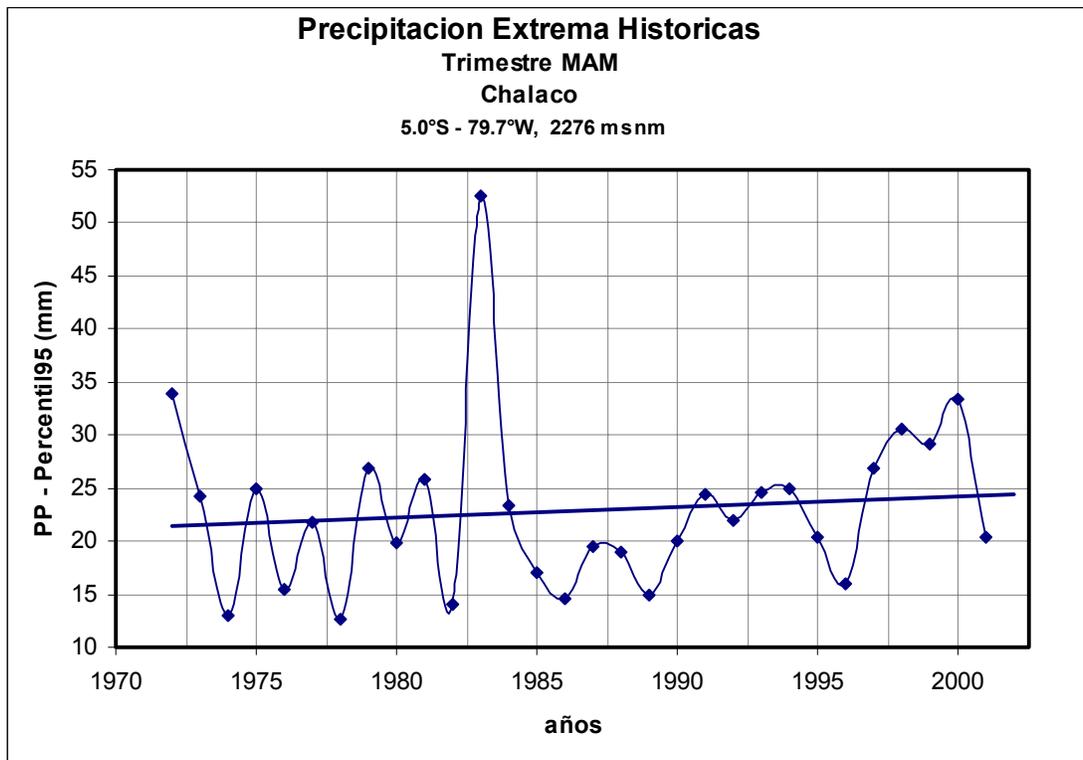
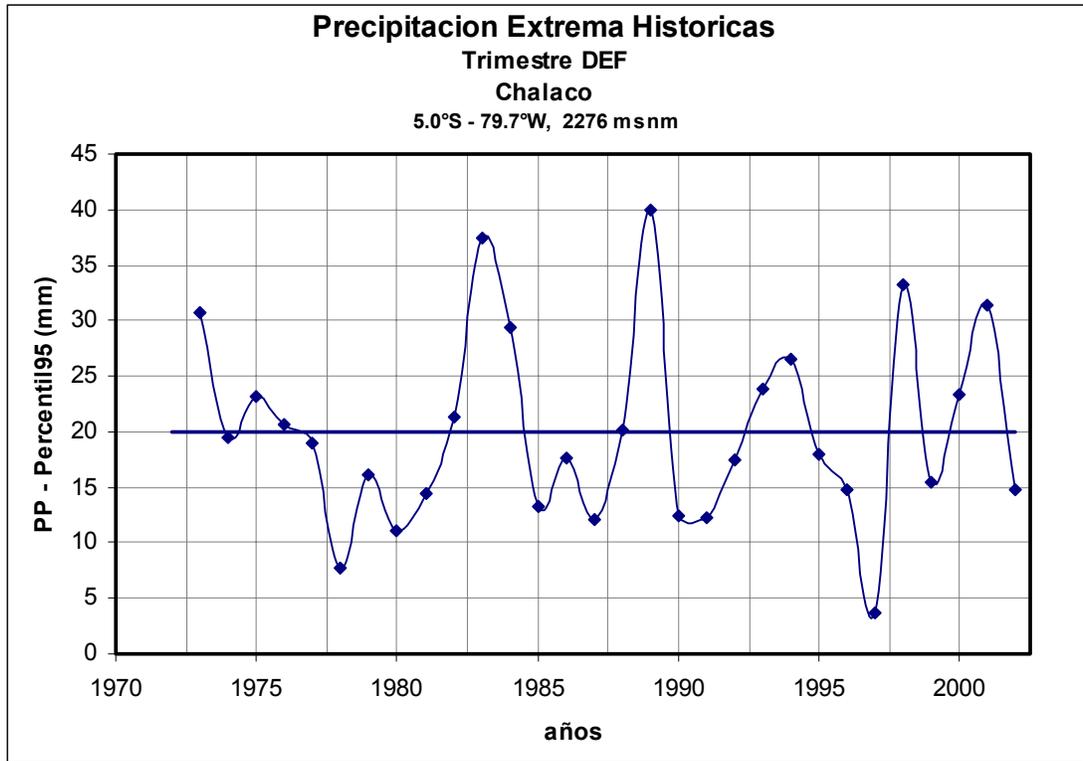


Fig. 59 Precipitación extrema histórica (percentil 95) durante DEF y MAM – Estación Chalaco

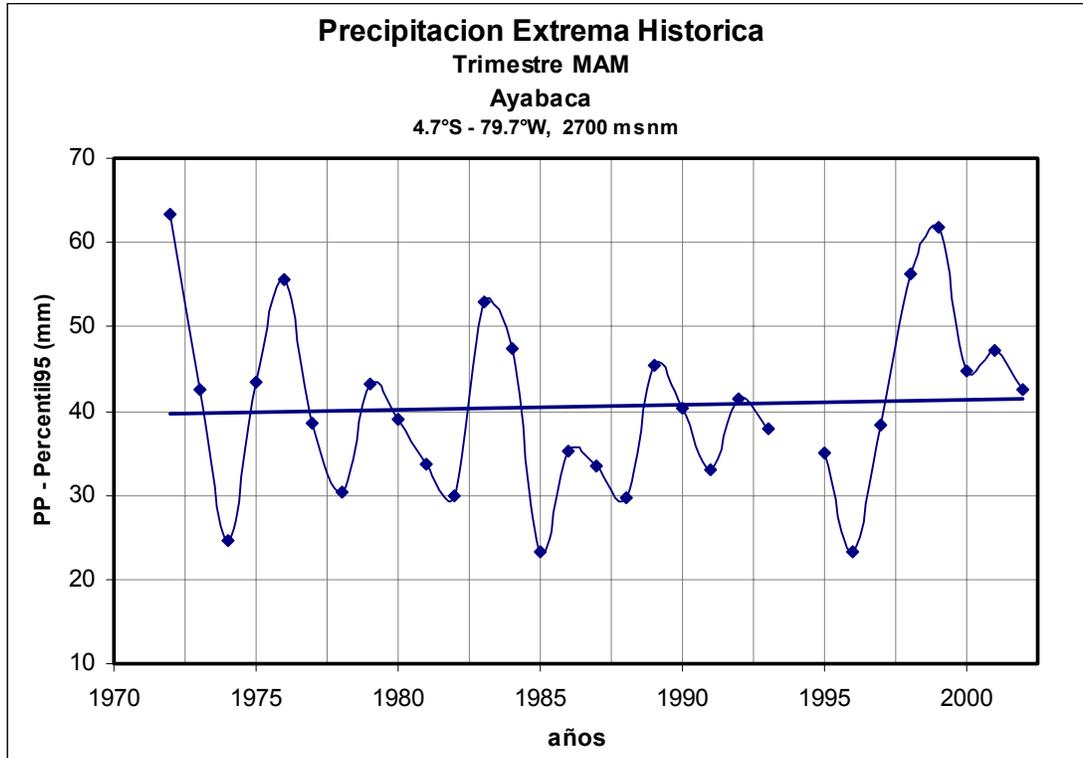
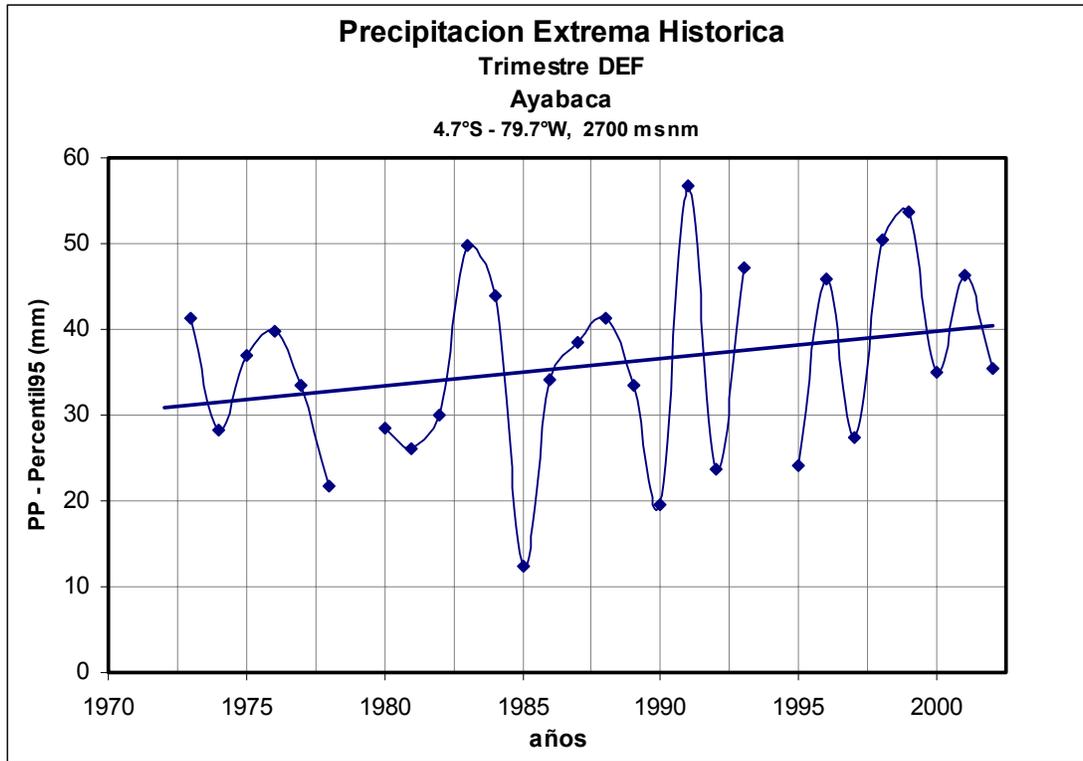


Fig. 60 Precipitación extrema histórica (percentil 95) durante DEF y MAM – Estación Ayabaca

### 7.2.1.2 **Temperatura Máxima Extrema Histórica**

Respecto a la serie histórica de la temperatura máxima del aire, en las Figuras 61-65 se presentan series de tiempo de los percentiles 90 en algunas estaciones de observación meteorológica de la Cuenca del río Piura durante DEF y MAM. La característica más notable es la tendencia positiva en los percentiles 90 con valores máximos en la estación Morropón del orden de los 4°C /100 años, seguido de Miraflores con 3.2°C /100 años para DEF (Figs. 62 y 61). En la estación Tejedores (Fig. 65), puede verse claramente que al inicio de la serie histórica analizada, se advierte una ligera tendencia negativa; sin embargo, a mediados de la década de los 70, se observa un punto de quiebre y la tendencia se torna positiva. En este contexto surge una interrogante: *Este punto de quiebre de la tendencia estaría relacionado con el gran salto de la temperatura media global de mediados de los años 70?* (ver Capítulo I, ítem 1.7).

En el trimestre MAM, la tendencia también es positiva en la mayoría de las estaciones, con valores de alrededor de 2.3 °C/100 años en la estación Miraflores, siguiéndole en intensidad la estación Morropón con casi 2°C/100 años. Durante este trimestre, la estación Chulucanas viene presentando una tendencia negativa (Fig. 63).

En general, en la mayoría de las estaciones meteorológicas consideradas la tendencia del percentil 90 de la temperatura máxima es positiva y con valores relativamente altos.

En el Anexo D, en los mapas D.1 y D.2 se presentan las diferentes series de tiempo de las tendencias de temperaturas máximas extremas. Puede apreciarse que en DEF en la zona de Tejedores, se presentan los mayores valores de las tendencias en toda la región alcanzando máximos de incremento del orden de los 8 °C/100 años. Durante MAM la misma zona cerca de Tejedores presenta un máximo de crecimiento pero con valores del orden de los 2.5 °C/100 años.

En el mismo anexo D, los mapas D.3 y D.4 muestran los máximos valores del percentil 90 de temperatura máxima para DEF y MAM respectivamente. En palabras más simples, se presentan mapas de indicadores de máximos extremos de temperatura máxima. Por ejemplo si en una estación el indicador tiene un valor de 36.5 °C, ese es el mayor valor del percentil 90 de la temperatura máxima alcanzado en los últimos años de registro histórico.

Durante DEF y MAM, las regiones del Bajo Piura y Cuenca Media, incluyendo a Miraflores, Chulucanas, Tambogrande y Morropón, son las que tienen los máximos extremos de temperatura máxima, alcanzando valores cercanos a 36°C. Esta información nos indica que la referida zona es la que soporta los máximos riesgos de extremas temperaturas máximas. En el resto de la cuenca, los valores de esos extremos de temperatura máxima dependen de la altura de la estación. En las zonas altas cercanas a Huancabamba por ejemplo, los extremos de temperaturas máximas están en el orden de 28 a 30 °C.

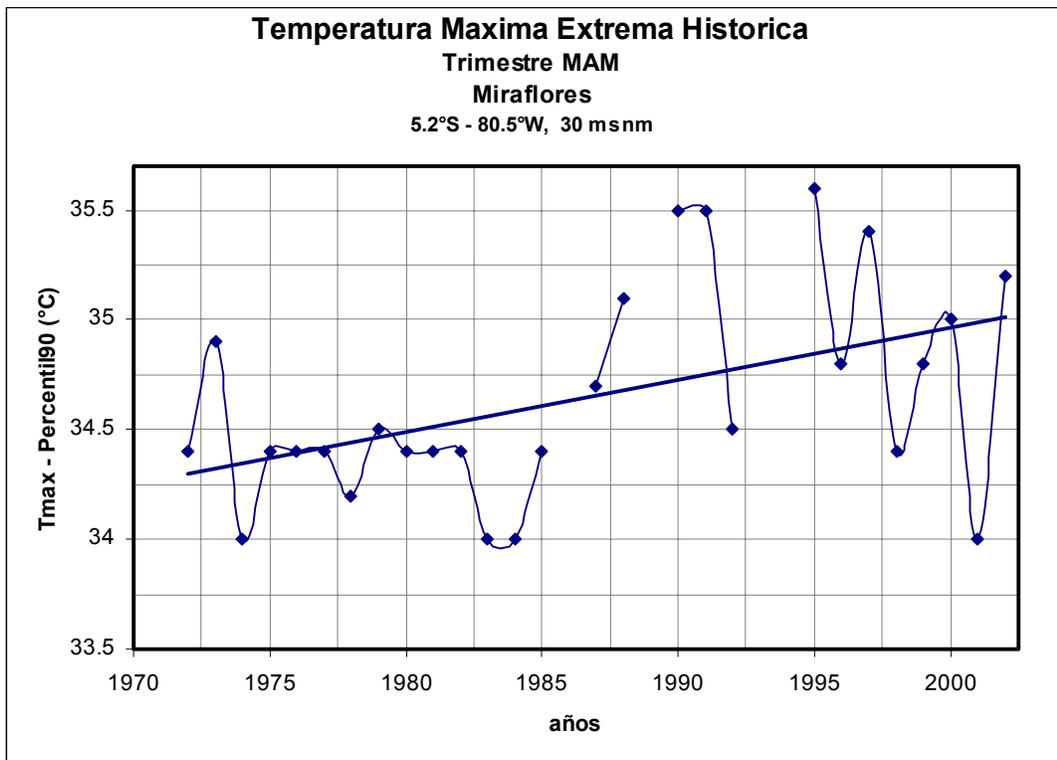
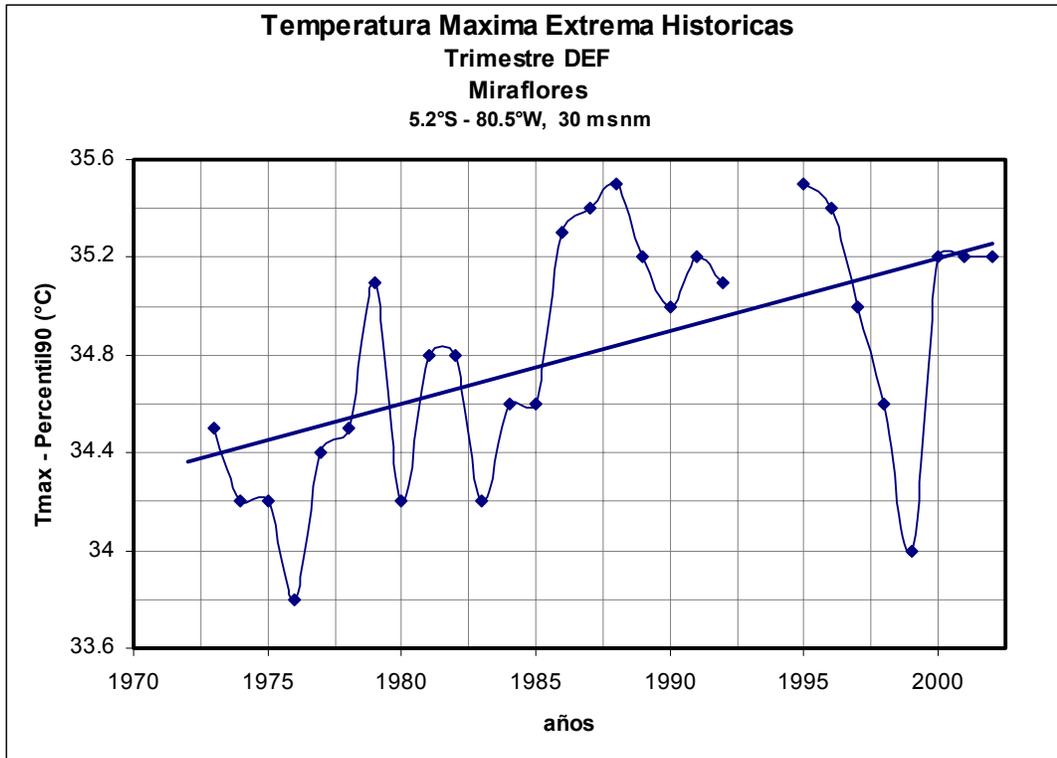


Fig. 61 Temperatura máxima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM Estación Miraflores

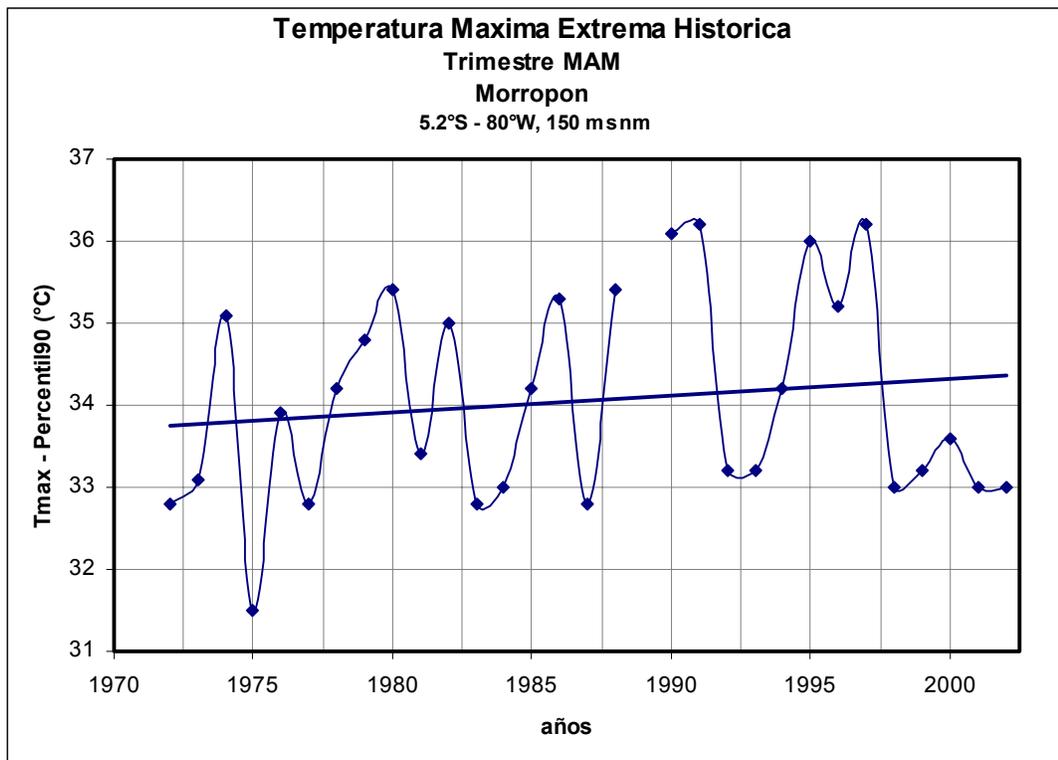
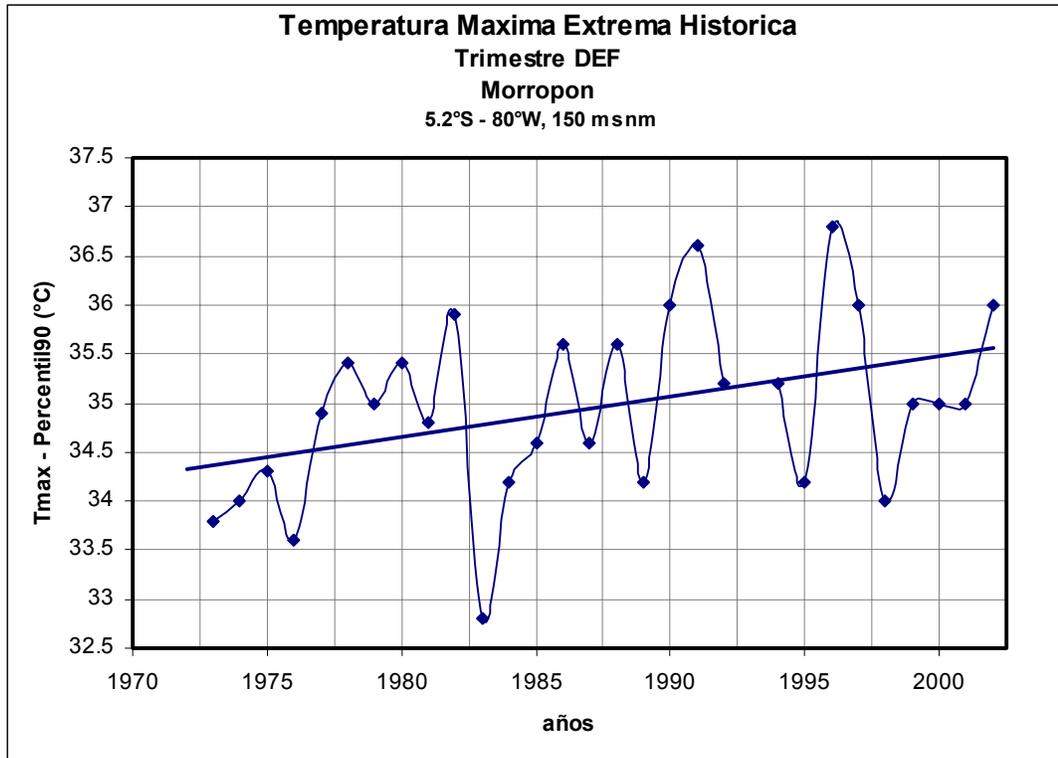


Fig. 62. Temperatura máxima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM Estación Morropón

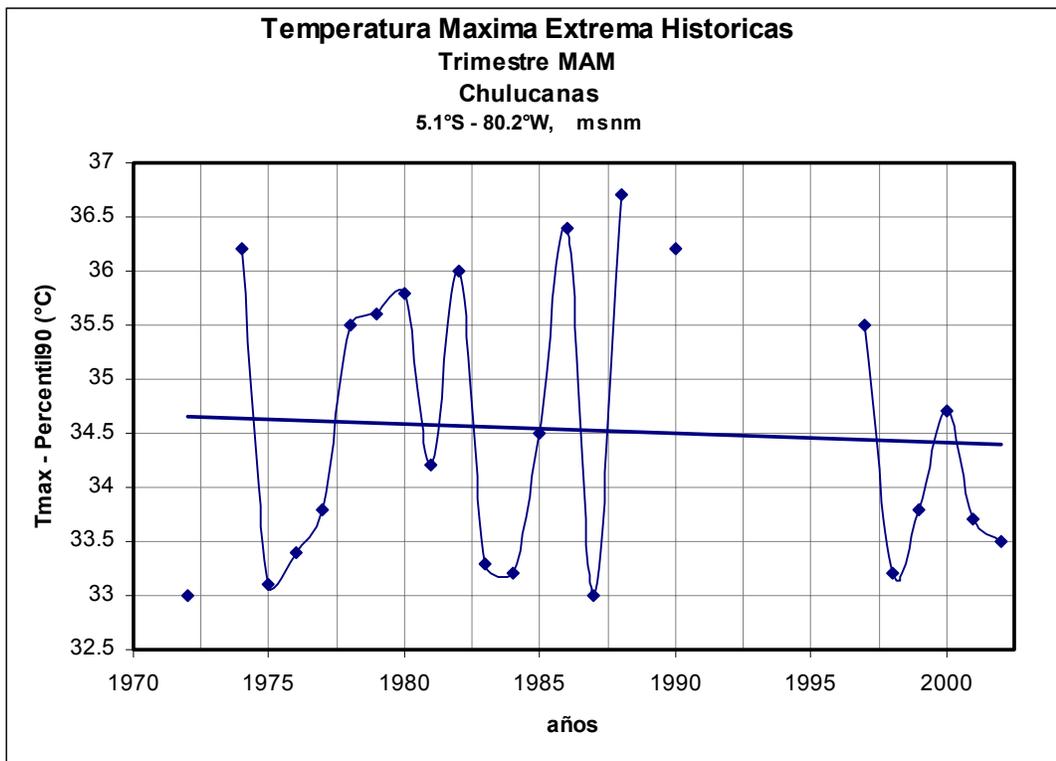
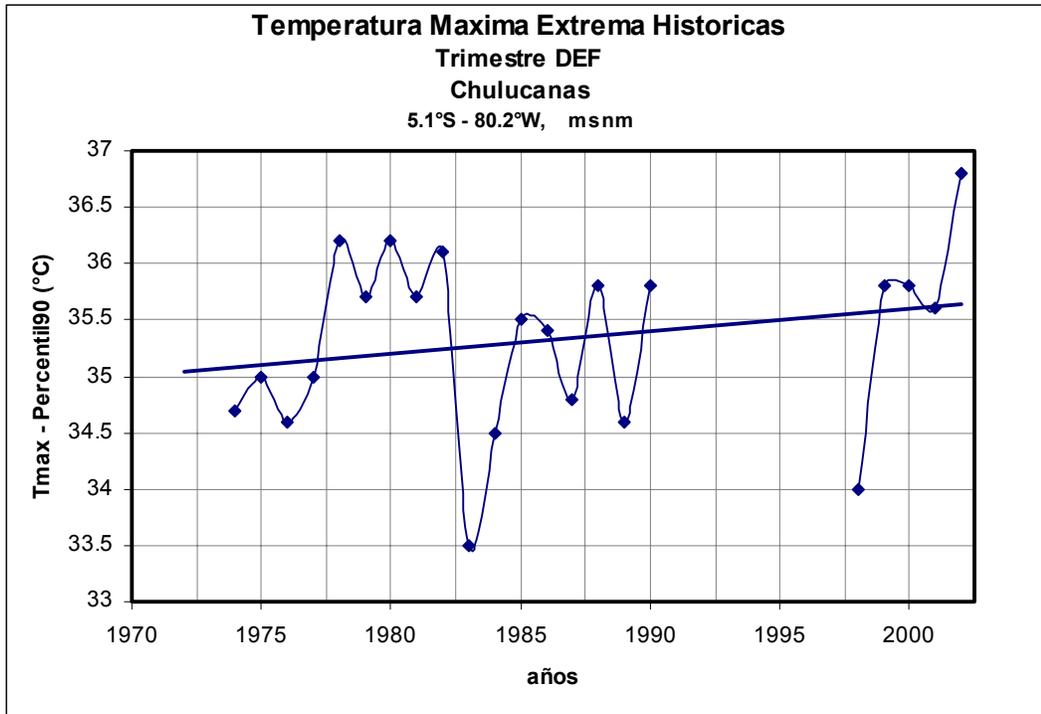


Fig. 63 Temperatura máxima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM Estación Chulucanas

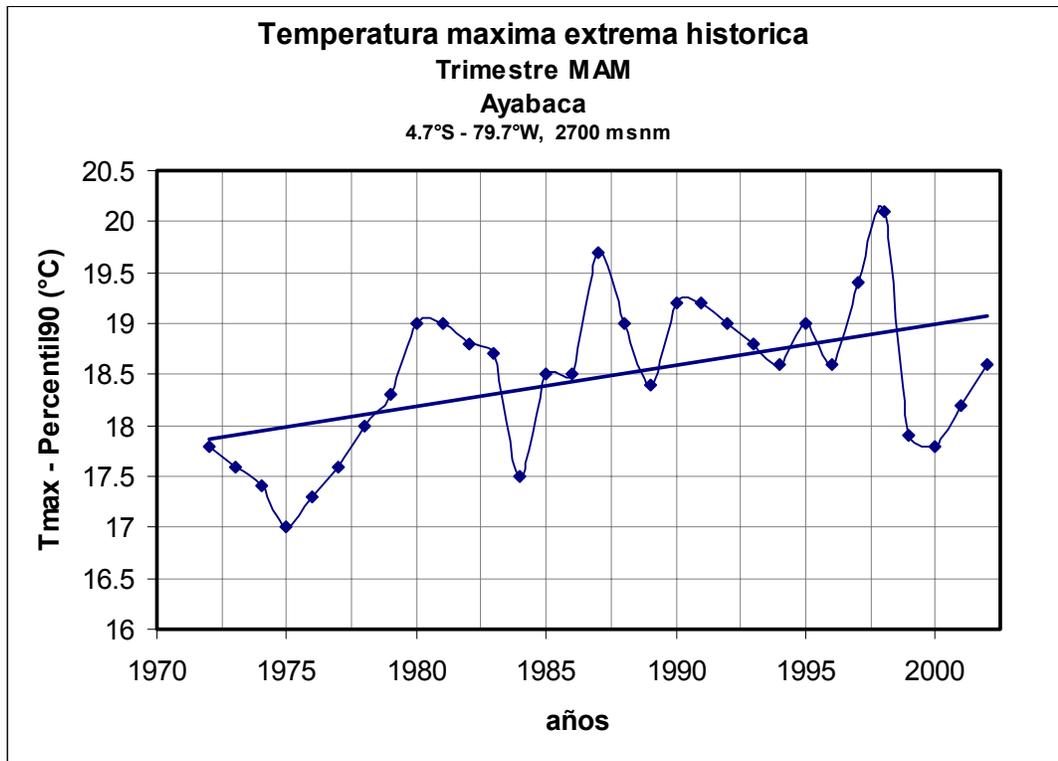
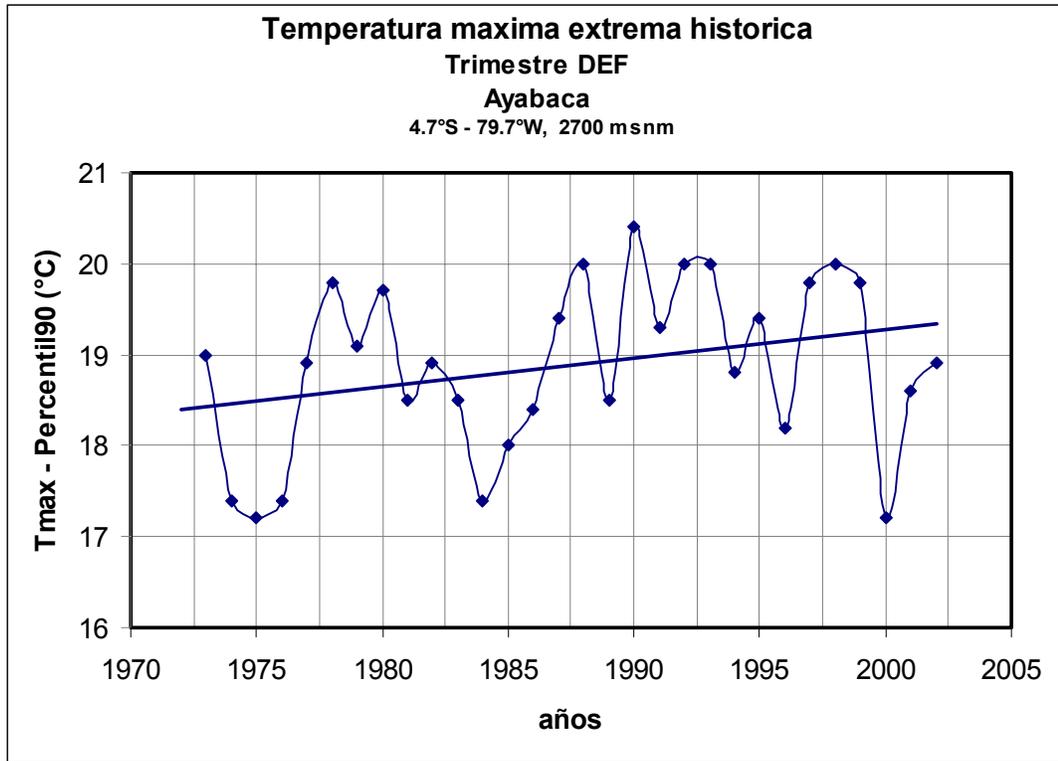


Fig. 64 Temperatura máxima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM Estación Ayabaca

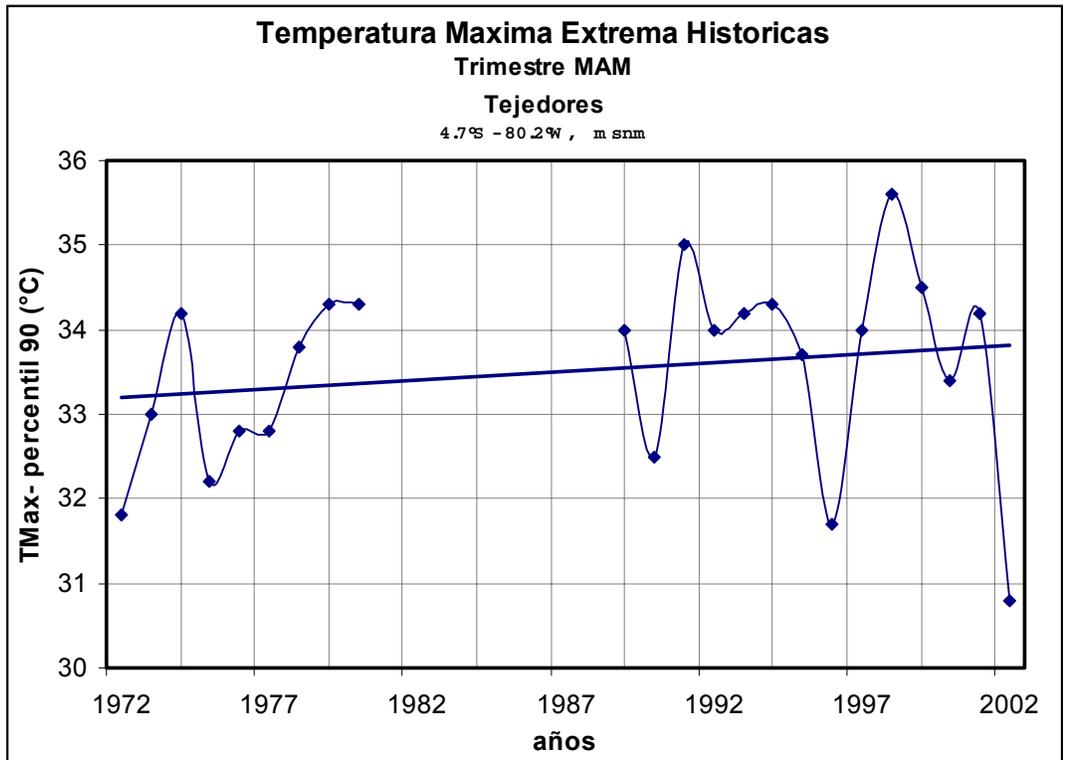
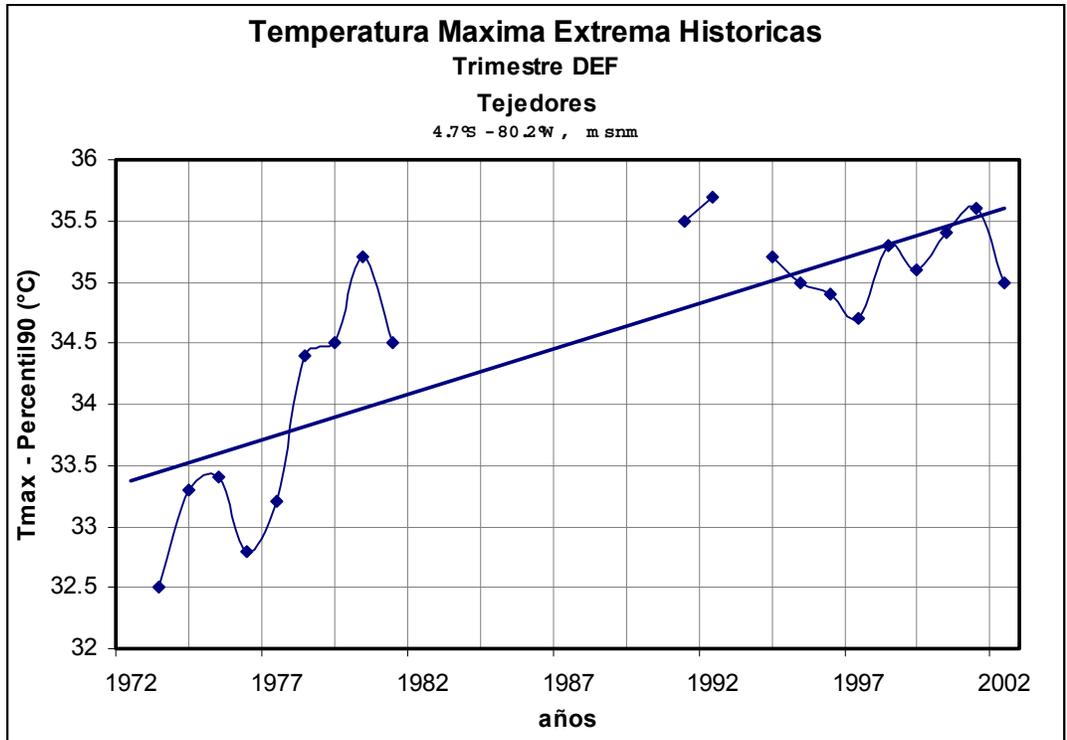


Fig. 65 Temperatura máxima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM Estación Tejedores

### 7.2.1.3 Temperatura Mínima Extrema Histórica

A continuación se presentan series de tiempo (Figs. 65-69) de los percentiles 90 de la temperatura mínima del aire en algunas estaciones de observación meteorológica de la Cuenca del Río Piura durante DEF y MAM. La tendencia positiva que se observa en la mayoría de las estaciones es más moderada respecto a las tendencias de la temperatura máxima y precipitación. Para el trimestre DEF, lo más significativo se da en la estación Morropón, con 2°C /100 años, seguido de Miraflores con 1.6°C/100 años. En la estación de Chulucanas, no se aprecia ninguna variación del comportamiento temporal de esta variable, mientras que en la estación de Ayabaca se aprecia una ligera tendencia negativa en los percentiles 90. En lo que respecta al trimestre MAM, el incremento si es mayor, así tenemos en las estaciones de Miraflores y Morropón una tendencia de 4°C y 3°C en 100 años, respectivamente. Una ligera tendencia positiva se observa en Chulucanas, mientras que la tendencia es negativa en Ayabaca y Tejedores.

Los mapas del Anexo E, resumen las diferentes series de tiempo de las tendencias de temperaturas mínimas extremas. En DEF (mapa E.1), en la zona norte de la cuenca se aprecia un centro de tendencias positivas. La característica más evidente es la presencia de valores relativamente pequeños, por ejemplo en Tejedores se aprecia una tendencia de 1.3°C/100 años, lo que significa 0.4°C en 30 años, por lo que los extremos de este parámetro probablemente no van a cambiar significativamente en los próximos años.

En MAM (mapa E.2), la zona norte de la cuenca (Tejedores, Tambogrande y Ayabaca) presenta una tendencia negativa de temperaturas mínimas extremas, mientras que al sur los valores son positivos (Huarmaca, Virrey, Bigote), incluyendo el Bajo Piura. La característica más notable es la presencia de valores relativamente pequeños, por ejemplo en Miraflores se aprecia una tendencia de 2°C /100 años, lo que significa 0.6°C en 30 años, por lo que los extremos de este parámetro probablemente no van a cambiar significativamente en los próximos años.

En el mismo anexo E, se presentan en los mapas E.3 y E.4 los máximos valores del percentil 90 de temperatura mínima para DEF y MAM respectivamente. Estos mapas son indicadores de máximos extremos de temperatura mínima. Durante DEF y MAM la región costera, es la que tiene los máximos extremos de temperatura mínima (las temperaturas mínimas más altas), alcanzando valores cercanos a 26°C. Esta información nos indica que la referida zona es la que soporta los máximos valores de temperaturas mínimas extremas. En el resto de la cuenca, los valores de los extremos de temperatura mínima dependen de la altitud de la estación. En las zonas altas de Huancabamba por ejemplo, éstos bordean los 16° C. En el Bajo Piura y Cuenca Media, los valores se encuentran en el rango de los 25 °C.

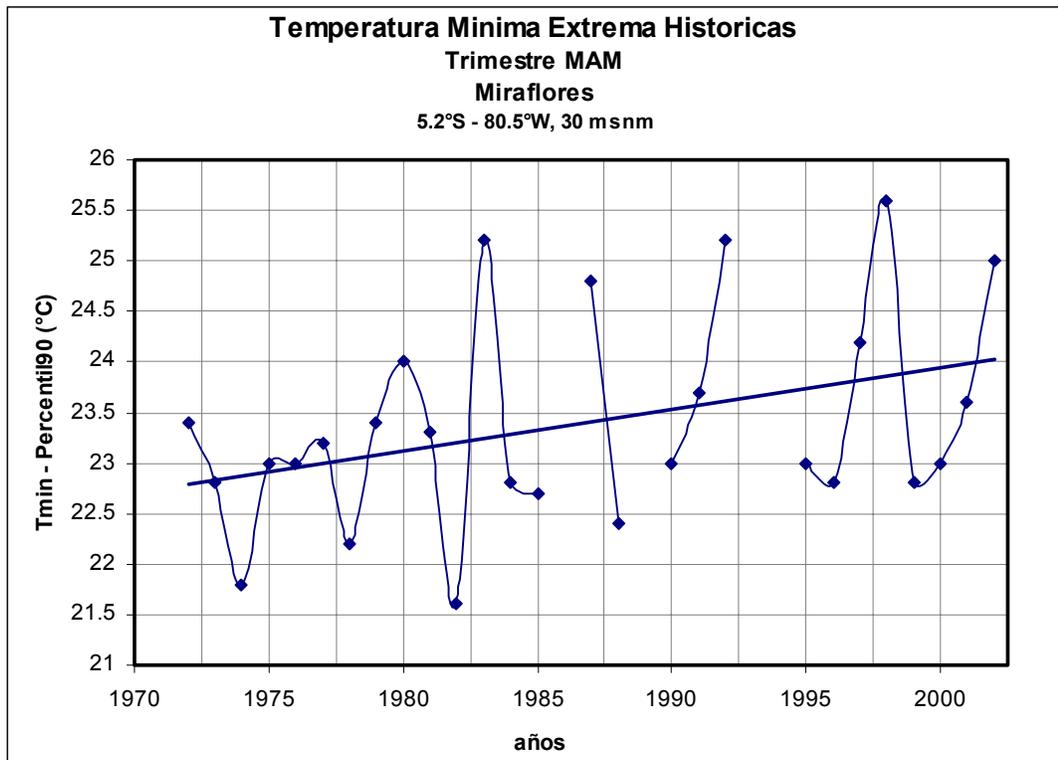
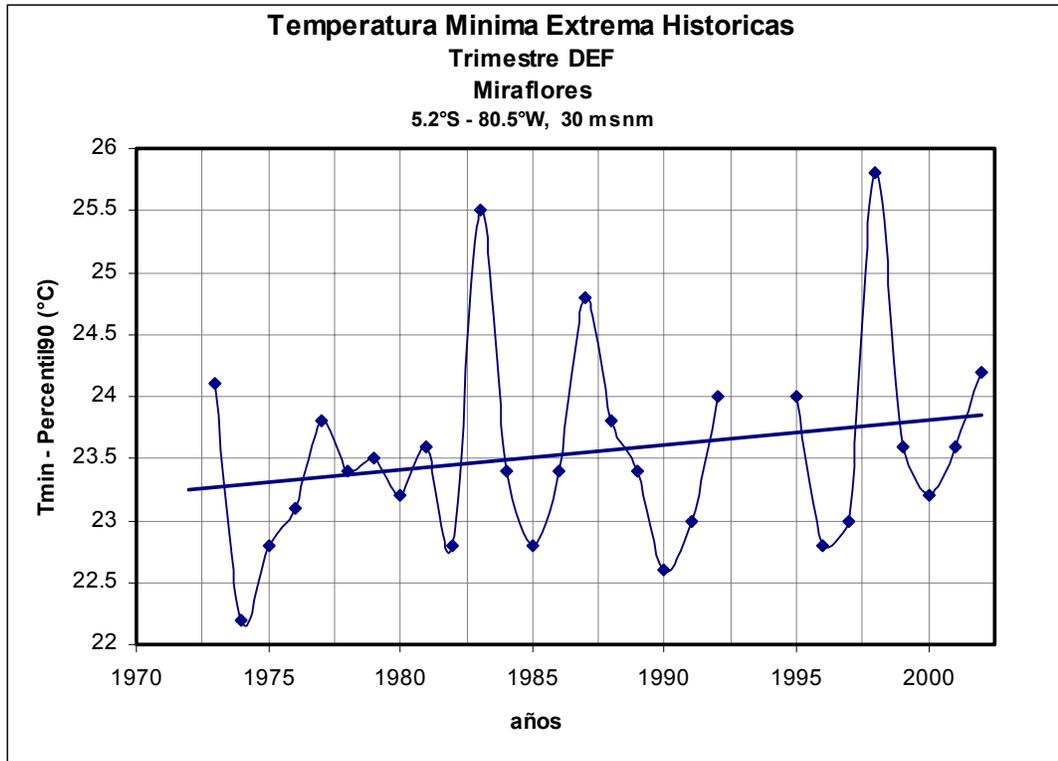


Fig. 66 Temperatura mínima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM Estación Miraflores

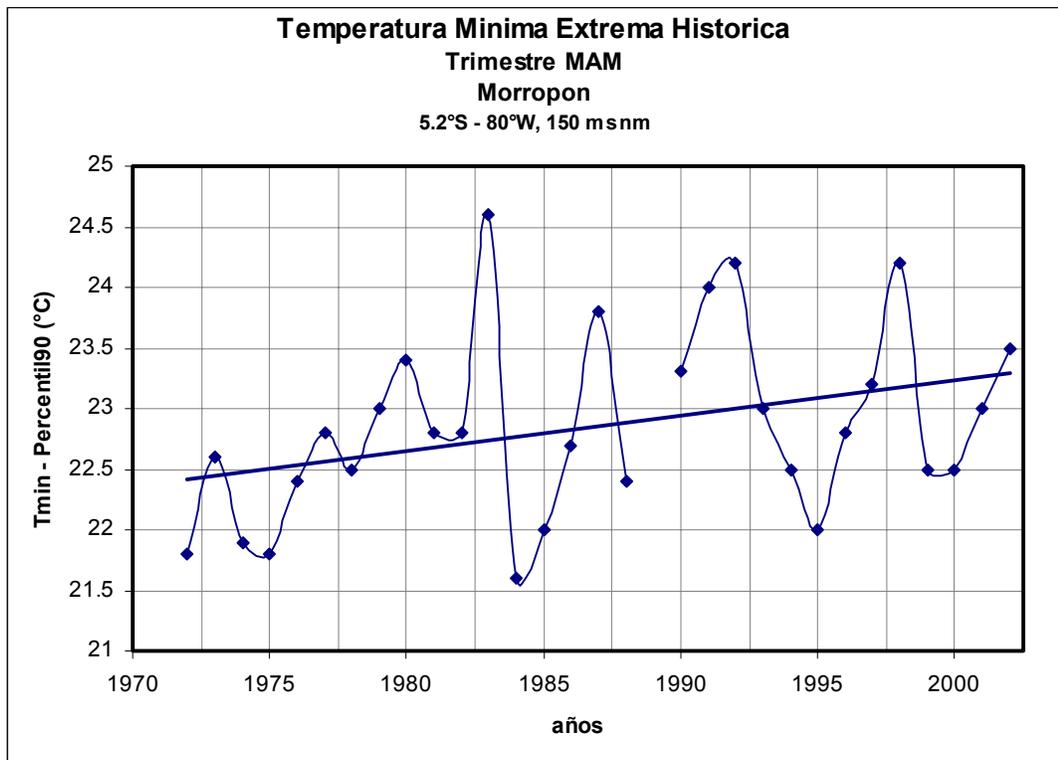
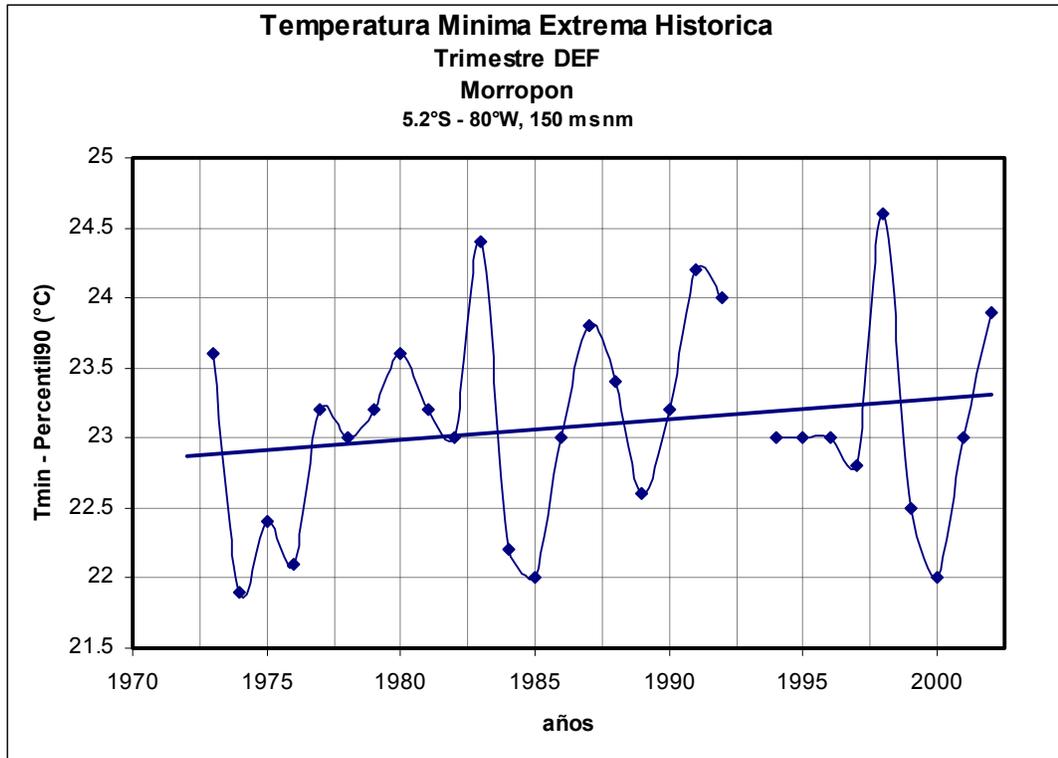


Fig. 67 Temperatura mínima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM Estación Morropon

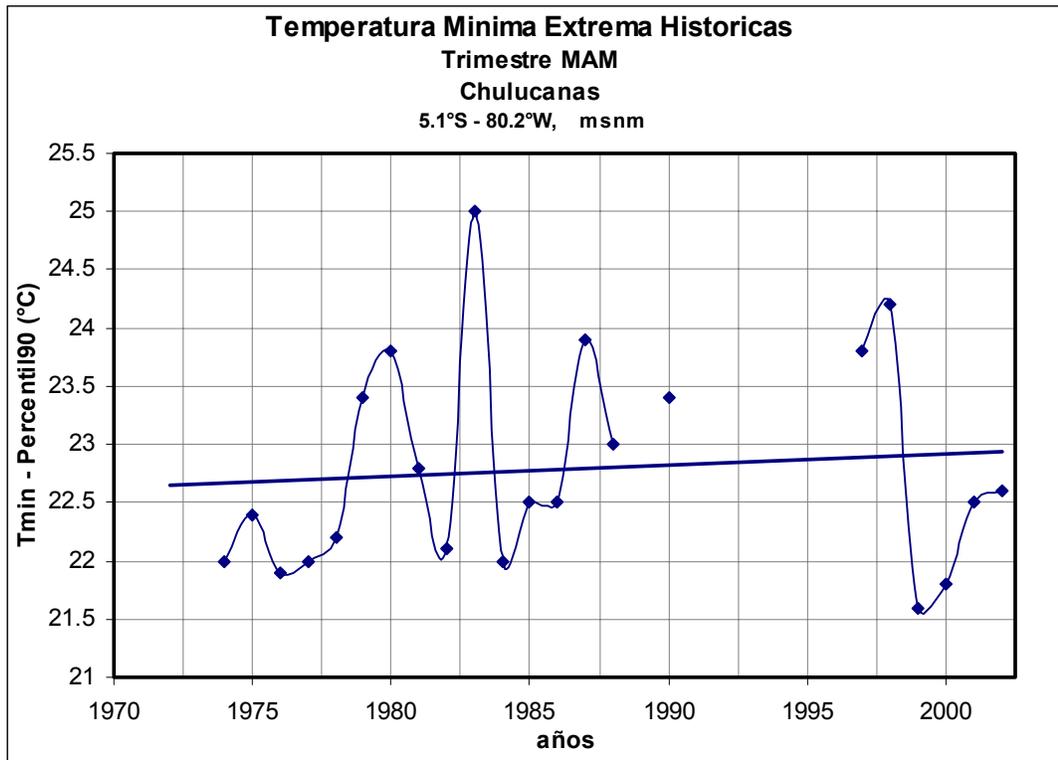
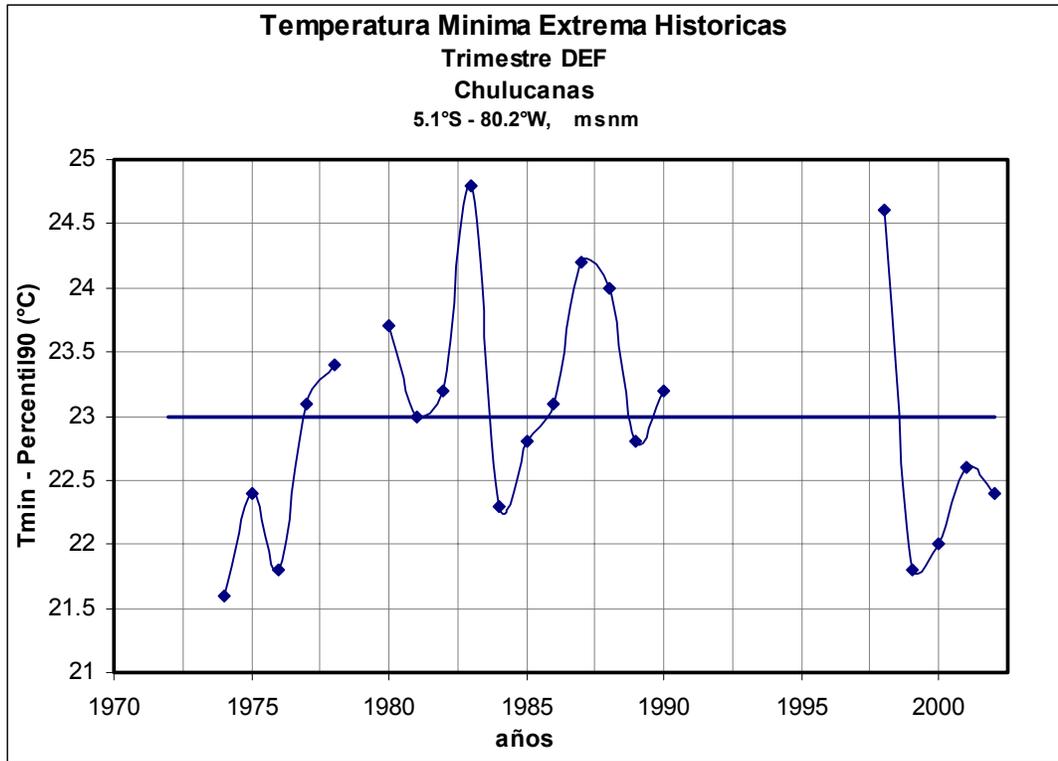


Fig. 68 Temperatura mínima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM Estación Chulucanas

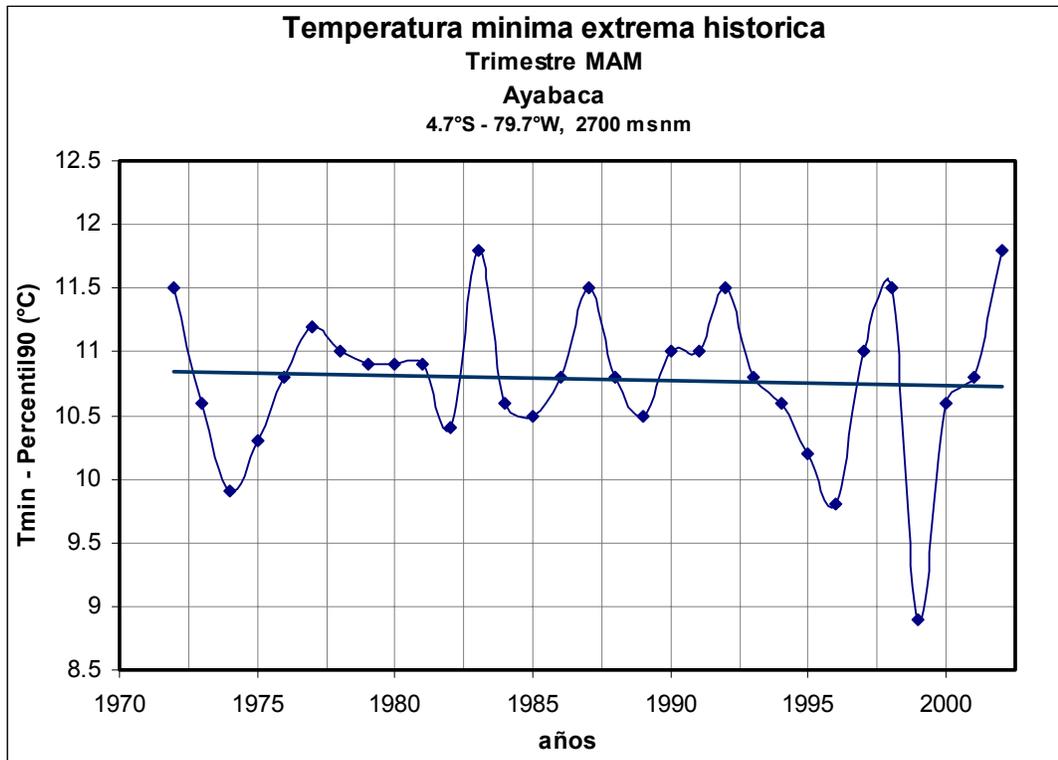
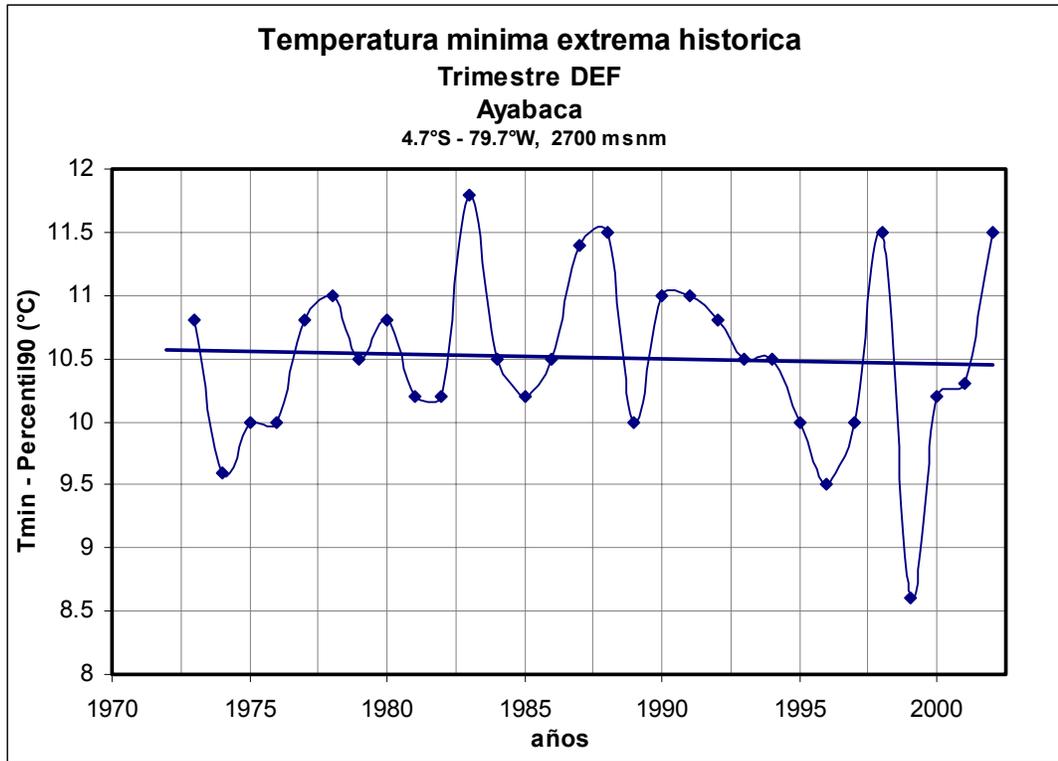


Fig. 69 Temperatura mínima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM Estación Ayabaca

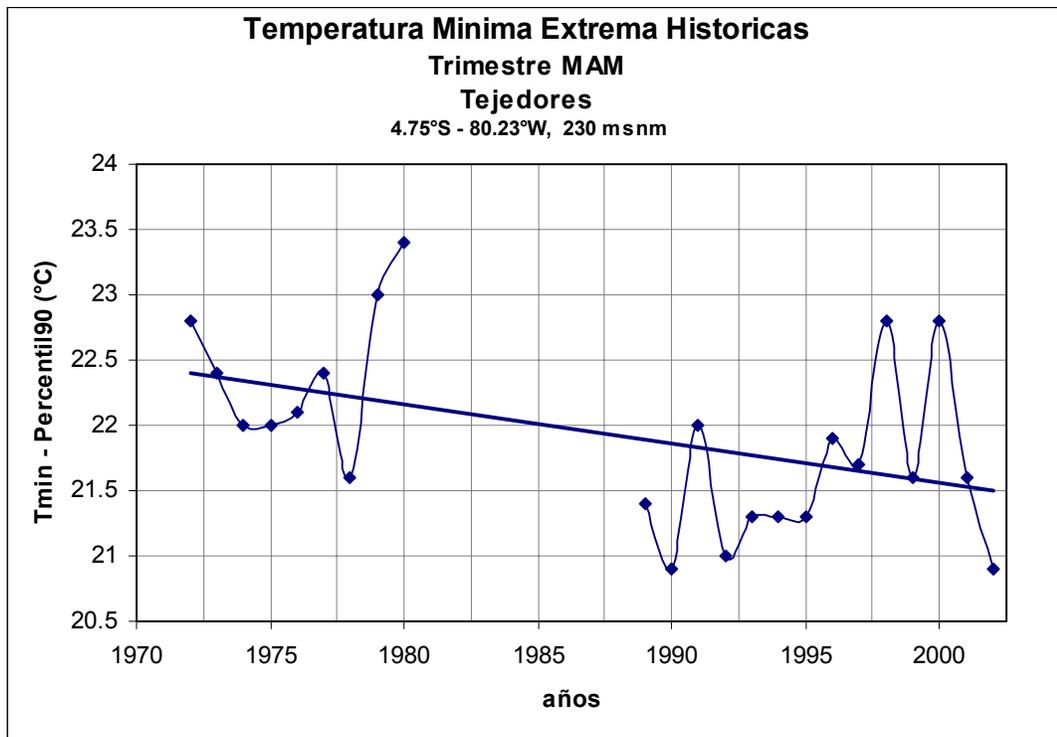
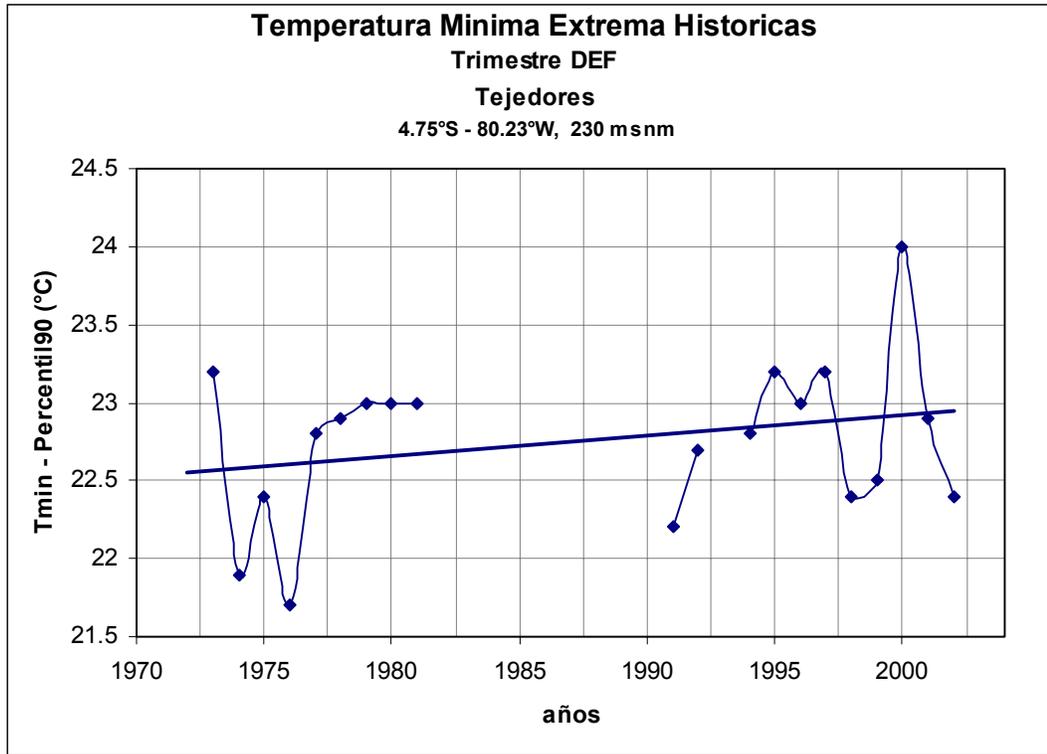


Fig. 70 Temperatura mínima extrema histórica (percentil 90) durante DEF y MAM Estación Tejedores

## 7.2.2 Posibles Tendencias Futuras de Eventos de Precipitación Extrema

En las Figuras 71 al 75, se presentan las series de tiempo de los percentiles 95 de la precipitación extrema proyectada al 2020 en algunas localidades de la Cuenca del Río Piura, para lo cual se utilizó el software STARDEX a partir de simulaciones climáticas realizadas por el modelo regional RAMS, en el contexto del escenario A2.

El lector debe recordar que las proyecciones de eventos extremos se hicieron hasta el año 2035; no obstante, en el presente reporte se presentan sólo las proyecciones al 2020 a solicitud de las instituciones co-ejecutoras del proyecto.

Cuadro Resumen 8: Tendencia Histórica y Futura de la Precipitación Extrema

Estación	Trimestre	Tendencia Histórica	Tendencia 2005 - 2020
Virrey	DEF	+	*
	MAM	+	+
Hacienda Bigote	DEF	+	+
	MAM	+	+
Chalaco	DEF	*	+
	MAM	+	+
Morropón	DEF	+	+
	MAM	-	-
Ayabaca	DEF	+	+
	MAM	+	+

Legenda: (+) tendencia positiva; (-) tendencia negativa, (\*) no hay variación  
 DEF: diciembre – enero – febrero : estación de verano  
 MAM: marzo – abril – mayo : estación de otoño

En el cuadro resumen 8, se advierte que en la estación **Virrey**, la tendencia de los eventos extremos de precipitación podría no presentar cambios para el trimestre DEF (verano) al 2020, a los que ya se venía observando. Para el trimestre MAM (otoño), la tendencia positiva observada actualmente, continuaría por lo menos en los próximos 15 años. En la estación **Hda. Bigote y Ayabaca**, la tendencia proyectada en ambos trimestres es positiva, guardando relación con la tendencia observada. En la estación de **Chalaco**, las proyecciones al 2020 indican que la tendencia podría ser positiva tanto en verano como en otoño. En la estación **Morropón**, las tendencias positiva y negativa observadas en verano y otoño respectivamente, continuarían hacia el 2020; sin embargo, los montos podrían disminuir.

Adicionalmente en el anexo F, se presentan mapas de tendencias de los percentiles 95 de la precipitación para el período 2005-2020. En el mapa correspondiente a DEF (mapa F.1), se pueden apreciar que las tendencias probablemente serán positivas en las partes medias y altas de la cuenca. En las partes bajas, éstas probablemente serán negativas indicando que podrían disminuir de intensidad en los próximos años. Ello indicaría que la mayoría de los impactos hidrometeorológicos estarían asociados a desbordes de ríos por intensas precipitaciones en las partes medias y altas de la cuenca. Con respecto a MAM (mapa F.2), la situación es similar, sin embargo aparece una nueva región con tendencias positivas ubicada en la parte baja de la cuenca cerca de la estación de Chusis. Si recordamos que en el análisis histórico de los percentiles 95 de precipitación, tal región ya está soportando precipitaciones extremas altas, generalmente asociadas a El Niño (ver mapa C.4), podemos concluir que esa es otra zona con riesgos altos en los próximos años.

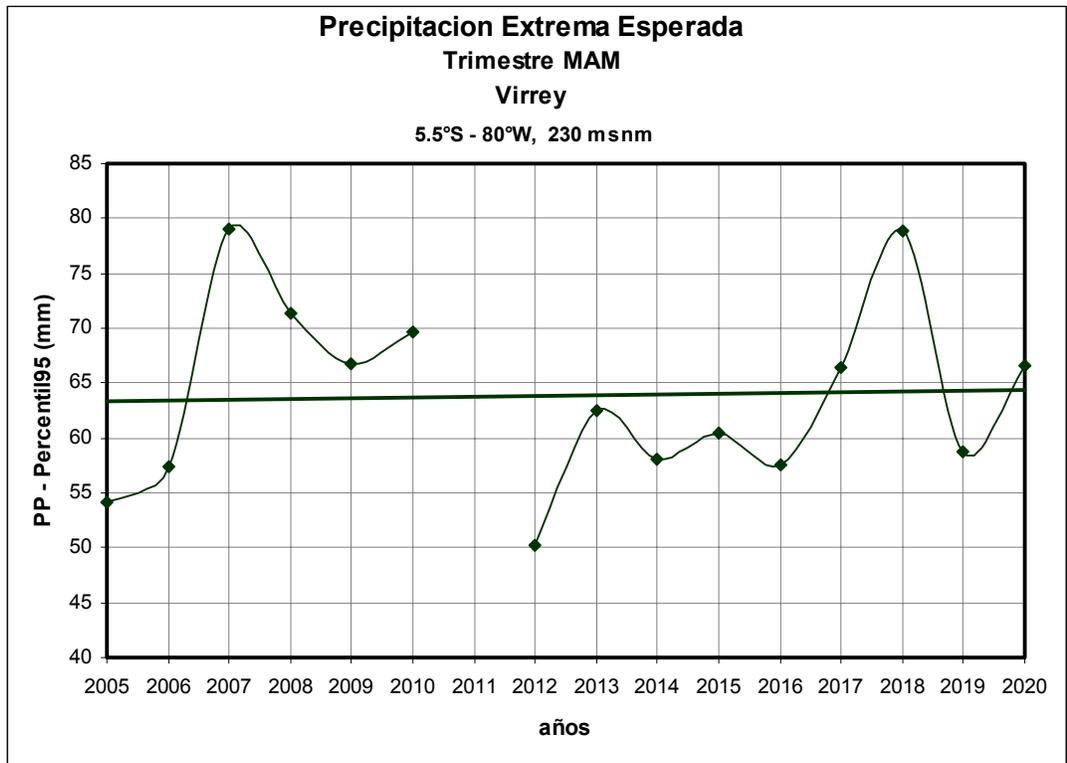
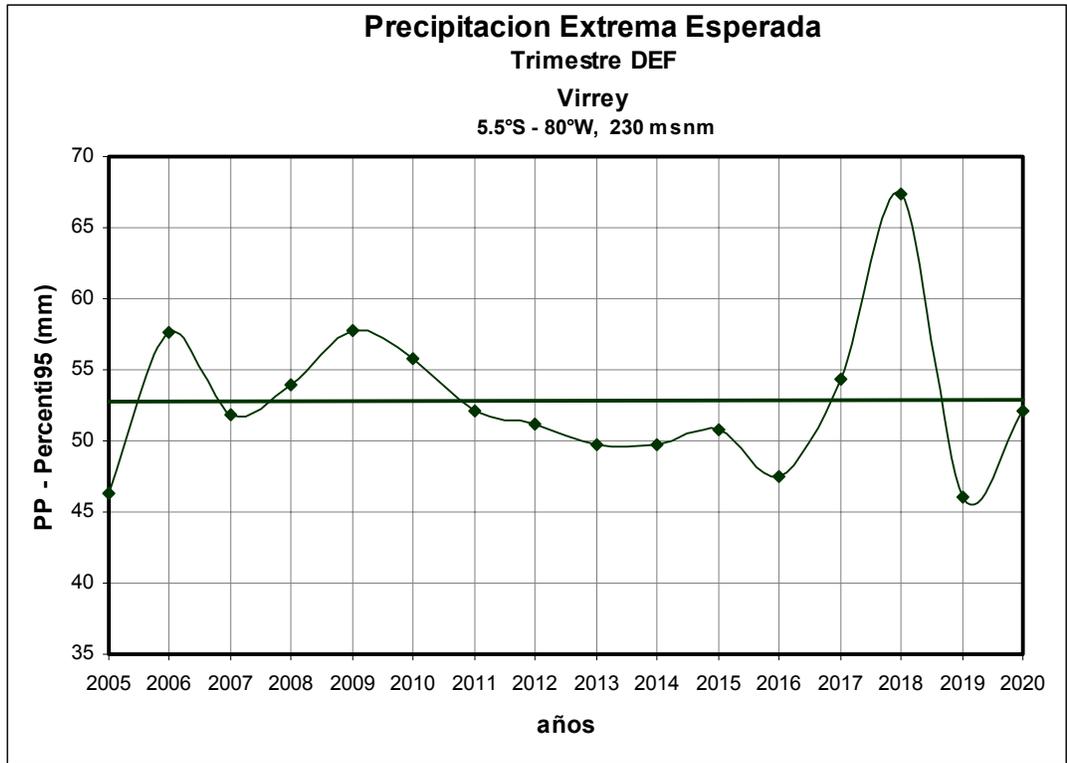


Fig. 71 Precipitación extrema esperada (percentil 95) durante DEF y MAM. Estación Virrey

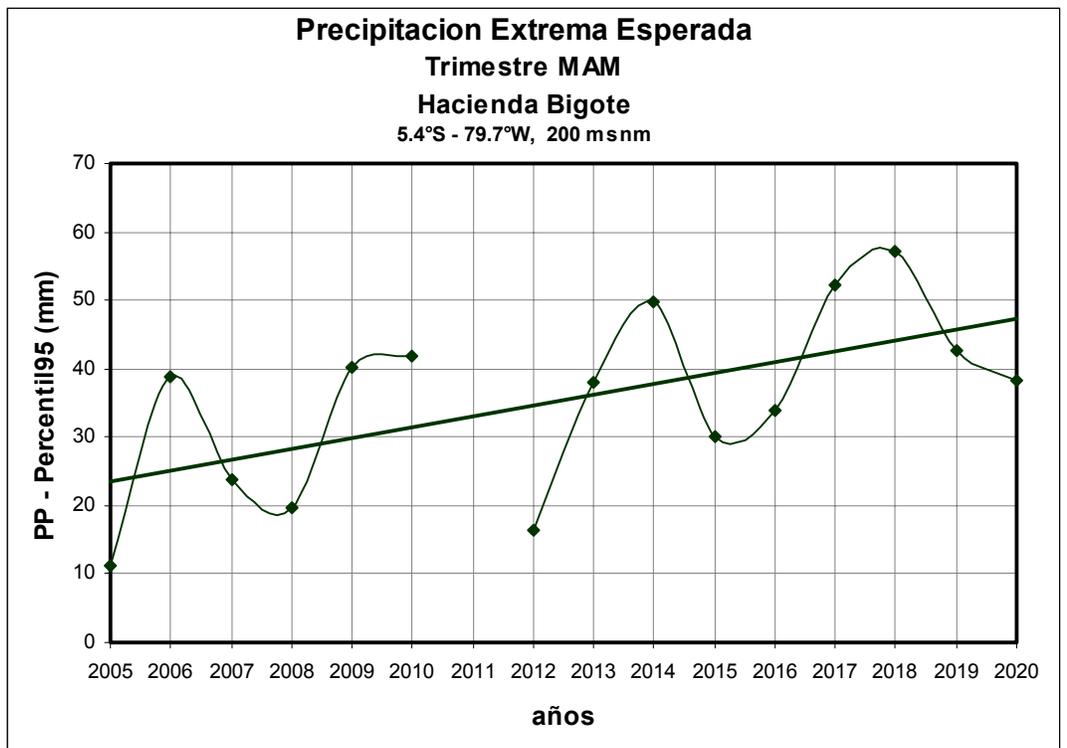
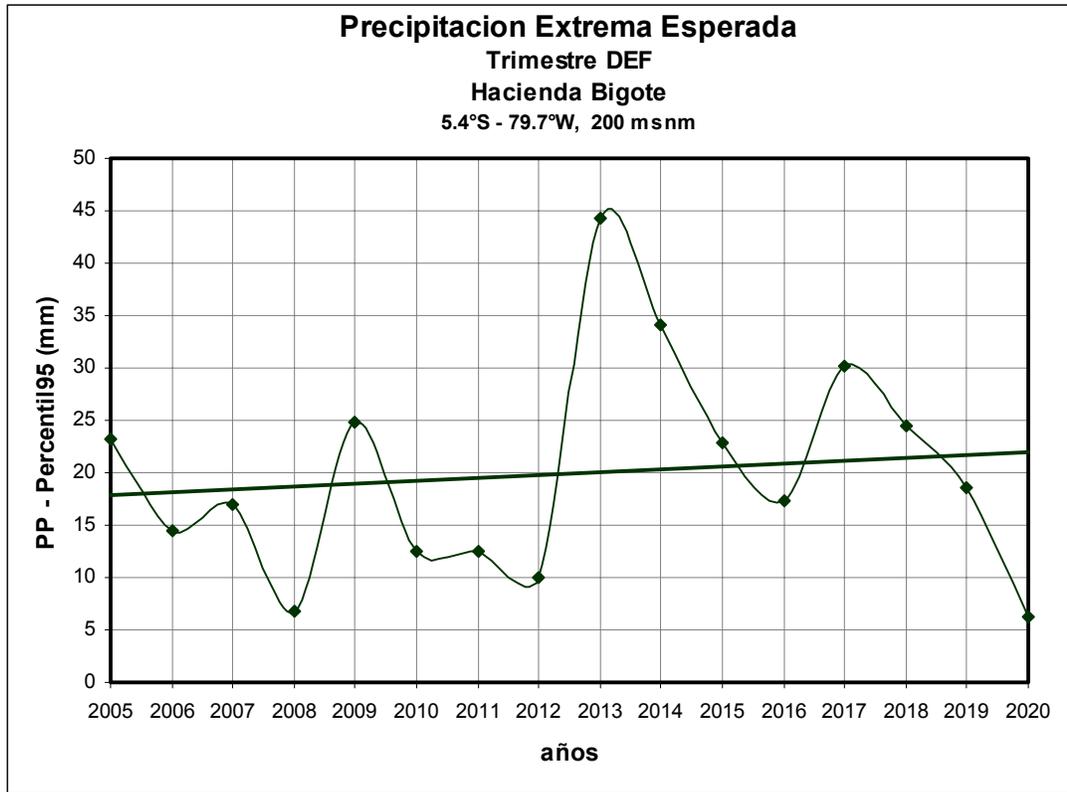


Fig. 72 Precipitación extrema esperada (percentil 95) durante DEF y MAM. Estación Hacienda Bigote

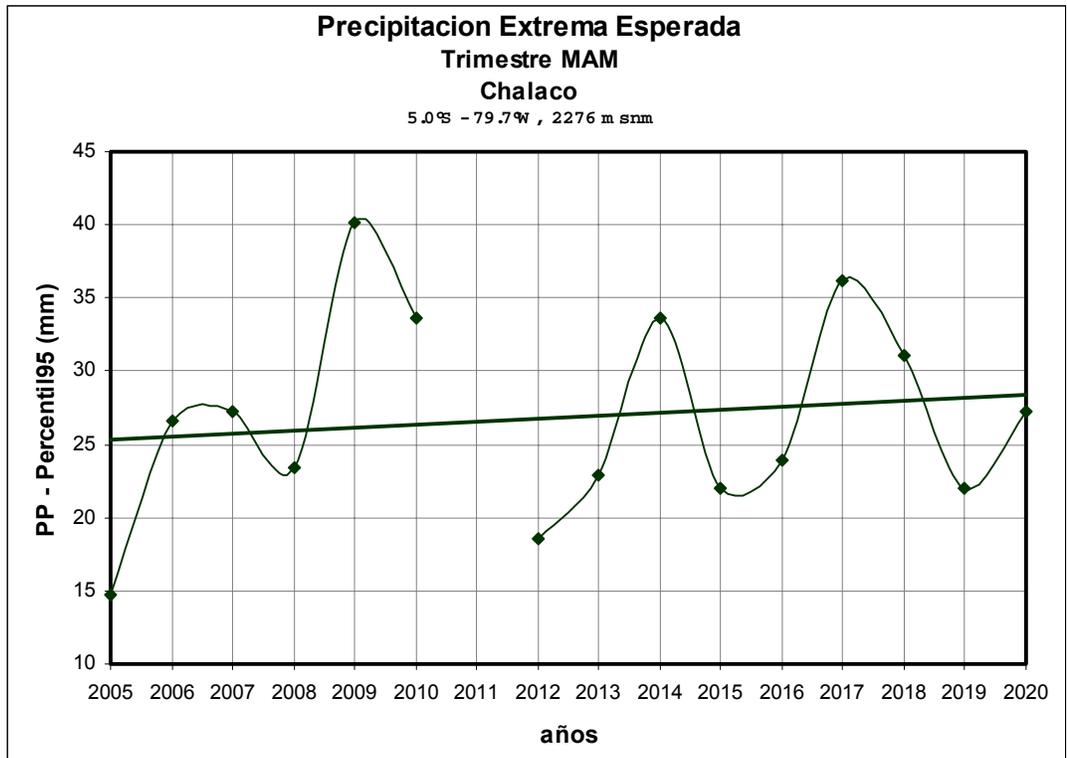
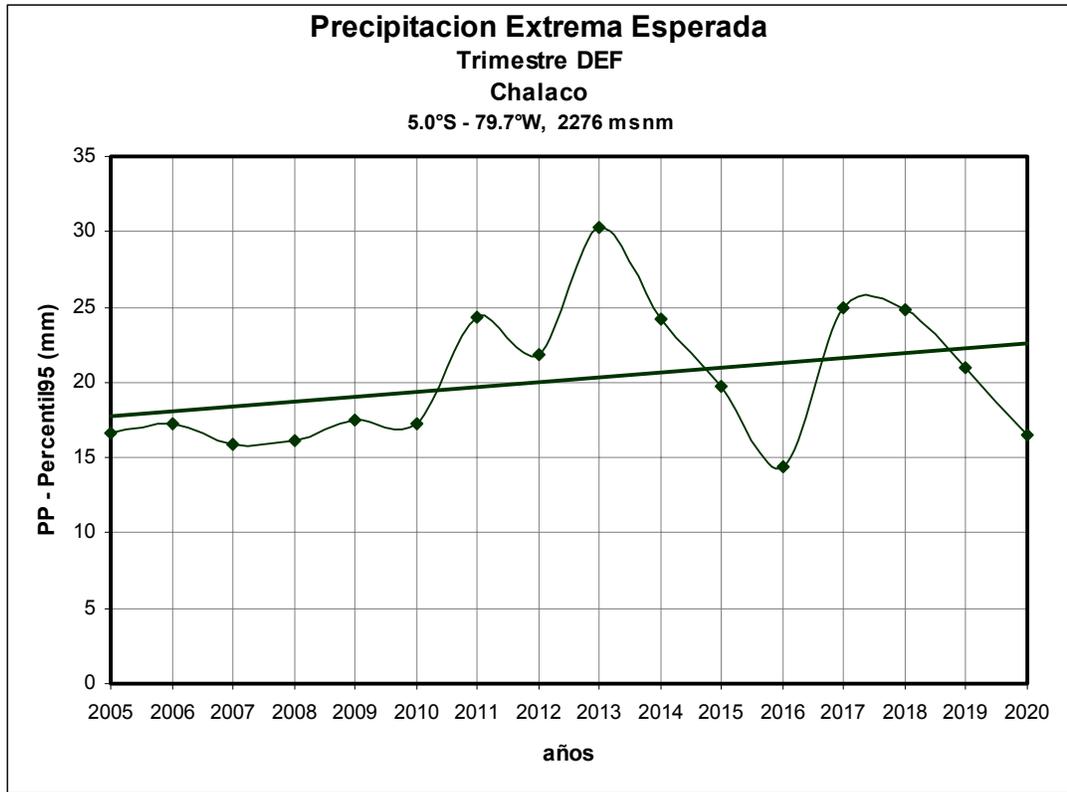


Fig. 73 Precipitación extrema esperada (percentil 95) durante DEF y MAM. Estación Chalaco

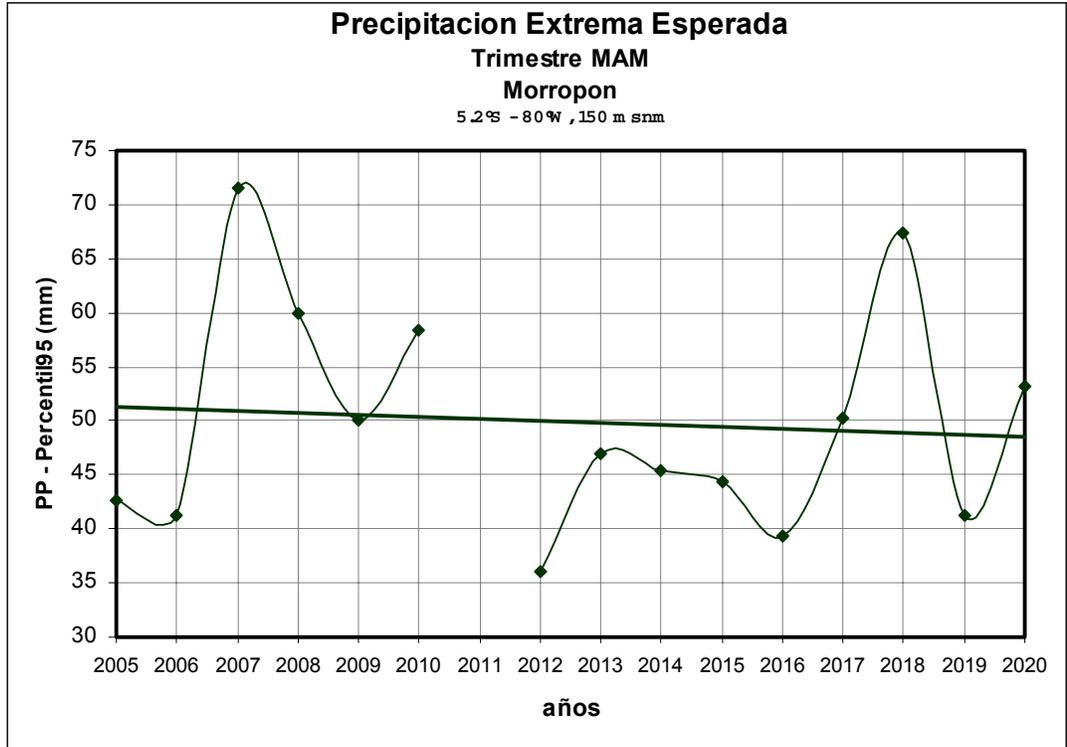
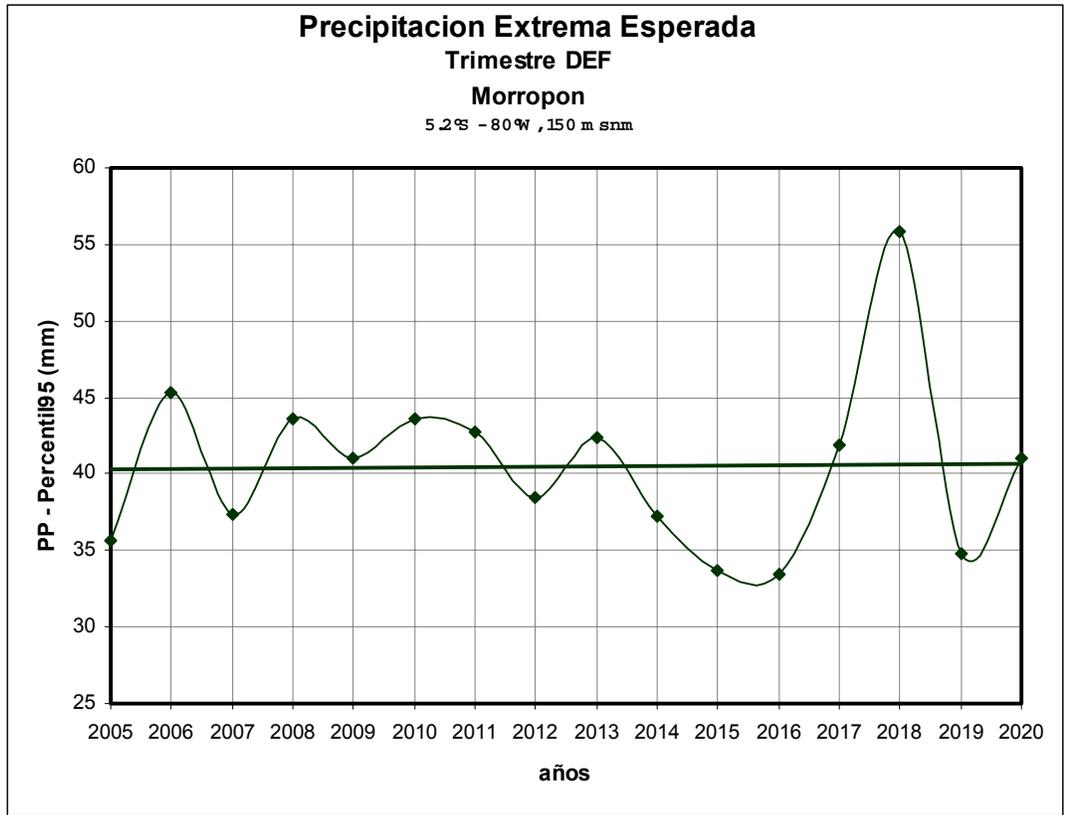


Fig. 74 Precipitación extrema esperada (percentil 95) durante DEF y MAM. Estación Morropón

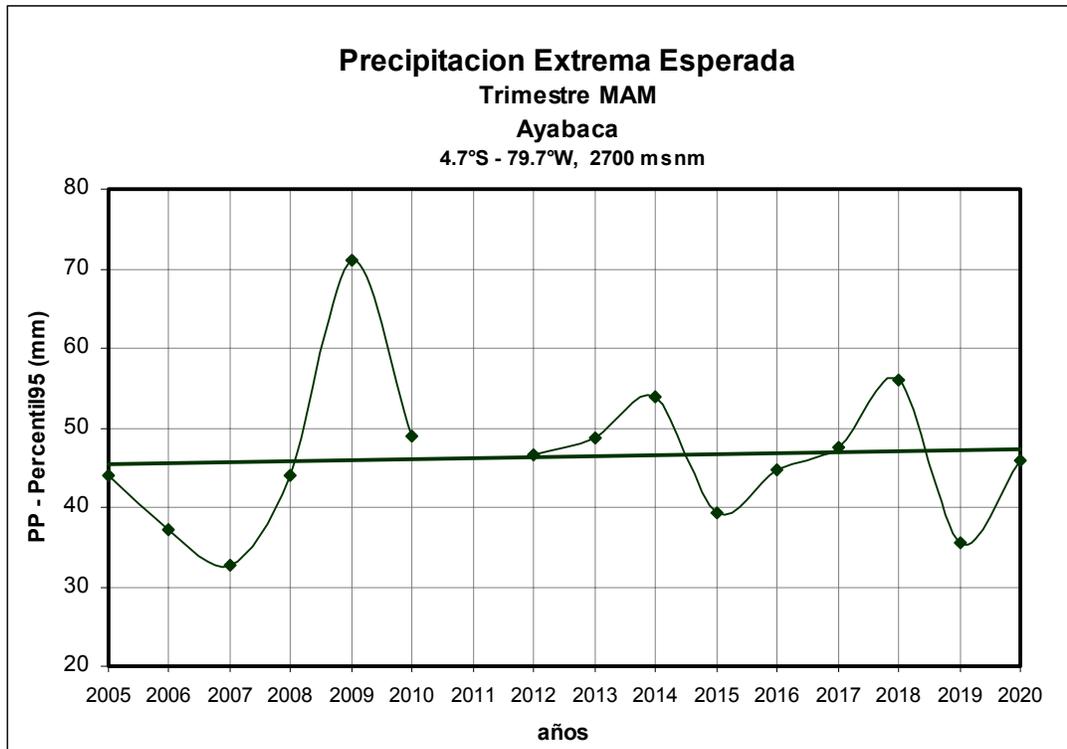
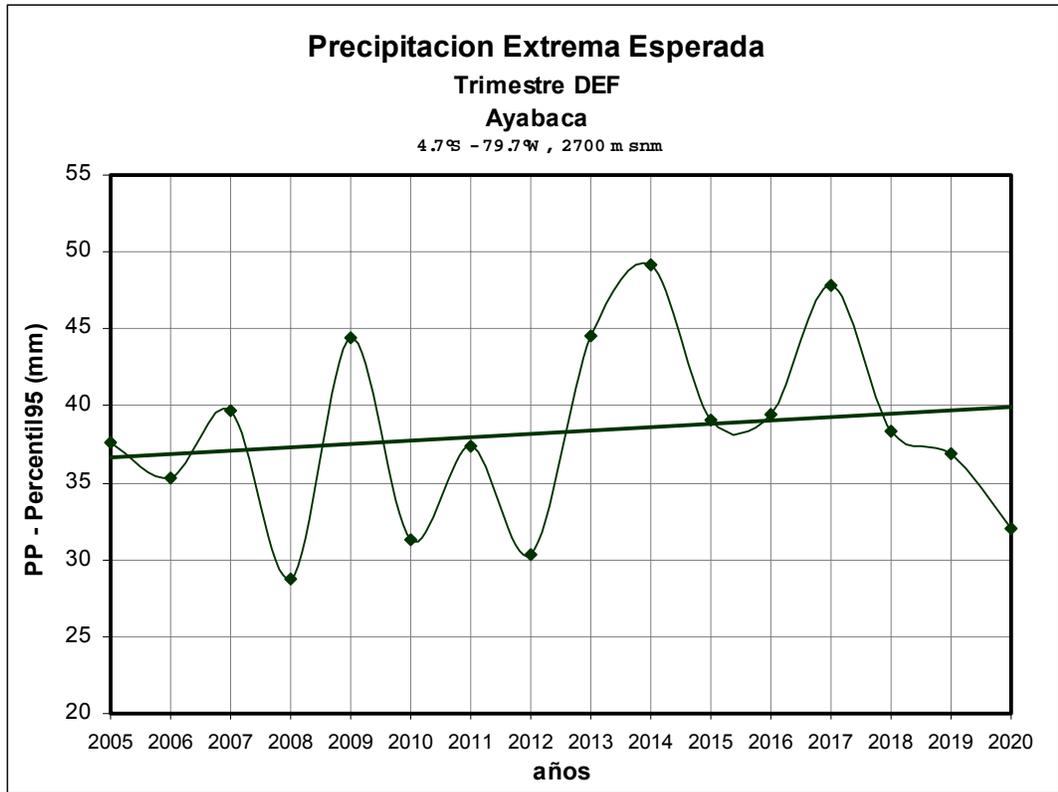


Fig. 75 Precipitación extrema esperada (percentil 95) durante DEF y MAM. Estación Ayabaca

### 7.2.3 Posibles Tendencias Futuras de Eventos Extremos de Temperaturas Máximas.

A continuación (Figuras 76 a 79), se presentan las series de tiempo de los percentiles 90 de la Temperatura Máxima Extremas proyectadas al 2020 en localidades de la Cuenca del Río Piura, para lo cual se utilizó el software STARDEX a partir de simulaciones climáticas regionalizadas por el modelo RAMS en el contexto del escenario A2. Se presenta el siguiente cuadro resumen.

Cuadro Resumen 9: Tendencia Histórica y Futura de Temperatura Máxima Extrema

Estación	Trimestre	Tendencia Histórica	Tendencia 2005 - 2020
Miraflores	DEF	+	+
	MAM	+	+
Morropón	DEF	+	+
	MAM	+	+
Chulucanas	DEF	+	+
	MAM	-	+
Ayabaca	DEF	+	+
	MAM	+	+

Leyenda: (+): tendencia positiva; (-): tendencia negativa, (\*): no hay variación  
 DEF: diciembre – enero – febrero : estación de verano  
 MAM: marzo – abril – mayo : estación de otoño

En el cuadro resumen 9, podemos apreciar que la tendencia histórica de los eventos de temperaturas máximas extremas en las estaciones analizadas es positiva, tanto en verano como en otoño. Según las proyecciones al 2020, esta tendencia continuaría en todas las estaciones y en ambos trimestres, incluso en la estación de **Chulucanas** que venía presentando una ligera tendencia negativa en el otoño MAM.

Adicionalmente en el anexo G, se presentan mapas de tendencias de los percentiles 90 de la temperatura máxima para DEF y MAM (mapas G.1 y G.2), para el período 2005-2020. En el mapa correspondiente a DEF se pueden apreciar que las tendencias probablemente tendrán un máximo cerca de **Morropón** de alrededor de 3.5°C en 100 años. En el resto de la cuenca las tendencias podrán ser del orden de los 2°C/100 años. En el mapa correspondiente a MAM se pueden apreciar que las tendencias probablemente tendrán un máximo relativo cerca de **Tejedores** del orden de los 8°C /100 años. Las tendencias podrían ser positivas en la mayoría de las partes medias y altas de la cuenca.

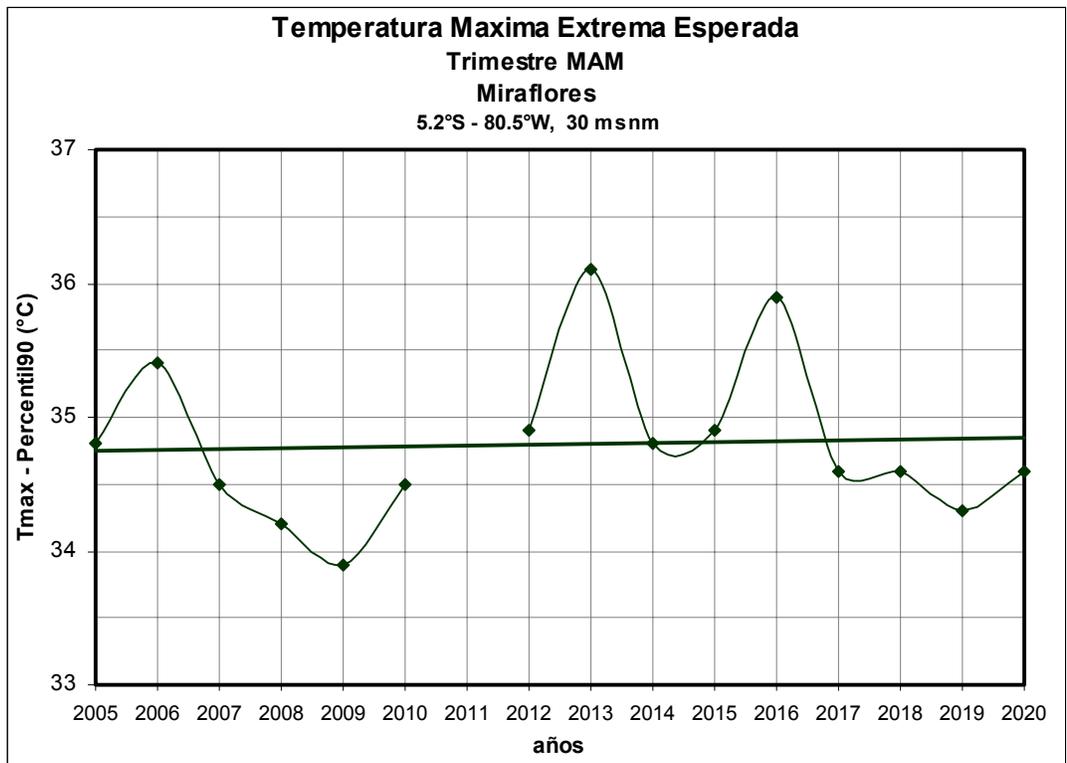
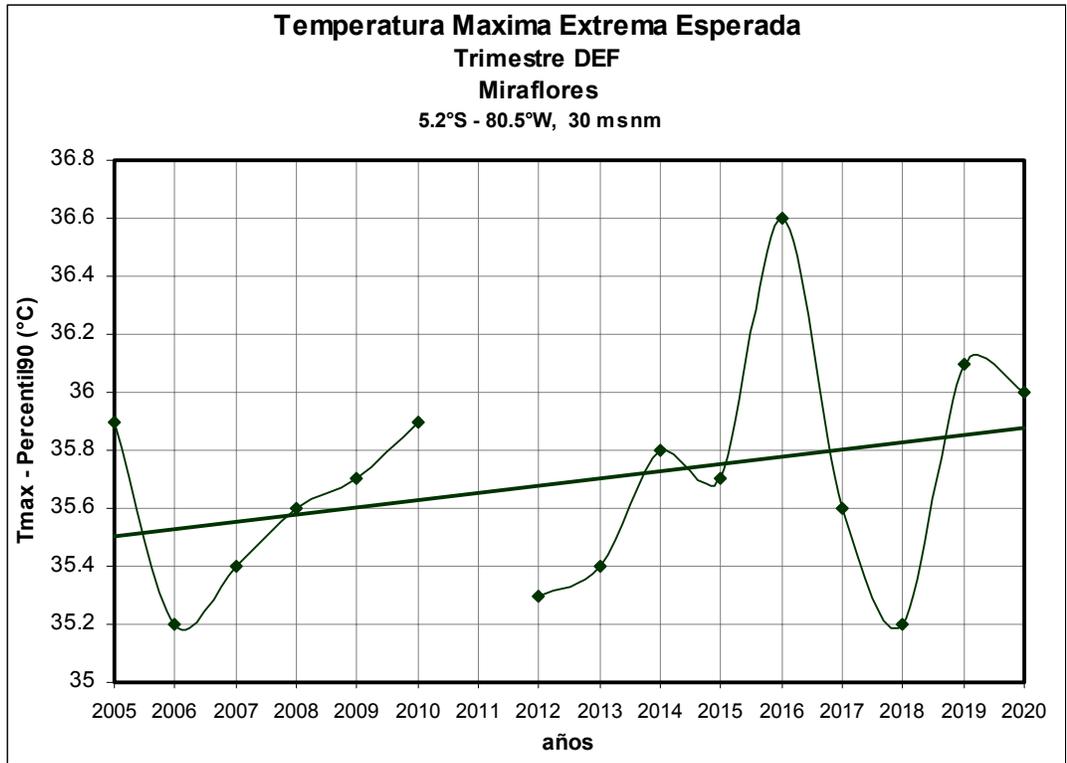


Fig. 76 Temperatura máxima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Miraflores

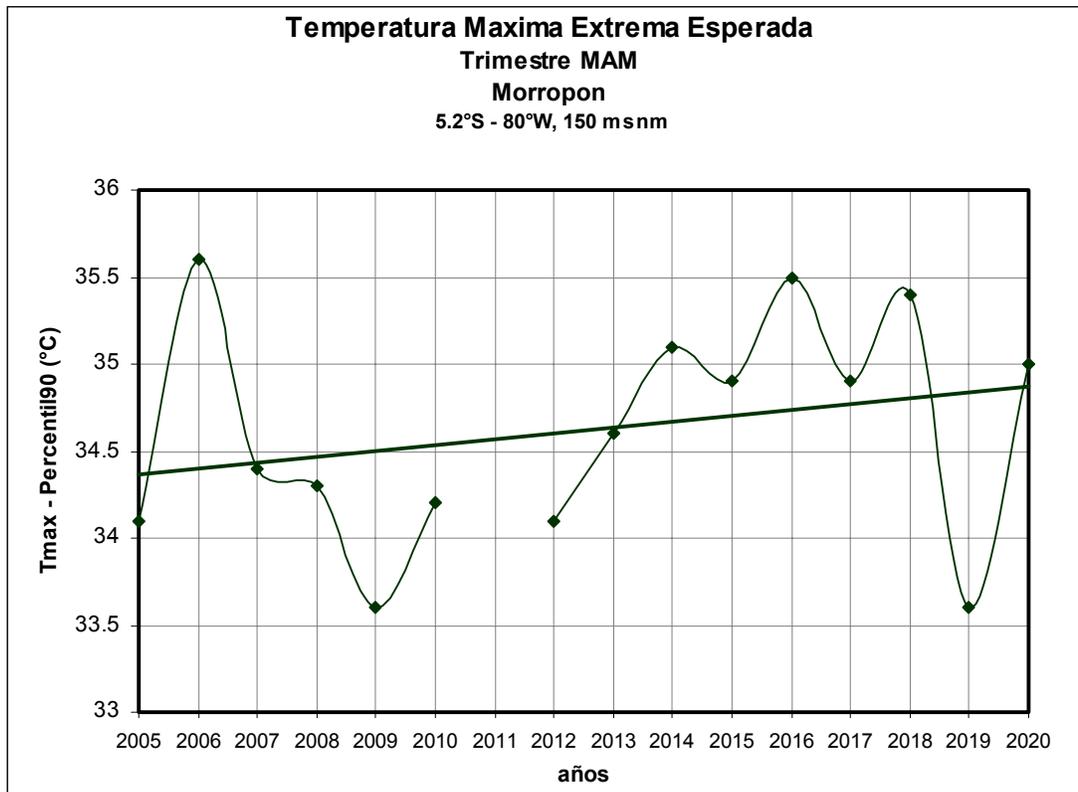
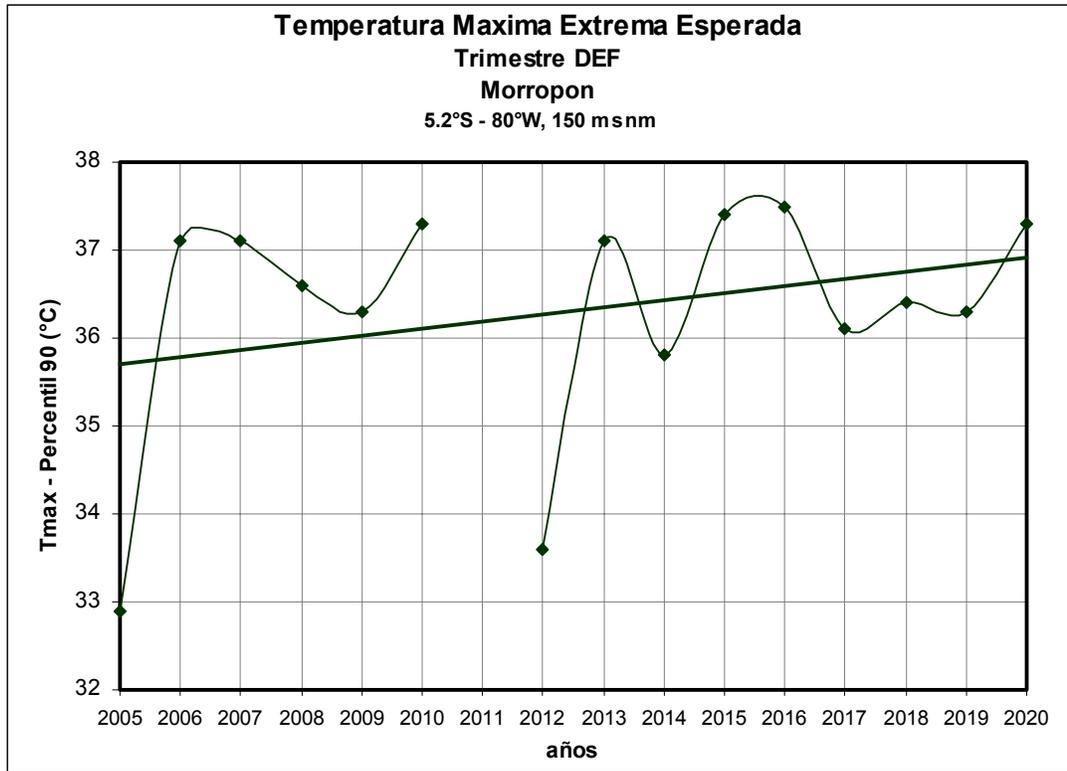


Fig. 77 Temperatura máxima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Morropón

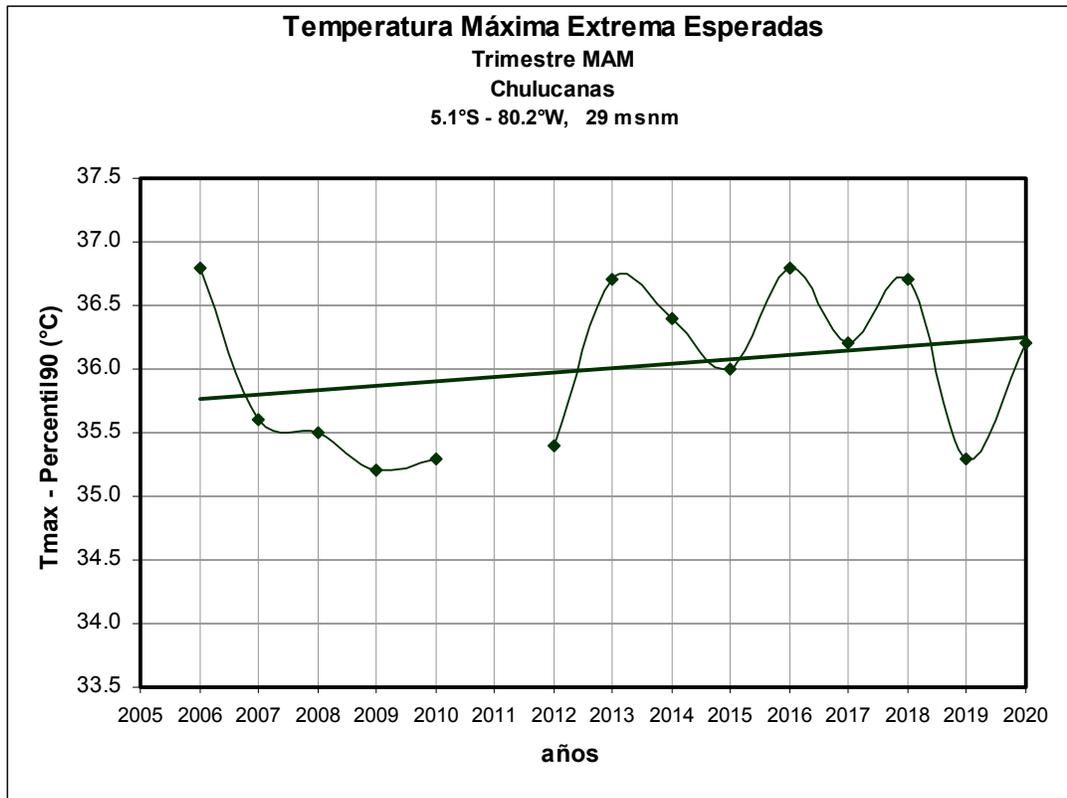
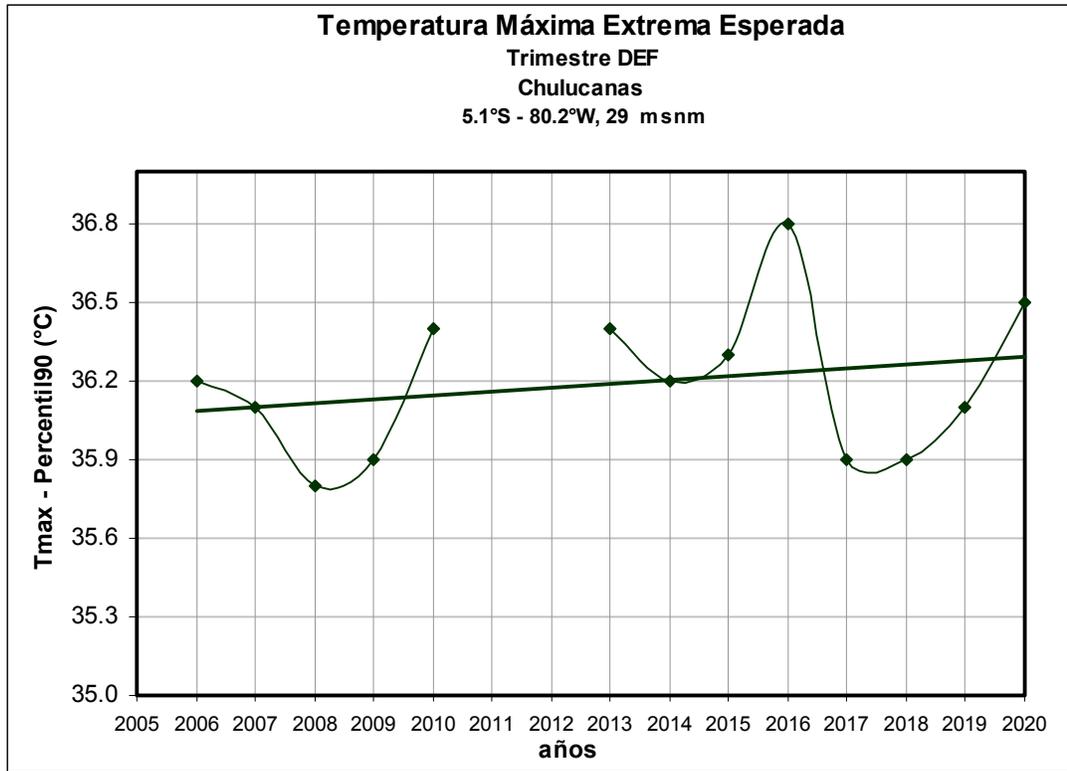


Fig. 78 Temperatura máxima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Chulucanas

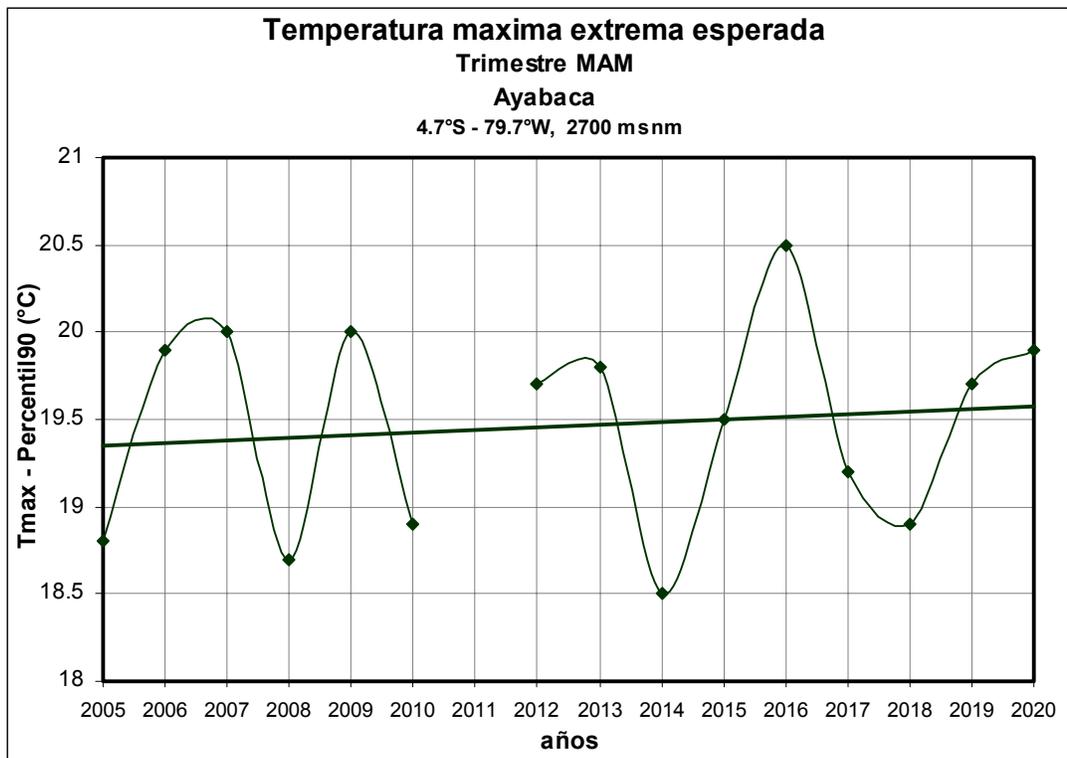
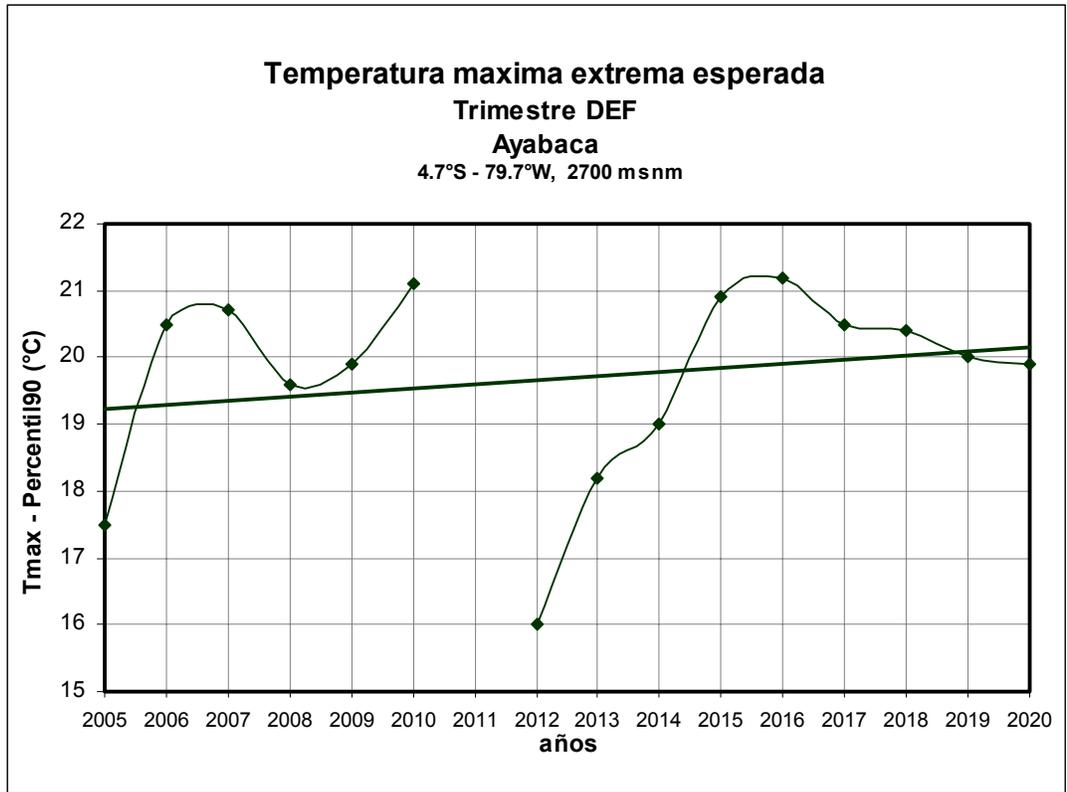


Fig. 79 Temperatura máxima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Ayabaca

### 7.2.4 Posibles Tendencias Futuras de Eventos Extremos de Temperaturas Mínimas.

En las Figuras 80-83 se presentan las series de tiempo de los percentiles 90 de la Temperatura Mínima Extrema proyectadas al 2020 en algunas localidades de la Cuenca del Río Piura, para lo cual se utilizó el software STARDEX a partir de simulaciones climáticas del modelo RAMS, en el contexto del escenario A2. En seguida se presenta un cuadro resumen:

Cuadro Resumen 10: Tendencia Histórica y Futura de Temperatura Mínima Extrema

Estación	Trimestre	Tendencia Histórica	Tendencia 2005- 2020
Miraflores	DEF	+	+
	MAM	+	-
Morropón	DEF	+	+
	MAM	+	-
Chulucanas	DEF	*	-
	MAM	+	-
Ayabaca	DEF	-	+
	MAM	-	+

Leyenda: (+): tendencia positiva; (-): tendencia negativa, (\*): no hay variación  
 DEF: diciembre – enero – febrero : estación de verano  
 MAM: marzo – abril – mayo : estación de otoño

En el cuadro resumen 10, puede verse que las proyecciones al 2020 para el verano tienden a ser positivas en la mayoría de las estaciones analizadas. En la estación **Chulucanas**, la data histórica venía mostrando una tendencia horizontal constante durante DEF, y las proyecciones al 2020 muestran una tendencia a la baja. Adicionalmente, la estación de **Ayabaca** que venía presentando tendencias negativas en ambos trimestres observados, podría a futuro estar presentando tendencias positivas en ambos períodos proyectados; es decir, las temperaturas mínimas extremas podrían ser más altas. La estación **Miraflores** podría continuar presentando tendencias positivas.

En lo que respecta al otoño, las tendencias al 2020 indican que la mayoría de las estaciones podrían presentar una tendencia a la baja, excepto en la estación **Ayabaca** que sería positiva.

En el anexo H, se presentan las tendencias de los percentiles 90 de la temperatura mínima extrema para los trimestres DEF y MAM en los mapas H.1 y H.2, respectivamente, para el período 2005-2020.

En el mapa correspondiente a DEF se pueden apreciar que las tendencias probablemente tendrán un máximo predominantemente en la región del Bajo Piura, de alrededor de 1.5°C/100 años, disminuyendo hacia las partes altas. En el mapa correspondiente a MAM se puede apreciar que las tendencias probablemente tendrán un máximo relativo en la parte norte de la Cuenca Media, cerca de **Tambogrande** del orden de 1.5°C /100 años. Las tendencias podrían ser bastante reducidas y en algunos casos ligeramente negativas hacia la parte sur de todas las zonas de interés.

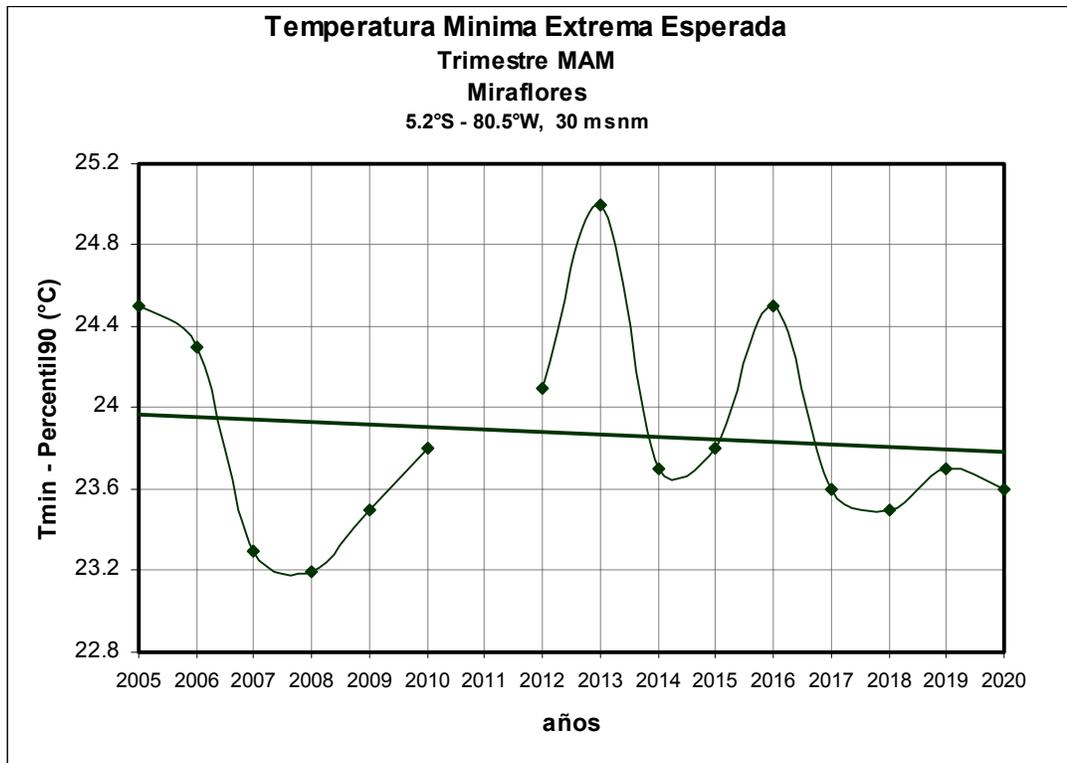
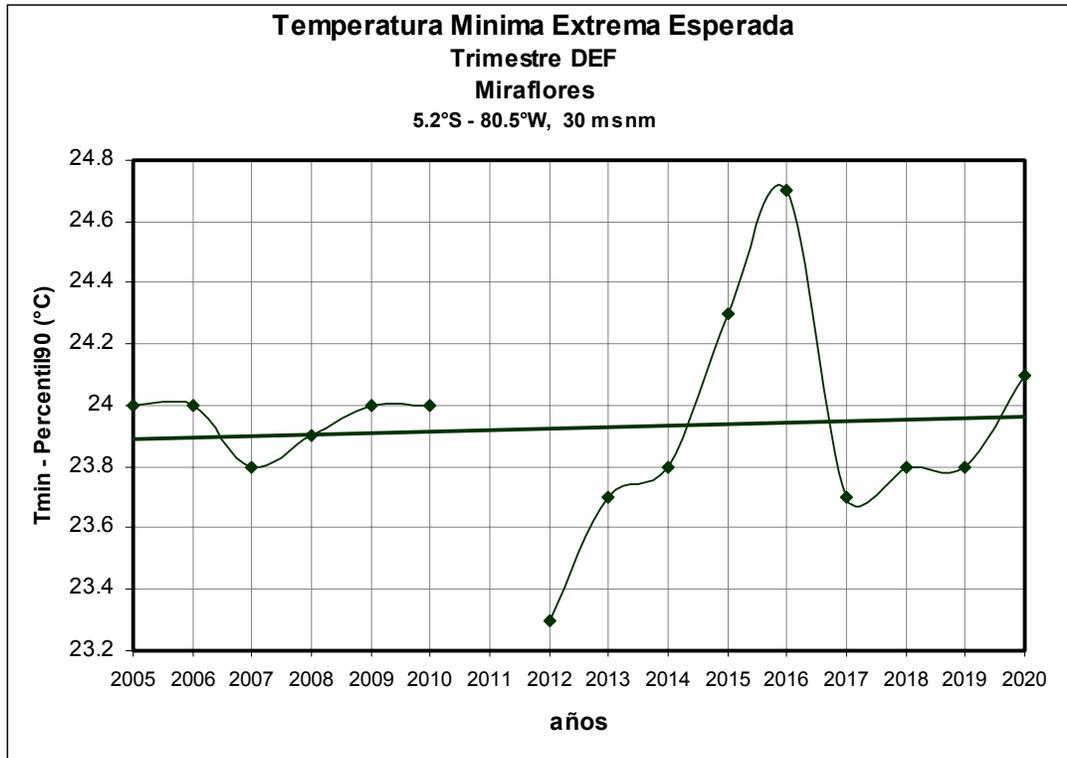


Fig. 80 Temperatura mínima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Miraflores

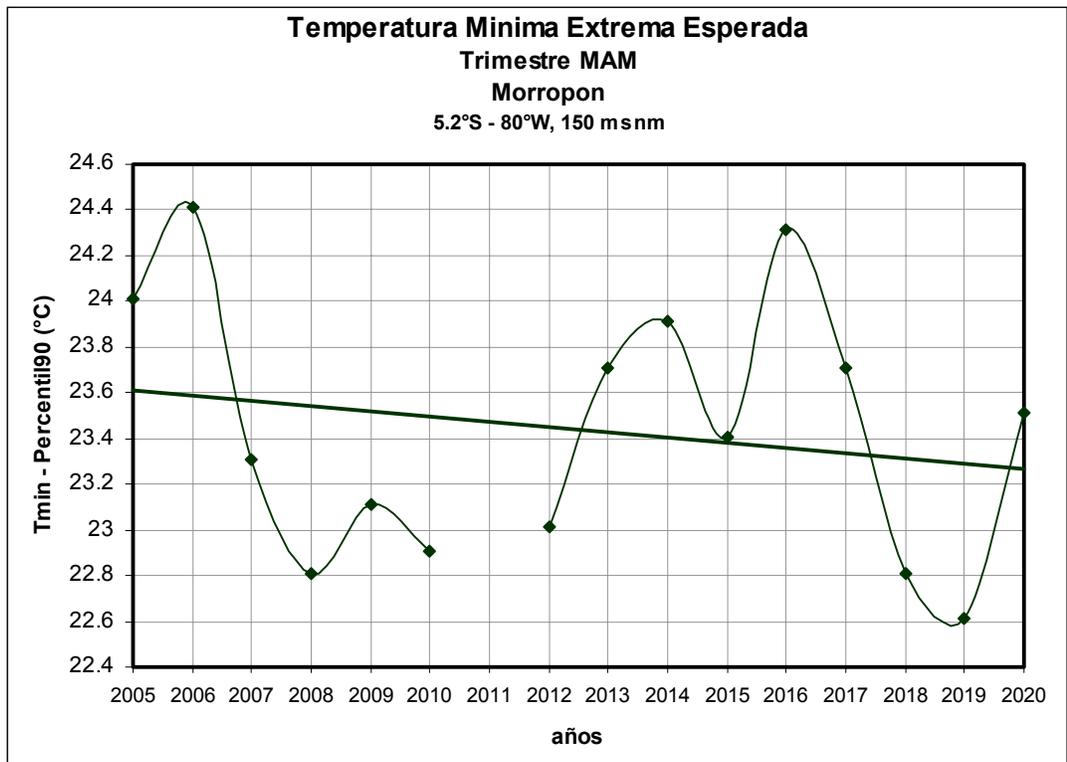
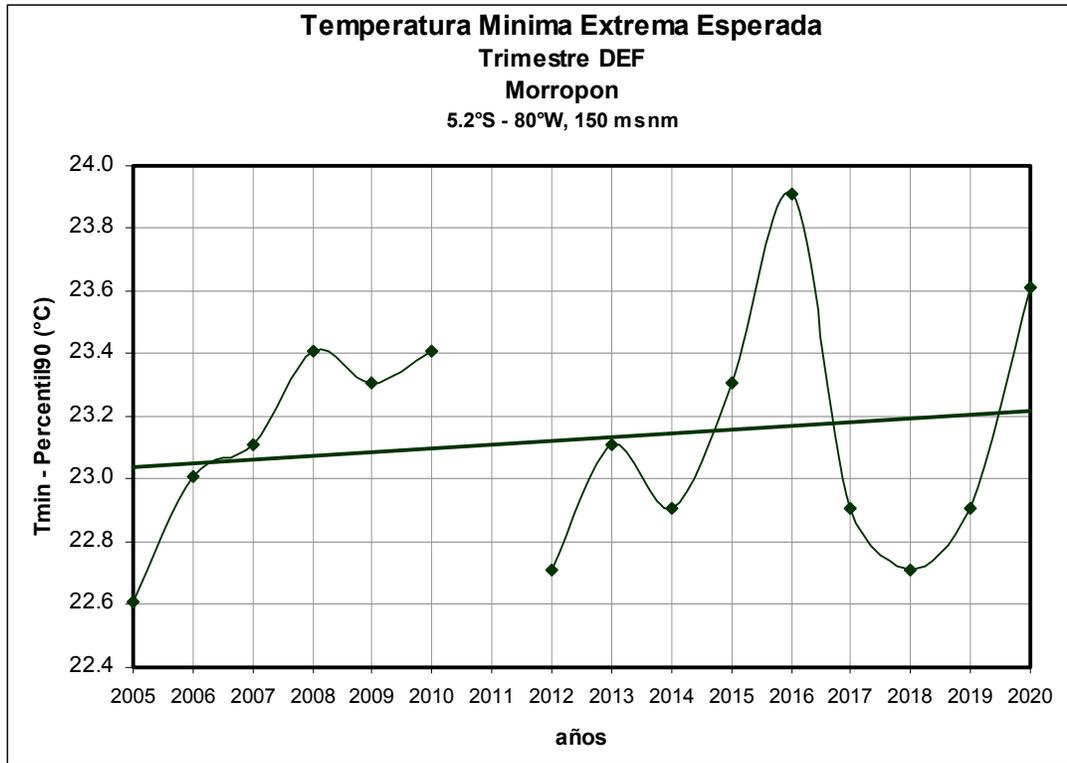


Fig. 81 Temperatura mínima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Morropón

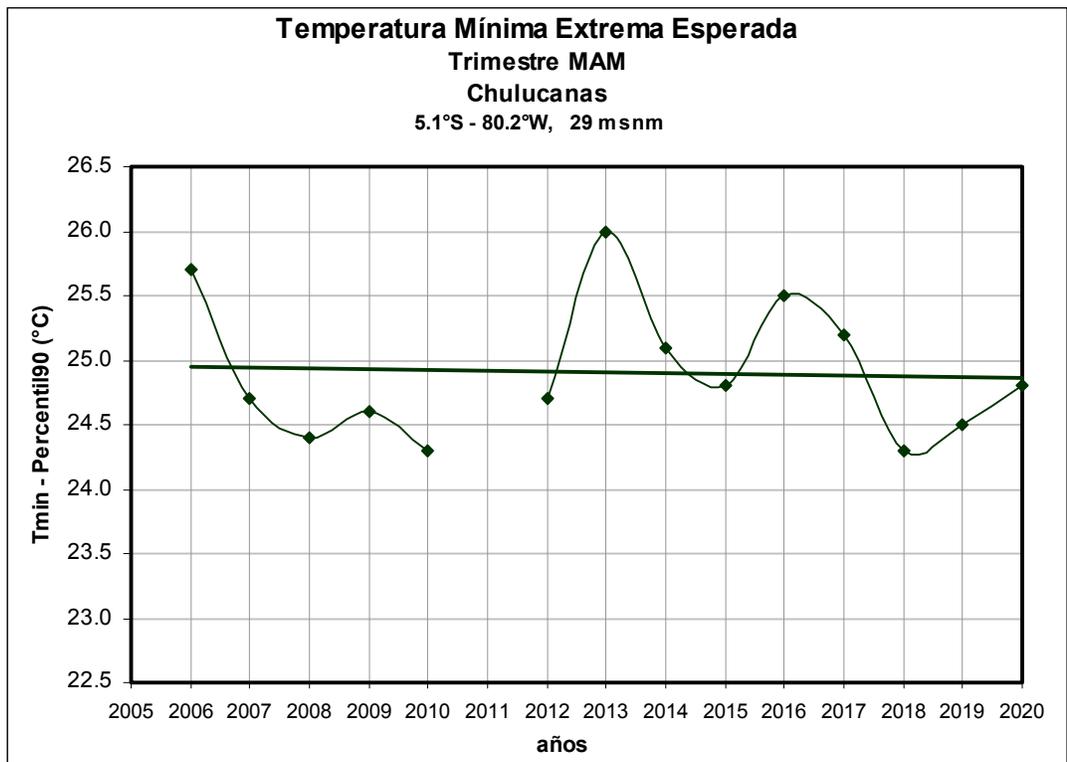
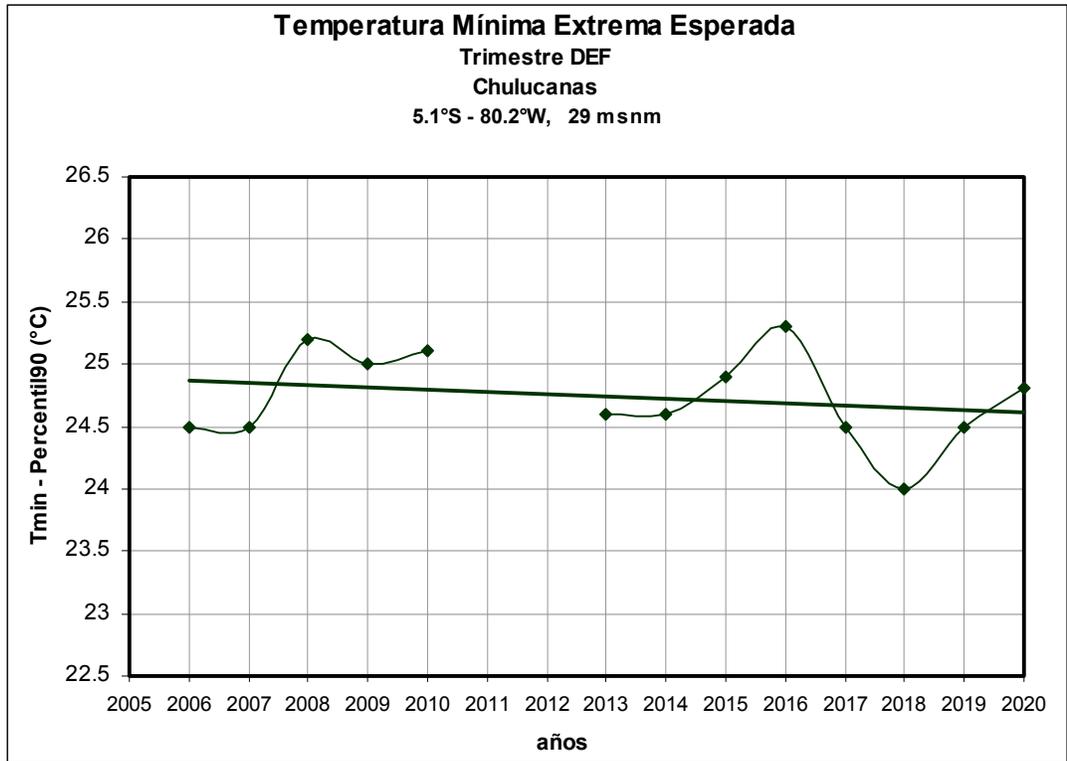


Fig. 82 Temperatura mínima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Chulucanas

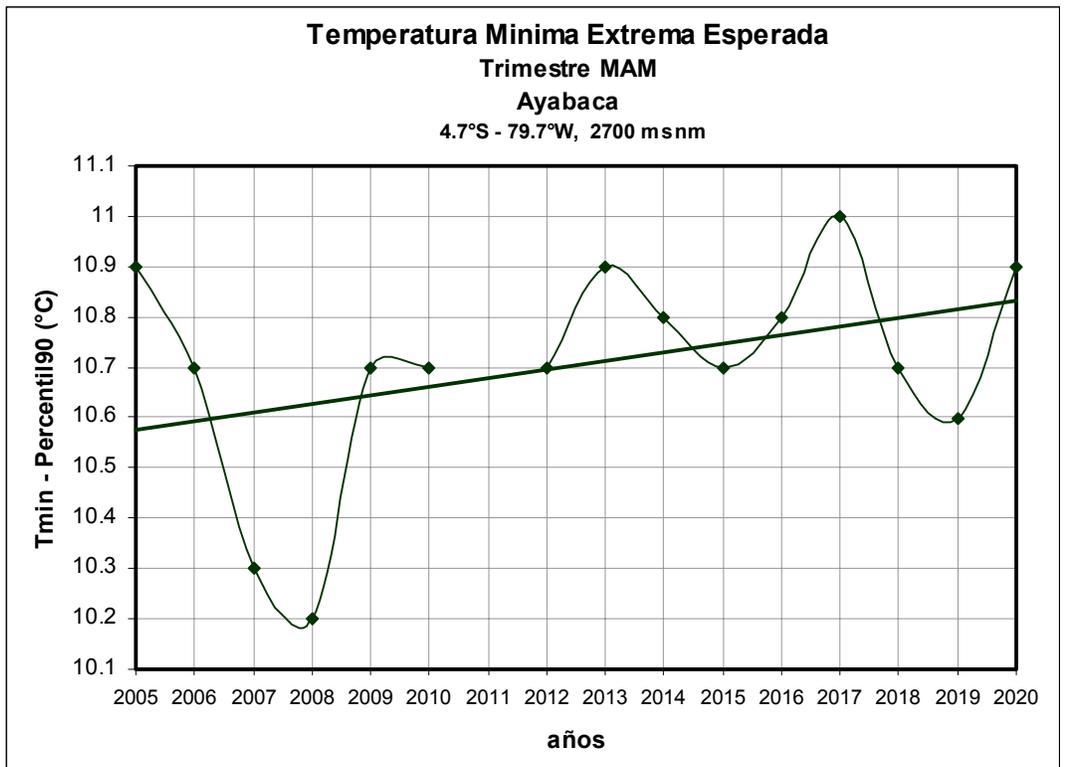
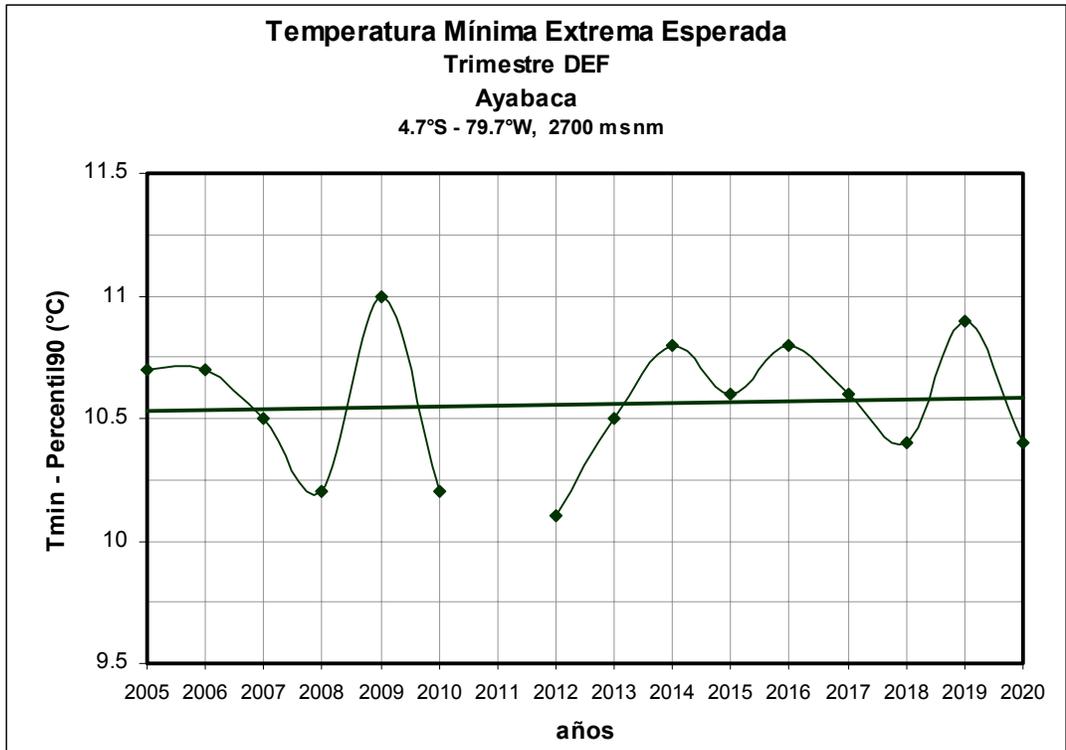


Fig. 83 Temperatura mínima extrema esperada (percentil 90) durante DEF y MAM. Estación Ayabaca

## 7.2.5 Discusión de resultados

### 7.2.5.1 Precipitación Extrema

Con respecto a extremos de precipitación podemos afirmar que durante DEF y MAM las zonas del Bajo Piura y Cuenca Media, que incluyen Chulucanas, Morropón y Virrey son las que tienen los máximos extremos de precipitación histórica alcanzando valores cercanos a 120 mm diarios (ver mapas C.3 y C.4). Esta información nos indica que la referida zona es la que soporta los máximos riesgos de extremas precipitaciones.

Para el próximo futuro (2005-2020), tenemos que apreciar las tendencias producidas por el modelo RAMS (mapas F.1 y F.2). Según esos resultados, las precipitaciones extremas en el Bajo Piura y parte de la Cuenca Media tenderían a disminuir a razón aproximada de 40 mm/ 100 años; es decir que en 20 años podríamos esperar una disminución de las precipitaciones extremas del orden de 8 mm, la cual no es muy significativa, por lo que esas regiones seguirían siendo zona de riesgo (ver mapas C.3 y C.4). En la Cuenca Media (Chulucanas, Morropón, etc), las tendencias al 2020 son cercanas a cero indicando que los valores extremos de precipitación se mantendrán en sus ya altos valores, por lo que seguirán siendo zonas de riesgo.

Combinando toda la información recopilada tanto de los registros históricos como del procesamiento del modelo RAMS para la estimación de las tendencias futuras de la precipitación hasta el año 2020, podemos obtener los mapas I.1 e I.2 (ver anexo I) que nos indican la magnitud de las máximas precipitaciones extremas esperadas al 2020 durante DEF y MAM respectivamente. Ambos mapas son similares indicando altos valores en el Bajo Piura y Cuenca Media. En la Cuenca Alta, las precipitaciones extremas probablemente tendrán valores en el orden de los 50 mm/día para el 2020.

### 7.2.5.2 Temperatura máxima extrema

Con respecto a la Temperatura máxima, es posible ubicar zonas de relativa máxima tendencia histórica (mapas D.1, D.2) y futura (mapas G.1, G.2). Por ejemplo consideremos el mapa D.1 con un centro de 8°C /100 años cerca de Tejedores, valor que equivale a 1.6°C de crecimiento de extremos de temperatura máxima en 20 años.

Para el próximo futuro (modelo RAMS) se esperan crecimientos de la temperatura máxima algo menores (mapa G.1), con zona en riesgo ubicada cerca de Tejedores, Chulucanas y Morropon, así como partes altas cerca de Huancabamba.

Combinando toda la información recopilada (registros históricos y simulaciones del modelo RAMS) para la estimación de las tendencias futuras de la temperatura máxima hasta el año 2020, obtuvimos los mapas I.3 e I.4 (anexo I), los cuales indican la magnitud de las máximas temperaturas máximas extremas del percentil 90 durante DEF y MAM respectivamente. Ambos mapas son similares indicando altos valores alrededor de 37°C en las regiones del Bajo Piura y Cuenca Media principalmente. En la Cuenca Alta, las temperaturas máximas extremas probablemente tendrán valores en el orden de los 30°C para el 2020.

### 7.2.5.3 Temperatura mínima extrema

Con respecto a la Temperatura mínima, es posible también ubicar zonas de relativa máxima tendencia histórica (mapas E.1, E.2). Por ejemplo consideremos el mapa E.1 con un centro de aproximadamente  $4^{\circ}\text{C}$  /100 años cerca de Tejedores, valor que equivale a  $1.2^{\circ}\text{C}$  de crecimiento de extremos de temperatura mínima en 30 años.

Para el próximo futuro se esperan crecimientos de la temperatura mínima algo menores (mapa H.1), con zona en riesgo ubicadas cerca de las partes bajas de la cuenca.

Combinando toda la información recopilada (registros históricos y simulaciones del modelo RAMS) para la estimación de las tendencias futuras de la temperatura mínima hasta el año 2020, se obtuvieron los mapas I.5 e I.6 (anexo I), los que nos indican la magnitud de las máximas temperaturas mínimas extremas del percentil 90 durante DEF y MAM respectivamente. Ambos mapas son similares e indican que los valores más altos, estarían presentándose en el Bajo Piura y parte de Cuenca Media. En la Cuenca Alta, las temperaturas mínimas extremas probablemente alcancen valores menores.

#### En resumen.

- Las zonas que podrían presentar máximos valores de Precipitación Extrema durante el verano y otoño al año 2020, se ubican en el Bajo Piura y Cuenca Media, cerca de las estaciones de Miraflores, Chulucanas, Morropón y Virrey (ver mapas I.1 y I.2). (ver cuadro resumen 7).
- Altos valores de Temperaturas Máximas Extremas para verano y otoño para los próximos 15 años se podrían tener en la Cuenca Media, incluyendo a Chulucanas, Morropon, San Miguel (ver mapas I.3 y I.4). (ver cuadro resumen 8).
- Altos valores de Temperaturas Mínimas Extremas para verano y otoño al año 2020, se podrían tener en el Bajo Piura y zonas costeras (ver mapas I.5 y I.6). (ver cuadro resumen 9).

## CAPITULO VIII - CONCLUSIONES GENERALES

Queda claro que la previsión de cambios en los próximos 30 años, se basa íntegramente en modelos de simulación, los cuales tienen incertidumbres inherentes a su configuración, por lo que los resultados deben tomarse con cautela.

En este trabajo se han considerado seis modelos globales del clima para el análisis global; pero tan sólo un modelo global acoplado con un modelo regional para el análisis sobre la Cuenca del Río Piura. Los resultados que se obtienen con ellos no son pronósticos climáticos sino proyecciones de cómo podría alterarse el clima futuro en dicha región. Asimismo, se han tenido en cuenta dos de los posibles escenarios de emisiones globales de GEIs y aerosoles elaborados por el Panel Intergubernamental de expertos en Cambio Climático (IPCC), basados en criterios demográficos, sociales y económicos. Tales escenarios conocidos como A2 y B2, son los más utilizados para realizar las proyecciones del cambio climático. Los resultados más significativos obtenidos se pueden resumir en los siguientes puntos:

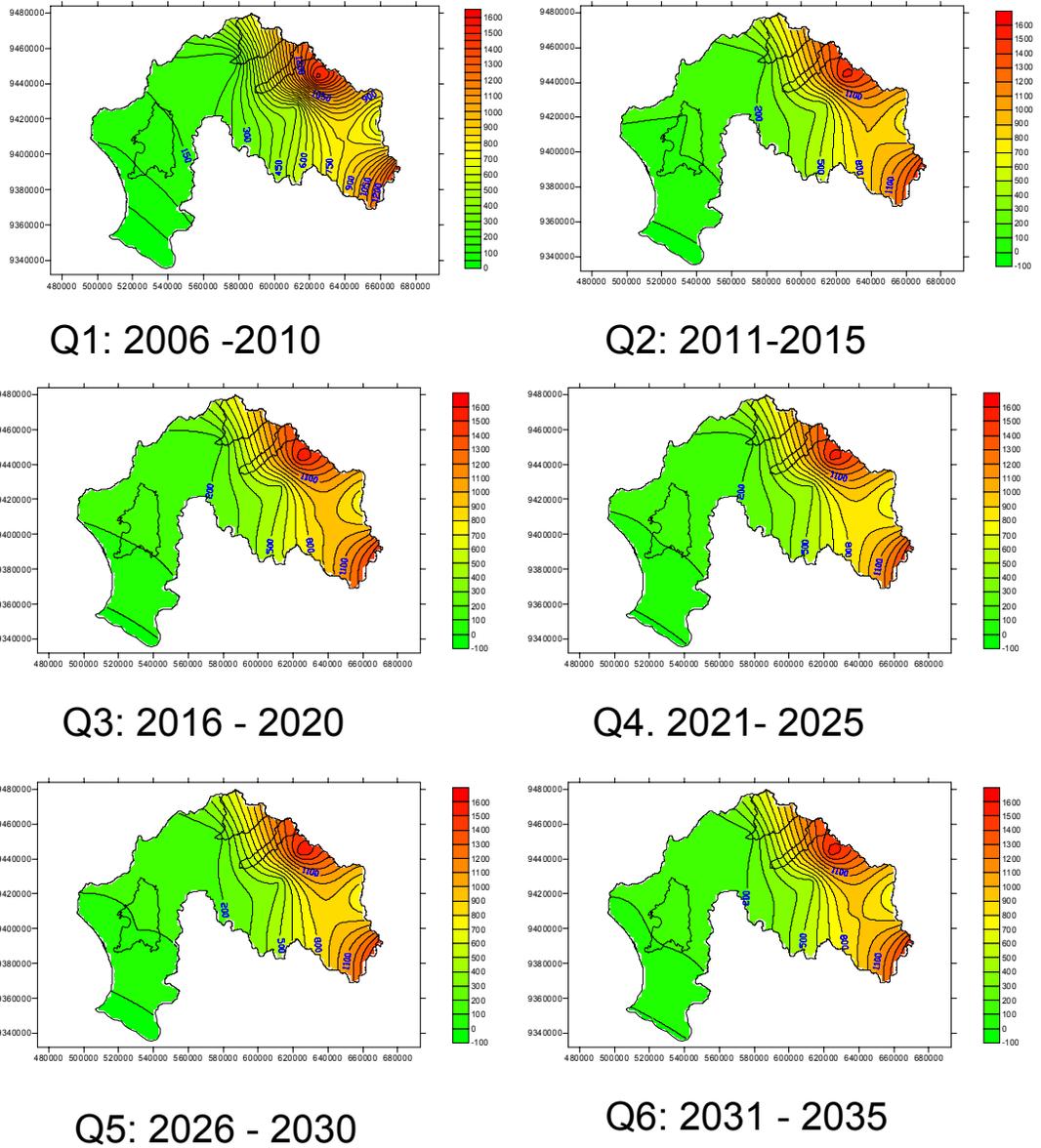
1. La climatología generada por los modelos climáticos globales para el período del 2005 a 2050, es realista en la mayoría de ellos; indicando leves variaciones en el comportamiento de la Temperatura del Aire, Precipitación, IOS, TSM y Nivel Medio del Mar para el período comprendido entre el 2005 y 2020 (ver Capítulo IV).
2. Tomando en cuenta el análisis de diferentes MCG, así como los resultados de la regionalización estadística y evaluando los distintos índices disponibles, es probable la ocurrencia de por lo menos un evento El Niño durante el período 2009-2015, cuya intensidad en cuanto a lluvias sería similar al evento 1982/83 (con referencia a Chulucanas).
3. Los resultados sugieren que las anomalías de demandas hídricas, durante los quinquenios analizados, serían positivas en toda la cuenca, lo cual se traduciría en un incremento de la evapotranspiración y déficit del balance hídrico, hecho que sería más marcado en el Bajo Piura y partes bajas de las sub cuencas de San Francisco y Yapatera. Hacia las partes altas de ambas sub cuencas, la disponibilidad hídrica estaría fluctuando dentro de sus valores normales, incluso con anomalías positivas del balance hídrico.
4. La tendencia de la Precipitación no es por lo general uniforme a lo largo de toda la Cuenca ni en los períodos analizados. Al 2020, las precipitaciones en el escenario A2, podrían ser más acentuadas en las estaciones de verano y otoño (DEF y MAM) sobre la Cuenca Media y Alta principalmente, y en el B2 los resultados sugieren que no habrían mayores cambios de lo que ya se viene observando. En el invierno y primavera (JJA y SON), ambos escenarios sugieren que la tendencia no presentaría mayores cambios. Al 2035, según el escenario A2, no habría mayores cambios de la tendencia en el Bajo Piura, lo cual se extendería para las otras Áreas de Interés, solamente en invierno y primavera; no obstante, para el verano las Cuencas Media y Alta podrían registrar algún incremento de la precipitación en ambos escenarios. Según el escenario B2, en el invierno (JJA), la tendencia tendería a ser positiva en todas las Áreas de Interés, sin embargo, en el otoño y primavera no habría ningún cambio de la tendencia en las Cuencas Media y Alta principalmente.

5. La Temperatura Máxima del aire al 2020, en ambos escenarios, en general tiende a un probable calentamiento en todas las estaciones, excepto en el otoño (MAM), lo cual es consistente con lo que se viene observando en algunas estaciones ubicadas en la Cuenca Media. Los incrementos serían más marcados en el Bajo Piura durante el verano (DEF). Al 2035, en ambos escenarios, esta tendencia positiva continuaría en toda la Cuenca y los mayores incrementos se darían en el Bajo Piura durante el otoño (MAM) y la primavera (SON).
6. La Temperatura Mínima del aire al 2020, en general, continuaría presentando una tendencia positiva en toda la Cuenca durante el verano e invierno (DEF y JJA), en ambos escenarios; sin embargo en las estaciones de transición como otoño y primavera (MAM y SON), es menos probable que esta tendencia ascendente se dé en el escenario B2, para el Bajo Piura y Cuenca Media principalmente. Al 2035 ambos escenarios proyectan en la Cuenca tendencias positivas en todos los trimestres.
7. La tendencia de la Temperatura Media del aire al 2020, en ambos escenarios, es a la alta, lo cual es concordante con lo que se viene observando. Este calentamiento sería mayor en el Bajo Piura durante el verano y primavera (DEF y SON). Asimismo, para la Cuenca Media y Alta se espera que estos incrementos se den entre el invierno y primavera (JJA y SON) principalmente en el escenario A2. Las Cuencas Media y Alta podrían presentar tendencias negativas durante el otoño, siendo esto más significativo en el escenario A2. Hacia el 2035, ambos escenarios continúan proyectando una tendencia progresiva al incremento de la Temperatura Media en todas las Áreas de Interés, siendo algo mayores en la primavera (SON) y en el escenario A2.
8. Finalmente, en cuanto a la ocurrencia de eventos extremos, las zonas que podrían presentar máximos valores de precipitación extrema durante el verano y otoño (DEF y MAM) en los próximos 15 años, se ubican en el Bajo Piura y Cuenca Media. Los eventos de Temperaturas Máxima y Mínima extremas, ocurrirían con mayor intensidad en el Bajo Piura y Cuenca Media respectivamente.

***APENDICE***

**APENDICE 1**

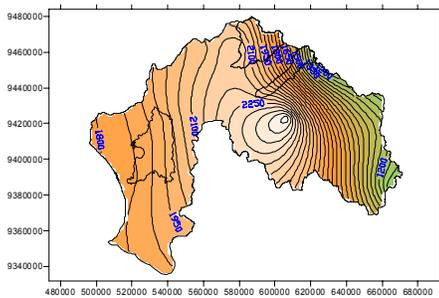
**PRECIPITACION PROYECTADA  
ESCENARIO A2  
2004-2035**



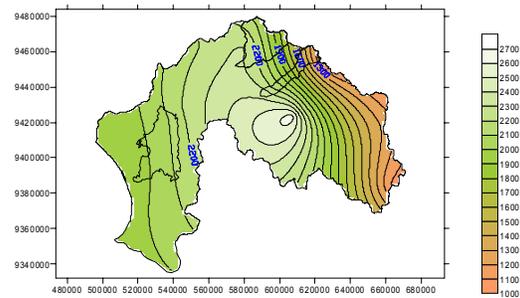
Apéndice 1: Mapas de Precipitación proyectada al 2035 por quinquenio (mm/año). Escenario A2

**APENDICE 2**

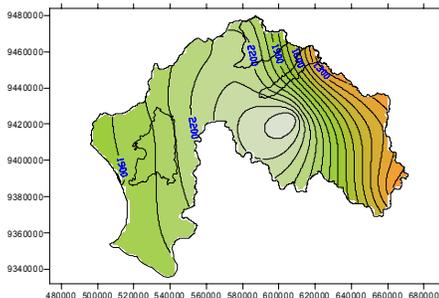
**EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL PROYECTADA  
ESCENARIO A2  
2004-2035**



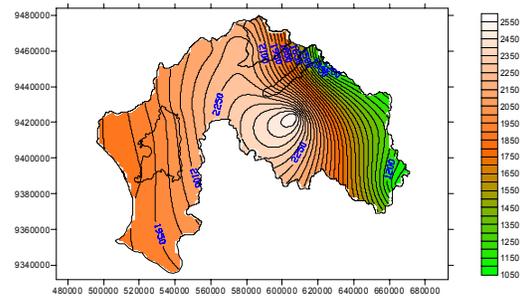
**Q1: 2006 -2010**



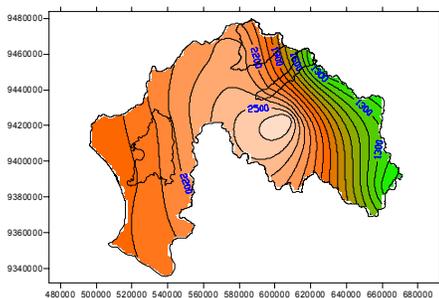
**Q2: 2011-2015**



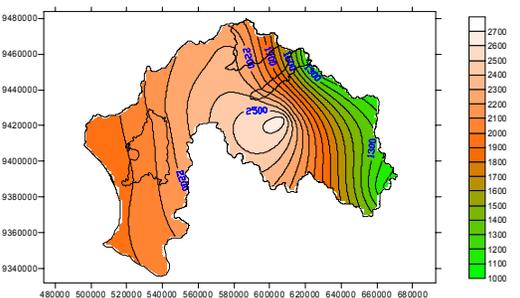
**Q3: 2016 - 2020**



**Q4. 2021- 2025**



**Q5: 2026 - 2030**

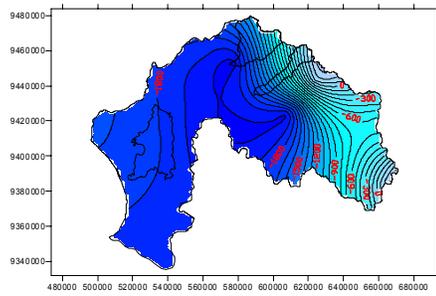


**Q6: 2031 - 2035**

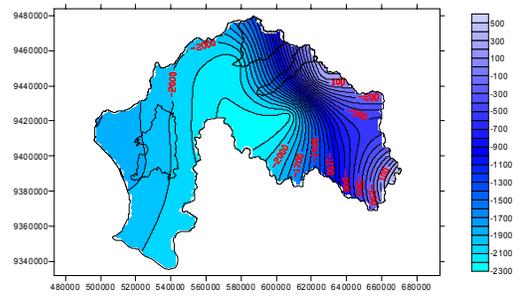
Apéndice 2: Mapas de Evapotranspiración Potencial proyectada al 2035 por quinquenio (mm/año). Escenario A2

**APENDICE 3**

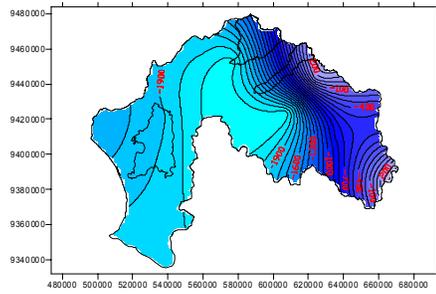
**BALANCE HIDRICO PROYECTADO  
ESCENARIO A2  
2004-2035**



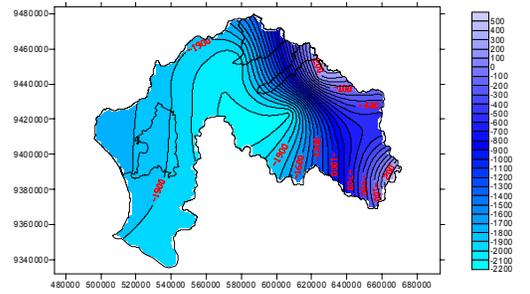
**Q1: 2006 -2010**



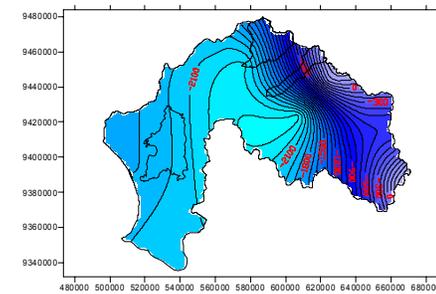
**Q2: 2011-2015**



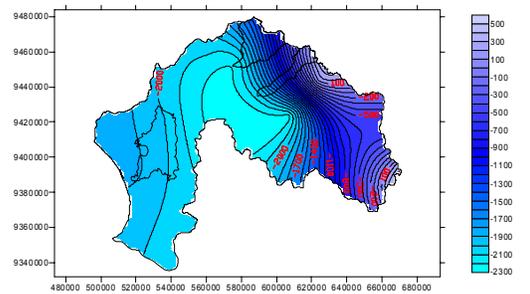
**Q3: 2016 - 2020**



**Q4. 2021- 2025**



**Q5: 2026 - 2030**

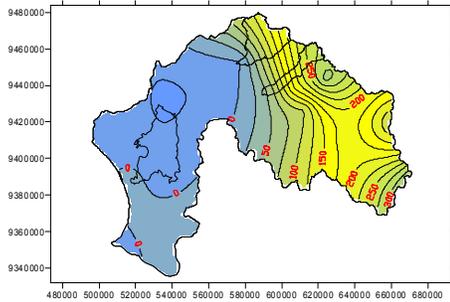


**Q6: 2031 - 2035**

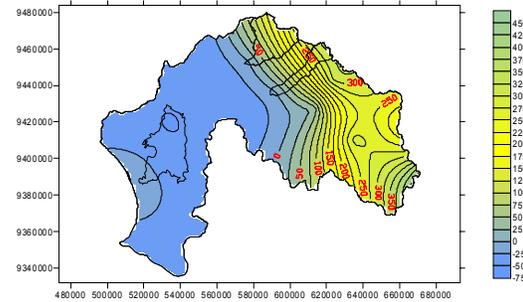
Apéndice 3: Mapas de Balance Hídrico proyectado al 2035 por quinquenio (mm/año).  
Escenario A2

**APENDICE 4**

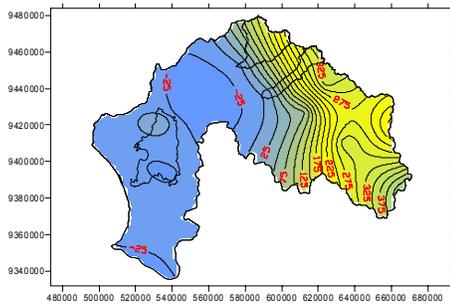
**ANOMALIA DE PRECIPITACION PROYECTADA  
ESCENARIO A2  
2004-2035**



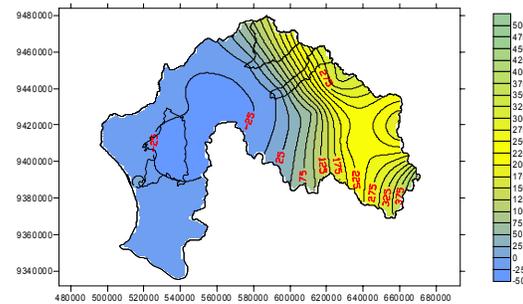
**Q1: 2006 -2010**



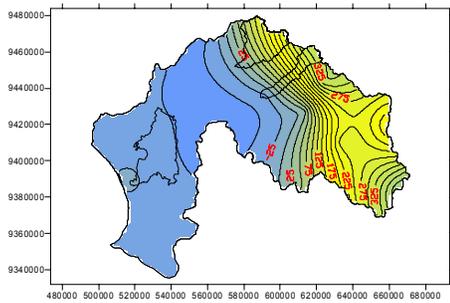
**Q2: 2011-2015**



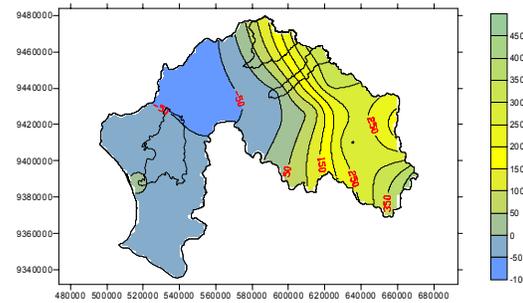
**Q3: 2016 - 2020**



**Q4: 2021- 2025**



**Q5: 2026 - 2030**

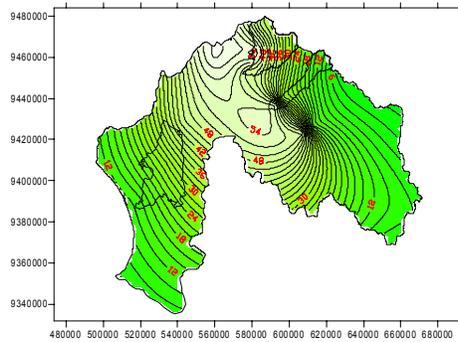


**Q6: 2031 - 2035**

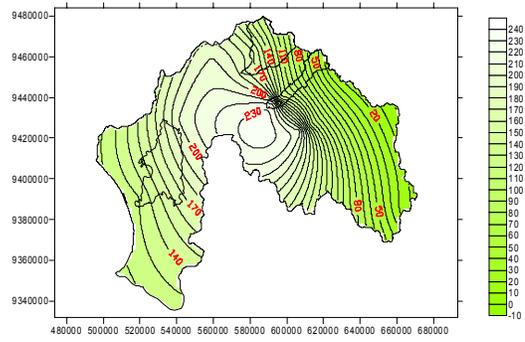
Apéndice 4: Mapas de Anomalía de Precipitación proyectada al 2035 por quinquenio (mm/año). Escenario A2

**APENDICE 5**

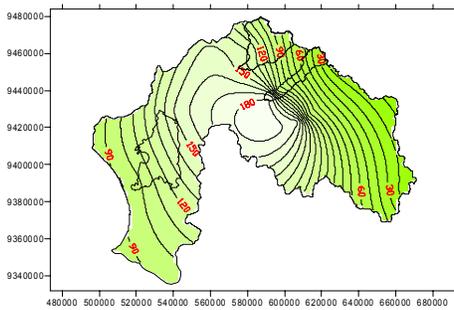
**ANOMALIA DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL  
PROYECTADA - ESCENARIO A2  
2004-2035**



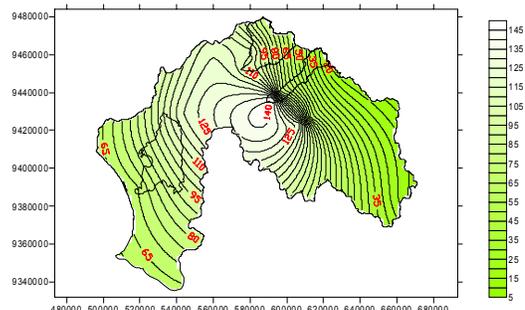
**Q1: 2006 -2010**



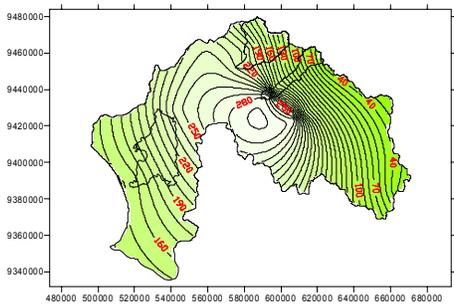
**Q2: 2011-2015**



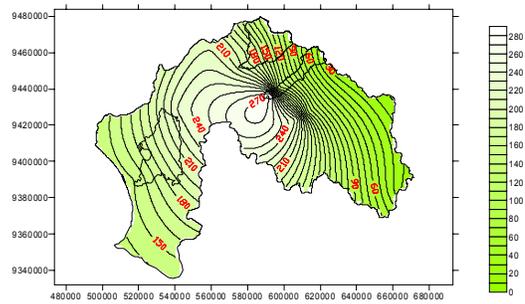
**Q3: 2016 - 2020**



**Q4. 2021- 2025**



**Q5: 2026 - 2030**

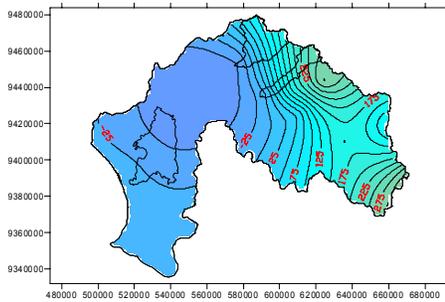


**Q6: 2031 - 2036**

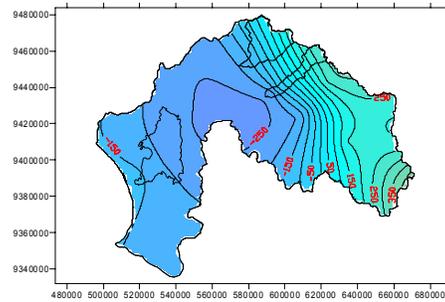
Apéndice 5: Mapas de Anomalia de Evapotranspiración Potencial proyectada al 2035 por quinquenio (mm/año). Escenario A2

**APENDICE 6**

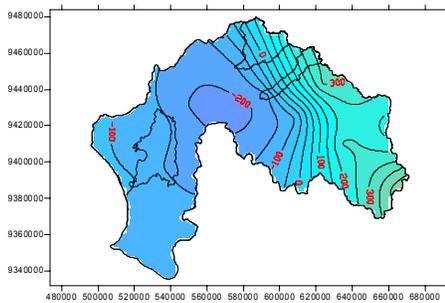
**ANOMALIA DE BALANCE HIDRICO PROYECTADO  
ESCENARIO A2  
2004-2035**



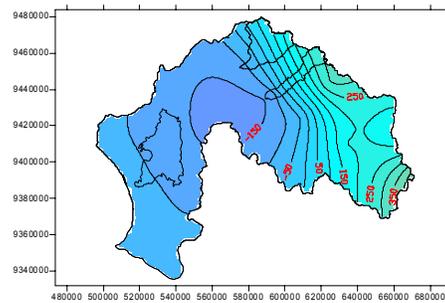
**Q1: 2006 -2010**



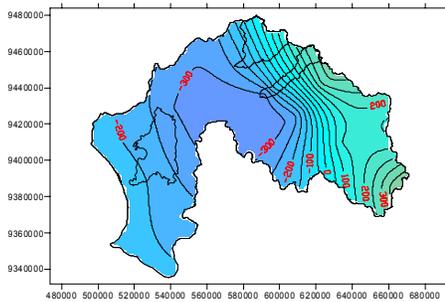
**Q2: 2011-2015**



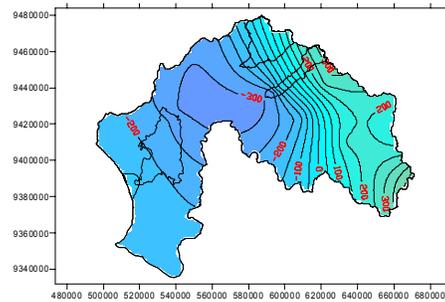
**Q3: 2016 - 2020**



**Q4. 2021- 2025**



**Q5: 2026 - 2030**



**Q6: 2031 - 2035**

Apéndice 6: Mapas de Anomalia de Balance Hídrico proyectado al 2035 por quinquenio (mm/año). Escenario A2

## GLOSARIO

### Aerosoles:

Partículas de material, sólidas o líquidas, más grandes que una molécula pero lo suficientemente pequeñas para quedar suspendidas en la atmósfera. Las fuentes naturales de aerosoles incluyen partículas de sal provenientes del mar y partículas de arcilla de la erosión de las rocas. En ambos casos estas partículas son transportadas hacia arriba por el viento. Los aerosoles pueden influir en el clima de dos maneras: directamente, mediante la dispersión y la absorción de la radiación, e indirectamente, al actuar como núcleos de condensación para la formación de nubes o al modificar las propiedades ópticas y el período de vida de las nubes. También se pueden tener aerosoles originados como resultado de la actividad humana y en este caso se les considera contaminantes.

### Alisios:

Sistema de vientos relativamente constantes en dirección y velocidad que soplan en ambos hemisferios, desde los 30° de latitud hacia el ecuador con dirección noreste en el hemisferio norte y sureste en el hemisferio sur y son consecuencia del anticiclón atlántico. Están cargados de humedad y son casi constantes en el verano y más irregulares en invierno, en que se ven afectados por otros factores meteorológicos.

### Cambio Climático:

Variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantiene durante un período prolongado (generalmente durante decenios o por más tiempo). El cambio del clima puede deberse a procesos naturales internos o a un forzamiento externo, o a cambios antropogénicos duraderos en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra.

### Clima:

Se suele definir el clima, en sentido estricto, como el "promedio del estado del tiempo" o, más rigurosamente, como una descripción estadística en términos de valores medios y de variabilidad de las cantidades de interés durante un período que puede abarcar desde algunos meses hasta miles o millones de años. El período clásico es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Dichas cantidades son casi siempre variables de superficie, como la temperatura, las precipitaciones o el viento. En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático, incluida una descripción estadística de éste.

### Downscaling Dinámico:

En el downscaling dinámico se incrementa la resolución del modelo en el territorio de interés, en general anidando un modelo regional de clima en las condiciones de contorno que da el Modelo de Circulación Global (MCG).

### Downscaling Estadístico:

Se determinan las relaciones empíricas entre observaciones de variables a gran escala (predictores) y variables a alta resolución (predictandos), provenientes de un banco de datos de referencia del pasado. Los escenarios se construyen aplicando esas relaciones a los predictores simulados por los Modelos de Circulación Global (MCGs).

### Efecto Invernadero:

Los gases de efecto invernadero absorben de manera eficaz la radiación infrarroja, emitida por la superficie de la Tierra, por las nubes y por la propia atmósfera debido a los mismos gases. Esto es un proceso natural y que ha mantenido la superficie de la Tierra a una temperatura promedio de 15 °C. La vida en el planeta como la conocemos no existiría si no fuese por el efecto invernadero natural. Un aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero lleva a una mayor opacidad de la atmósfera y, por lo tanto, a un aumento en la temperatura del sistema superficie-troposfera.

### ENOS: El Niño - Oscilación Sur

El Niño, de acuerdo con la acepción original del término, es una corriente de agua cálida que fluye periódicamente a lo largo de la costa del Ecuador y el Perú, perturbando la pesca local. Este evento está asociado con una fluctuación de las características de la presión en superficie y la circulación intertropical de los océanos Índico y Pacífico, denominada Oscilación Sur. A este fenómeno de acoplamiento entre la atmósfera y el océano en forma conjunta se le conoce con el nombre de El Niño-Oscilación Sur, o ENOS. Durante El Niño, las aguas cálidas del Pacífico occidental tropical migran hacia el este a medida que los alisios se debilitan, desviando la trayectoria de los temporales de lluvias tropicales, que disminuyen aún más la fuerza de los alisios y acentuando así los cambios en las temperaturas del mar. A medida que las aguas cálidas avanzan hacia el este a lo largo de la región ecuatorial, el nivel del mar baja en el oeste, pero se eleva en el este. Los cambios en la circulación atmosférica no se limitan a los trópicos, sino que se extienden por todo el planeta y repercuten en las corrientes en chorro y en la trayectoria de las tormentas en latitudes medias. Durante la Niña -la fase opuesta del fenómeno- se observan configuraciones aproximadamente inversas.

**Escenarios Climáticos:**

Descripción verosímil y a menudo simplificada del clima futuro, sobre la base de una serie intrínsecamente coherente de relaciones climatológicas, elaborada para ser expresamente utilizada en la investigación de las posibles consecuencias de los cambios climáticos antropógenos y que suele utilizarse como instrumento auxiliar para la elaboración de modelos de impacto. Las proyecciones climáticas sirven a menudo como materia prima para la creación de escenarios climáticos, pero éstos suelen requerir información adicional, como datos sobre el clima observado en la actualidad.

**Escenarios de Cambio Climático:**

Un escenario de cambio climático es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual y tienen un patrón semejante desde el punto de vista demográfico, económico, social y en cuanto a cambio técnico. Los escenarios comprenden cuatro conjuntos de escenarios: A1, A2, B1, y B2.

**A1:** un mundo futuro de crecimiento económico muy rápido; población mundial alcanza su nivel más alto a mitad de siglo y disminuye posteriormente; rápida introducción de nuevas tecnologías más eficientes. Cuestiones más importantes son la interacción cultural y social entre las regiones y la capacitación, con una importante reducción de las diferencias regionales en los ingresos per cápita.

**A2:** un mundo muy heterogéneo. La cuestión subyacente es la autosuficiencia y preservación de las identidades locales. Los perfiles de fertilidad en las distintas regiones tienden a converger muy lentamente, resultando en un aumento continuo constante de la población. El desarrollo económico con orientación principalmente regional y crecimiento económico per cápita; cambio tecnológico fragmentado y más lentos que en otras líneas evolutivas.

**B1:** un mundo convergente, con la misma población mundial, que alcanza su nivel más alto a mediados del siglo para disminuir posteriormente, con cambios rápidos en las estructuras económicas hacia una economía de la información y de los servicios; reducciones en el consumo de materiales; introducción de tecnologías limpias y recursos eficaces; hincapié en soluciones mundiales a la sostenibilidad económica social y ambiental, lo que comprende una mejora de la equidad.

**B2:** un mundo en el que se hace hincapié en las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental; la población mundial crece continuamente, a un ritmo menor al de la línea evolutiva A2; niveles medios de desarrollo económico; cambios tecnológicos menos rápidos y más variados que en las líneas evolutivas B1 y A1. Está orientado hacia la protección ambiental y a la equidad social en las escalas local y regional.

**Espectro de Potencia:**

Un espectro de potencia muestra los niveles relativos de potencia en diferentes frecuencias. Es la representación gráfica del cuadrado medio de la densidad espectral en función de su frecuencia.

**Evapotranspiración:**

Es la combinación de procesos de evaporación del agua y transpiración de las plantas por medio de la cual el agua es transferida a la atmósfera desde la superficie.

**Fuente:**

Cualquier proceso, actividad o mecanismo que se libera en la atmósfera como un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero o de un aerosol.

**Gas de Efecto Invernadero (GEI):**

Cualquier gas que absorbe radiación infrarroja en la atmósfera. Esta propiedad produce el efecto invernadero. Los gases invernadero son el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), fluorocarbono halogenados (HCFCs), ozono (O<sub>3</sub>), perfluorocarbonos (PFCs), e hidrofluorocarbonos (HFCs). (EPA)

**Incertidumbre:**

Es una expresión del grado en el cual un valor es desconocido (como el futuro estado del sistema climático). Una incertidumbre puede ser el resultado de la falta de información o de un desacuerdo sobre lo que se conoce o es conocible. Puede provenir de muchas fuentes desde los errores cuantificables en los datos a conceptos o terminologías ambiguas, o proyecciones inciertas del comportamiento humano. De esta forma las incertidumbres pueden expresarse en forma cuantitativa (Ej. un rango de valores calculados por distintos modelos), o por unas declaraciones cualitativas (que reflejen por ejemplo la opinión de un grupo de expertos)

**IOS:**

El índice de oscilación del sur (IOS) se calcula restando la presión en el Pacífico occidental de la presión en el Pacífico oriental. El índice es positivo cuando la diferencia entre la Alta presión del Pacífico subtropical (isla de Pascua) y la Baja Presión de Indonesia es intensa, hay mayor diferencia de presión y se denomina período estable. En este caso, los vientos alisios y la corriente ecuatorial del sur son intensos, hay un aumento del nivel del mar en el borde occidental del Pacífico mientras que en el borde oriental el nivel del mar es más bajo y se presentan aguas frías por surgencias. En la situación contraria, cuando se debilita la diferencia de presión, el índice de oscilación es negativo. En este caso hay una inversión generalizada de los patrones

barométricos lo que provoca el fenómeno El Niño. Esta situación se reconoce como Período inestable en que los vientos alisios se debilitan.

### **IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change**

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Sus atribuciones comprenden: i) evaluar la información científica y socioeconómica disponible sobre el cambio climático y su impacto, así como las opciones para mitigar el cambio climático y la adaptación al mismo, y ii) proporcionar, previa solicitud, asesoramiento científico, técnico y socioeconómico a la Conferencia de las Partes (CP) de la Convención Marco sobre el Cambio Climático, de las Naciones Unidas (CMCC).

### **Máxima duración de período seco:**

Máximo tiempo en años en que la precipitación anual registra de manera consecutiva (año tras año) valores deficitarios en comparación con su valor histórico o promedio.

### **MCG:**

Es un modelo global tridimensional del sistema climático que puede ser utilizado para simular cambio climático inducido por el hombre; los MCG son altamente complejos y representan los efectos de factores como propiedades de reflectividad y la absorvancia del vapor de agua atmosférico, las concentraciones de gases de efecto invernadero, nubosidad, calentamiento solar diario y anual, temperatura del océano y límites de hielo. El MCG más reciente incluye representaciones globales de la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre.

### **Nivel medio del mar:**

En la costa es definido como la altura del mar con respecto a un punto de referencia local en tierra, promediado sobre un periodo de tiempo, tal como un mes o un año, lo suficientemente largo para que las fluctuaciones causadas por las ondas y corrientes o mareas sean ampliamente removidas.

### **La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP)**

Es uno de los índices de variabilidad climática del ENOS. El ENOS y el ODP tienen un patrón espacial y de temperaturas similar, pero muestran diferencias en el tiempo: la ODP muestra cobertura decadal y la oscilación completa, comprende una fase caliente y una fría y puede extenderse sobre más de 50 años. Los efectos climáticos primarios de la ODP se concentran en el Pacífico Norte y los efectos secundarios en las zonas tropicales.

### **Parametrización:**

En los modelos climáticos, este término se refiere a la técnica empleada para representar aquellos procesos que no es posible resolver a la resolución espacial o temporal del modelo (procesos a escala subreticular) mediante las relaciones entre el efecto de esos procesos a escala subreticular, calculado como promedio por zona o periodo de tiempo, y el flujo a mayor escala.

### **Percentil:**

El percentil es un término conveniente que se usa para denotar valores extremos en las distribuciones de frecuencia. De esta forma el percentil 10 es el valor que marca el 10 por ciento más bajo del conjunto de datos. Así el percentil 50 es igual a la mediana y el percentil 90 excede todos los valores excepto el 10 por ciento superior.

### **Periodo de Retorno:**

Intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada; por ejemplo, caudal máximo de crecida.

### **Precipitación:**

Cualquier forma de partículas de agua, líquidas o sólidas, que caen de la atmósfera y llegan al suelo.

### **Protocolo de Kyoto:**

El Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) se aprobó en 1997 en Kyoto (Japón). El Protocolo establece compromisos jurídicamente vinculantes, además de los ya incluidos en la CMCC. Los países que figuran en el Anexo B del Protocolo (la mayoría de los países miembros de la OCDE y países con economías en transición) acordaron reducir sus emisiones antropógenas de gas de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC y SF<sub>6</sub>) a un nivel inferior en no menos de 5% al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre 2008 y 2012.

### **Reforzamiento Radiativo:**

Cambio en la irradiación neta vertical (expresada en Wm<sup>-2</sup>) en la *tropopausa* debido a un cambio interno o un cambio en el forzamiento externo del sistema climático (por ejemplo, un cambio en la concentración de *dióxido de carbono* o la potencia del Sol). Normalmente el forzamiento radiativo se calcula después de permitir que las temperaturas estratosféricas se reajusten al equilibrio radiativo, pero manteniendo fijas todas las propiedades troposféricas en sus valores sin perturbaciones.

### **Regionalización Dinámica:**

Ver *Downscaling dinámico*.

**Regionalización Estadística:**

Ver *Downscaling Estadístico*.

**Nivel de Significancia:**

Da la probabilidad de que las mediciones de una muestra aleatoria sean las mismas para toda la población (ver Significación).

**Sequía:**

Situación climatológica anormal que se da por la falta de precipitación en una zona, durante un período de tiempo prolongado. Esta ausencia de lluvia presenta la condición de anómala cuando ocurre en el período normal de precipitaciones para una región bien determinada. Así, para declarar que existe sequía en una zona, debe tenerse primero un estudio de sus condiciones climatológicas.

**Significación:**

Se dice que un resultado es significativo, si la hipótesis de que el suceso no se produzca se rechaza basándose en análisis estadísticos (pruebas de significancia).

**Sink “sumidero”:**

Cualquier proceso, actividad o mecanismo que elimine de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero o de un aerosol.

**“Spin-up”:**

Es una técnica para inicializar un MCG. Hasta hoy no es posible diagnosticar con precisión el estado del sistema atmósfera - océano y por eso no es posible asignar condiciones iniciales observadas para un experimento con un MCG. En su lugar, los componentes de la atmósfera y el océano del modelo son corridos por separado, forzados con condiciones de frontera observadas, tal vez seguidos de un período adicional de spin-up cuando la atmósfera y el océano se hallan acoplado, hasta que el MCG esté estable.

**Temperatura Superficial del Mar:**

La temperatura sub superficial en los primeros metros del océano que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas.

**Tropicalización:**

Es una tendencia al aumento de precipitaciones a medida que avanzan los años, los picos de temperaturas muy altos y una disminución de las frecuencias de ocurrencia de heladas, que generan nuevas condiciones meteorológicas y climáticas.

**Variabilidad Climática:**

La variabilidad del clima se refiere a variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima (como las desviaciones típicas, los fenómenos extremos, etc.) en todas las escalas temporales y espaciales que se extienden más allá de la escala de un fenómeno meteorológico en particular. La variabilidad puede deberse a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa).

**Variabilidad Natural:**

El análisis de los registros instrumentales e históricos muestra una variabilidad constante del clima. Esta variabilidad es como un "ruido" de fondo, que resulta tanto de las fluctuaciones internas y causas externas como la variabilidad solar o erupciones volcánicas. Todos los estudios se enfocan a intentos para distinguir entre influencias antropogénicas y naturales.

**Variación:**

En sentido general se utiliza para dar una idea de dispersión alrededor de un valor central, de una línea de tendencia. Es el promedio de los cuadrados de las desviaciones de cada valor observado respecto a su media aritmética.

## Referencias Bibliográficas

Arntz W, Fahrbach E.: El Niño Experimento climático de la naturaleza, *Editorial Fondo de Cultura Económica*. 1996. p.11-63.

Brinkmann A: Local versus Remote Grid points in Climate Downscaling. *Climate Res.* Vol. 21, 2002. pp 27-42.

Chow V.T., Maidment D.R., Mays, L.W. “Applied Hydrology”. Mac Graw Hill, USA, 1988.

Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Cambio climático 2001 La Base Científica,

Goodess C, Hanson C, Hulme M y Osborn T.: Representing Climate and Extreme Weather Events in Integrated Assessment Models: A review of Existing Methods and Options for Development. *Integrated Assessment*, Vol. 4 N° 3 (2003), pp 145-171.

Goodess C,: The construction of daily rainfall scenarios for Mediterranean sites using a circulation-type approach to downscaling. PhD. Thesis University of East Anglia, 2000.

Guevara P. E., Cartaya D. H. “Hidrología una Introducción a la Ciencia Hidrológica Aplicada”. Universidad de Carabobo Venezuela, 1991.

Hewitson B. C and Crane,R.:Climate Downscaling: Techniques and Application. *Climate Res.* 7 (1996), pp 85 -95.

Informe especial del grupo III del IPCC: Escenarios de emisiones, Resumen para responsables de políticas, 2000.

IPCC: Climate Change 2001: Summary for Policymakers

Linsley, R.K, Kohler, M.A. y Paulhus, J.L. “Hidrología para Ingenieros” Mac Graw Latinoamericana. 1977.

Luque J.A., “Hidrología Agrícola Aplicada” Editorial Hemisferio Sur”, Buenos Aires Argentina 1981.

Pielke, R. A., W. R. Cotton, R. L. Walko, C. J. Tremback, W. A. Lyons, L. D. Grasso, M. E. Nicholls, M. D. Moran, D. A. Wesley, T. J. Lee, and J. H. Copeland,: A comprehensive meteorological modeling system - RAMS. *Meteor. Atmos. Phys.*, **49**, (1992),pp 69-91.

United States Environmental Protection Agency (EPA). Glossary of Climate Change Terms.

Withers B. Vipond S. “El Riego Diseño y Practica”, Editorial Diana, Distrito federal Mexico 1979.

<http://www.vision.net.au/~daly/elnino.htm>

<ftp://ftp.ncep.noaa.gov/pub/cpc/wd52dg/data/indices/>

[http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/dkrz/dkrz\\_index.html](http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/dkrz/dkrz_index.html)

<http://www.dar.csiro.au/analysis/index.html>: Modelo CSIRO

[http://sedac.ciesin.org/mva/iamcc.tg/GCM\\_thematic\\_guide.html](http://sedac.ciesin.org/mva/iamcc.tg/GCM_thematic_guide.html): Descripción de Modelos MCG

<http://www.physionet.org/physiotools/wfdb/psd/lomb.c> : Periodograma Lomb

[http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg1/474.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/474.htm) : Grupo I, Base Científica, Cambio climático 2001

[http://www.pol.ac.uk/psmsl/psmsl\\_individual\\_stations.html](http://www.pol.ac.uk/psmsl/psmsl_individual_stations.html)