

Escenarios de Cambio Climático en el Gran Chaco Americano para el Año 2040

Estudio de Vulnerabilidad e Impacto del Cambio Climático en el Gran Chaco Americano

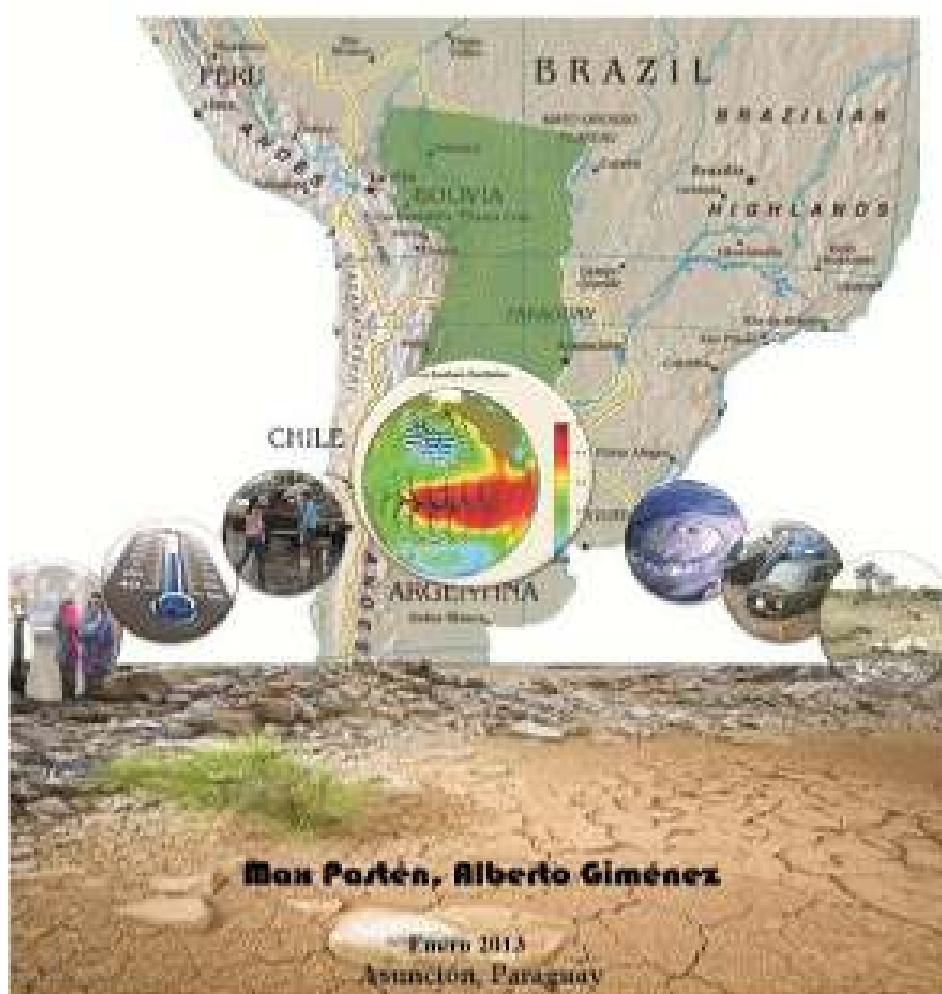


TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
3.1 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL GRAN CHACO AMERICANO	7
4.1 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS PREDOMINANTES EN LA ÉPOCA LLUVIOSA	9
4.2 MECANISMOS FÍSICOS DE LA PRECIPITACIÓN EN EL GRAN CHACO AMERICANO	12
4.3 COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN EN EL GCHA	13
4.4 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN	13
4.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN	16
4.6 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN EL GCHA	18
4.7 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA	18
4.8 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA	21
5.1 CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS	23
5.2 ESCENARIOS CLIMÁTICOS EN EL GRAN CHACO AMERICANO	24
6.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS SOCIOECONÓMICOS	25
7.1 PRECIPITACIÓN	26
7.2 TEMPERATURA MEDIA	31
8.1 TENDENCIAS DE LA PRECIPITACIÓN	37
8.2 ESCENARIOS DE LA PRECIPITACIÓN	41
8.3 TENDENCIAS DE LA TEMPERATURA MEDIA	42
8.4 ESCENARIOS DE LA TEMPERATURA MEDIA	46
9.1 DETERMINACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS	52
BIBLIOGRAFÍA	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL GRAN CHACO AMERICANO	8
FIGURA 2. CAMPO DE PRESIÓN A NIVEL DEL MAR, MAYO 2012.....	10
FIGURA 3. CAMPO DE VIENTO MEDIO EN 300HPA EN M/S.....	10
FIGURA 4. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS ELEMENTOS RELEVANTES PARA EL TRANSPORTE DE HUMEDAD SOBRE EL GCH A, LAS FLECHAS AZULES Y VERDES REPRESENTAN EL TRANSPORTE DE HUMEDAD SOBRE EL CONTINENTE DESDE EL TRÓPICO Y EL OCEANO ATLÁNTICO SUR, RESPECTIVAMENTE.....	11
FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (1961-1990) EN LAS PROVINCIAS DE ARGENTINA QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL GCH A	14
FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (1961-1990) EN LOS DEPARTAMENTOS DE PARAGUAY Y BOLIVIA QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL GCH A.....	15
FIGURA 7. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL (1961-1990).....	16
FIGURA 8. PRECIPITACIÓN TOTAL ESTACIONAL, A) VERANO (ARRIBA IZQUIERDA), B) OTOÑO (ARRIBA DERECHA), C) INVIERNO (ABAJO IZQUIERDA) Y D) PRIMAVERA (ABAJO DERECHA).....	17
FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (1961-1990) EN LAS PROVINCIAS DE ARGENTINA QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL GCH A	19
FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (1961-1990) EN LOS DEPARTAMENTOS DE PARAGUAY Y BOLIVIA QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL GCH A.....	20
FIGURA 11. TEMPERATURA MEDIA ANUAL (1961-1990)	21
FIGURA 12. TEMPERATURA MEDIA ESTACIONAL, VERANO (ARRIBA IZQUIERDA), OTOÑO (ARRIBA DERECHA), INVIERNO (ABAJO IZQUIERDA) Y PRIMAVERA (ABAJO DERECHA).....	22
FIGURA 13. EMISIONES TOTALES DE CO2 MUNDIALES SEGÚN LOS ESCENARIOS SRES A1, A2, B1, B2.....	25
FIGURA 14. DIFERENTES ESTIMACIONES DE AUMENTO DE LA TEMPERATURA DURANTE EL SIGLO XXI EN FUNCIÓN DE LOS CUATRO ESCENARIOS (A1FI, A2, B1 Y B2).....	25
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (1961-1990) EN LAS PROVINCIAS DE ARGENTINA QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL GCH A, COMPARADO CON LOS DATOS DEL MODELO (HADRM3P)	27
FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (1961-1990) EN LOS DEPARTAMENTOS DE BOLIVIA Y PARAGUAY QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL GCH A, COMPARADO CON LOS DATOS DEL MODELO (HADRM3P).....	28
FIGURA 17. MAPA DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (1961-1990); DEL MODELO HadRM3P (IZQUIERDA), DE LOS DATOS OBSERVADOS (DERECHA)	29
FIGURA 18. MAPA DE DIFERENCIA ENTRE EL MODELO Y LO OBSERVADO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (1961-1990); IZQUIERDA (MM/DIA), DERECHA (%)	30
FIGURA 19. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (1961-1990) EN LAS PROVINCIAS DE ARGENTINA QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL GCH A, COMPARADO CON LOS DATOS DEL MODELO (HADRM3P).....	31
FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (1961-1990) EN LOS DEPARTAMENTOS DE BOLIVIA Y PARAGUAY QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL GCH A, COMPARADO CON LOS DATOS DEL MODELO (HADRM3P).....	32
FIGURA 21. MAPA DE TEMPERATURA MEDIA ANUAL (1961-1990): DEL MODELO HadRM3P (IZQUIERDA), OBSERVADO CRU (DERECHA).....	33
FIGURA 22. MAPA DE DIFERENCIA ENTRE EL MODELO Y LO OBSERVADO TEMPERATURA MEDIA ANUAL (1961-1990); IZQUIERDA (°C), DERECHA (%).....	33
FIGURA 23. TENDENCIAS DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PARA EL ESCENARIO A2	37
FIGURA 24. TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL (1961-2040): ESCENARIO A2, ARGENTINA	38
FIGURA 25. TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL (1961-2040): ESCENARIO A2, BOLIVIA	39
FIGURA 26. TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL (1961-2040): ESCENARIO A2, PARAGUAY	40
FIGURA 27. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (2011-2020) Y SU ANOMALÍA CON RESPECTO AL PROMEDIO (1961-1990): ESCENARIO A2	41
FIGURA 28. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (2021-2030) Y SU ANOMALÍA CON RESPECTO AL PROMEDIO (1961-1990): ESCENARIO A2	41
FIGURA 29. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (2031-2040) Y SU ANOMALÍA CON RESPECTO AL PROMEDIO (1961-1990): ESCENARIO A2	42
FIGURA 30. TENDENCIA DE LA DE LA TEMPERATURA MEDIA EN EL GRAN CHACO PARA EL ESCENARIO A2.....	43
FIGURA 31. TENDENCIA DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL (1961-2040): ESCENARIO A2, ARGENTINA	43
FIGURA 32. TENDENCIA DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL (1961-2040): ESCENARIO A2, BOLIVIA.....	45
FIGURA 33. TENDENCIA DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL (1961-2040): ESCENARIO A2, PARAGUAY	46

Escenarios de Cambio Climático en el Gran Chaco Americano para el año 2040

FIGURA 34. TEMPERATURA MEDIA ANUAL (2011-2020) Y SU ANOMALÍA CON RESPECTO AL PROMEDIO (1961-1990): ESCENARIO A2	47
FIGURA 35. TEMPERATURA MEDIA ANUAL (2021-2030) Y SU ANOMALÍA CON RESPECTO AL PROMEDIO (1961-1990): ESCENARIO A2	47
FIGURA 36. TEMPERATURA MEDIA ANUAL (2031-2040) Y SU ANOMALÍA CON RESPECTO AL PROMEDIO (1961-1990): ESCENARIO A2	48
FIGURA 37: EVENTOS EXTREMOS. SEQUÍAS Y ALTAS TEMPERATURA.....	56
FIGURA 38: EVENTOS EXTREMOS. INUNDACIONES	57

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. DIVISIÓN ADMINISTRATIVA	9
TABLA 2. NORMALES CLIMATOLÓGICAS DE PRECIPITACIÓN (1961-1990) A NIVEL DEL GRAN CHACO, CRU.....	13
TABLA 3. NORMALES CLIMATOLÓGICAS DE TEMPERATURA MEDIA (1961-1990) A NIVEL DEL GRAN CHACO.....	18
TABLA 4: VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN PARA EL ESCENARIO A2 POR DÉCADA Y PERIODO COMPLETO CON RESPECTO A LA NORMAL 1961-1990	35
TABLA 5. VARIACIÓN EN VALOR ABSOLUTO DE LA TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN PARA EL ESCENARIO A2 POR DÉCADA Y PERIODO COMPLETO CON RESPECTO A LA NORMAL 1961-1990.	36
TABLA 6. TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA MEDIA ANUAL, SU INTERVALO DE CONFIANZA PARA UN NIVEL DE CONFIANZA DEL 95% PARA EL ESCENARIO A2 POR DÉCADA Y PERIODO 1991-2040.	36
TABLA 7: NÚMEROS DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS POR DÉCADA DESDE EL PERIODO 2011-2040.	53
TABLA 8: NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS ACUMULADOS PARA EL PERIODO 2011-2040.	54

ACRÓNIMOS

INSTITUCIONES INTERNACIONALES

IPCC	Panel Intergubernamental en Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change)
CRU	Unidad de Investigación Climática (Climate Research Unit), de la Universidad de East Anglia, Reino Unido
GCHA	Gran Chaco Americano
DEF	Diciembre, enero y febrero
MAM	Marzo, abril y mayo
JJA	Junio, julio y agosto
SON	Setiembre, octubre y noviembre
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP – United Nations Development Programme)
REGATTA	Portal Regional para la Transferencia de Tecnología y la Acción frente al Cambio Climático en América Latina y el Caribe (por sus siglas en inglés, “Regional Gateway for Technology Transfer and Climate Change Action”)
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL GRAN CHACO AMERICANO PARA EL AÑO 2040

RESUMEN TECNICO

INTRODUCCIÓN

Para evaluar los impactos del cambio climático se recurre a los escenarios de cambio climático global teniendo en cuenta los escenarios futuros recomendados por el IPCC (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, por sus siglas en inglés) en el Cuarto Reporte de Evaluación (AS4).

Mediante la utilización de los Modelos de Circulación General (MCG) para determinar los escenarios de cambio climático global que permiten evaluar los impactos a nivel global del cambio en los gases de efecto de Invernadero (GEI). El problema de los MCG es que no tienen suficiente resolución espacial como para realizar evaluaciones regionales del impacto del cambio climático. Para poder resolver este problema y poder realizar estudios de cambio climático a nivel regional e incluso local; se usan los Modelos Climáticos Regionales (MCR). Los MCR son modelos físicos generalmente de atmósfera y superficie terrestre, que además contiene procesos importantes en el sistema climático como por ejemplo nubes, radiación, precipitación, humedad en suelo, etc.

En la actualidad los MCR son la mejor herramienta conocida para reducir desde la escala global a regional (downscaling) las características del clima, ya que permiten obtener información más detallada de una región en particular. Entre las principales ventajas de usar los MCR, se puede encontrar; una simulación más realista del clima actual, debido a su alta resolución que permite interactuar con el terreno, predicciones a más detalle del cambio de clima a futuro, representación de pequeñas áreas, mejor simulación y predicción en eventos extremos climáticos, generación de datos a detalle para el análisis y estudios de impactos a nivel local (Zhang et al 2006).

Para este estudio se determinaron los escenarios climáticos futuros para el Gran Chaco Americano (GChA), dichos escenarios son la base científica para la caracterización de la vulnerabilidad, constituyéndose en información importante para la toma de decisiones y la planificación futura en los sectores productivos e hidrológicos del área de estudio.

1. ALCANCE Y ESTRUCTURA DE ESTE INFORME

En el presente documento se presenta la evaluación climática actual del Gran Chaco Americano (GChA), así como los escenarios futuros de la temperatura y la precipitación para mediados del siglo XXI. El documento está estructurado de la siguiente manera:

En la primera parte de este estudio se describen las características geográficas, así como los mecanismos físicos que rigen el clima del GChA. Se realiza una descripción del clima de dicha región basados en el comportamiento de la precipitación y la temperatura.

En la segunda parte se muestra los resultados del escenario climático A2 basados en el Cuarto Informe Científico del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, AR4, 2007).

2. TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS DEL CLIMA GLOBAL

Según el Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés, IPCC, 2007) el calentamiento del sistema climático es inequívoco, esto queda demostrado por los incrementos de; la temperatura media del aire y del nivel de los océanos, así como por el derretimiento de nieve y hielo y el consecuente incremento del nivel medio del mar. Por este motivo, resulta imperiosamente necesario analizar cuáles pueden ser las consecuencias que este calentamiento podría causar en el clima a escalas regionales y locales, así como las repercusiones que implicaría en todos los aspectos del desarrollo de un país o región.

3. EL GRAN CHACO AMERICANO

El Gran Chaco Americano se encuentra en el corazón de América, desde la precordillera andina de Bolivia y Argentina, hasta los humedales del Paraguay – Paraná. Se extiende desde latitudes tropicales a los 17 grado Sur, hasta ambientes subtropicales a los 31 grados Sur. Ocupa parte de los territorios de Argentina, Bolivia y Paraguay (Figura 1).

3.1 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL GRAN CHACO AMERICANO

El Gran Chaco Americano (GChA), localizado aproximadamente entre 17º y 33º de latitud sur y 60º y 65º de longitud oeste, es una vasta planicie que se extiende alrededor de 1.500 km. de norte a sur y por unos 700 km. de este a oeste, sin la presencia de ninguna barrera física importante.

Se presenta la ubicación del GChA sobre la división administrativa de los países, con los límites departamentales o provinciales.

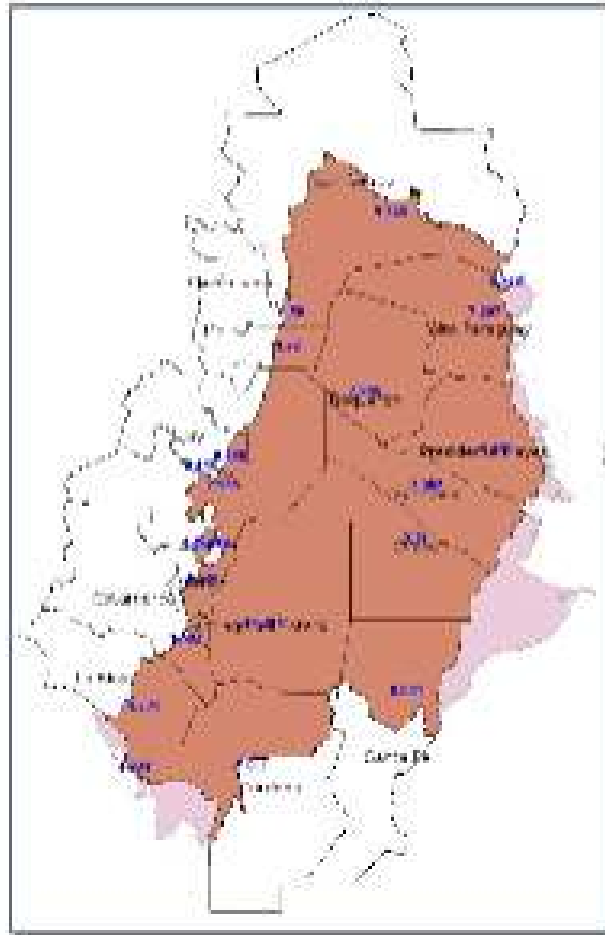


Figura 1. Ubicación del Gran Chaco Americano

El área de influencia de la región en Argentina incluye las provincias de Formosa, Chaco, Santa Fe, Santiago del Estero, Tucumán, Salta, Jujuy, Catamarca, La Rioja y Córdoba. En Paraguay incluye los departamentos de Presidente Hayes, Boquerón y Alto Paraguay y en Bolivia los departamentos de Tarija, Chuquisaca y Santa Cruz.

Tabla 1. División Administrativa

País	Provincia o Departamento
Paraguay	Presidente Hayes
	Alto Paraguay
	Boquerón
Argentina	Catamarca
	Chaco
	Córdoba
	Formosa
	Jujuy
	La Rioja
	Sala
	Santa Fe
	Santiago del Estero
	Tucumán
Bolivia	Chuquisaca
	Santa Cruz
	Tarija

4. EL CLIMA ACTUAL DEL GRAN CHACO AMERICANO

4.1 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS PREDOMINANTES EN LA ÉPOCA LLUVIOSA

Los principales sistemas de gran escala responsables de la variabilidad de la precipitación en la zona del Gran Chaco Americano son: La Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS). La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), el Anticiclón del Pacífico Sur (APS), el Anticiclón del Atlántico Sur (AAS) y la Alta de Bolivia (AB). Las precipitaciones en verano están ligadas al funcionamiento del ZCAS, y del ZCIT (Nobre y otros, 2005).

Gran parte de la variabilidad de la precipitación en el Gran Chaco Americano está ligada a la variabilidad de la Corriente en Chorro de Capas Bajas de Sudamérica (SALLI), que consiste en una corriente estrecha de aire, que fluye en capas bajas desde el norte, al este de la Cordillera de los Andes a lo largo de todo el año (Nogues-Paegle y Mo, 1997; Saulo y otros, 2000). El SALLI es la fuente de aire tropical húmedo y cálido que activa la convección y la precipitación en gran parte del Chaco.

La ZCIT, APS y AAS son sistemas cuasi estacionarios con desplazamientos meridionales estacionales en cambio la AB y ZCAS, son sistemas típicos de verano.

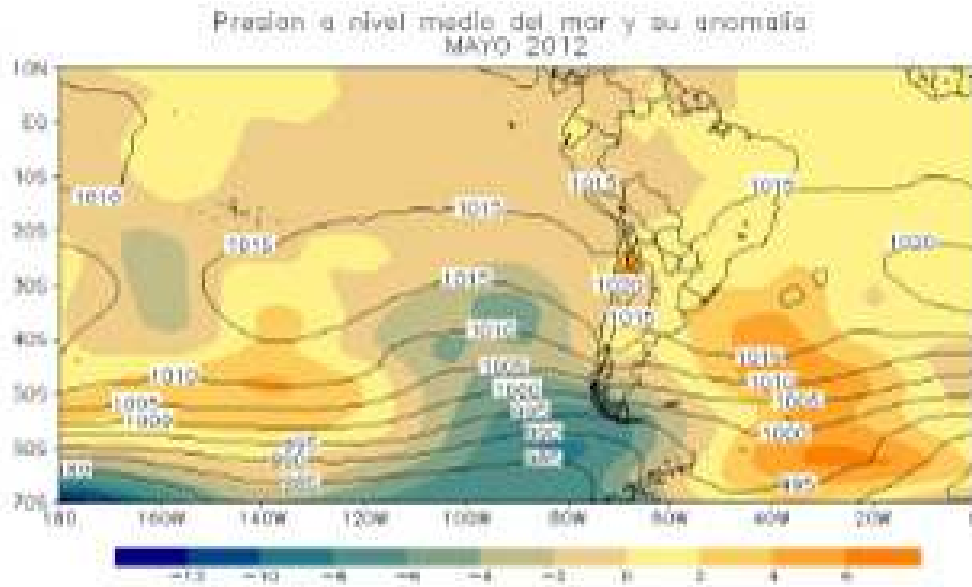


Figura 2. Campo de presión a nivel del mar, mayo 2012

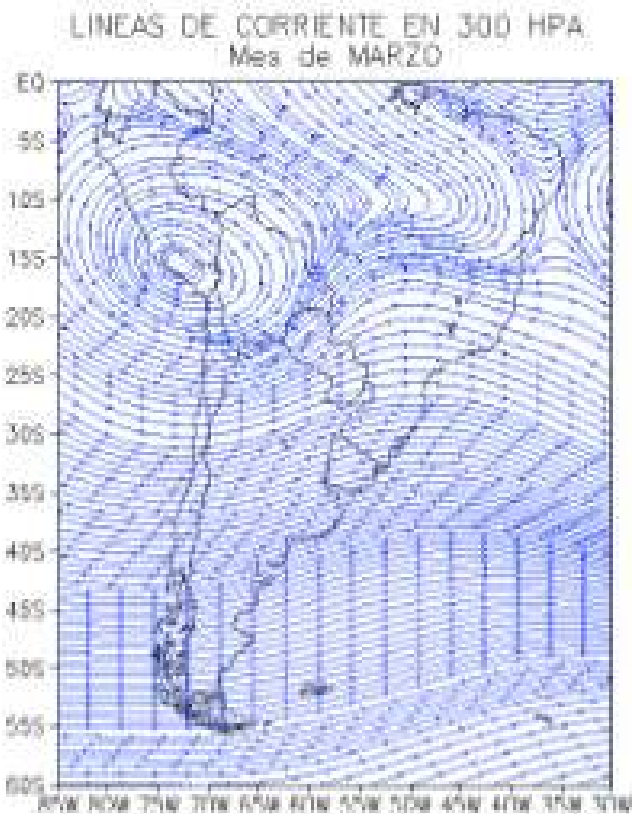
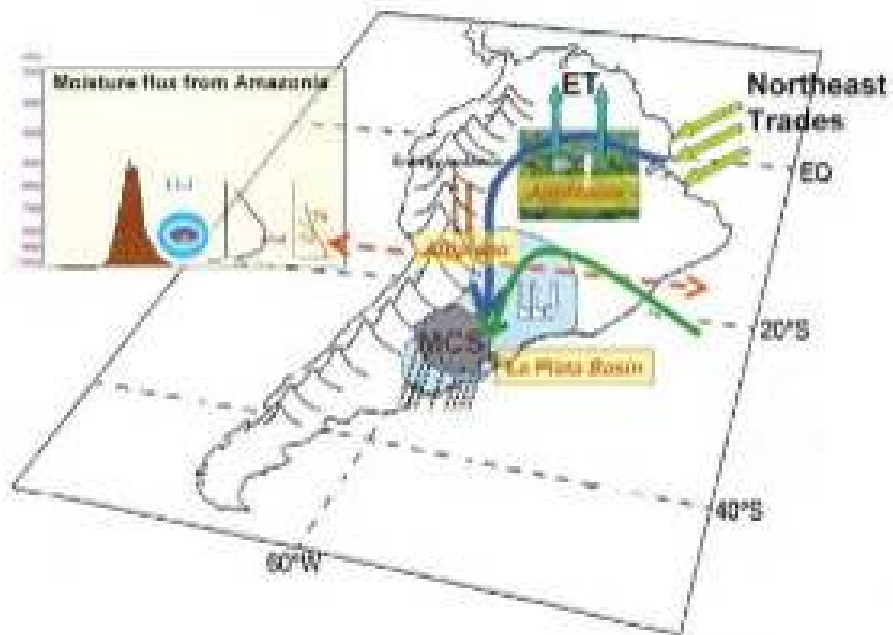


Figura 3. Campo de viento media en 300 hPa en m/s



Fuente: Vera et al. 2006

Figura 4. Representación esquemática de los elementos relevantes para el transporte de humedad sobre el GChA. Las flechas azules y verdes representan el transporte de humedad sobre el continente desde el trópico y el Océano Atlántico Sur, respectivamente

4.2 MECANISMOS FÍSICOS DE LA PRECIPITACIÓN EN EL GRAN CHACO AMERICANO

La mayor parte de la lluvia anual en Sudamérica ocurre durante el verano austral (diciembre a febrero-DEF) y durante los meses de otoño (marzo a mayo-MAM). Los grandes sistemas meteorológicos y sinópticos que modulan las precipitaciones de verano están ligados al funcionamiento de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur-SACZ (Casarin y Kousky, 1986; Figueroa y otros, 1995; Nogués Paegle y Mo, 1997), la Alta Boliviana y los vórtices ciclónicos de la alta troposfera (Virji, 1981; Kousky y Gan, 1981).

La variabilidad de la precipitación en las llanuras subtropicales de Sudamérica están ligadas a la variabilidad de la Corriente en Chorro de Capas Bajas de Sudamérica (SALLJ), que es una corriente estrecha de aire que fluye en capas bajas desde el norte, al este de la Cordillera de los Andes a lo largo de todo el año (por ej., Nogués-Paegle y Mo, 1997; Saulo y otros, 2000). La SALLJ provee el aire tropical húmedo y cálido para activar la convección y precipitación en las llanuras de Sudamérica, está modulada por la oscilación del sur de "El Niño" en la escala anual (Zhou y Lau, 2001), por pasajes frontales y la SACZ en la escala sub-mensual y por la dinámica de la capa límite en las escalas diurnas. En el período MAM, la estación lluviosa está localizada en el centro-este del Amazonas y el noreste de Brasil, y está modulada por la migración hacia el sur del Ecuador de la Zona Intertropical de Convergencia (Hastenrath y Heller, 1977; Moura y Shukla, 1981; Nobre y Shukla, 1996, Souza y otros, 1998a).

El llamado fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) es considerada una de las fuentes predominantes en la variabilidad del tiempo y el clima alrededor del mundo (Trenberth y Caron, 2000). El ENSO, un fenómeno de escala planetaria relacionada a la importante y compleja interacción océano-atmósfera sobre el Pacífico tropical (Cane, 1992), tiene un ciclo, El Niño (fase cálida) manifestándose en un extremo de la fase y "La Niña" (fase fría) en la fase opuesta. Las características principales en la atmósfera y el océano asociadas a los episodios "El Niño" son: predominancia de anomalías positivas en la temperatura de la superficie del mar (SST, siglas en inglés), debilitamiento de los vientos del este en superficie, baja presión con convección profunda en el Pacífico oriental y alta presión con movimientos de subsidencia en el Pacífico oeste, Indonesia y Australia. En los eventos "La Niña" generalmente se revierten los patrones en la atmósfera y el océano (Kousky y Ropelewski, 1989). Estos patrones anómalos ocurren sobre la cuenca del Pacífico tropical, incluyendo una extensa área sobre los trópicos (más de un tercio del cinturón tropical alrededor del globo).

4.3 COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN EN EL GChA

En la tabla 2 se muestran los datos calculados de la precipitación total mensual (1961-1990) para cada departamento y provincia de cada país dentro del GChA. Se observa que la precipitación mínima anual se registra en la provincia de La Rioja con 405.9 mm/año y el valor más alto se da en la provincia de Santa Fe con 1044.6 mm/año. Los meses de menos precipitación son los meses de julio y agosto y la época de precipitación se inicia en el mes de octubre y va hasta marzo, quedando los meses de abril a septiembre como los meses de menor precipitación o más secos.

Tabla 2. Normales climatológicas de precipitación (1961-1990) a nivel del gran Chaco, CRU.

PAIS	REGION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
	GRAN CHACO	124.3	108.3	106.7	73.6	37.7	34.9	16.6	15.7	28.8	62.6	91.3	108.6	801.5
Paraguay	Presidente Hayes	127.3	108.1	107.0	111.4	77.4	48.5	26.3	25.7	48.7	101.3	115.4	114.6	1021.0
	Alto Paraguay	118.7	107.7	94.8	79.6	47.7	31.6	22.3	18.5	35.3	84.1	100.2	108.0	849.3
	Itapúa	92.0	82.1	80.5	58.7	26.1	15.8	9.6	8.7	16.5	48.3	65.0	80.8	556.3
Argentina	Córdoba	225.4	81.5	78.2	23.1	14.5	6.5	3.3	5.8	11.6	23.1	61.8	76.6	521.2
	Chaco	131.2	115.6	126.0	107.0	48.8	38.7	21.6	21.7	38.2	83.1	111.6	121.8	865.3
	Córdoba	114.3	89.8	100.1	48.7	21.7	11.6	12.4	10.6	27.0	55.9	83.3	108.8	681.4
	Formosa	125.7	109.0	120.2	104.0	63.9	45.4	28.2	24.5	46.0	86.6	113.6	110.6	873.2
	Jujuy	174.8	148.6	122.5	51.3	23.1	6.7	4.2	4.3	7.4	27.9	72.6	125.0	778.9
	La Rioja	86.0	74.1	57.3	38.4	7.5	3.5	5.0	4.6	11.2	22.0	48.2	68.0	405.9
	Salta	147.7	122.7	110.6	56.0	34.2	8.6	4.5	4.1	9.1	40.4	74.6	115.0	708.5
	Santa Fe	128.5	120.8	107.0	107.8	51.2	32.6	27.4	20.4	55.3	85.2	114.5	128.8	1044.6
	Santiago del Estero	124.7	108.6	102.3	52.7	28.9	12.0	7.8	9.2	27.9	50.4	80.8	101.2	687.7
	Tucumán	154.1	127.8	112.4	42.3	20.7	10.9	7.9	7.4	9.4	43.8	76.2	115.2	727.6
Bolivia	Chuquisaca	225.6	109.1	97.9	65.6	28.2	15.7	4.0	3.6	6.8	24.4	62.1	86.1	622.2
	Santa Cruz	121.1	118.7	100.4	68.2	42.7	26.1	15.9	18.8	23.0	67.9	97.8	120.2	825.9
	Tarija	122.2	118.9	115.5	76.2	22.6	17.8	5.0	4.1	6.7	34.9	68.8	108.2	708.4

Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución 50x50 Km

4.4 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN

El periodo de referencia se refiere al periodo de control (1961-1990) que se utilizó para comparar el modelo con los datos observados y a partir de allí se realizó la caracterización del clima en base a la distribución temporal y en base a la distribución espacial de las variables en la región.

La distribución temporal de las precipitaciones en el Gran Chaco Americano (GChA) denota dos periodos bien definidos en el año, el periodo húmedo o lluvioso que se inicia en octubre y termina en marzo del siguiente año y un periodo de bajas precipitaciones o seco, que comprende desde abril a setiembre.

PRECIPITACION (CRU) - ARGENTINA

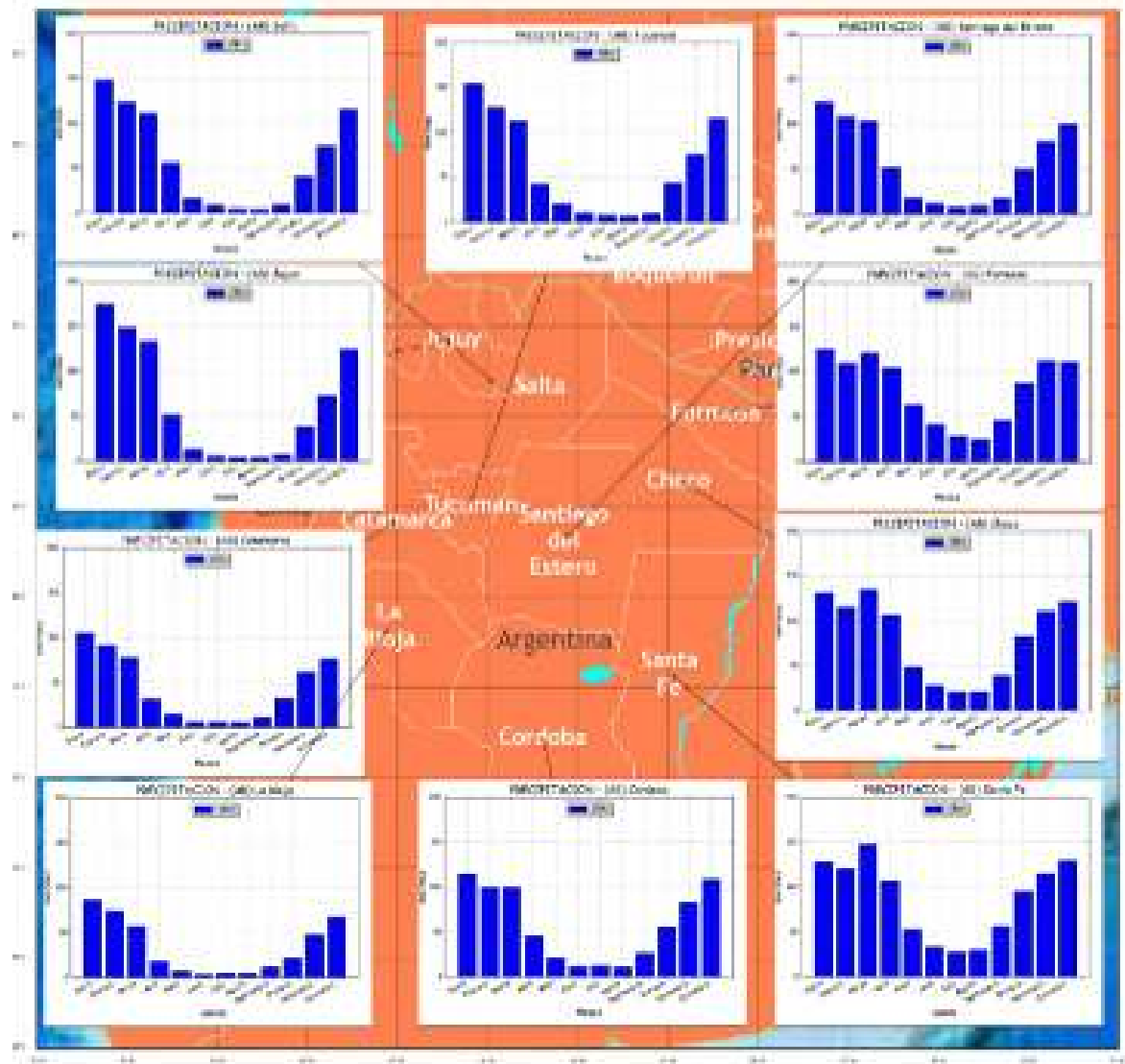


Figura 5. Distribución temporal de la precipitación mensual (1961-1990) en las provincias de Argentina que se encuentran dentro del GChA

Analizando la precipitación mensual en el GChA (Figura 5), se observa en las provincias de Argentina que se encuentran dentro del GChA, Salta, Jujuy, Tucumán, Catamarca, La Rioja y Santiago del Estero, un periodo seco (época de bajas precipitaciones) bien definido de mayo a setiembre, en cambio en las provincias de; Formosa, Chaco, Santa Fe y Córdoba se observa el mismo periodo seco pero con valores más altos.

PRECIPITACION (CRU) - PARAGUAY Y BOLIVIA

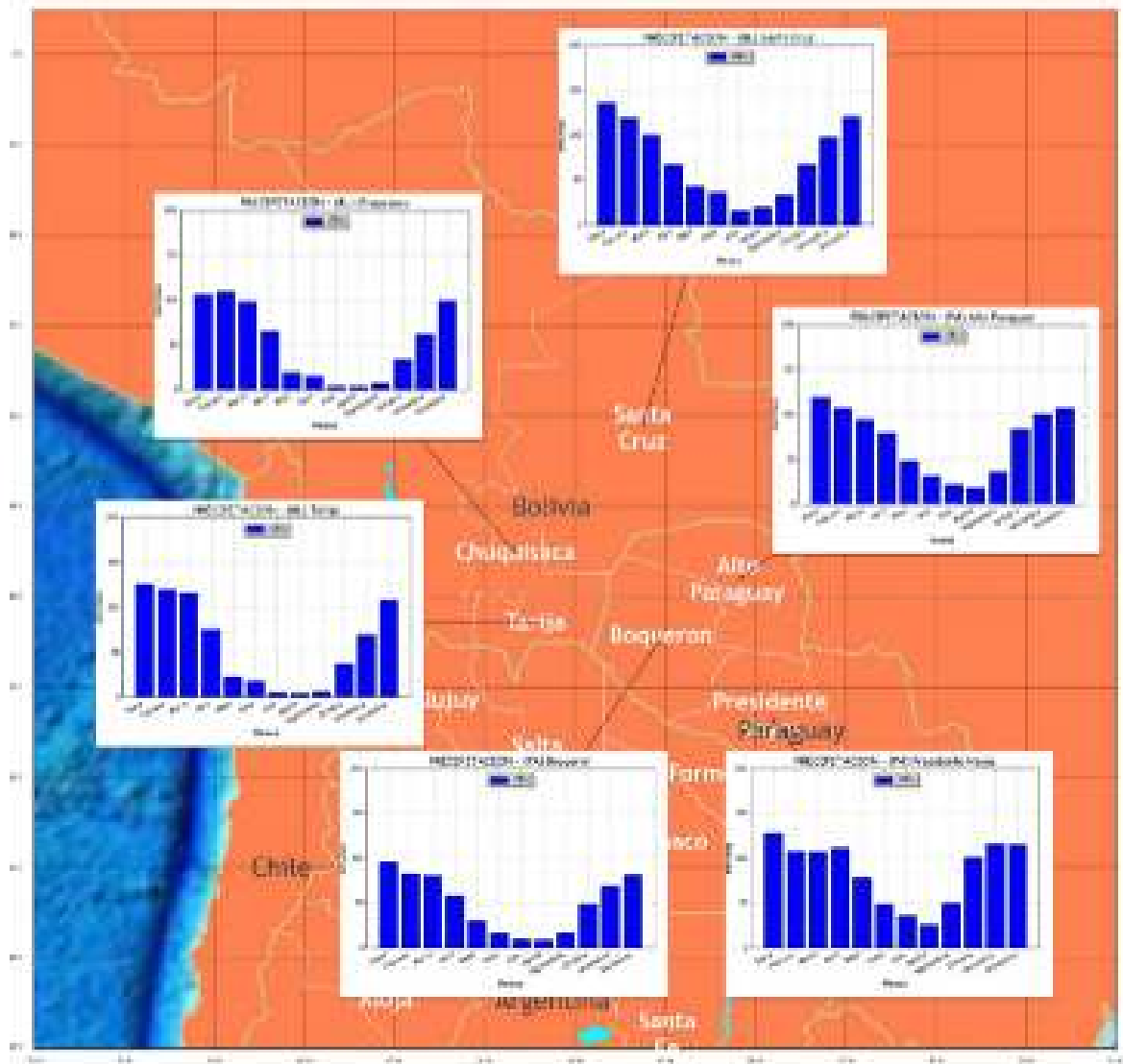


Figura 6. Distribución temporal de la precipitación mensual (1961-1990) en los departamentos de Paraguay y Bolivia que se encuentran dentro del GChA

Analizando la distribución temporal de la precipitación en los departamentos de Paraguay y Bolivia dentro del GChA, también resalta un periodo seco bien definido en los departamentos de Chuquisaca, Tarija y Boquerón en los meses de julio a setiembre, en los departamentos de Alto Paraguay y Presidente Hayes, también se observa un periodo seco en el mismo periodo, pero con valores más altos (Figura 6).

4.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN

En cuanto a la distribución espacial la precipitación total anual en el GChA (Figura 7), muestra dos centros de mínimos: uno ubicado en el la frontera entre Bolivia y Paraguay con un mínimo anual de 500 mm y otro de 400 mm sobre la provincia de La Rioja, Argentina, la precipitación se incrementa en dirección oeste con valores máximos de 1200 mm anuales.

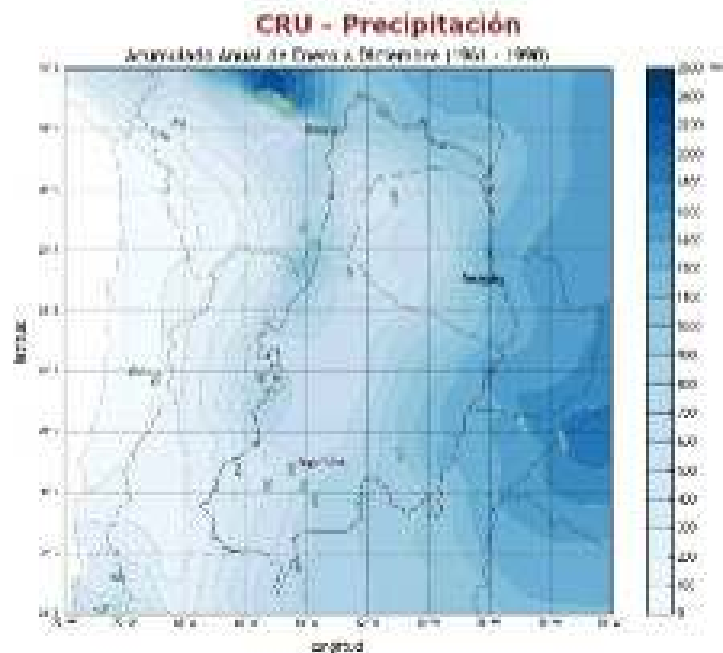


Figura 7. Precipitación total anual (1961-1990)

La estacionalidad de las precipitaciones es también muy variable, destacándose nítidamente diferencias sustanciales entre el Chaco Húmedo y el Semiárido. La precipitación estacional muestra una época lluviosa bien definida, siendo el verano la estación de mayor precipitación con valores acumulados mínimos de 200 mm en el departamento de Boquerón en Paraguay y en La Rioja, Argentina. Los valores más altos se dan en los límites este y oeste del gran Chaco con valores alrededor de 400 mm (Figura 8 arriba izquierda). La época más seca se da en invierno donde el valor más alto se registra en el límite este con un valor alrededor de 100 mm y en gran parte del gran Chaco. La precipitación acumulada es inferior a 100 mm (Figura 8 abajo izquierda). En las estaciones de otoño (Figura 8 arriba derecha) y primavera (Figura 8 abajo derecha) la precipitación presenta una transición de la época de alta precipitación a baja precipitación y tienen valores muy similares con rangos que van desde 300 mm en el este y 100 mm en el límite oeste.

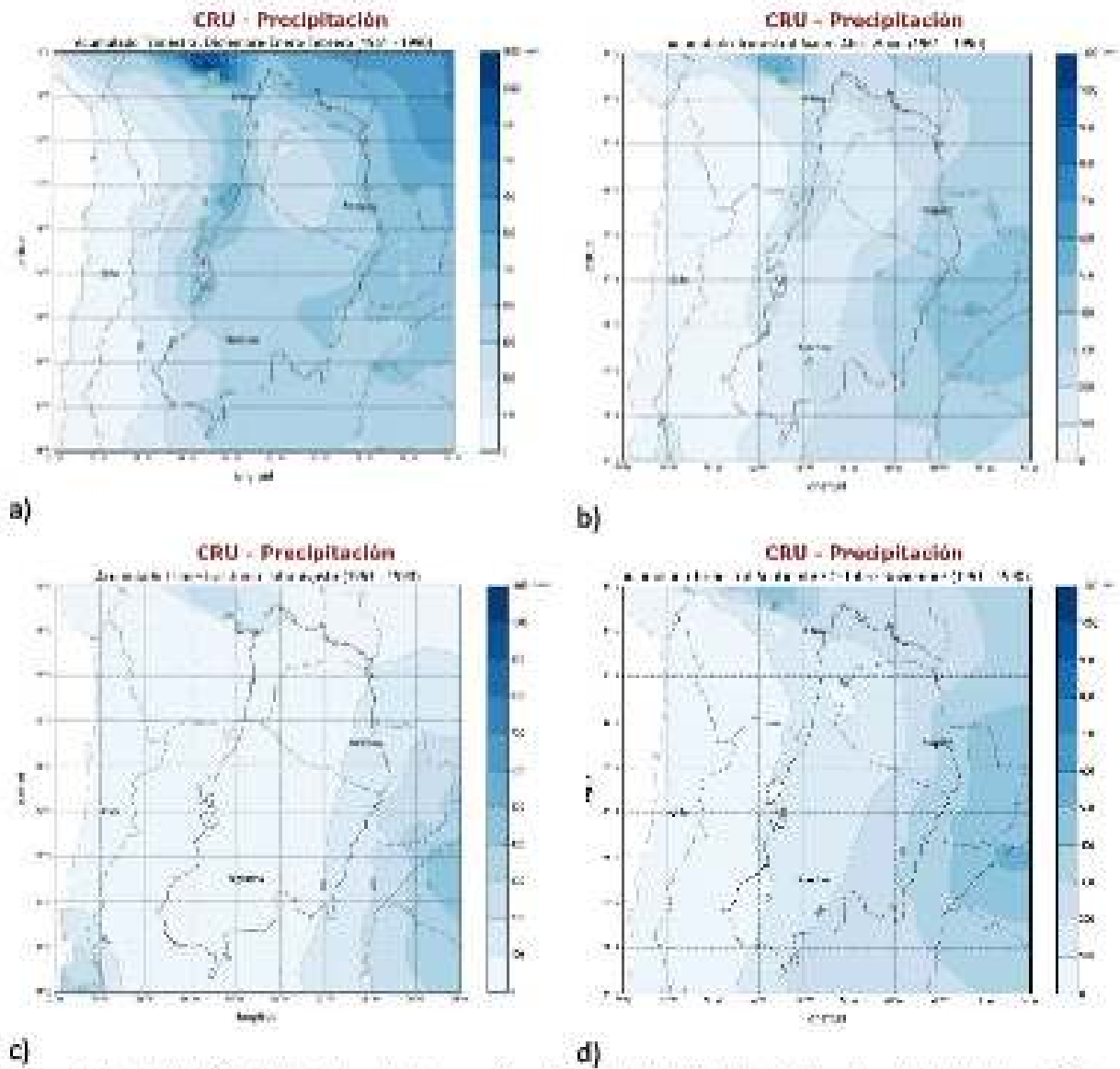


Figura 8. Precipitación total estacional, a) verano (arriba izquierda), b) otoño (arriba derecha), c) invierno (abajo izquierda) y d) primavera (abajo derecha)

4.6 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN EL GChA

En la tabla 3 se muestran los valores normales de la temperatura media para el periodo 1961-1990, se puede notar que la temperatura media anual del GChA es de 22°C y se encuentra comprendida entre 16.1°C en los meses de invierno y 27.1 en el mes de enero.

La parte del GChA correspondiente a Paraguay es la que muestra la temperatura media anual más alta 25.1°C en el departamento de Alto Paraguay y el valor más bajos se observa en las provincia de Córdoba, Argentina, con un valor de 18.2°C.

Tabla 3. Normales climatológicas de temperatura media (1961-1990) a nivel del gran Chaco

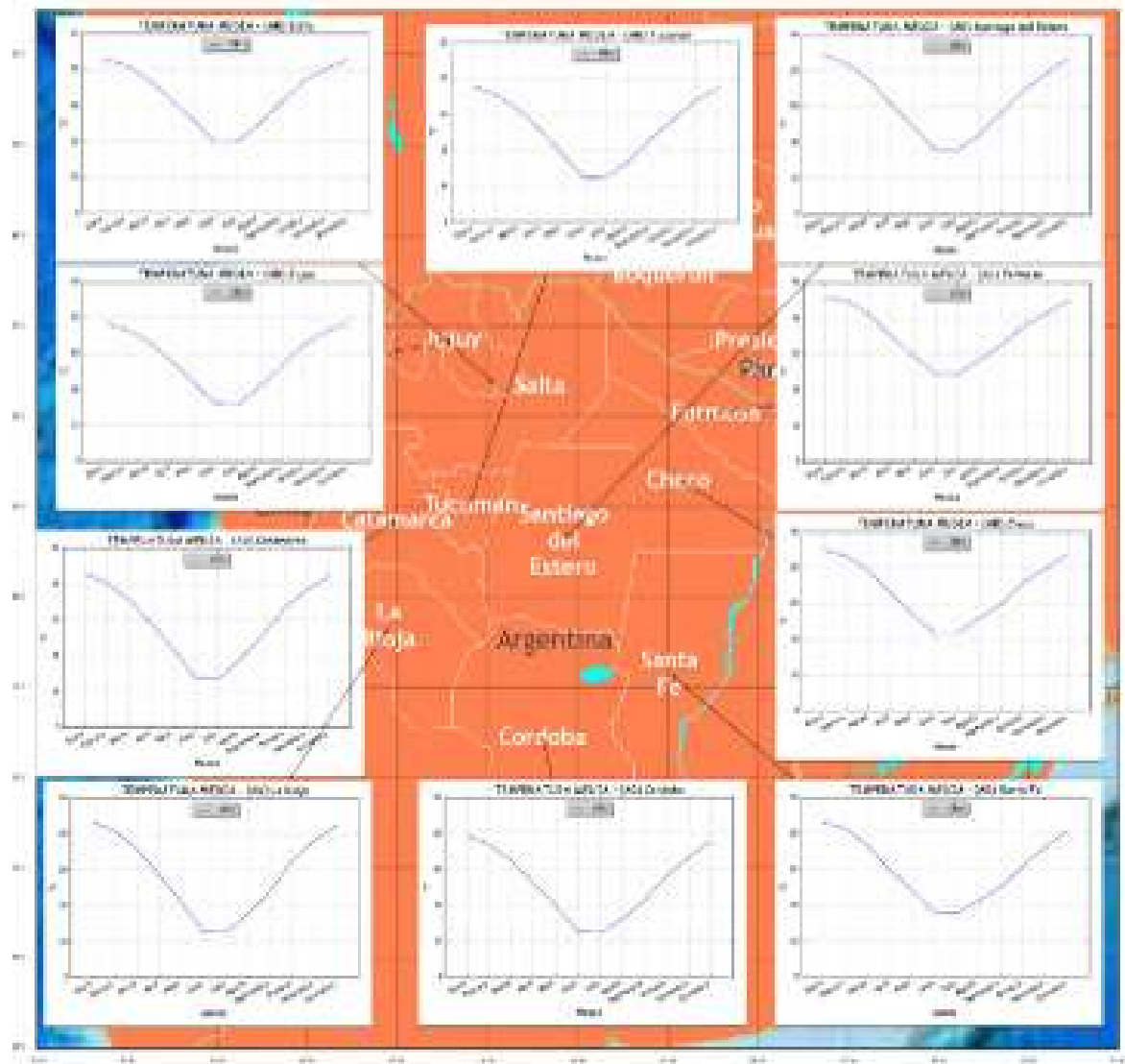
País	REGION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
	GRAN CHACO	27.1	26.9	24.9	21.4	18.6	16.1	16.1	16.6	20.7	23.4	25.9	26.7	22.0
Paraguay	Pesidente Hayes	26.3	27.8	26.3	23.4	20.6	18.6	19.7	20.4	22.4	24.7	26.3	27.7	23.6
	Alto Paraguay	26.3	27.8	26.9	24.3	22.2	20.3	20.8	22.7	24.9	26.9	27.7	26.0	23.1
	Itapúa	26.3	27.4	26.0	23.3	20.6	18.6	19.8	21.1	23.3	25.6	27.5	26.3	24.1
Argentina	Catamarca	26.3	25.1	22.9	19.4	16.6	15.6	15.7	14.4	17.7	21.4	24.0	26.0	23.7
	Chaco	27.0	28.0	24.9	21.3	18.6	16.7	16.8	17.8	19.9	22.6	24.8	26.7	21.8
	Córdoba	24.9	23.5	21.1	18.1	14.6	13.4	13.1	13.0	15.0	19.0	21.8	24.0	18.2
	Formosa	27.4	27.3	25.4	22.4	19.7	17.0	17.3	19.0	21.0	23.0	25.0	27.4	23.9
	Jujuy	24.3	23.2	21.6	18.5	15.0	13.6	13.9	15.0	16.3	21.0	23.0	24.3	19.3
	La Rioja	26.7	25.4	22.9	19.5	16.4	14.4	13.3	13.7	17.0	21.0	24.1	26.1	19.5
	Salta	26.4	25.2	22.6	20.8	18.0	14.6	14.9	17.3	20.4	23.0	25.0	26.3	21.4
	Santa Fe	26.3	25.6	23.3	19.9	17.1	14.1	13.9	15.6	17.9	20.4	22.1	25.3	20.3
	Santiago del Estero	27.1	26.0	23.7	20.4	17.0	13.9	13.8	16.0	19.3	22.1	24.0	26.0	20.9
	Tucumán	26.9	25.7	23.7	17.7	14.5	13.0	13.3	13.3	16.0	19.0	21.8	23.0	18.0
Bolivia	Chuquiaca	26.3	26.1	24.0	22.0	20.9	17.0	16.3	20.0	23.0	25.0	26.3	27.0	23.0
	Santa Cruz	27.3	27.0	26.1	24.3	22.3	20.6	20.9	22.8	25.3	26.6	27.3	27.6	24.6
	Tarija	27.4	26.3	24.6	22.3	19.9	18.9	17.4	20.0	23.0	25.0	26.4	27.2	23.0

Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km

4.7 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA

En la figura 9, se observa el comportamiento temporal de la temperatura media en las provincias de Argentina que se encuentra dentro del GChA, se puede notar que los valores en invierno se encuentran ligeramente por encima de los 10°C en las provincias de Córdoba, Tucumán, La Rioja y Catamarca, mientras que en las demás provincias se encuentran más próximas a los 15°C, lo valores más altos se observan en las provincias de; Formosa, Santiago del Estero y Chaco, con valores próximos en el mes de enero de 28°C.

TEMPERATURA MEDIA (CRU) - ARGENTINA

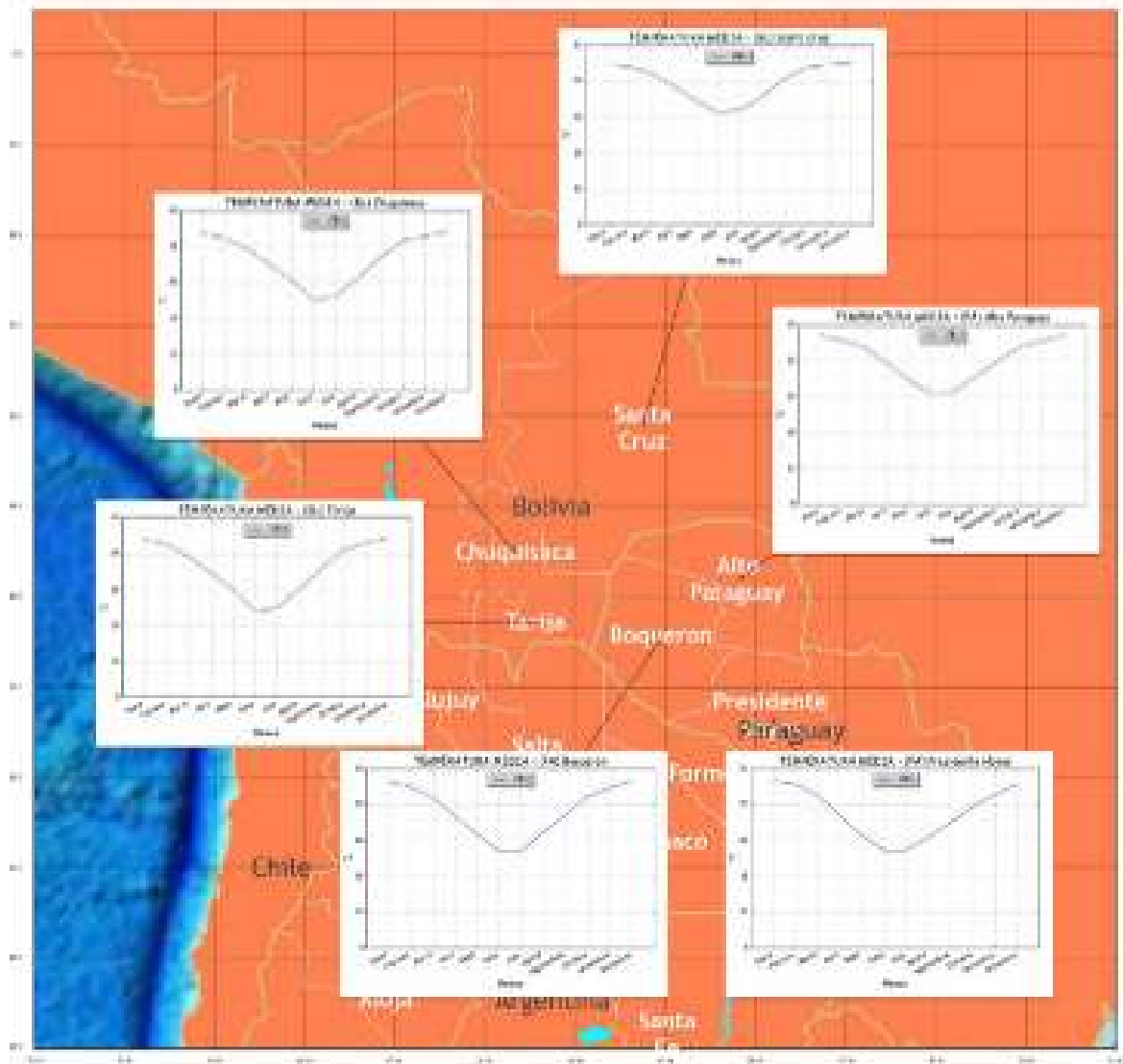


Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km

Figura 9. Distribución temporal de la temperatura media mensual (1961-1990) en las provincias de Argentina que se encuentran dentro del GChA

En la figura 10, se muestra el comportamiento temporal de la temperatura media en los departamentos de Bolivia y Paraguay que se encuentran dentro del GChA, en este caso se puede notar que el comportamiento es más homogéneo de lo que se observó en las provincias argentinas en cuanto a los valores medios más altos, no así en los valores más bajos donde resalta; Tarija y Chuquisaca, cuyos valores se encuentran alrededor de los 17°C, los valores más altos ocurren en los meses de; diciembre y enero con valores entre los 27 y 28 °C.

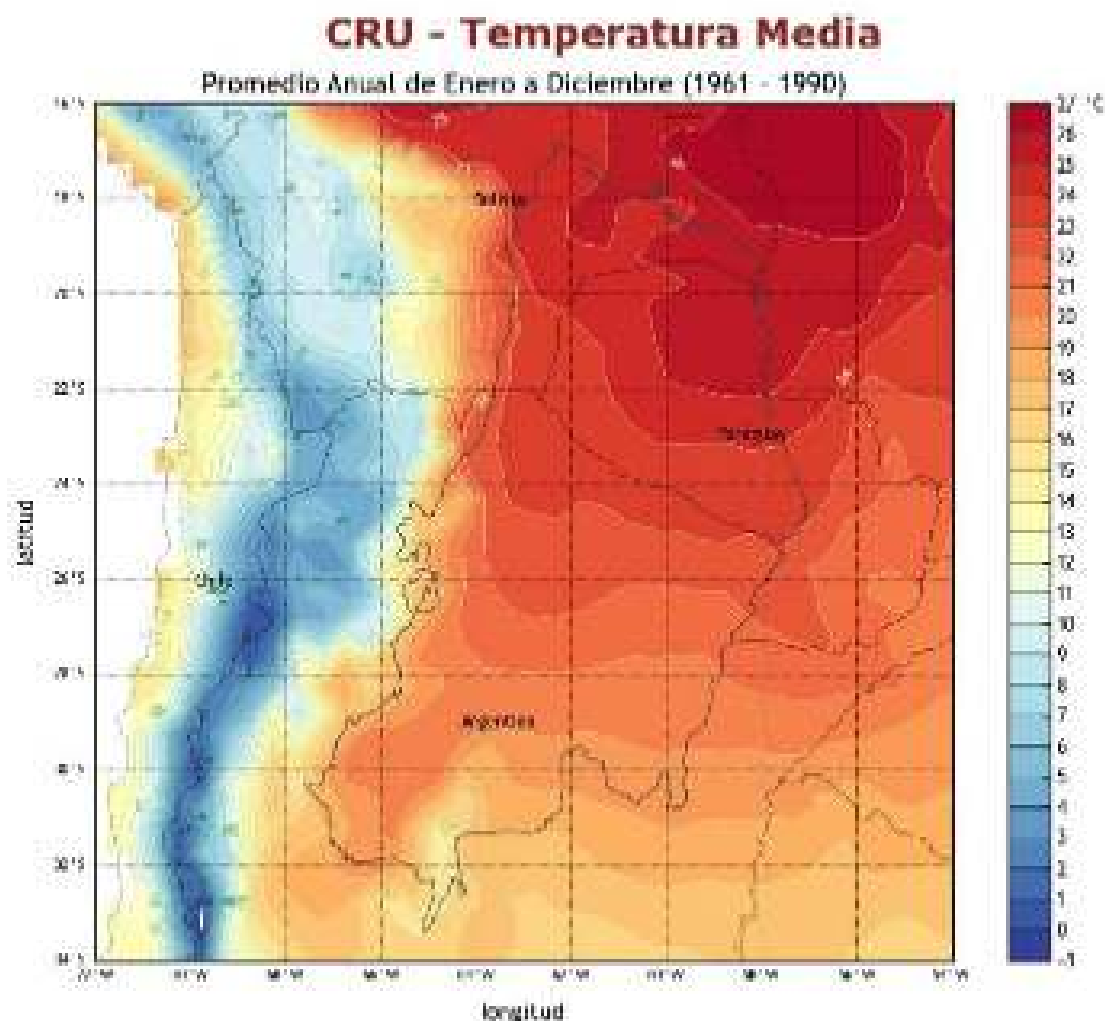
TEMPERATURA MEDIA (CRU) - PARAGUAY Y BOLIVIA



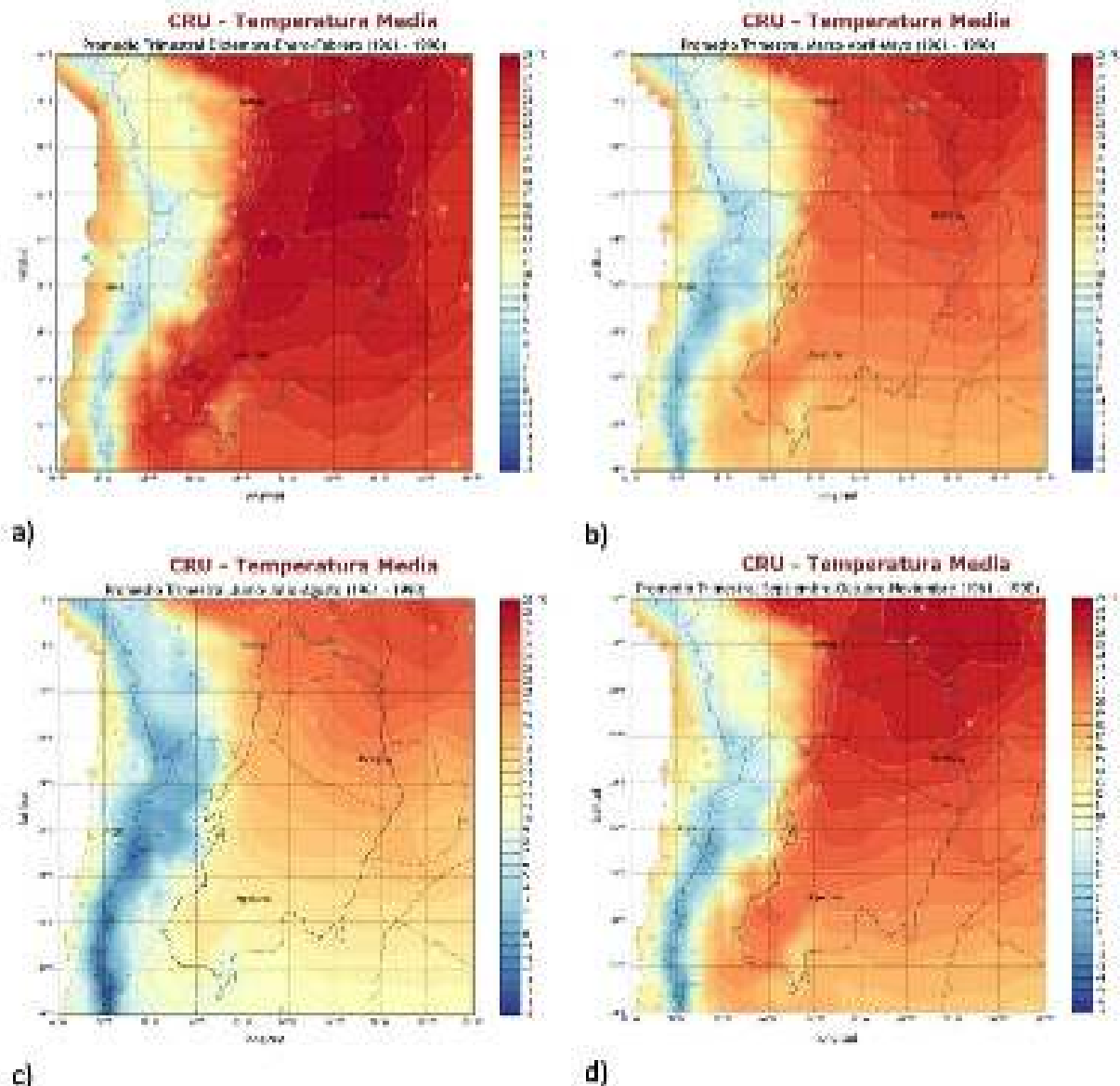
Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km
Figura 10. Distribución temporal de la temperatura media mensual (1951-1990) en los departamentos de Paraguay y Bolivia que se encuentran dentro del GChA

4.8 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA

La temperatura media en verano alcanza valores superiores a 28°C en Salta, Argentina, así como en los departamentos de Alto Paraguay y Boquerón en Paraguay. La temperatura decrece drásticamente a medida que nos aproximamos a la Cordillera y hacia el sur del GChA las temperaturas alcanzan valores medios de 21 °C con un núcleo caliente de 27°C en La Rioja (Figura 11). En el invierno la temperatura media supera ligeramente los 22°C en el noreste del gran Chaco, disminuyendo latitudinalmente hasta 13°C en el sur del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km
Figura 11. Temperatura media anual (1961-1990)



Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km
 Figura 12. Temperatura media estacional, verano (arriba izquierda), otoño (arriba derecha), invierno (abajo izquierda) y primavera (abajo derecha)

En la figura 12 se observa la distribución espacial de la temperatura media para las diferentes estaciones del año (verano, otoño, invierno y primavera). La región más caliente en las diferentes estaciones del año se encuentra en el territorio boliviano y paraguayo y supera los 28 °C en el Chaco paraguayo, la zona más fría del GChA se da en la provincia de Córdoba.

5. ESCENARIOS FUTUROS DEL CLIMA

Los escenarios climáticos son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, consistentes con suposiciones sobre emisiones futuras de gases de efecto invernadero (GEI) y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis. Los escenarios son de utilidad para el análisis del cambio climático, y en particular para la utilización de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y de mitigación. De esta forma los escenarios climáticos describen cómo dadas ciertas actividades humanas, se modificarán la composición de la atmósfera y en consecuencia el clima global (Camilloni y otros, 2006).

5.1 CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

La herramienta fundamental para la construcción de los escenarios climáticos ha sido los Modelos Climáticos Globales (MCG) recomendados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

Se debe destacar la incorporación de los escenarios climáticos de alta resolución espacial, que con ayuda de un proceso de downscaling climático dinámico fue elaborado para toda Sudamérica y de la que hemos extraído la región centrada sobre el gran Chaco. Este proceso de downscaling fue realizado en el INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales) con la ayuda del modelo climático regional PRECIS (Providing Regional Climate for Impacts Studies) desarrollado por la UK Met Office Hadley Center. Este sistema está basado en las corridas del modelo atmosférico numérico de mesoescala (HadRM3P), y se utilizó como condición de contorno el MCG HADCM3, del centro de Investigación y predicción climática del Reino Unido (Hadley Centre) (Alves y Marengo, 2009), que ya ha sido verificado como el que mejor simula el clima actual en precipitación en el sudeste de Sudamérica (Bidegain y otros, 2011).

Dado que los escenarios generados deben tener una simulación de control, para este caso se tomó el intervalo 1961-1990 y los del futuro 2011-2040, los periodos intermedios, comprenden el intervalo de 2011-2020, 2021-2030 y 2031-2040, la base 1961-1990 se ha tomado como la climatología del modelo que ha servido como el periodo que corresponde a la normal climatológica del modelo.

Basados en esto, se han elaborado los mapas normales climatológicos para la precipitación y la temperatura en el periodo de control 1961-1990, posteriormente se compararon con los mapas climáticos de los datos observados del CRU, que son datos de la climatología mensual de temperatura del aire y precipitación sobre los continentes, de la "Climate Research Unit" (CRU), de la Universidad de East Anglia (New et al., 2000). La resolución de estos datos es de 0.5° (aproximadamente 50 Km).

Hay que considerar que los escenarios de emisiones, basados en las suposiciones de cómo las posibles evoluciones socioeconómicas del mundo, dan lugar a proyecciones de

concentraciones de GEI. Considerando esto, la elección de escenarios puede ser controversial a menos que las incertidumbres inherentes a las proyecciones futuras sean adecuadamente especificadas en los análisis de impactos (Camilloni y otros, 2006).

En este trabajo sólo se ha considerado un solo modelo, lo que impide tener una estimación de las incertidumbres, pero se ha utilizado el MCG HADCM3 que ya ha sido verificado como el que mejor simula el clima actual en precipitación en el sudeste de Sudamérica (Bidegain y otros, 2011).

5.2 ESCENARIOS CLIMÁTICOS EN EL GRAN CHACO AMERICANO

La metodología para estimar los escenarios climáticos se resume en los siguientes puntos:

- I. División del Gran Chaco Americano por áreas de estudio; Se ha dividido en zonas para su estudio, teniendo en cuenta el sector agrícola, la unidad menor de estudio es el departamento en Paraguay y Bolivia, Provincia en Argentina. Para el análisis de los servicios ecosistémicos, se tomaron los complejos ecosistémicos y para los recursos hídricos se ha tomado como unidad los abanicos aluviales y unidades hídricas.
- II. Se obtuvo la climatología regional base (1961-1990) del modelo para compararlo con los datos observados, se calcularon los valores medios de las siguientes variables para la línea base (1961-1990), así como para el escenario A2 para el periodo 2011-2040.
 - Precipitación; Se calcularon las precipitaciones mensuales, estacionales y anuales.
 - Temperatura; Se calcularon las precipitaciones mensuales, estacionales y anuales.
 - Escenarios climáticos futuros para la precipitación
 - Escenarios climáticos futuros para la temperatura media

6. ESCENARIOS SOCIOECONÓMICOS

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con la finalidad de evaluar la información científica, técnica y socioeconómica pertinente para la comprensión del riesgo de cambio climático inducido por los seres humanos. Desde su creación, el IPCC ha producido una serie de completos informes de evaluación sobre los conocimientos acerca de las causas del cambio climático, sus efectos potenciales, y las opciones en cuanto a estrategias de respuesta.

Sin lugar a duda que la principal causa en los cambios observados en la composición atmosférica es la actividad económica. Ésta es la responsable por las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) y las modificaciones en la cobertura y uso del suelo. Los escenarios desarrollados por el IPCC en el cuarto informe se denominan SRES e incluyen

proyecciones hasta el 2100, éstos son conocidos como “escenarios de emisiones” y contienen una amplia variedad de suposiciones socio-económicas.

6.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS SOCIOECONÓMICOS

Escenario A2. La familia de líneas evolutivas y escenarios A2 describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las entidades locales.

Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

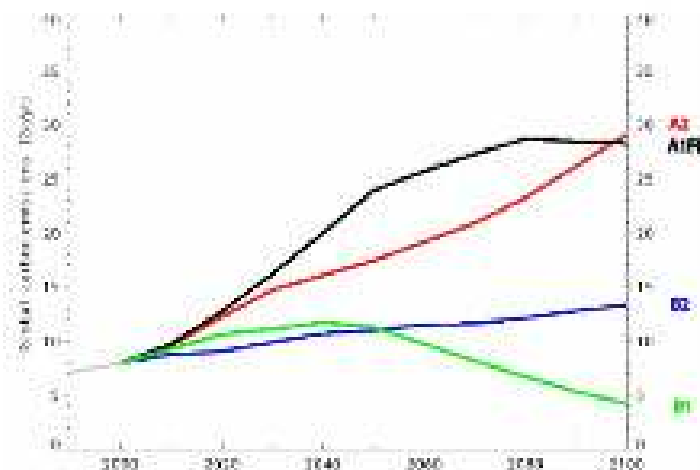


Figura 13. Emisiones totales de CO2 mundiales según los escenarios SRES A1, A2, B1, B2. (Fuente: IPCC 2007)

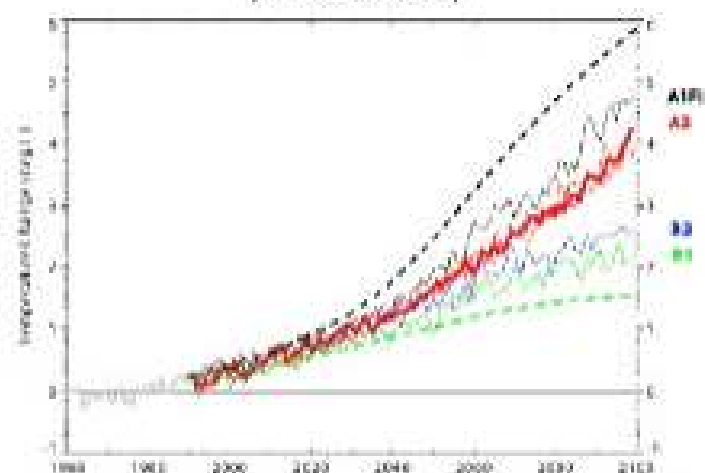


Figura 14. Diferentes estimaciones de aumento de la temperatura durante el siglo XXI en función de los cuatro escenarios (A1F1, A2, B1 y B2) (Fuente: IPCC 2007)

7. CLIMATOLOGÍA DE BASE

El periodo de referencia se refiere al periodo de control (1961-1990) que se utilizó para comparar los datos del modelo con los datos observados y a partir de allí se realizó la caracterización del clima en base a la distribución temporal y en base a la distribución espacial de las variables en la región.

Los periodos intermedios, comprenden el intervalo de 2011-2020, 2021-2030 y 2031-2040, la base 1961-1990 corresponde a la normal climatológica del modelo.

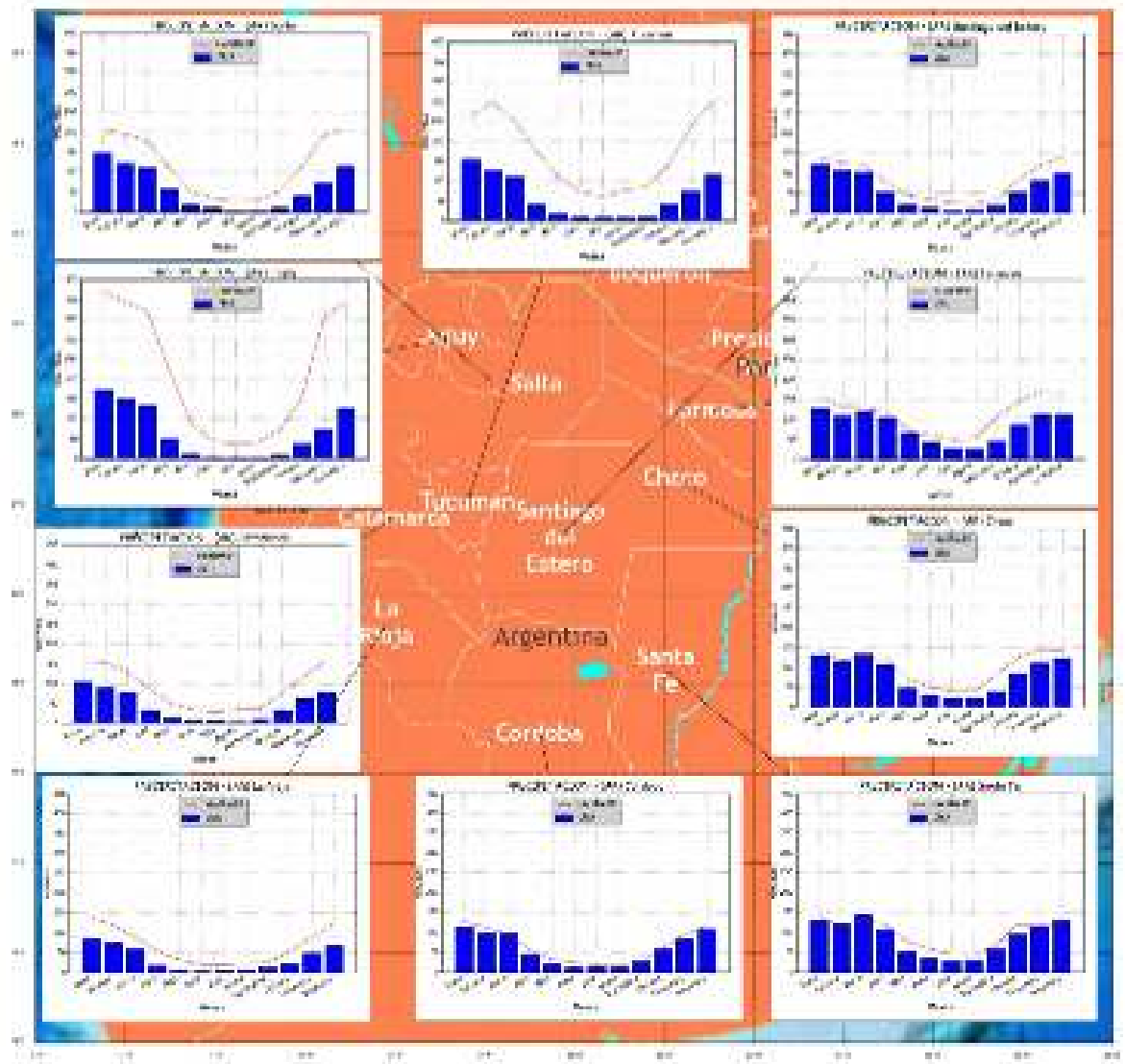
Basados en esto, se han elaborado los mapas normales climatológicos para la precipitación y la temperatura en el periodo 1961-1990, posteriormente se compararon con los mapas climáticos de los datos observados del CRU, que son datos de la climatología mensual de temperatura del aire y precipitación sobre los continentes, de la "Climate Research Unit" (CRU), de la Universidad de East Anglia (New y otros, 2000). La resolución de estos datos es de 0.5 grados (aproximadamente 50x50 Km).

7.1 PRECIPITACIÓN

Se ha calculado la precipitación media anual y elaborado el mapa de precipitación sobre el GChA para el periodo normal base (1961-1990) y comparado con los datos observados del CRU (1961-1990). En la figura 15 se puede observar la comparación entre la climatología del modelo y la observada (datos CRU), se puede resaltar que el modelo reproduce muy bien la precipitación en gran parte del GChA con excepción de las provincias de; Salta, Jujuy y Tucumán, donde se observa que reproduce el comportamiento temporal pero sobrestima la precipitación considerablemente.

En la figura 16 se compara la climatología del modelo y la observada (datos CRU), se puede resaltar que el modelo reproduce muy bien la precipitación en los departamentos de Paraguay y Bolivia que están dentro del GChA, representa muy bien la estacionalidad de la precipitación; pero en las localidades de Chuquisaca, Tarija y Boquerón sobre estima levemente la precipitación en el verano.

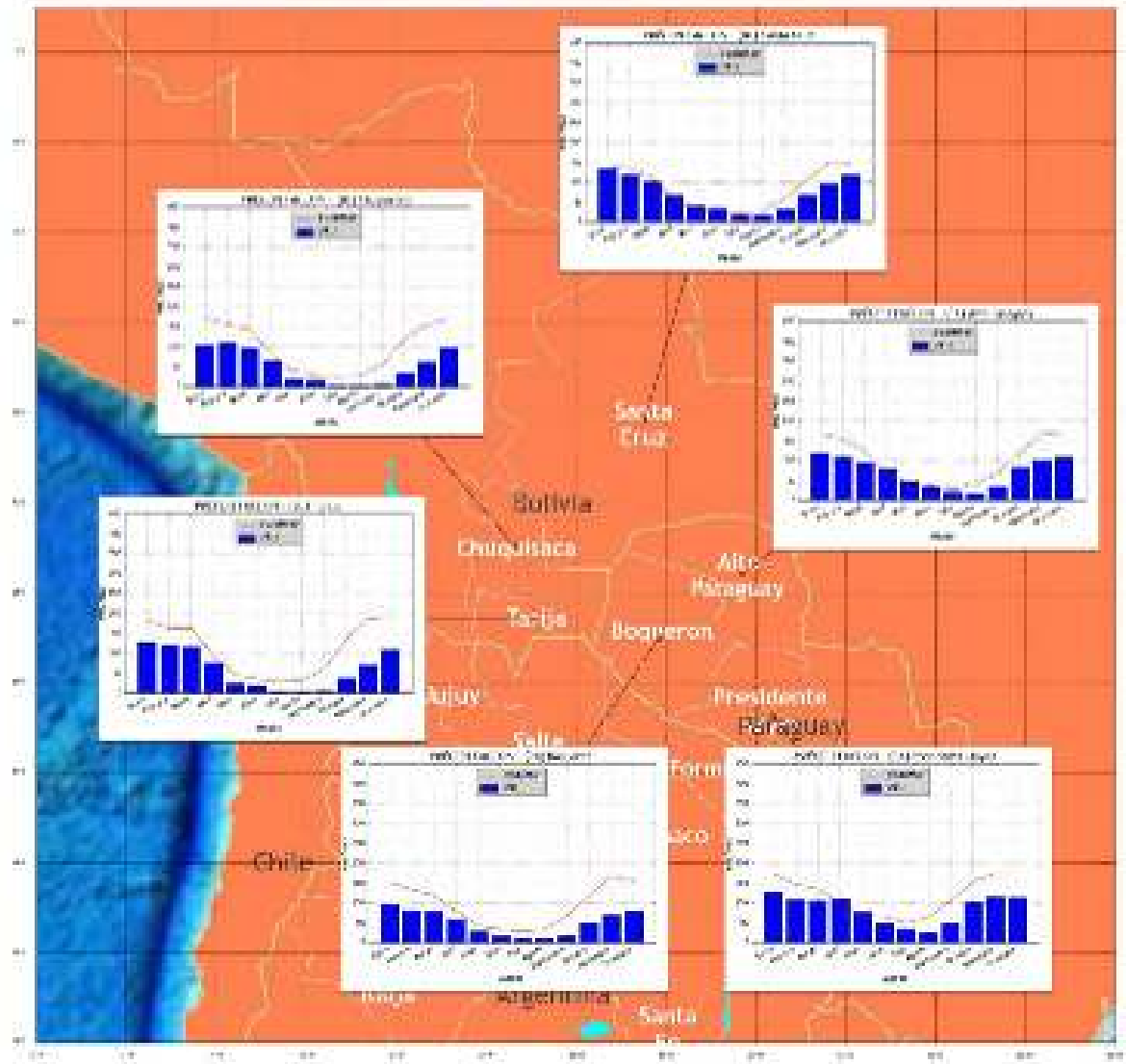
PRECIPITACION - ARGENTINA



Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km

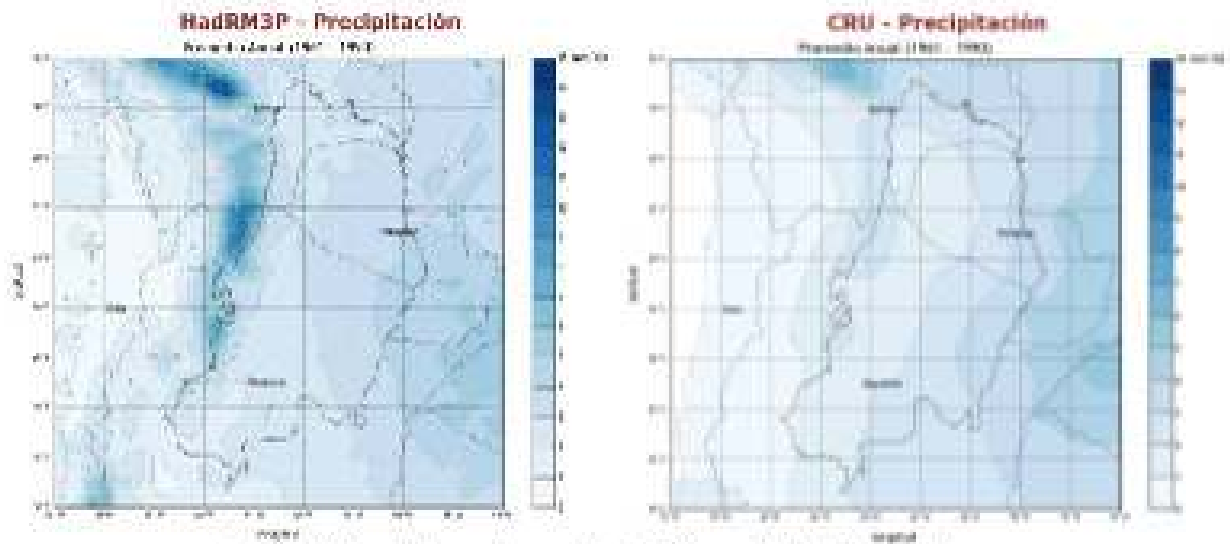
Figura 15. Distribución temporal de la precipitación mensual (1961-1990) en las provincias de Argentina que se encuentran dentro del GChA, comparado con los datos del modelo (HadRM3P)

PRECIPITACION - PARAGUAY Y BOLIVIA



Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km

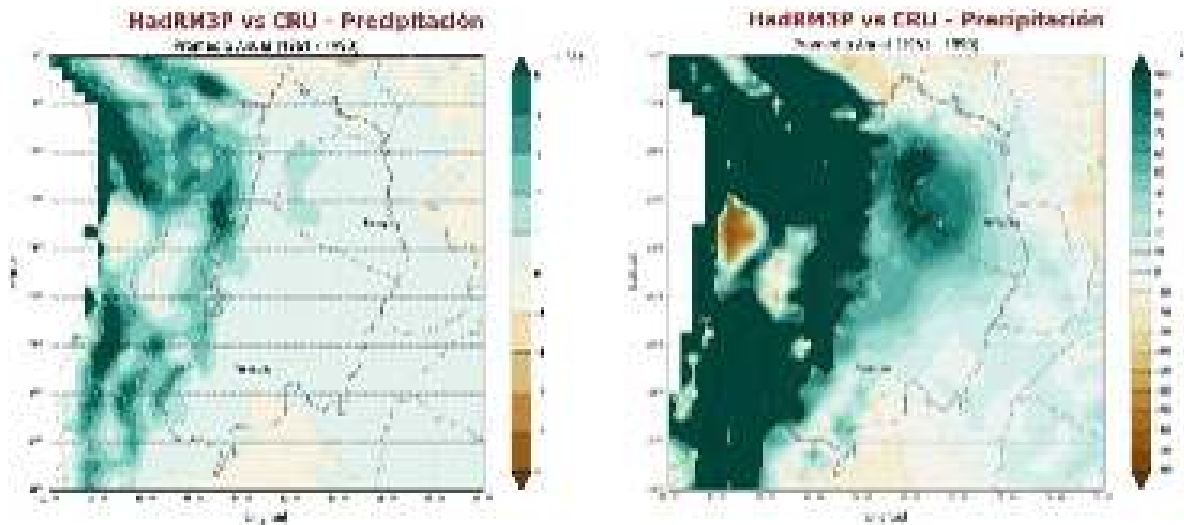
Figura 16. Distribución temporal de la precipitación mensual (1961-1990) en los departamentos de Bolivia y Paraguay que se encuentran dentro del GChA, comparado con los datos del modelo (HadRM3P)



Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km

Figura 17. Mapa de precipitación media anual (1961-1990); del modelo HadRM3P (izquierda), de los datos observados (derecha)

En la figura 17 se compara: a) la climatología del modelo (1961-1990) y b) la climatología de la precipitación observada. Lo que resalta es la sobrestimación de la precipitación en el oeste del gran Chaco, específicamente en la frontera entre Argentina y Bolivia, mientras que en el resto los valores son próximos a lo observado.



Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km

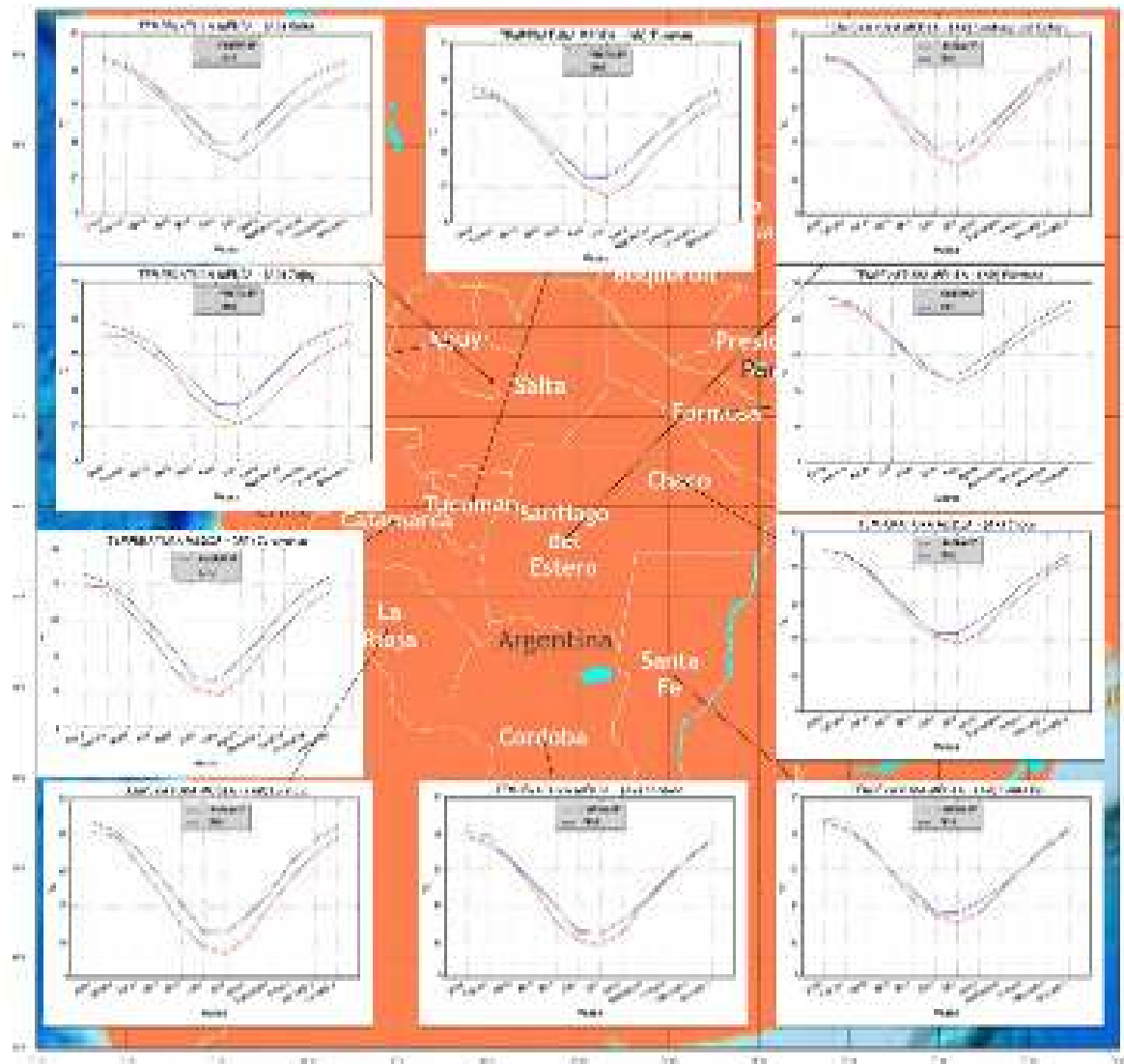
Figura 18. Mapa de diferencia entre el modelo y lo observado de la precipitación media anual (1961-1990); izquierda (mm/día), derecha (%)

En la figura 18 se observa la diferencia entre la climatología del modelo y la observada, se puede apreciar que el modelo reproduce muy coherentemente la precipitación en el GChA, con excepción en el límite este, donde se observa una sobreestimación de la precipitación. En el mapa de la derecha se puede observar la diferencia en porcentaje, resalta claramente que en el límite oeste del GChA, la precipitación está ampliamente sobrestimada, lo mismo ocurre en el límite entre Paraguay y Bolivia, donde el modelo también sobrestima la precipitación.

7.2 TEMPERATURA MEDIA

En la figura 19 se puede observar la temperatura media mensual en las provincias incluidas en el GChA comparada con la temperatura media mensual del modelo para el periodo 1961-1990. Se puede notar que el modelo reproduce bastante bien el comportamiento temporal pero en la mayoría de los casos subestima la temperatura media en los meses más fríos y esto se mantiene hasta los meses finales del año.

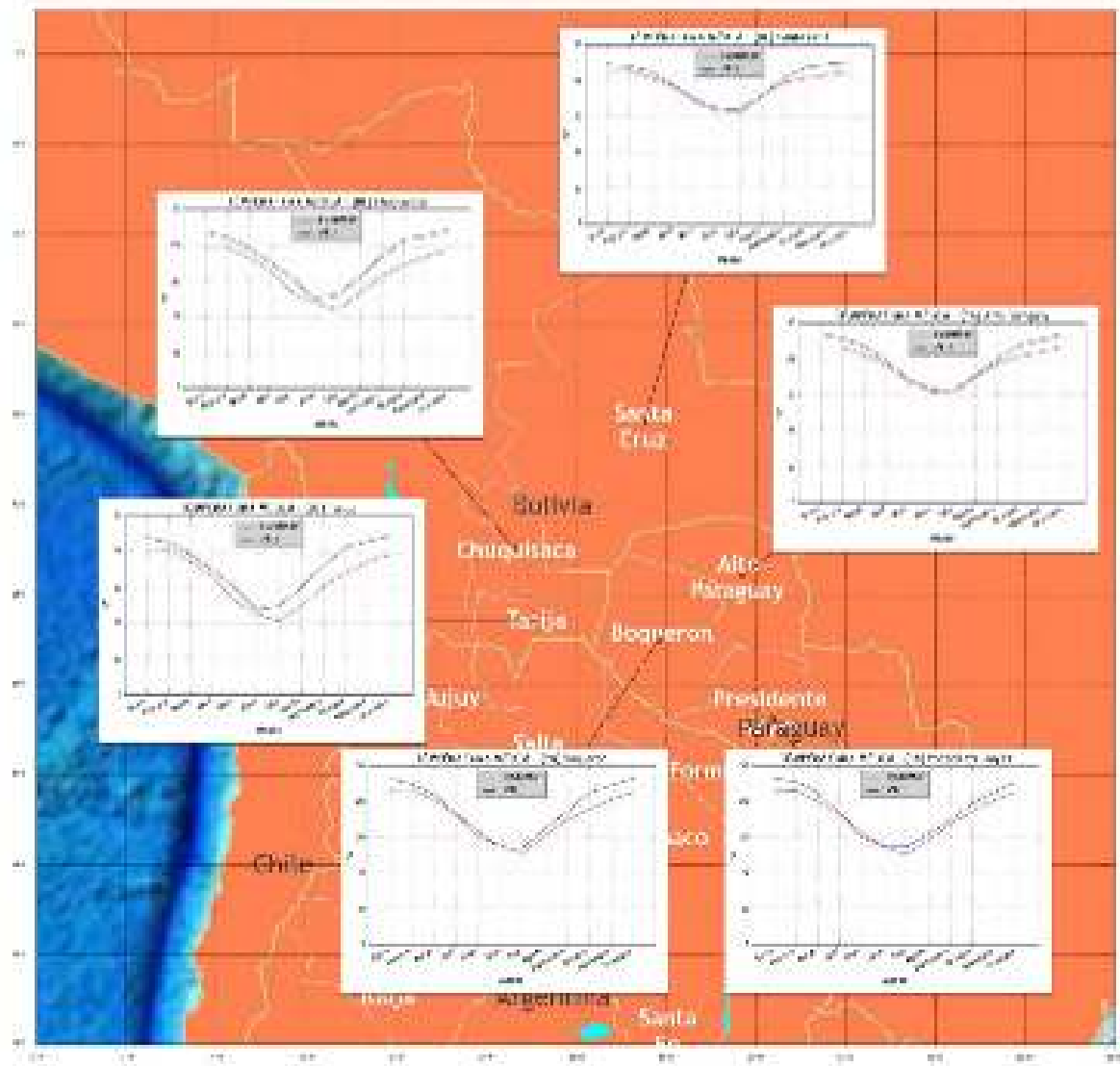
TEMPERATURA MEDIA - ARGENTINA



Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km

Figura 19. Distribución temporal de la temperatura media mensual (1961-1990) en las provincias de Argentina que se encuentran dentro del GChA, comparado con las datos del modelo (HadRM3P)

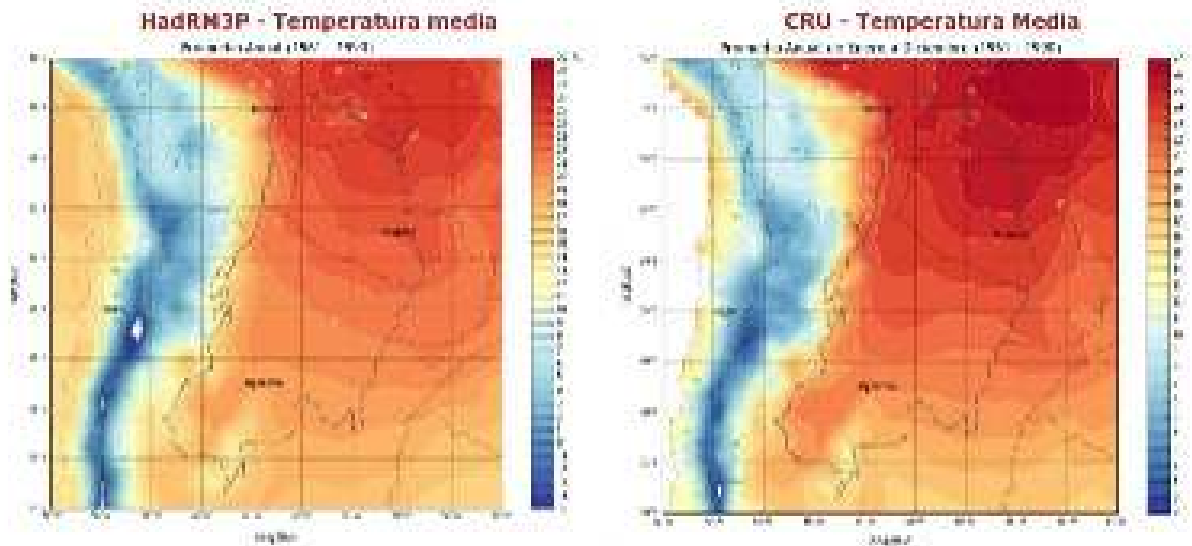
TEMPERATURA MEDIA - PARAGUAY Y BOLIVIA



Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km

Figura 20. Distribución temporal de la temperatura media mensual (1961-1990) en los departamentos de Bolivia y Paraguay que se encuentran dentro del GChA, comparada con los datos del modelo (HadRM3P)

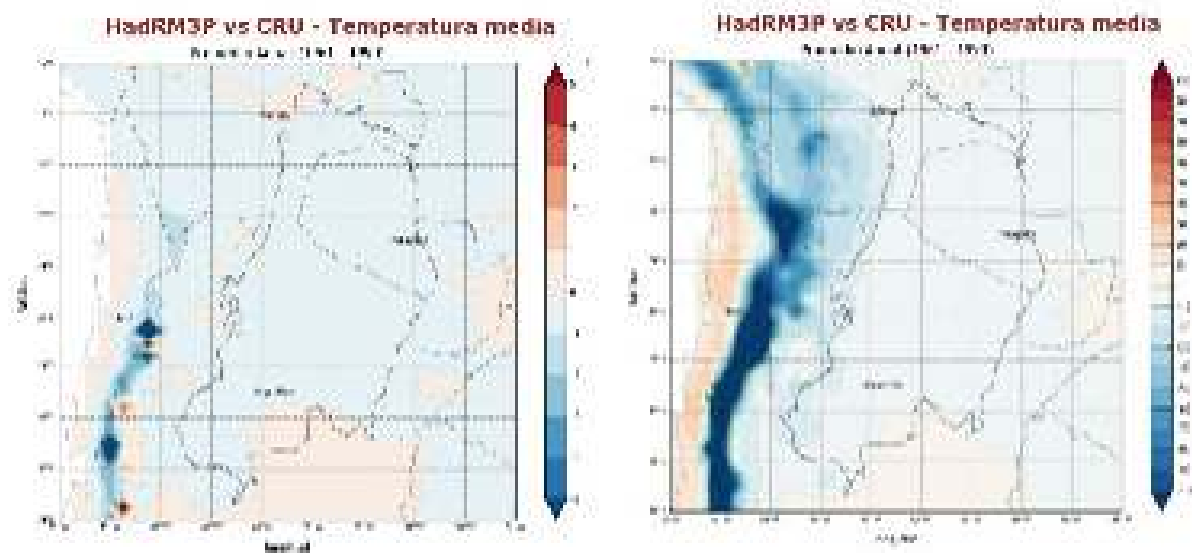
En la figura 20 se compara la temperatura media mensual en los departamentos de Paraguay y Bolivia incluidos en el GChA con la temperatura media mensual del modelo para el período 1961-1990. Se puede notar que el modelo reproduce bastante bien el comportamiento temporal, pero en la mayoría de los casos, subestima la temperatura media en los meses más fríos y esto se mantiene hasta los últimos meses del año.



Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km
Figura 21. Mapa de temperatura media anual (1961-1990): del modelo HadRM3P (izquierda), observado CRU (derecha)

En la figura 21 se compara a) la temperatura media generada por el modelo (1961-1990) y b) la temperatura media observada. Lo que resalta es que el modelo representa bastante bien la temperatura media, coincidiendo la zona de máximos y mínimos valores.

En la figura 22 se observa la diferencia entre el modelo y lo observado, resalta que en gran parte del GChA la diferencia es constante en casi toda la región y los valores resultantes muy próximos a lo observado, subestimando ligeramente el valor medio en todo el GChA (izquierda). En el mapa de la derecha se observa la diferencia en porcentaje donde se observa que la diferencia está entre 0 y -10 %.



Fuente: Elaboración propia con datos CRU de resolución de 50x50 Km
Figura 22. Mapa de diferencia entre el modelo y lo observado temperatura media anual (1961-1990); izquierda (°C), derecha (%)

8. ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Para este trabajo se ha utilizado el escenario A2 para las proyecciones de la temperatura media y precipitación hasta el 2040. En la tabla 4 se muestra la variación en porcentaje de la precipitación y la temperatura con respecto a la normal 1961-1990, allí se puede observar que para todas las provincias y departamentos analizados en cada década hay un predominio de disminución de la precipitación en el verano (DEF), y un marcado aumento en el invierno en muchos casos duplicando la precipitación, las provincias de Argentina son las que tienen una mayor disminución en verano y un mayor incremento en invierno. En cuanto a la temperatura media se observa que en el verano hay un ligero incremento; pero también se observa una disminución en las provincias de Jujuy, Salta y los departamentos de Chuquisaca y Tarija, en la segunda y tercera década el incremento es positivo, en cambio para el invierno el incremento es positivo durante todo el periodo.

En el escenario de la temperatura media, se observa que ésta se va incrementando década a década; esto se puede observar tabla 5, en donde la temperatura se incrementa en casi todo el GChA. A partir de la década de 2021-2030 se observa que el incremento de la temperatura en varias provincias/departamentos supera 1°C, que abarca el oeste y sur del GChA. En la década 2031-2040 el incremento de la temperatura supera más de 1°C, y abarca ya casi todo el GChA (ver tabla 5). Para el periodo completo se observa que todas las tendencias son significativas a un nivel de confianza del 95%, lo que indica que la tendencia es significativamente positiva y que el mayor incremento se observa en la zona oeste del GChA.

En cuanto a la precipitación la tendencia es significativa con un nivel de confianza del 95% en la provincia de Salta, Argentina, con tendencia negativa, en los departamentos de Alto Paraguay y Boquerón, Paraguay, con tendencia positiva y en Santa Cruz, Bolivia, también con tendencia positiva. Las demás provincias/departamentos presentan una ligera tendencia positiva, pero no significativa.

Al analizar la pendiente de la precipitación para todo el periodo 1991-2040 (tabla 6), se observa que las provincias de Jujuy, Salta y Santa Fe, presentan tendencias negativas siendo solo significativas la de Jujuy con un nivel de confianza del 95%, en las/los demás provincias/departamentos las tendencias son positivas pero solo significativas Alto Paraguay, Boquerón y Santa Cruz, lo que denota que la señal de cambio de la precipitación no es tan evidente. En cuanto a la temperatura las tendencias son todas positivas y significativas al 95 % de nivel de confianza lo que denota que el calentamiento es altamente probable en todo el GChA (tabla 6).

Tabla 4: Variación porcentual de la temperatura y la precipitación por región y período normal 1961-1990

PAÍS	REGIÓN	Variable	2011-2020					2021-2050		
			DEF	MAM	JJA	SON	Anual	DEF	MAM	JJA
Paraguay	Presidente Hayes	P	-11	10	39	4	4	-9	11	11
		T	3	3	6	3	4	4	4	4
	Alto Paraguay	P	2	21	45	9	12	4	15	15
		T	2	4	5	4	4	3	5	5
	Boquerón	P	-1	14	60	0	8	0	10	10
		T	0	2	6	3	2	1	3	3
Argentina	Catamarca	P	-2	5	51	-3	5	-3	5	5
		T	1	3	13	-2	3	3	5	5
	Chaco	P	-11	-4	64	-5	0	-9	-4	-4
		T	1	3	7	1	3	2	4	4
	Córdoba	P	-17	17	114	-6	3	-14	20	20
		T	2	4	14	-1	3	3	6	6
	Formosa	P	-12	2	54	-7	1	-10	4	4
		T	2	3	7	2	3	2	4	4
	Jujuy	P	-12	-16	104	1	-5	-10	-18	-18
		T	-3	-2	12	2	1	0	0	0
	La Rioja	P	-6	9	104	-2	7	-5	13	13
		T	2	5	17	-4	3	2	6	6
	Salta	P	-8	-4	81	-3	0	-6	-7	-7
		T	-3	0	10	1	1	0	2	2
	Santa Fe	P	-13	-8	56	-3	0	-13	-8	-8
		T	2	4	7	3	3	3	5	5
	Santiago del Estero	P	-11	10	61	-4	2	-7	7	7
		T	1	3	9	-1	2	2	5	5
	Tucumán	P	0	0	46	-1	5	-1	-2	-2
		T	0	-1	13	1	2	1	2	2
Bolivia	Chuquisaca	P	-1	0	68	8	7	0	-3	-3
		T	-2	0	7	4	2	0	2	2
	Santa Cruz	P	12	23	71	-2	14	13	14	14
		T	1	3	5	5	3	2	4	4
	Tarija	P	-3	-2	70	0	3	-2	-5	-5
		T	-3	-1	8	4	1	-1	0	0

Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE). Los valores representan el incremento/disminución (+/-) y se encuentran en porcentaje. No se observa variación.

ran Chaco Americano para el año 2040

ra el escenario A2 por década y periodo completo con respecto a la

1-2030			2031-2040					2011-2040				
JJA	SON	Anual	DEF	MAM	JJA	SON	Anual	DEF	MAM	JJA	SON	Anual
41	-1	4	-11	14	44	2	5	-10	11	41	2	4
7	8	5	5	6	7	7	8	4	5	7	5	5
42	2	9	0	21	50	5	10	2	19	46	6	10
7	8	5	4	6	7	7	8	3	5	6	6	5
58	-3	6	-3	13	66	-1	7	-2	12	62	-1	7
8	8	4	2	5	8	7	5	1	3	7	5	4
57	-10	3	-8	-2	49	-5	0	-4	3	52	-6	2
15	4	5	4	7	16	4	8	2	5	15	2	5
70	-7	1	-12	-7	71	-3	1	-11	-5	68	-5	1
8	5	5	3	6	8	6	5	2	4	8	4	4
22	-16	3	-23	13	106	-8	-2	-18	17	115	-10	1
15	4	6	4	9	17	4	7	3	6	15	2	5
58	-6	2	-12	3	60	-6	2	-11	3	57	-7	2
8	8	5	4	5	7	6	6	3	4	7	5	4
95	2	-5	-11	-24	105	5	-5	-11	-19	101	3	-5
14	8	4	0	4	14	10	6	-1	1	14	7	4
101	-10	6	-14	9	97	-8	1	-8	11	100	-7	5
18	2	5	4	8	19	2	7	3	6	18	0	5
77	-3	0	-8	-12	83	0	-1	-7	-8	81	-2	0
11	8	4	0	4	11	8	5	-1	2	11	5	3
63	-7	0	-14	-9	60	-1	0	-13	-8	60	-4	0
9	7	6	4	7	8	6	6	3	5	8	5	5
71	-6	3	-13	-1	63	-2	-1	-10	5	65	-5	1
11	4	5	3	7	11	5	6	2	5	10	2	4
48	-4	3	-2	-7	43	0	2	-1	-3	48	-1	3
15	7	5	2	3	15	9	6	1	1	14	5	4
68	7	6	-3	-3	74	9	6	-2	-2	70	6	6
9	7	4	0	4	9	9	5	0	2	6	7	4
67	-4	12	10	17	73	-2	12	12	18	70	-3	13
7	7	5	2	6	7	6	6	2	4	6	7	5
69	1	3	-5	-7	76	2	3	-3	-5	72	1	3
10	7	4	0	3	10	9	5	-1	1	9	7	3

IPE)

aje (%) con respecto a la línea base 1961-1990, los valores de 0 significa que no se

Tabla 5. Variación en valor absoluto de la temperatura y la precipitación para el escenario A2 por década y periodo completo con respecto a la normal 1961-1990.

UBI	ESQUEMA	Temperatura (°C/10 años)				Precipitación (mm/10 años)			
		2011-2020	2021-2030	2031-2040	2011-2040	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2011-2040
Frontera	Presidente Hayes	0.83	1.21	1.37	<u>1.61</u>	1.18	0.18	0.33	1.17
	Año Paraguay	0.83	1.20	1.41	<u>1.70</u>	1.28	0.30	0.34	<u>2.01</u>
	Boquerón	0.53	0.66	1.17	<u>0.80</u>	0.24	0.30	0.31	<u>0.87</u>
Ayerbá	Castroville	0.43	0.66	1.13	<u>0.60</u>	1.14	0.09	-0.01	1.07
	Chaco	0.53	0.66	1.13	<u>0.87</u>	1.08	0.05	0.34	1.08
	Corralito	0.51	1.00	1.33	<u>0.80</u>	1.08	0.07	-0.04	1.08
	Fernandea	0.64	1.05	1.31	<u>0.87</u>	1.08	0.07	0.33	1.08
	Ajuy	0.54	0.74	0.94	<u>0.60</u>	-0.24	-0.26	-0.38	<u>-0.88</u>
	La Fleja	0.53	0.66	1.13	<u>0.80</u>	1.18	0.13	0.33	1.18
	Sala	0.53	0.73	0.97	<u>0.60</u>	-0.11	0.00	-0.04	-0.14
	Santa Fe	0.64	1.15	1.33	<u>1.37</u>	-0.11	-0.01	0.30	1.00
	Santiago del Estero	0.43	0.64	1.13	<u>0.60</u>	1.08	0.07	-0.02	1.04
	Tacarúa	0.57	0.91	0.93	<u>0.60</u>	1.27	0.13	0.10	1.18
Sud del	Droquiza	0.43	0.67	1.13	<u>0.87</u>	1.22	0.19	0.19	1.22
	Santa Cruz	0.53	1.16	1.33	<u>1.72</u>	1.40	0.33	0.35	<u>2.08</u>
	Tañá	0.53	0.76	1.35	<u>0.71</u>	1.15	0.13	0.10	1.11

Obs.: Los valores subrayados son tendencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%.
Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE)

Tabla 6. Tendencia de la precipitación y temperatura media anual, su intervalo de confianza para un nivel de confianza del 95% para el escenario A2 por década y periodo 1991-2040.

UBI	ESQUEMA	Precipitación (mm/10 años)			Temperatura media (°C/10 años)		
		r	Intervalo confianza	p-valor	r	Intervalo confianza	p-valor
Frontera	Presidente Hayes	0.78	-0.0418004 0.2526000	0.120	0.72	0.6123000 0.2177000	<u>0.00018</u>
	Año Paraguay	0.83	0.1376700 0.1860000	<u>0.0017</u>	0.64	0.1620000 0.7660000	<u>1.76E-14</u>
	Boquerón	0.23	0.0187000 0.1000000	<u>0.0070</u>	0.65	0.602100 0.761500	<u>0.00012</u>
Ayerbá	Castroville	0.30	-0.1130000 0.2860000	0.240	0.64	0.4801000 0.6999000	<u>0.00012</u>
	Chaco	0.68	-0.2060000 0.2040000	0.000	0.68	1.227100 0.760000	<u>0.00018</u>
	Corralito	0.55	-0.2000000 0.2000000	0.000	0.68	0.4807000 0.6993000	<u>0.00012</u>
	Fernandea	0.67	-0.2070000 0.2100000	0.000	0.70	0.6761000 0.7639000	<u>0.00014</u>
	Ajuy	-0.26	-0.4250000 0.2000000	<u>0.0007</u>	0.66	0.6000000 0.7000000	<u>0.00012</u>
	La Fleja	0.53	-0.0000000 0.2000000	0.100	0.67	0.6000000 0.7000000	<u>0.00018</u>
	Sala	-0.35	-0.2000000 0.1000000	0.000	0.68	0.4800000 0.6900000	<u>0.00012</u>
	Santa Fe	-0.31	-0.2100000 0.2000000	0.000	0.68	0.600000 0.700000	<u>0.00018</u>
	Santiago del Estero	0.67	-0.1000000 0.2000000	0.000	0.68	0.4800000 0.6900000	<u>0.00018</u>
	Tacarúa	0.57	-0.0000000 0.2070000	0.100	0.68	0.4800000 0.7000000	<u>0.00012</u>
Sud del	Droquiza	0.53	-0.0000000 0.2000000	0.100	0.68	0.6000000 0.7000000	<u>0.00018</u>
	Santa Cruz	0.44	0.1000000 0.1000000	<u>0.0000</u>	0.72	0.6000000 0.8000000	<u>0.00018</u>
	Tañá	0.68	-0.1000000 0.2000000	0.000	0.68	0.6000000 0.7000000	<u>0.00012</u>

Obs.: Los valores subrayados son significativos a un nivel de confianza del 95%, r representa la correlación lineal, el intervalo de confianza de r y el p-valor es el estadístico de r.
Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE)

8.1 TENDENCIAS DE LA PRECIPITACIÓN

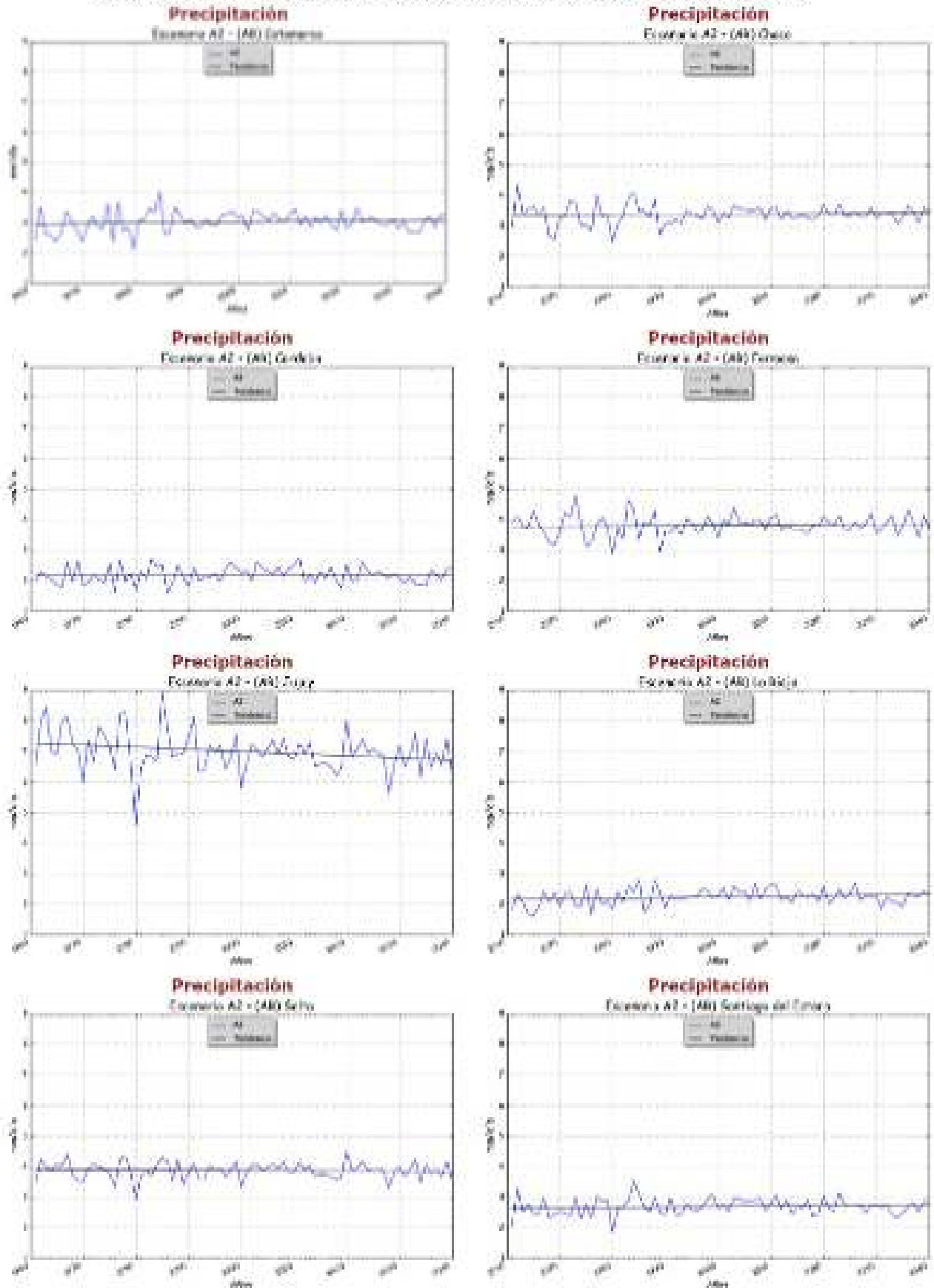
Investigaciones sobre modelación del clima sugieren que, en un clima cada vez más cálido debido al aumento de gases de efecto Invernadero, se esperaría un incremento de las precipitaciones extremas respecto de su valor medio. Por esto, la influencia antropogénica es más fácilmente detectable en las precipitaciones extremas que en los valores medios. Esto se debe principalmente a que las precipitaciones extremas están controladas por la disponibilidad de vapor de agua, mientras que el valor medio de precipitación está controlado por la capacidad de la atmósfera para radiar hacia el espacio energía de onda larga (liberada en forma de calor latente, mediante condensación), y esta capacidad está limitada por el aumento de gases de efectos Invernadero (IPCC).

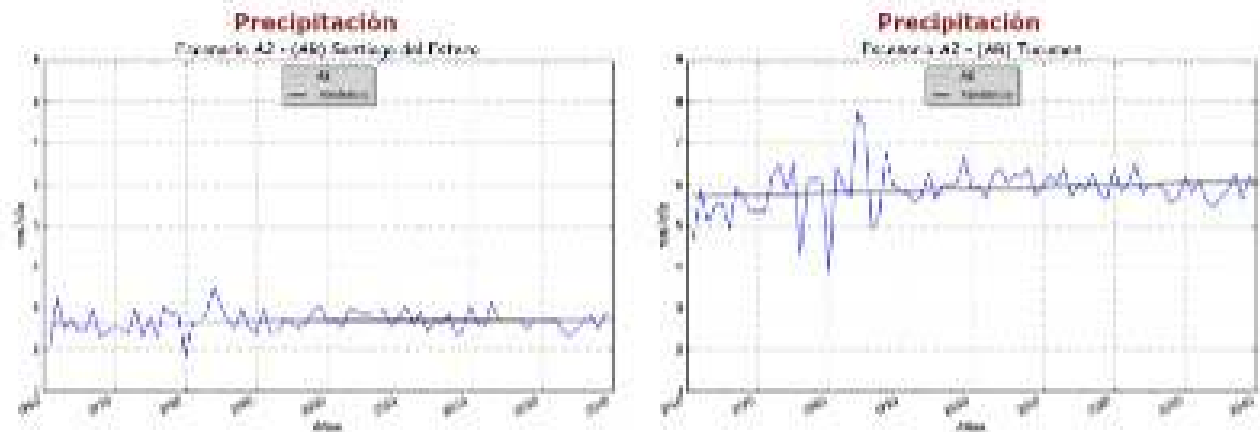


Figura 23. Tendencias de la precipitación media anual para el escenario A2

En la figura 23 se muestra la tendencia de la precipitación en el gran Chaco, donde se observa una tendencia ascendente pero no muy marcada (Figura 23).

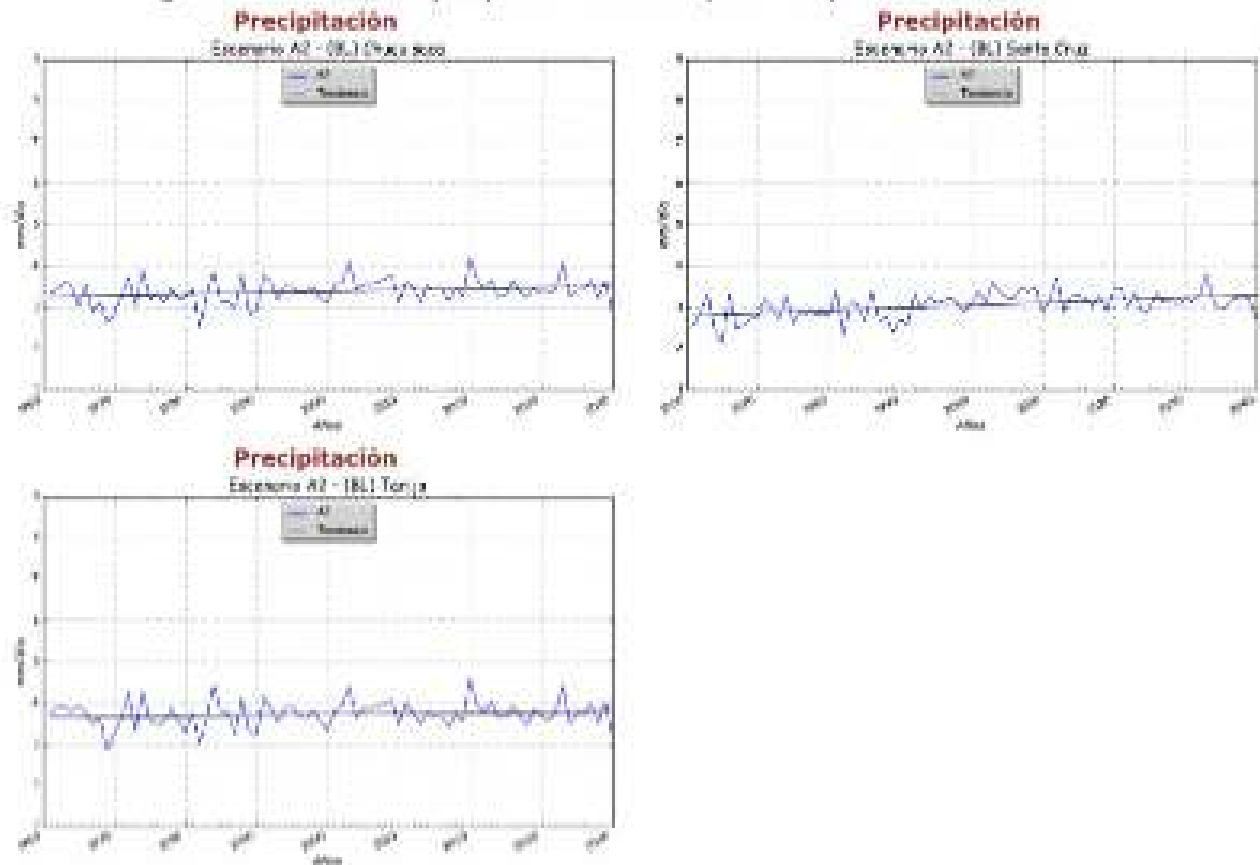
Figura 24. Tendencia de la precipitación total anual (1961-2040): Escenario A2, Argentina





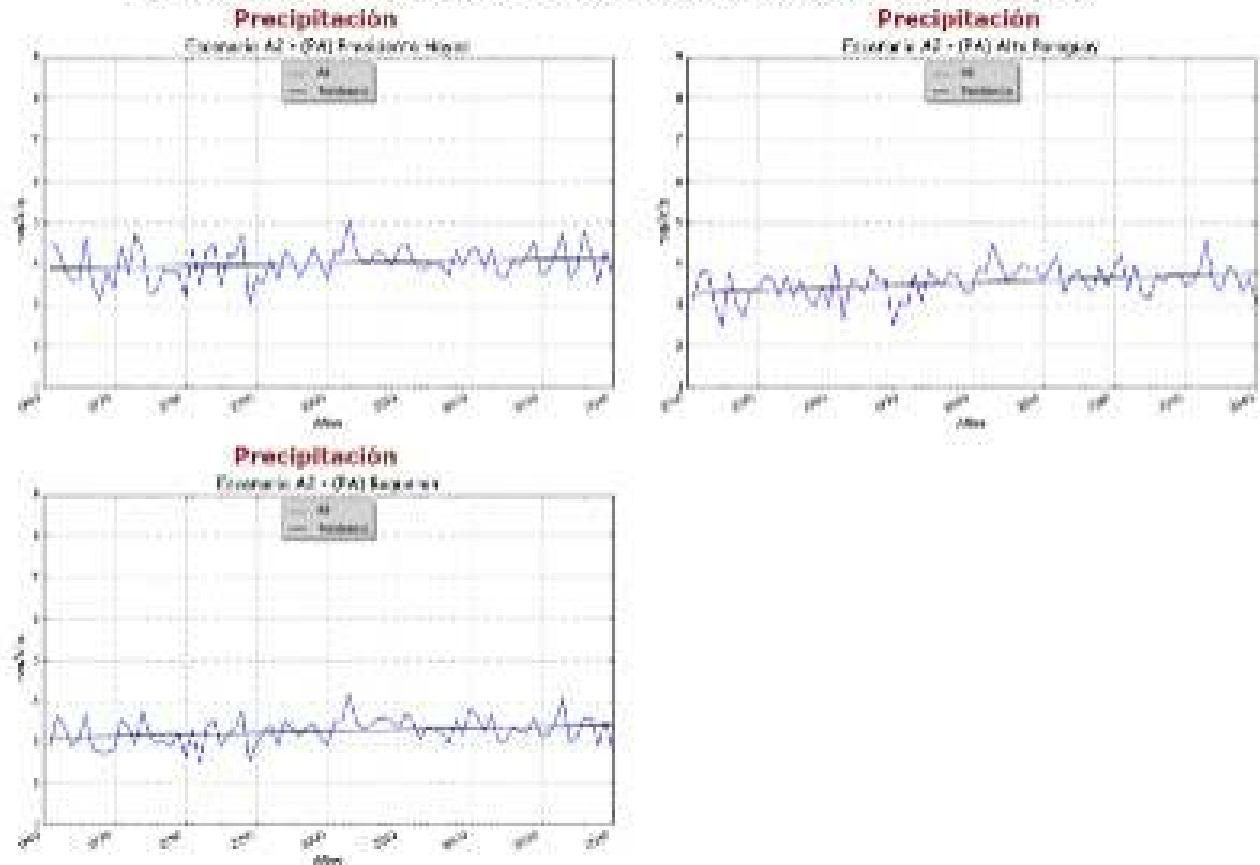
En casi todas las provincias de Argentina, que se encuentran dentro de los límites del gran Chaco, se observa una tendencia positiva, la única provincia con tendencia negativa es Jujuy (Figura 24).

Figura 25. Tendencia de la precipitación total anual (1961-2040): Escenario A2, Bolivia



Para los departamentos de Bolivia que se encuentran dentro del gran Chaco, todas presentan una ligera tendencia positiva (Figura 25).

Figura 26. Tendencia de la precipitación total anual (1961-2040): Escenario A2, Paraguay



Los tres departamentos de Paraguay que se encuentran dentro del gran Chaco, también registran una tendencia positiva (Figura 26).

8.2 ESCENARIOS DE LA PRECIPITACIÓN

El escenario de la precipitación muestra que en las diferentes décadas; 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 el incremento es constante en gran parte del GChA.

En la figura 27 se observa que la precipitación tiene un incremento en la década 2011-2020 para gran parte del GChA, solo unas pequeñas zonas tienen una disminución de la precipitación anual.

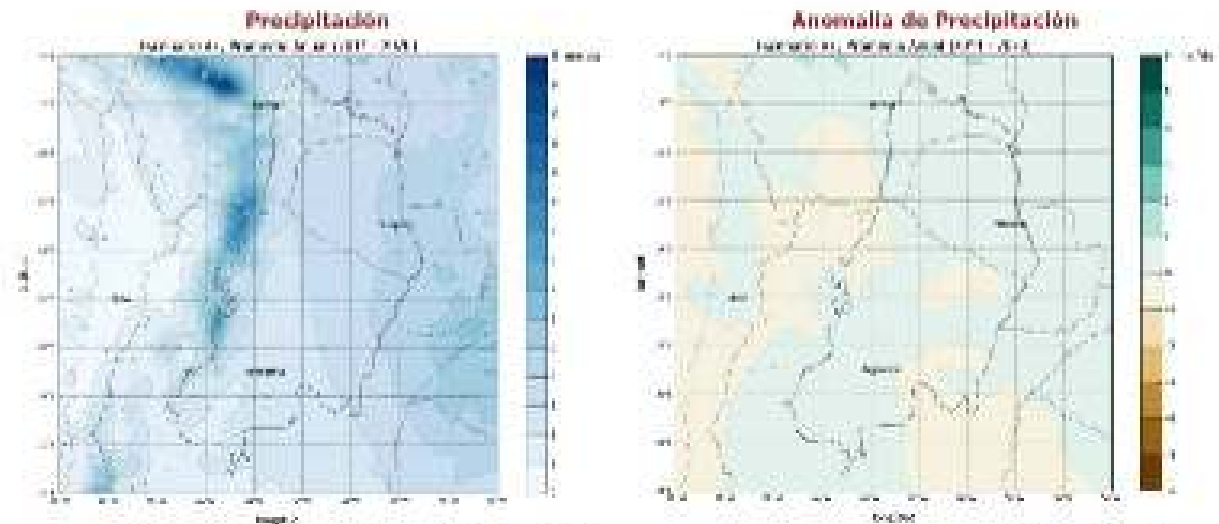


Figura 27. Precipitación media anual (2011-2020) y su anomalía con respecto al promedio (1961-1990): Escenario A2

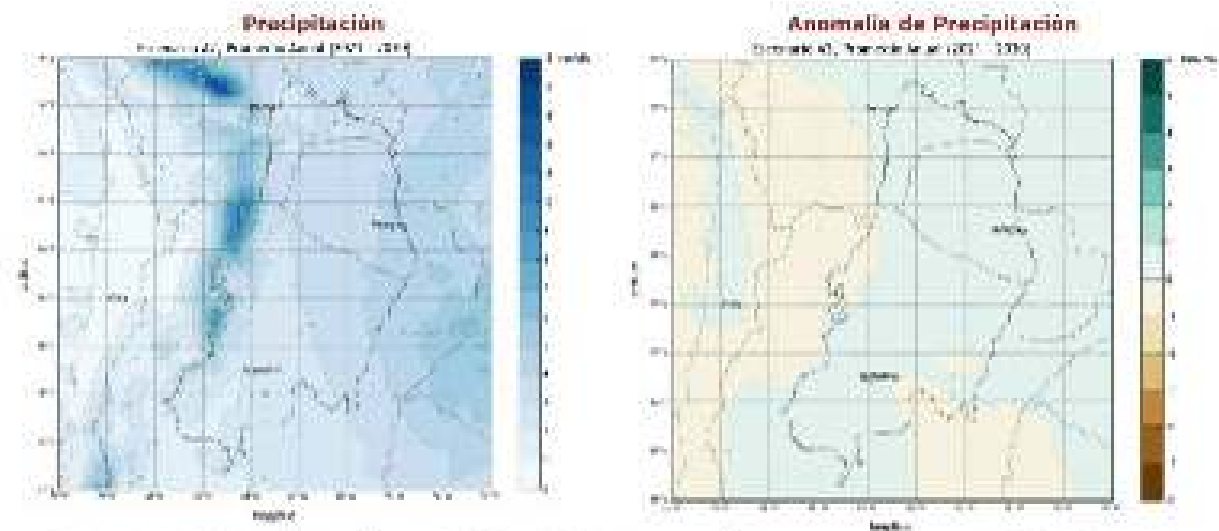


Figura 28. Precipitación media anual (2021-2030) y su anomalía con respecto al promedio (1961-1990): Escenario A2

Para la década de 2021-2030, el incremento de la precipitación anual es más generalizado, se mantiene una pequeña zona en el oeste y el sur del GChA con una leve disminución (figura 28).

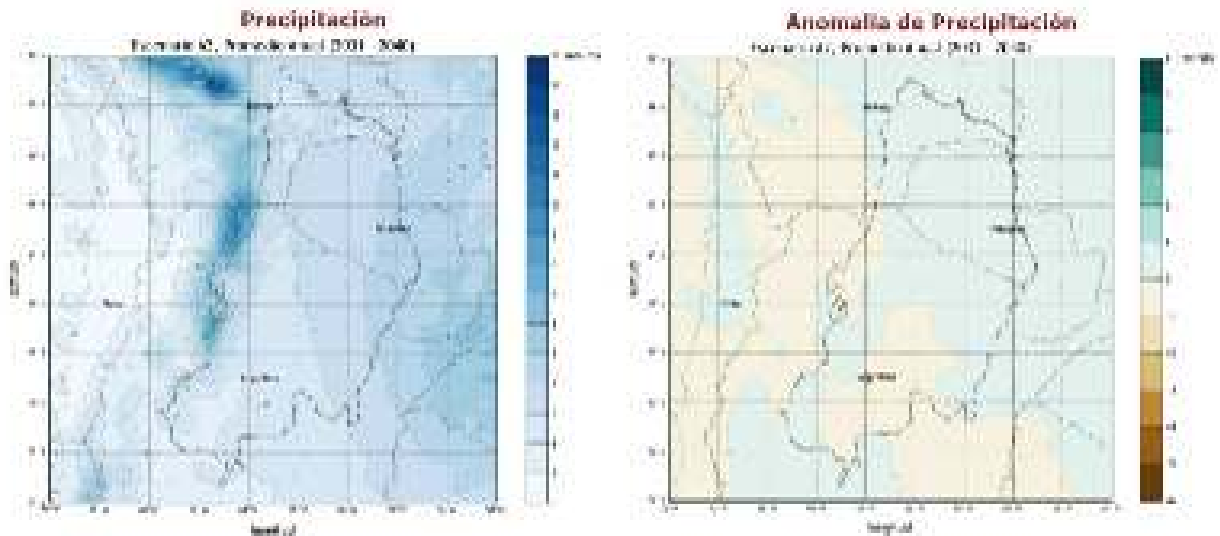


Figura 29. Precipitación media anual (2031-2040) y su anomalía con respecto al promedio (1961-1990): Escenario A2

Para la década 2031-2040, el incremento de la precipitación anual ya no es generalizado, mostrándose unas zonas con disminución, específicamente en el sur del GChA y el oeste del mismo.

8.3 TENDENCIAS DE LA TEMPERATURA MEDIA

De acuerdo a las proyecciones de la temperatura media hasta el 2040 en todo el gran Chaco para el escenario A2, se observa una tendencia positiva y con un marcado incremento hacia el 2020, el incremento estimado para la década de 2040 es de 1,2°C, esto se puede observar en la figura 30.

Las tendencias de la temperatura media son todas positivas y significativas con un nivel de confianza del 95%, esto se puede observar en los gráficos por provincia/departamentos que están dentro del GChA.

Figura 30. Tendencia de la de la temperatura media en el gran Chaco para el escenario A2

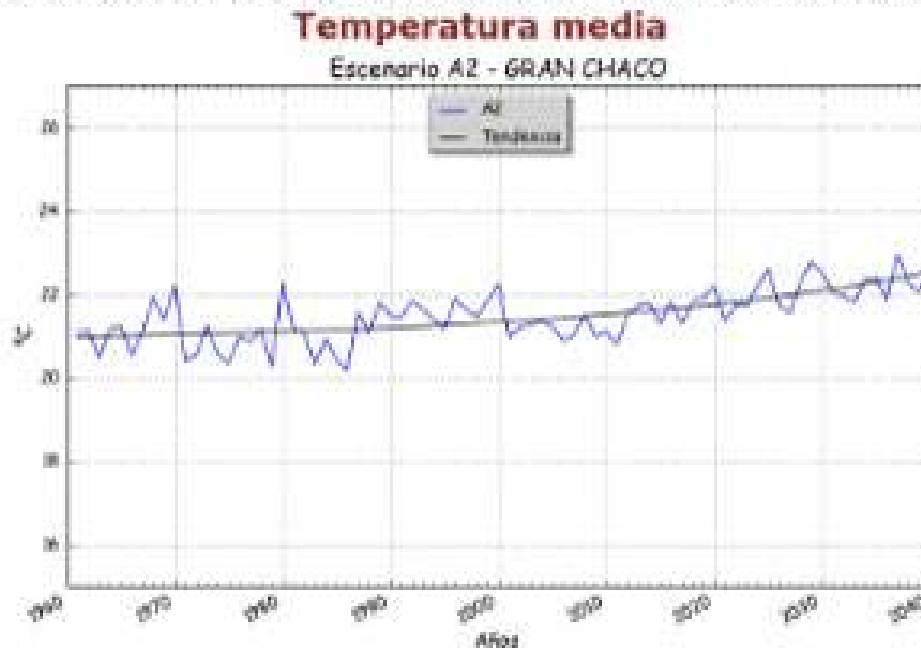
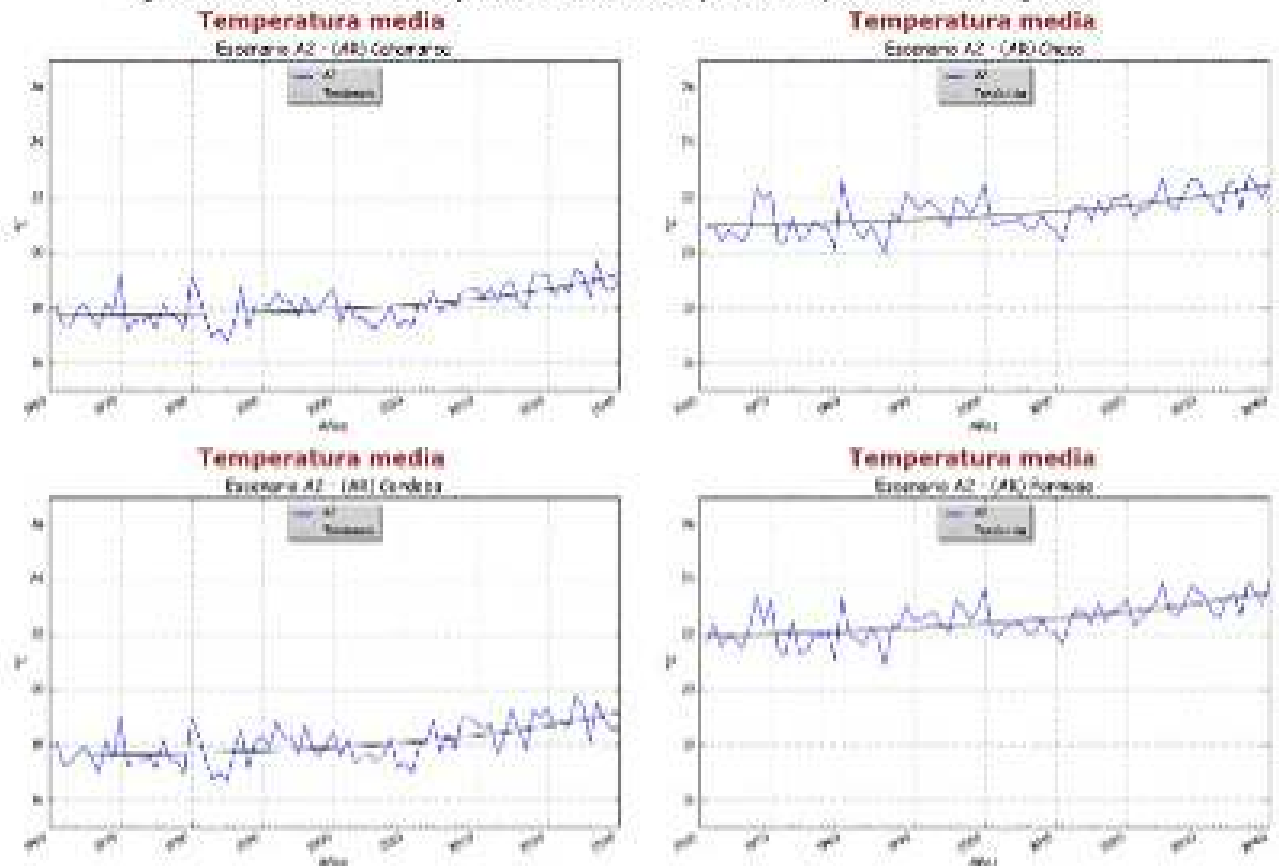
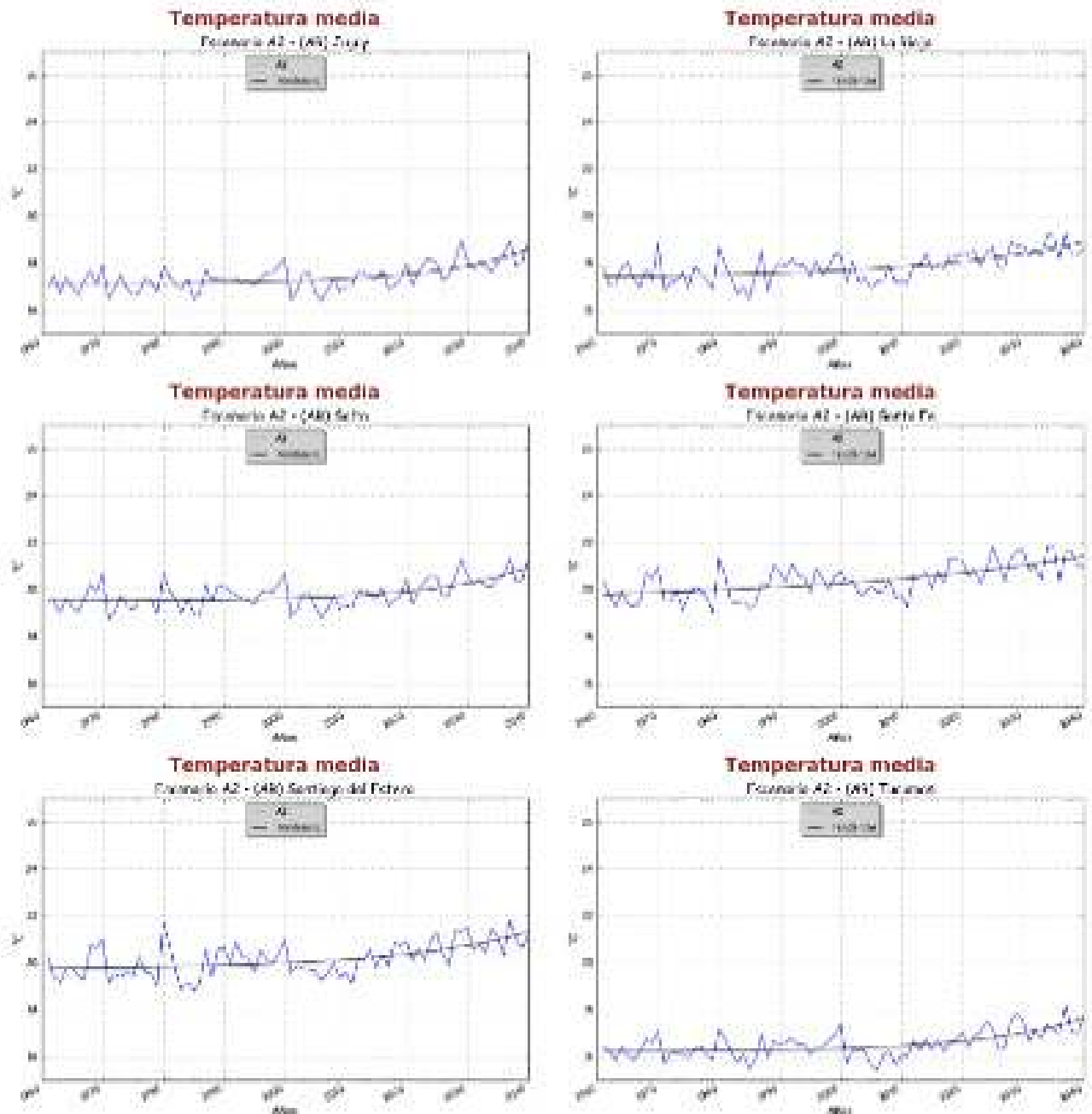


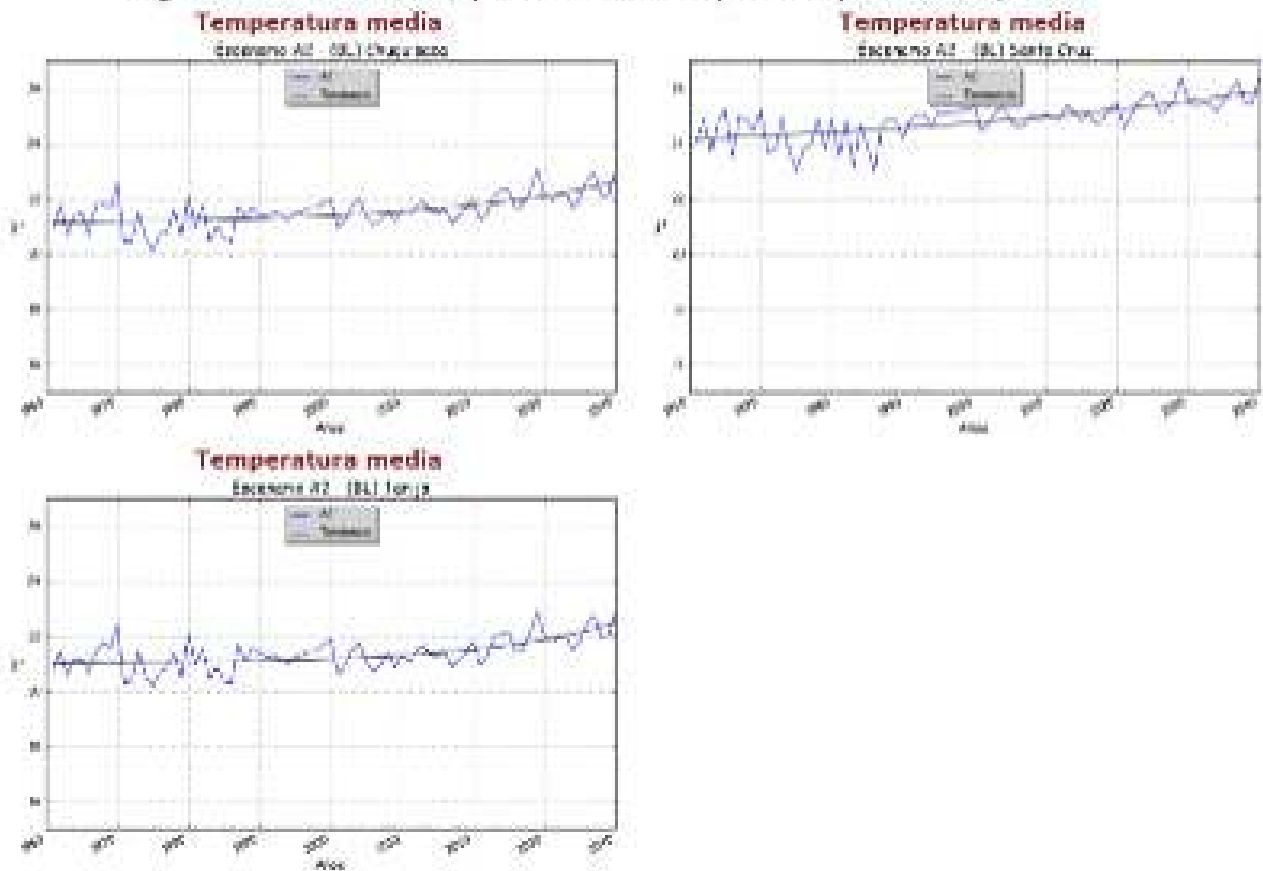
Figura 31. Tendencia de la temperatura media anual (1961-2040): Escenario A2, Argentina





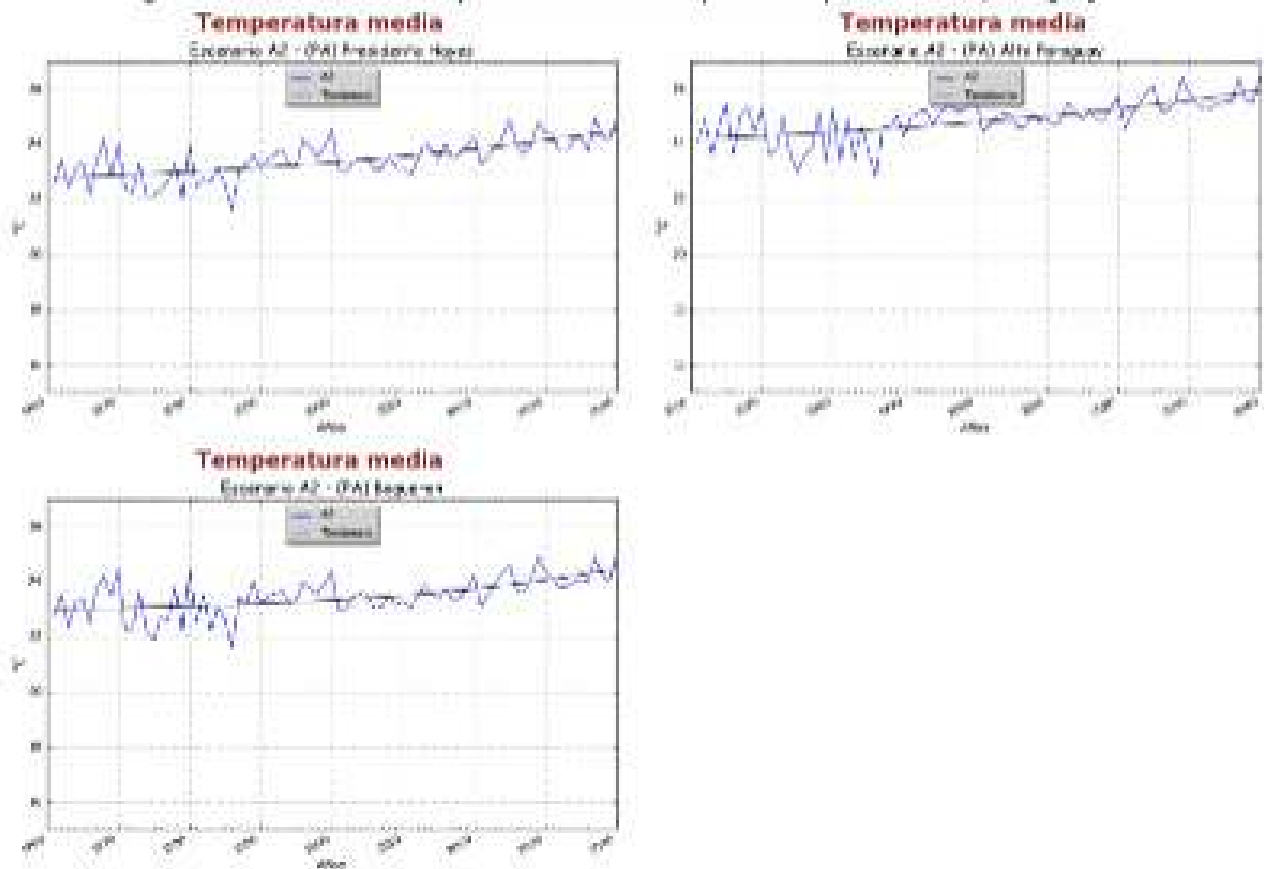
Para todas las provincias de Argentina dentro de los límites del gran Chaco, muestran una tendencia positiva de la temperatura media muy similar a la tendencia global que se observa en toda la región (Figura 31).

Figura 32. Tendencia de la temperatura media anual (1961-2040): Escenario A2, Bolivia



En el Chaco boliviano la situación es similar a lo observado en todo el gran Chaco, los tres departamentos muestran una tendencia positiva bien definida (Figura 32).

Figura 33. Tendencia de la temperatura media anual (1961-2040): Escenario A2, Paraguay



La situación en el Chaco paraguayo es similar a todo el Chaco, tendencias positivas de la temperatura en los tres departamentos (Figura 33).

8.4 ESCENARIOS DE LA TEMPERATURA MEDIA

En el escenario de la temperatura media, se observa que la temperatura se va incrementando, esto se puede observar en la década del 2011-2020, en donde la temperatura se incrementa en casi todo el GChA alrededor de 1°C (tabla 5).

En la figura 34 se observa el mapa medio para la década 2011-2020 y su anomalía con respecto a la normal 1961-1990, donde claramente se observa que el incremento es en todo el GChA y alcanza casi 1°C, esto se puede apreciar en más detalle en la tabla 5.

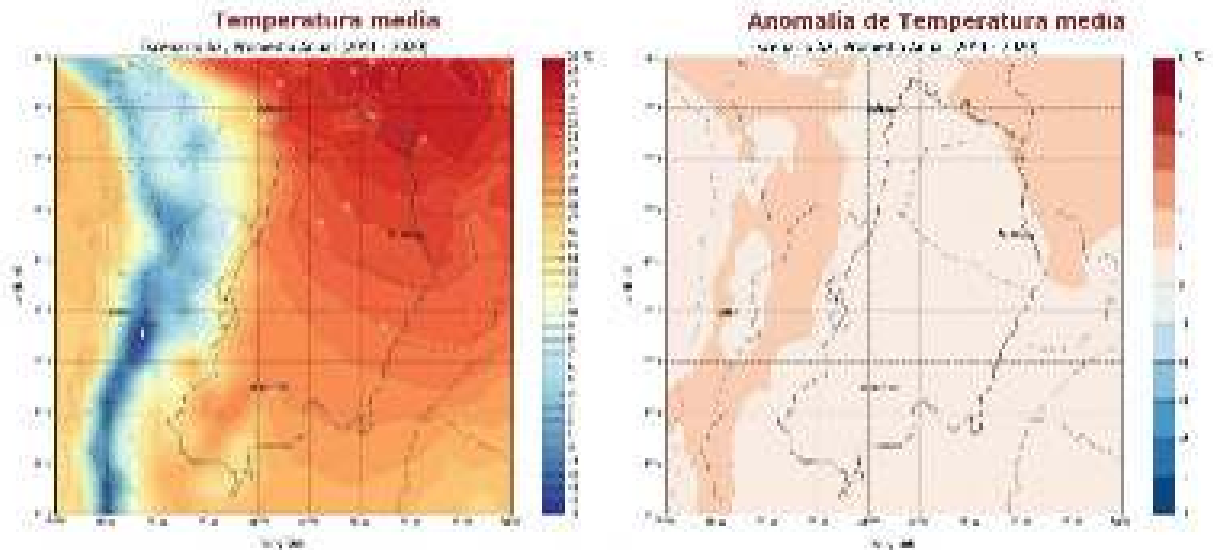


Figura 34. Temperatura media anual (2011-2020) y su anomalía con respecto al promedio (1961-1990): Escenario A2

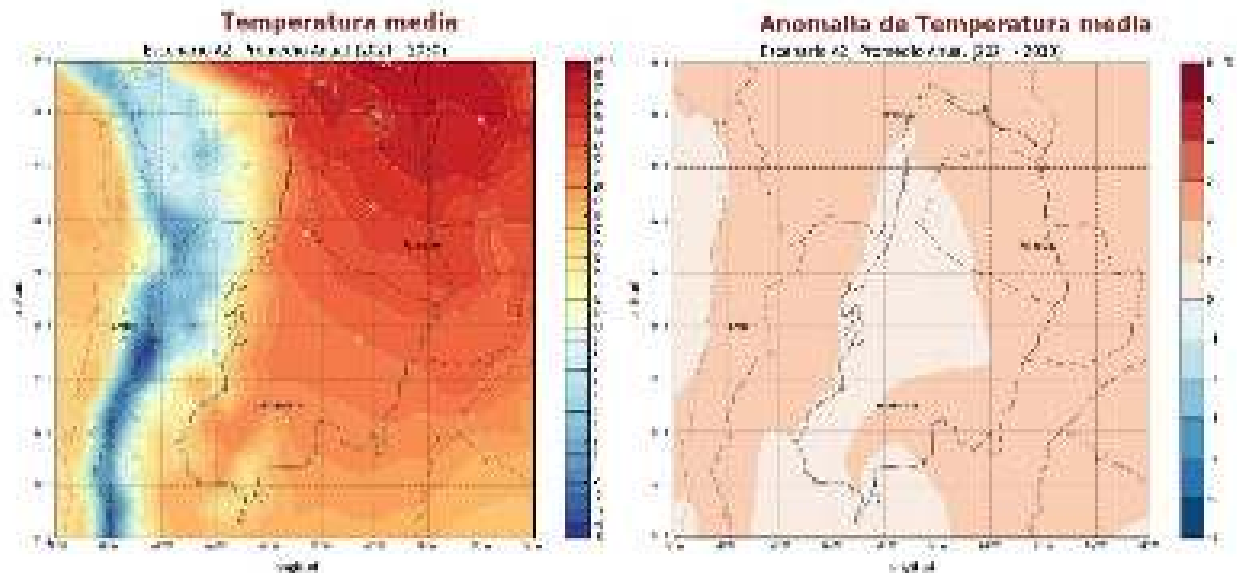


Figura 35. Temperatura media anual (2021-2030) y su anomalía con respecto al promedio (1961-1990): Escenario A2

Para la década 2021-2030 se observa que el incremento de la temperatura media es un poco más pronunciado superando más de 1°C, en la zona que abarca el oeste y sur del GChA (Figura 35), en los departamentos de Presidente Hayes, Alto Paraguay y Santa Cruz y en las provincias de Córdoba, Formosa y Santa Fe (ver tabla 5).

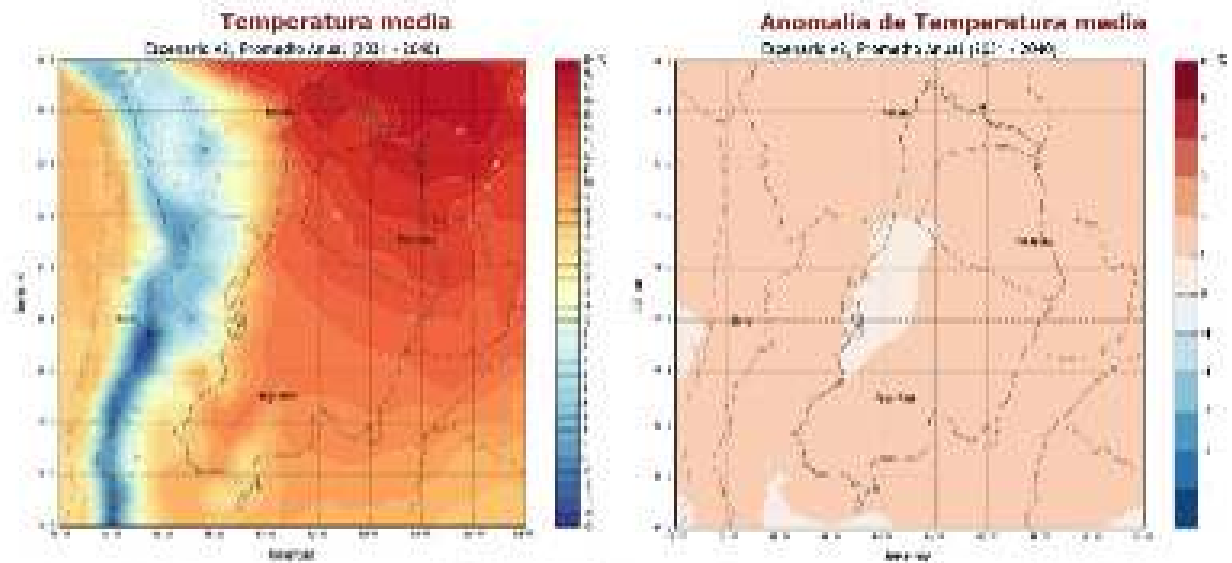


Figura 36. Temperatura media anual (2031-2040) y su anomalía con respecto al promedio (1961-1990): Escenario A2

En la década 2031-2040 es donde se observa el mayor incremento de temperatura, el área donde se supera el umbral de 1°C abarca casi todo el GChA (Figura 36), las únicas provincias que no superan ese umbral son Jujuy, Salta y Tucumán, pero están ligeramente por debajo (tabla 5).

9. EVENTOS EXTREMOS

La ocurrencia de desastres relacionados al clima se viene incrementando desde la década del noventa. Entre 1970-1999 y 2000-2005 los eventos extremos han aumentado en toda la región. Entre 2000 y 2005 sólo el 19% de los eventos extremos que fueron económicamente cuantificados representaron pérdidas de 20 billones de dólares. Argentina (Chaco-2004) pérdidas estimadas en US\$ 360 millones (Incluyendo 120.000 cabezas de ganado y 10.000 evacuados) (SRA, 2005).

En la mayoría de las situaciones, ni la población, ni las autoridades han estado preparadas ni organizadas para actuar adecuadamente en el momento de las tragedias, ni después de ellas. Algunos de esos desastres son:

Las inundaciones es el fenómeno más frecuente, y se presenta en las riberas de los ríos Paraguay y Paraná todos los años, entre los meses de abril a setiembre. En algunos años ocurren crecientes extraordinariamente graves, tanto por el elevado nivel de las aguas, como por la prolongación del fenómeno que alcanza hasta octubre o noviembre. Las crecientes más graves ocurrieron en los años 1979; 1982-83; 1988, 1992, y 1997-98. Estos años de grandes inundaciones son coincidentes con periodos del fenómeno climático denominado "El Niño".

La sequía es un fenómeno que se presenta también con regular frecuencia, y causa situaciones de grave carencia, especialmente a las familias de agricultores que laboran la tierra al nivel de subsistencia. En el año 1993 una sequía que duró ocho meses causó mucho daño en la Región Occidental de Paraguay. Se perdieron centenares de cabeza de ganado vacuno, cultivos agrícolas y el Comité de Emergencia Nacional (CEN) tuvo que encarar un programa de distribución de alimentos por el riesgo que representaba a las familias indígenas la carencia absoluta de los mismos.

En los años 2002, 2003 y 2004, el gobierno paraguayo tuvo que movilizar ingentes recursos para atender los efectos negativos de la sequía que afectó la Región Occidental del país, brindando asistencia a 11.000 familias, la mayoría indígena.

Los fuertes vientos, un fenómeno no tradicional en la región, pero se conoce de algunas zonas donde se produjeron tornados que afectaron montes y cultivos. Este fenómeno no ocurre con periodicidad regular, presentándose a veces en distintas latitudes a la vez, tanto en verano como en invierno, lo que hace suponer que su ocurrencia responde a factores aleatorios.

Los tornados más recientes y que causaron bastante daños, se produjeron entre el 14 y el 19 de noviembre de 1994, en Boquerón (Paraguay), dejando sin viviendas a unas 100 familias y parcialmente destruidas mucho más.

Las granizadas, también es un fenómeno relativamente frecuente, aunque no se registra con periodicidad regular, razón que hace suponer que responde a factores climáticos aleatorios; suele impactar negativamente a familias de recursos escasos, que utilizan en sus

viviendas techos de chapas de fibrocemento o de cartón alquitranado. También suele producir pérdidas importantes de cultivos agrícolas.

Desde el último Informe del IPCC (AR4, 2007) ocurrieron numerosos eventos extremos inusuales, tales como las lluvias intensas en Venezuela (1999, 2005), las inundaciones de la región pampeana de Argentina (2000 y 2002), la sequía en el Amazonas (2005), las tormentas de granizos muy destructivas y sin precedentes en La Paz (2002) y Buenos Aires (2006), el insólito huracán Catarina en el Atlántico Sur (2004), y la temporada récord de huracanes en el Caribe (2005).

En este trabajo no se pueden determinar los eventos extremos puntuales tales como: granizadas, vientos fuertes, tornados, lluvias intensas, etc., pero si se pueden determinar desde un punto de vista más general, es decir solo se definirán los eventos extremos tales como el número de años o meses que superaron un umbral de precipitación (esto puede dar lugar a inundaciones en las regiones vulnerables a este fenómeno) o estuvieron por debajo de cierto umbral (esto puede dar lugar a sequías, especialmente en las regiones donde la precipitación es baja), se realizará lo mismo para la temperatura, esto permitirá saber con qué frecuencia se superan los umbrales definidos como extremos en el periodo base.

Tabla 7. Eventos extremos obser

Año	Granizada			Inundaciones		
	Argentina	Bolivia	Paraguay	Argentina	Bolivia	Paraguay
1997	2			46	1	4
1998		1		78		
1999				7		
2000		1		79	1	
2001	1			4	1	
2002				8		
2003	2			23		
2004				16		
2005				6		
2006	6			32	1	1
2007	1			94	5	1
2008						16
Totales	12	2	0	393	9	22

Fuente: Documento País riesgo de desastre Argentina, Cruz Roja

En la tabla 7 se observan los eventos extremos observados; granizada; encuentran dentro del GChA, se puede observar que desde 1997 ha frecuente, seguido de los incendios forestales y las sequias, esto se de que considerar que en el Paraguay y Argentina, las inundaciones se da nivel como consecuencia de precipitaciones en la zona alta de Bolivia y

servados en la región del GChA

Incendios Forestales			Sequías		
Argentina	Bolivia	Paraguay	Argentina	Bolivia	Paraguay
10	1		1	1	
			3	1	
			5		
9			3	3	
3					
4	1			1	
26			1	2	
5			10	4	
14			19	1	
16	3			6	
10	1	3		1	
					5
97	6	3	42	20	5

2009. Documento país. Bolivia, 2008. Paraguay, 2008. DIPECHO

a, inundaciones, incendios forestales y sequías, para los países que se
 hasta 2008 las inundaciones en Argentina han sido el fenómeno más
 be principalmente que Argentina ocupa el 65% del GChA, además hay
 n como consecuencia del desborde del río Pilcomayo que aumenta su
 el deshielo de la cordillera.

9.1 DETERMINACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS

Una definición, descrita por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) por sus siglas en Inglés, define un evento extremo como “aquel evento que es raro en un lugar y en un instante en un año”. Por lo cual, la interpretación de esta definición nos habla de valores máximos dentro de un conjunto de datos; para este estudio se consideraron los valores superiores al percentil 90 y valores inferiores al percentil 10 con respecto a los percentiles obtenidos dentro del periodo de referencia (1961-1990).

Para este trabajo solo se determinaron los eventos extremos considerando datos mensuales, por lo que representa los eventos climáticos extremos más relacionados con meses o años con baja o alta precipitación (sequías o inundaciones), meses o años calientes o fríos (olas de calor o frío).

En tabla 8 se ilustra la cantidad de los eventos climáticos extremos determinados para cada uno de los departamentos/provincias correspondientes al GChA para el periodo 2011-2040. Se calcularon los valores inferiores al percentil 10 ($P < 10$) y superiores al percentil ($P > 90$) para la precipitación y temperatura anual con respecto a la línea base 1961-1990. Esto permitió determinar un año seco o húmedo, caliente o frío.

Los valores están calculados con respecto a la línea base 1961-1990 (En todos los casos da un evento extremo cada diez año), y para cada variable se contabiliza el número de eventos que estuvieron por debajo del percentil 10 ($< P10$) y los que superaron el percentil 90 ($> P90$).

Analizando la cantidad de eventos extremos obtenidos (Tabla 8), resalta que hay una tendencia marcada a eventos extremos por exceso (superiores al percentil 90), esto es más evidente en la temperatura, donde para cada década el número se va incrementando, especialmente para la temperatura mínima media donde los eventos extremos superiores son los más elevados; los valores de la temperatura media y máxima media son muy similares en cuanto al incremento de eventos. En cuanto a la precipitación se observa que no todos los departamentos/provincias tienen un incremento de eventos extremos.

La precipitación inferior al percentil 10 (lo definiremos como sequías) en combinación con las temperaturas elevadas extremas genera una situación con consecuencias negativas en el sistema productivo y la disponibilidad y acceso de agua por parte de la población. Para ello se han identificado las zonas con esas condiciones extremas.

En cuanto a temperaturas extremas elevadas y déficit de precipitación vemos que los eventos son más generalizados para toda la región, con números más frecuentes en el área suroeste de la región, contemplando las provincias argentinas de Santiago del Estero, Córdoba, La Rioja, Salta, Tucumán y el departamento boliviano de Tarija y el área noreste de la región, abarcando la totalidad del área de Paraguay, Alto Paraguay, Boquerón y Presidente Hayes.

Tabla 8. Números de eventos climáticos extremos por década y para el periodo completo 2011-2040.

REGION	Periodo	Precipitación		Temperatura					
		Seqúia Pop00	Inundación Pop00	AF temp00	AC temp00	NF temp00	NC temp00	DF temp00	DC temp00
Presidente Hayes	2011-2020	0	0	0	0	0	0	0	0
	2021-2030	0	1	0	7	0	8	0	5
	2031-2040	0	3	0	10	0	10	0	7
	2011-2040	0	4	0	24	0	24	0	24
Alta Paraguarí	2011-2020	0	5	0	1	0	8	0	1
	2021-2030	0	2	0	5	0	9	0	4
	2031-2040	0	4	0	9	0	10	0	6
	2011-2040	0	11	0	15	0	27	0	11
Boquerón	2011-2020	0	3	0	1	0	3	0	0
	2021-2030	0	2	0	5	0	7	0	4
	2031-2040	0	1	0	5	0	8	0	4
	2011-2040	0	6	0	11	0	17	0	8
Cataratas	2011-2020	0	0	0	3	0	4	0	3
	2021-2030	0	0	0	6	0	8	0	5
	2031-2040	0	0	0	7	0	8	0	5
	2011-2040	0	0	0	16	0	21	0	13
Chaco	2011-2020	0	0	0	0	0	4	0	0
	2021-2030	0	0	0	3	0	6	0	3
	2031-2040	0	0	0	5	0	8	0	5
	2011-2040	0	0	0	8	0	18	0	7
Corrientes	2011-2020	1	1	1	5	0	4	1	3
	2021-2030	0	1	0	7	0	8	0	5
	2031-2040	0	0	0	9	0	9	0	7
	2011-2040	1	2	1	21	0	21	1	15
Formosa	2011-2020	0	0	0	1	0	4	0	0
	2021-2030	0	0	0	4	0	7	0	3
	2031-2040	0	1	0	7	0	8	0	6
	2011-2040	0	1	0	12	0	20	0	9
Jujuy	2011-2020	1	0	0	1	0	3	0	1
	2021-2030	1	0	0	5	0	7	0	6
	2031-2040	2	0	0	9	0	7	0	10
	2011-2040	4	0	0	17	0	17	0	17
La Rioja	2011-2020	0	1	0	4	0	5	0	2
	2021-2030	0	1	0	7	0	8	0	5
	2031-2040	0	0	0	10	0	8	0	5
	2011-2040	0	2	0	21	0	21	0	12
Salta	2011-2020	0	1	0	1	0	4	0	0
	2021-2030	1	0	0	6	0	7	0	4
	2031-2040	1	0	0	7	0	7	0	4
	2011-2040	2	1	0	14	0	18	0	8
Santa Fe	2011-2020	0	0	0	4	0	6	0	2
	2021-2030	0	0	0	7	0	8	0	5
	2031-2040	0	0	0	8	0	9	0	4
	2011-2040	0	0	0	19	0	23	0	11
Santiago del Estero	2011-2020	0	2	0	1	0	1	1	1
	2021-2030	0	1	0	5	0	7	0	2
	2031-2040	0	0	0	5	0	7	0	4
	2011-2040	0	3	0	11	0	15	1	7
Tucumán	2011-2020	0	0	0	1	0	4	0	1
	2021-2030	0	0	0	7	0	7	0	5
	2031-2040	0	0	0	8	0	8	0	5
	2011-2040	0	0	0	16	0	20	0	11
Chapadmalán	2011-2020	0	1	0	2	0	3	0	0
	2021-2030	0	0	0	7	0	8	0	4
	2031-2040	0	1	0	9	0	8	0	4
	2011-2040	0	2	0	18	0	19	0	8
Santa Cruz	2011-2020	0	2	0	5	0	8	0	3
	2021-2030	0	3	0	9	0	9	0	7
	2031-2040	0	1	0	10	0	10	0	10
	2011-2040	0	6	0	24	0	26	0	20
Tarija	2011-2020	0	1	0	1	0	3	0	0
	2021-2030	0	0	0	5	0	7	0	4
	2031-2040	1	1	0	9	0	8	0	4
	2011-2040	1	2	0	15	0	17	0	8

Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE)

AF: Cantidad de Años Fríos, AC: Cantidad de Años Calientes

NF: Cantidad de Años con incremento de Noches Frías, NC: Cantidad de Años con incremento de Noches Calientes

DF: Cantidad de Años con incremento de Días Fríos, DC: Cantidad de Años con incremento de Días Calientes

Tabla 9: Números de eventos extremos acumulados para el periodo 2011-2040.

Eventos extremos por Departamentos/provincias	Sequía	Inundación	Número de años con temperaturas extremas		
			Caliente	Noches calientes	Días calientes
Presidente Hayes	0	1	23	24	18
Alto Paraguay	0	11	10	27	11
Boquerón	0	5	11	17	8
Catamarca	0	0	16	21	13
Chaco	0	0	8	18	7
Córdoba	1	1	21	21	15
Formosa	0	1	13	20	9
Jujuy	4	0	17	17	17
La Rioja	0	1	21	23	12
Salta	2	1	14	18	8
Santa Fe	0	0	19	23	11
Santiago del Estero	0	1	12	15	7
Tucumán	0	0	16	20	11
Chuquisaca	0	1	18	19	8
Santa Cruz	0	6	14	28	20
Tarija	1	1	16	17	8

En la tabla 9, se ilustran los eventos extremos para las unidades de análisis del GChA. Se consideró como sequía, los años en que la precipitación anual está por debajo del percentil 10, inundaciones, cuando la precipitación anual supera el percentil 90. Para la temperatura, se considera que el número de años calientes corresponden a aquellos años que superaron el percentil 90, el número de años con noches calientes corresponde a aquellos años en el que la temperatura mínima media anual está por encima del percentil 90, el número de años con días calientes es cuando se supera el percentil 90. En todos los casos los límites de los percentiles se obtuvieron con respecto a los percentiles correspondientes al periodo 1961-1990.

Lo más resaltante del resumen de los eventos extremos es que existe un marcado incremento de años con noches calientes, lo que indica un marcado aumento de las temperaturas mínimas para el periodo 2011-2040.

Las sequías en combinación con las temperaturas elevadas extremas generan una situación con consecuencias negativas en el sistema productivo y la disponibilidad y acceso de agua por parte de la población. Para ello se han identificado las zonas con esas condiciones extremas visualizadas.

Las figuras 37 y 38 ilustran los eventos extremos estimados por unidad geográfica, para el caso de las inundaciones vemos, que la zona del noroeste, será la más afectadas por eventos de lluvias intensas para el periodo de análisis 2011-2040.

En cuanto a temperaturas extremas elevadas y sequías extremas vemos que los eventos son más generalizados para toda la región, con números más frecuentes en el área suroeste de la región, contemplando las provincias argentinas de Santiago del Estero, Córdoba, La Rioja, Salta, Tucumán y el departamento boliviano de Tarija y el área noreste de la región, abarcando la totalidad del área de Paraguay, Alto Paraguay, Boquerón y Presidente Hayes.

Figura 37: Eventos extremos. Sequías y altas temperatura

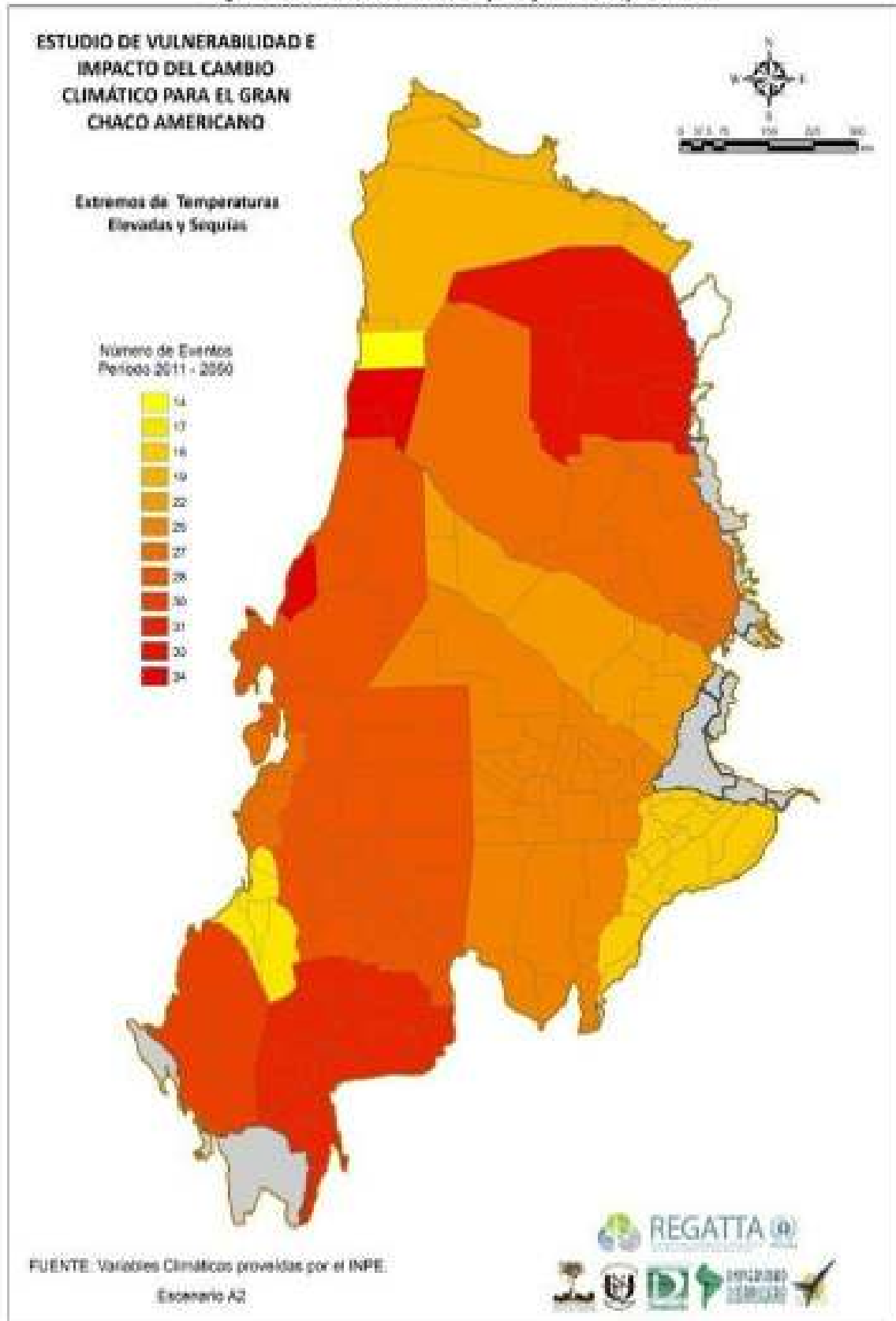
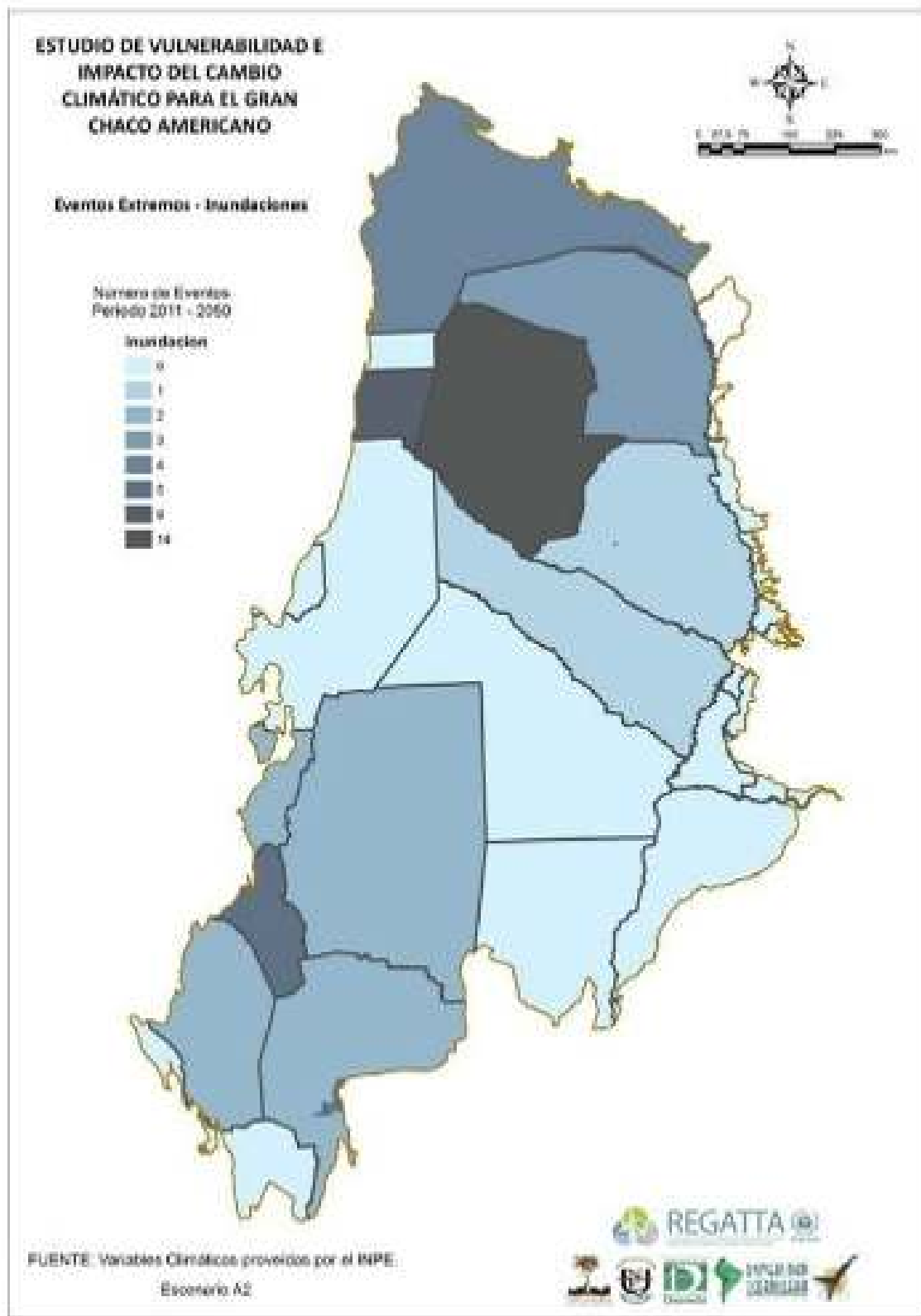


Figura 38: Eventos extremos. Inundaciones



10. CONCLUSIONES

Las proyecciones del clima para el 2040 en el GChA considerando el escenario A2 se puede resumir de la siguiente manera: Un aumento marcado y significativo de la temperatura media anual en todo el GChA, con incrementos comprendidos entre 0,63°C en Salta, Argentina y 1,18°C en Alto Paraguay, Paraguay, respectivamente, en relación con el periodo 1961-1990. Las precipitaciones muestran que para todas las provincias y departamentos analizados el incremento es predominantemente positivo, pero significativos solo en Alto Paraguay, Boquerón y Santa Cruz, la disminución de la precipitación anual se observa en Jujuy y Salta, solo significativa en la primera.

Al realizar un análisis estacional se puede concluir lo siguiente:

- La temperatura media estacional muestra que en el invierno (JJA) el incremento es positivo con valores bastante homogéneos comprendidos entre 1,08 a 1,68°C en Santa Fe y Jujuy. En primavera (SON) los incrementos se encuentran comprendidos entre 0,03 y 1,75°C, en la Rioja y Santa Cruz, respectivamente, este último es el máximo incremento. En el otoño (MAM) los valores están comprendidos entre 0,14 y 1,20°C, en Jujuy y Alto Paraguay, respectivamente. En el verano (DEF) se observa algunas tendencias negativas comprendidas entre -0,3 y -0,09°C, en Tarija y Chuquisaca, así como también en Jujuy y Salta con -0,23 y -0,26°C, respectivamente, en el resto del GChA las tendencias son positivas con valores que van desde 0,19 a 0,98°C, en Tucumán y Presidente Hayes, respectivamente.
- Las precipitaciones estacionales muestran que para todas las provincias y departamentos analizados hay un predominio de disminución de la precipitación en el verano (DEF) y primavera (SON), en el primero las disminuciones están comprendidas entre 1-18 % en Tucumán y Córdoba respectivamente, y el segundo entre 1-10 % en Tucumán y Boquerón, respectivamente. En invierno se observa un marcado aumento con incrementos que van desde 41-115% en Presidente Hayes y Córdoba, respectivamente. En el otoño la situación se muestra más variada con disminución de hasta un 19% e incrementos del mismo rango 19%.

En lo referente a los eventos extremos

Se observa que hay una tendencia marcada a eventos extremos por exceso (superiores al percentil 90) con respecto a los percentiles del periodo 1961-1990, esto es más evidente en la temperatura, donde para cada década el número se va incrementando, especialmente para la temperatura mínima media donde los eventos extremos superiores son los más elevados entre 12 y 25 eventos que superaron el percentil 90; los valores de la temperatura media entre 5 y 21 eventos y la temperatura máxima media entre 4 y 17. En cuanto a la precipitación se observa que no todas los departamentos/provincias tienen un incremento de eventos extremos.

Comparación de los resultados

En este caso se ha utilizado el MCG HadCM3 que de acuerdo a trabajos publicados mencionan que presenta las diferencias de menor magnitud entre la precipitación estimada y observada (Cavalcanti y otros, 2006) y que tiende a subestimar la precipitación en Sudamérica. El mismo modelo también es el que mejor representa la temperatura media anual de la región (Cavalcanti y otros, 2006) y lo que se observa que sobrestima la temperatura entre 0 y 1,5 °C en Sudamérica. Los valores que se obtuvieron en este trabajo están acorde a lo que han obtenido en otros trabajos publicados en la región.

BIBLIOGRAFÍA

GRASSI, B. 2001. Reducing the Impacts of Environmental Emergencies through Early Warning and Preparedness: The Case of the 1997-98 "El Niño"-Southern Oscillation". CD ROM.

PASTEN, A. M., 2007. Análisis de eventos meteorológicos extremos en el Paraguay. Asunción: UNA. s.p.

GRASSI, B, PASTEN, M, ARMOA, J. 2004. Análisis de la tendencia de la temperatura en el Paraguay. San Lorenzo: UNA, DGICT. s.p.

GRASSI, B, PASTEN, M, ARMOA, J. 2005. Un análisis de la tendencia de las precipitaciones en el Paraguay. San Lorenzo: UNA, DGICT. s.p.

ARMOA, J, PASTEN, M, BENÍTEZ, S. 2008. Efectos de las variables meteorológicas sobre el aumento de las enfermedades por el *Aedes aegyptis*. San Lorenzo: UNA, DGICT. s.p.

PASTEN, M, ARMOA, J, BENÍTEZ, S. 2006. Efectos de El Niño en la agricultura en el Paraguay. San Lorenzo: UNA, DGICT. s.p.

MONTE DOMECCO, R. et al. 2003. Inundaciones Urbanas en la América del Sur. Cap. 7 PARAGUAY. P. 325-378. En: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. Inundaciones Urbanas en la América del Sur. Porto Alegre, RGS, BR: Asociación Brasileña de Recursos Hídricos.

CESPEDES, R. L.; RIOS, L. S. Análisis de las Inundaciones en el Paraguay. 1985. Buenos Aires, AR: s.n. 24. p.

MORÍNIGO, A. et al. 1983. Efectos Sociales de las Inundaciones en el Paraguay. Asunción: Conferencia Episcopal Paraguaya. Equipo Nacional de Pastoral Social..Pag. Irreg.

OFICINA ESPAÑOLA DE CAMBIO CLIMÁTICO - S. G. para la Prevención de la Contaminación y del Cambio Climático - Ministerio de Medio Ambiente. *Plan Nacional de adaptación al cambio climático, Marco para la coordinación entre administraciones públicas para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático-2006.*

(Libro) Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático, 840 pp, MIMAM 2005

TAR IPCC Working Group II – Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, 2001

FCCC/SBSTA/2004/INF.13. Application of methods and tools for assessing impacts and vulnerability, and developing adaptation responses. Background paper. November 2004.

UNFCCC Secretariat. Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change. Final draft report (and the brochure on the Compendium). December 2004.

Carter, Parry, Harasawa y Nishloka. IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations. 1994 (Part of the IPCC Special Report to the COP1)

Special Report IPCC Working Group II. The Regional Impacts of Climate Change. An Assessment of Vulnerability. 1998.

U.S. Country Studies Program (USCSP). Climate Change: Mitigation, Vulnerability and Adaptation in Developing and Transition Countries. October 1999.

Zhang Y., Y. Xu, W. Dong, L. Cao and M Sparrow (2006) "A Future Climate Scenario of Regional Changes in Extreme Climate Events over China using the PRECIS Climate Model", *Geophys. Res. Lett.*, 33, L24702, doi:10.1029/2006GL027229.

Nogués-Paegle, Julia, Kingtse C. Mo, 1997: Alternating wet and dry conditions over south america during summer. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 279–291.

New, Mark, Mike Hulme, Phil Jones, 1999: Representing twentieth-century space–time climate variability. part I: development of a 1961–90 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate*, 12, 829–856.

Figueroa, Silvio Nilo, Prakkil Satyamurty, Pedro Leite Da Silva Dias, 1995: Simulations of the summer circulation over the south American region with an eta coordinate model. *J. Atmos. Sci.*, 52, 1573–1584.

Virji, Hassan, 1981: A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 599–610.

Moura, Antonio D., Jagadish Shukla, 1981: On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 38, 2653–2675.

Nobre, Paulo, J. Srukla, 1996: Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *J. Climate*, 9, 2464–2479.

Hastenrath, S., L. Heller, 1977: Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 103, 77-92.

Trenberth, Kevin E., Julie M. Caron, 2000: The southern oscillation revisited: sea level pressures, surface temperatures, and precipitation. *J. Climate*, 13, 4358–4365.

Cane, Mark A., 1992: Comments on "the fast-wave limit and interannual oscillations". *J. Atmos. Sci.*, 49, 1947–1949.

Kousky, Vernon E., 1989: The global climate for september–november 1988: high southern oscillation index and cold episode characteristics continued. *J. Climate*, 2, 173–192.

Ropelewski, C. F., M. S. Halpert, 1989: Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. *J. Climate*, 2, 268–284.

Peel, N., Stevens, N.R., Basto, R., Raff, J.W. 2007. Overexpressing centriole-replication proteins in vivo induces centriole overduplication and de novo formation. *Curr. Biol.* 17(10): 834–843.

Barros, V., Clarke R., Silva Días P., 2006: El cambio climático en la cuenca del plata. 1ª ed. Buenos Aires: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – CONICET, 230 p., ISBN: 950-692-066-4.

Alves, L., Marengo J., 2010: Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS Regional climate modeling system over South America. *Theoretical and Applied Climatology*, 100, 337-350.

Saulo, C., M. Nicolini y Sin Chan Chou, 2000. Model characterization of the South American low-level flow during the 1997-1998 spring-summer season. *Clim. Dyn.*, 16, 867-881.

KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, 33(6):538551, 1981.

BIDEGAIN, Marlo; CORONEL, G; RIOS, N y DE LOS SANTOS, B. Escenarios climáticos futuros para Paraguay. *Meteorológica*. 2012, vol.37, n.2, pp. 47-55.

www.dgeec.gov.py

www.abc.com.py

www.ultima.com.py

www.sen.gov.py