

CAMBIO CLIMÁTICO

SEGUNDA COMUNICACION NACIONAL

Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica



Instituto Meteorológico Nacional
Comité Regional de Recursos Hídricos
2008

EL CLIMA, SU VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO EN COSTA RICA

**Ministerio del Ambiente Energía y Telecomunicaciones (MINAET)
INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL (IMN)**

**Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH)**

Coordinador: Instituto Meteorológico Nacional (IMN)
Edición: Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH)
Diseño: Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH)
Autores: Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH)



**San José
Costa Rica
Agosto 2008**



Contenido

1.	Introducción.....	8
2.	El clima y las regiones climáticas de Costa Rica.....	8
2.1.	Régimen del Pacífico.....	9
2.2.	Régimen del Caribe.....	9
2.3.	Regiones climáticas de Costa Rica.....	10
3.	La línea base o climatología de referencia.....	10
3.1.	Método de análisis.....	10
3.2.	Pacífico Norte.....	11
3.2.1.	Pacífico Norte: Línea base.....	12
3.2.2.	Pacífico Norte: Variabilidad y extremos climáticos.....	13
3.3.	Pacífico Central.....	14
3.3.1	Pacífico Central: Línea base.....	15
3.3.2	Pacífico Central: Variabilidad y extremos climáticos.....	16
3.4.	Pacífico Sur.....	17
3.4.1.	Pacífico Sur: Línea base.....	18
3.4.2.	Pacífico Sur: Variabilidad y extremos climáticos.....	19
3.5.	Región Central: Dos valles.....	20
3.5.1.	Región Central: Dos valles, dos líneas base.....	21
3.5.2.	Región Central: Variabilidad y extremos climáticos.....	23
3.6.	Zona Norte.....	24
3.6.1.	Zona Norte: Línea base.....	25
3.6.2.	Zona Norte: Variabilidad y extremos climáticos.....	26
3.7.	Región Caribe.....	27
3.7.1	Región Caribe: Línea base.....	28
3.7.2.	Región Caribe: Variabilidad y extremos climáticos.....	29
4.	Eventos extremos en Costa Rica.....	30
4.1.	Eventos extremos lluviosos.....	33
4.2.	Inundaciones.....	36
4.2.1.	Temporales.....	36
4.2.2.	Tormentas locales severas.....	37
4.2.3.	Inundaciones en el Pacífico Norte.....	37
4.2.4	Inundaciones en el Pacífico Central.....	38
4.2.5	Inundaciones en el Pacífico Sur.....	39
4.2.6	Inundaciones en la Zona Norte.....	40
4.2.7	Inundaciones en la Región Caribe.....	41
4.3.	Sequías.....	42
4.4.	ENOS: El Niño-Oscilación Sur.....	45
4.5.	Precipitaciones sólidas.....	48
4.6.	Tornados.....	50
5.	Señales de cambio en el clima de Costa Rica.....	52
5.1.	Magnitud de los cambios observados.....	52
5.2.	Cambios observados comparando LB con 1991-2005.....	52
5.3	Cambios observados en los eventos extremos.....	55

6.	Proyecciones futuras del clima en Costa Rica.....	58
6.1	Método de estudio.....	60
6.2	Validación del modelo PRECIS.....	62
6.3	Análisis regional: Pacífico Norte.....	64
6.4	Análisis regional: Pacífico Central.....	65
6.5	Análisis regional: Pacífico Sur.....	65
6.6	Análisis regional: Región Central.....	66
6.7	Análisis regional: Región Caribe.....	66
6.8	Análisis regional: Zona Norte.....	67
7.	Conclusiones.....	67
8.	Literatura citada.....	70

Índice de Figuras

1	Caracterización climática de Costa Rica.....	9
2	Precipitación promedio de la Región Pacífico Norte de Costa Rica.1961-1990.....	11
3	Precipitación promedio en comparación con cinco rangos de variabilidad climática. Pacífico Norte.1961-1990.....	12
4	Temperatura máxima, media y mínima mensual. Pacífico Norte.1961-1990.....	12
5	Variación mensual de la precipitación, temperatura máxima y mínima durante eventos extremos. Pacífico Norte.....	13
6	Distribución espacial de la precipitación mensual en el Pacífico Central. 1961-1990...	14
7	Precipitación promedio de la Región Pacífico Central de Costa Rica. 1961-1990.....	15
8	Precipitación promedio en comparación con cinco rangos de variabilidad climática. Pacífico Central.....	15
9	Temperatura máxima, media y mínima mensual. Pacífico Central. 1961-1990.....	15
10	Variación mensual de la precipitación, temperatura máxima y mínima durante eventos extremos. Pacífico Central.....	16
11	Precipitación promedio en el Pacífico Sur de Costa Rica. 1961-1990.....	18
12	Precipitación promedio en comparación con cinco rangos de variabilidad climática. Pacífico Sur.....	18
13	Temperatura máxima, media y mínima mensual. Pacífico Sur de Costa Rica. 1961-1990.....	18
14	Variación mensual de la precipitación, temperatura máxima y mínima durante eventos extremos. Pacífico Sur.....	19
15	Precipitación mensual promedio en los valles occidental y oriental de la Región Central de Costa Rica.....	20
16	Precipitación promedio del Valle Occidental. Región Central. 1961-1990.....	21
17	Precipitación promedio del Valle Oriental. Región Central. 1961-1990.....	21
18	Precipitación promedio en comparación con cinco rangos de variabilidad climática. Valle Occidental y Valle Oriental. Región Central de Costa Rica.	21
19	Días con lluvia promedio. Región Central de Costa Rica. 1961-1990.....	22
20	Temperatura máxima y mínima mensual en los Valles Occidental y Oriental de la Región Central de Costa Rica.....	22
21	Variación mensual de la precipitación, temperatura máxima y mínima durante eventos extremos. Valle Occidental. Región Central de Costa Rica.....	23
22	Variación mensual de la precipitación, temperatura máxima y mínima durante eventos extremos. Valle Oriental. Región Central de Costa Rica.....	23



23	Distribución espacial de la precipitación en la Zona Norte de Costa Rica.....	24
24	Precipitación promedio de la Zona Norte de Costa Rica. 1961-1990.....	25
25	Precipitación promedio en comparación con cinco rangos de variabilidad climática. Zona Norte.....	25
26	Temperatura máxima, media y mínima. Zona Norte de Costa Rica. 1961-1990.....	25
27	Variación mensual de la precipitación, temperatura máxima y mínima durante eventos extremos. Zona Norte.....	26
28	Distribución espacial de la precipitación. Región Caribe Norte y Caribe Sur.....	27
29	Precipitación promedio en el Caribe Norte y Caribe Sur de Costa Rica.....	28
30	Precipitación promedio en comparación con cinco rangos de variabilidad climática. Región Caribe de Costa Rica.....	28
31	Temperatura promedio del Caribe Norte (a) y el Caribe Sur (b) de Costa Rica.....	28
32	Variación mensual de la precipitación (a), temperatura máxima (b) y temperatura mínima (c) durante años de eventos extremos. Región Caribe de Costa Rica.....	29
33	Frecuencia mensual (%) de siete fenómenos meteorológicos en Costa Rica.....	33
34	Aporte individual de fenómenos meteorológicos a la lluvia anual en Costa Rica.....	33
35	Frecuencia mensual de tres tipos de fenómenos meteorológicos.....	34
36	Aporte porcentual de fenómenos meteorológicos a la lluvia anual en Costa Rica, durante el período 1980-2006.....	34
37	Frecuencia porcentual de eventos extremos lluviosos y su relación con las fases de ENOS. 1960-2007.....	35
38	Zonas de inundación más frecuentes en Costa Rica.....	36
39	Frecuencia de inundaciones. Pacífico Norte de Costa Rica. 1949-1999.....	37
40	Frecuencia de inundaciones. Pacífico Central de Costa Rica. 1954-1999.....	38
41	Frecuencia de inundaciones. Pacífico Sur de Costa Rica. 1949-1999.....	39
42	Frecuencia de inundaciones. Zona Norte de Costa Rica. 1949-1999.....	40
43	Frecuencia de inundaciones. Caribe de Costa Rica. 1949-1999.....	41
44	Frecuencia de inundaciones para cinco regiones climáticas de Costa Rica. 1949-1999.....	41
45	Sequías en Costa Rica. 1960-2005.....	43
46	Distribución espacial del promedio del déficit de precipitación (%) durante sequías en Costa Rica. 1960-2005.....	43
47	Lluvia mensual promedio durante sequías. Liberia, Guanacaste. Pacífico Norte.....	44
48	Lluvia mensual promedio durante sequías. Limón, Limón. Caribe.....	44
49	Frecuencia mensual de tornados en Costa Rica. 1954-2007.....	50
50	Frecuencia de tornados por provincia. 1954-2007.....	50
51	Frecuencia horaria de tornados. 1954-2007.....	51
52	Anomalías de la precipitación anual al comparar el período 1961-1990 contra 1991-2005.....	53
53	Variaciones de la lluvia anual y mensual entre la Línea Base y el período 1991-2005. Península de Santa Elena, Pacífico Norte.	54
54	Variaciones de la lluvia anual y mensual entre la Línea Base y el período 1991-2005. Caribe Central y Caribe Sur.....	54
55	Variaciones de la lluvia anual y mensual entre la Línea Base y el período 1991-2005. Valle de Parrita, Pacífico Central.....	54
56	Frecuencia de eventos extremos secos y lluviosos en Costa Rica.	55
57	Frecuencia de frentes fríos que han impactado a Costa Rica	56
58	Frecuencia de tornados en Costa Rica.....	56
59	Dominio y resolución espacial del modelo PRECIS para Costa Rica.....	61
60	Mapa de precipitación media anual del período 1961-1990.....	62

61	Dispersión de la correlación entre la climatología anual (1961-1990) del modelo PRECIS y la de UNAM (2007) para todos los píxeles del dominio para Costa Rica....	63
62	Dispersión de la correlación entre la climatología estacional (1961-1990) del modelo PRECIS y la de UNAM (2007) para todos los píxeles del dominio para Costa Rica....	63
63	Patrón de la correlación de la lluvia anual entre la climatología del modelo PRECIS y la correspondiente a los datos de las estaciones meteorológicas nacionales.....	63
64	Ciclo anual de lluvia en dos puntos del país según la simulación de PRECIS, CCA-UNAM, IMN.....	64
65	Escenarios de cambio climático para el Pacífico Norte.....	64
66	Escenarios de cambio climático para el Pacífico Central.....	65
67	Escenarios de cambio climático para el Pacífico Sur.....	65
68	Escenarios de cambio climático para la Región Central.....	66
69	Escenarios de cambio climático para la Región Caribe.....	66
70	Escenarios de cambio climático para la Zona Norte.....	67
71	Escenarios de cambio climático para la precipitación anual.....	68
72	Escenarios de cambio climático para la temperatura máxima.....	69
73	Escenarios de cambio climático para la temperatura mínima.....	69

Índice de Cuadros

1	Variables climatológicas del Pacífico Norte de Costa Rica. 1961-1990.....	12
2	Eventos extremos. Pacífico Norte de Costa Rica.....	13
3	Variables climatológicas del Pacífico Central de Costa Rica. 1961-1990.....	15
4	Eventos extremos. Pacífico Central de Costa Rica.....	16
5	Variables climatológicas del Pacífico Sur de Costa Rica. 1961-1990.....	18
6	Eventos extremos. Pacífico Sur de Costa Rica.....	19
7	Variables climatológicas del Valle Occidental de la Región Central de Costa Rica. 1961-1990.....	21
8	Variables climatológicas del Valle Oriental de la Región Central de Costa Rica. 1961-1990.....	21
9	Eventos extremos. Región Central de Costa Rica.....	23
10	Variables climatológicas de la Zona Norte de Costa Rica. 1961-1990.....	24
11	Eventos extremos. Zona Norte de Costa Rica.....	26
12	Variables climatológicas de la subregión Caribe Norte y Caribe Sur de Costa Rica....	28
13	Eventos extremos en el Caribe Norte y Caribe Sur de Costa Rica.....	29
14	Algunos fenómenos meteorológicos causantes de eventos extremos en Costa Rica..	30
15	Características de los eventos extremos secos en Costa Rica. Estimación anual.....	31
16	Características de los eventos extremos lluviosos en Costa Rica. Estimación anual...	31
17	Eventos extremos en Costa Rica y su relación con valores anuales de precipitación..	32
18	Contribución de fenómenos meteorológicos a la lluvia anual por regiones climáticas..	34
19	Fenómenos meteorológicos asociados a eventos extremos lluviosos.....	35
20	Relación porcentual entre años lluviosos extremos con las fases de ENOS.....	35
21	Relación porcentual entre años secos extremos con las fases de ENOS.....	43
22	Características de las fases de ENOS.....	45
23	Probabilidad de ocurrencia de escenarios climáticos influenciados por ENOS.....	46
24	Variación de la precipitación anual durante ENOS y eventos asociados.....	46



25	Tipos de lluvia sólida.....	48
26	Reporte sobre precipitaciones sólidas recientes en Costa Rica.....	49
27	Variación de Línea Base con respecto al período 1991-2005. Costa Rica.....	53
28	Frecuencia de fenómenos de variabilidad climática para dos períodos de tiempo.....	55
29	Relación entre años ENOS y presencia de huracanes que afectan Costa Rica.....	56
30	Evidencias próximas del cambio climático en Costa Rica.....	57

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los ciclos naturales de oscilación en la temperatura y la precipitación, se han visto caracterizados por fuertes variaciones que conducen a extremos climáticos y meteorológicos en diferentes partes del planeta. El efecto antropogénico, asociado a la contaminación con gases de efecto invernadero, es uno de los generadores de estas marcadas oscilaciones de la variabilidad climática. De hecho, algunos científicos coinciden en que los efectos de la variabilidad climática interanual, se están mezclando y potenciando con los efectos del cambio climático (Zwiers *et al* 2003, Sinha Ray y De 2003, IPCC 2007).

De acuerdo con Zwiers *et al* 2003, el detectar cambios en el clima frente a su variabilidad, es clave en la investigación climatológica. Este reto es de reciente importancia, si se trata de evidenciar la magnitud de los cambios como signos de los efectos del calentamiento global, comparando períodos climáticos de un pasado reciente, con períodos climáticos actuales.

Para poder establecer estudios de clima, variabilidad y cambio climático, es necesario caracterizar un período de tiempo suficientemente extenso, como para obtener resultados estadísticos robustos. Según el IPCC (2007), la línea base es el escenario climático de referencia o de comparación a partir del cual se determinan los escenarios y proyecciones de cambio climático. Normalmente, estos estudios tipifican las proyecciones futuras de elementos como precipitación y temperatura a diferentes horizontes de tiempo, caracterizando su tendencia, la variación en magnitud y su distribución espacial y temporal. La línea base junto con la proyección futura del clima, debe estar ligada por un análisis de lo que se podría llamar evidencias o signos de cambio, en el caso de que existan. Estas “evidencias” son observaciones recientes que indiquen cambios estadísticos importantes ante el valor de referencia y que sean coherentes con los resultados de la proyección futura del clima. De esta forma, regiones que ya presentan una tendencia clara de cambio y cuya proyección futura indica un reforzamiento de esta tendencia, deben ser objeto de monitoreo constante, priorización de atención y diseño de estrategias de adaptación. De esta forma, los recursos de adaptación serán administrados en forma diferencial sobre regiones prioritarias.

El objetivo de este estudio es brindar información estadística de precipitación y temperatura para tres períodos de tiempo: la línea base de referencia correspondiente a 1961-1990, el período de observación de variabilidad en los últimos 15 años (1991-2006) y el escenario de cambio climático estimado para el 2070-2100.

2. EL CLIMA y las REGIONES CLIMÁTICAS de COSTA RICA

Geográficamente, la franja planetaria comprendida entre los paralelos Trópico de Cáncer y Trópico de Capricornio, se define como Zona Tropical. La ubicación de nuestro país en esta región le confiere características tropicales a su entorno ecológico: bosques, red hidrográfica, suelos y clima. La fauna y la flora que se adapta a estas condiciones, son por lo tanto, de tipo tropical. El clima Tropical de nuestro país, es modificado por diferentes factores como el relieve (la disposición de las montañas, llanuras y mesetas), la situación con respecto al continente (condición ístmica), la influencia oceánica (los vientos o las brisas marinas, la temperatura de las corrientes marinas) y la circulación general de la atmósfera (IGN 2005). La interacción de factores geográficos locales, atmosféricos y oceánicos son los criterios principales para regionalizar climáticamente el país. La orientación noroeste-sureste del sistema montañoso divide a Costa Rica en dos vertientes: Pacífica y Caribe. Cada una de estas vertientes, presenta su propio régimen de precipitación y temperaturas con características particulares de distribución espacial y temporal (Manso *et al* 2005).

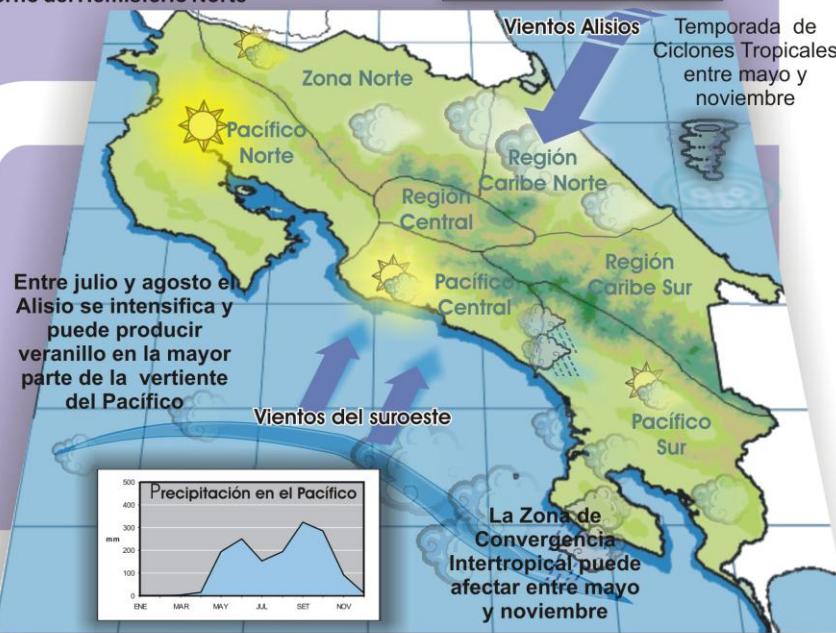


2.1. Régimen Pacífico

El régimen del Caribe y la Zona Norte está influenciada por la prevalencia de los vientos del noreste (Alisios) y por los efectos de los frentes fríos provenientes del Polo durante el invierno del Hemisferio Norte



Vientos Alisios
Temporada de Ciclones Tropicales entre mayo y noviembre



El régimen del Pacífico, producto de la influencia de los vientos del suroeste, se caracteriza por presentar una estacionalidad marcada en dos períodos, el seco y el lluvioso. La precipitación es mayor en el sur de la vertiente, mientras que las zonas más secas se encuentran en el noreste y el centro oriental del país. La Zona de Convergencia Intertropical y la posición geográfica de Costa Rica contribuyen con esta distribución espacial de la lluvia.

provenientes del océano Pacífico ecuatorial y las brisas marinas, que son responsables de las lluvias intensas cuando unen su efecto a las barreras orográficas (Muñoz et al 2002). La Zona de Convergencia Intertropical (ZCI) es un cinturón de baja presión ubicado en la región ecuatorial del planeta, formado por la convergencia de aire cálido y húmedo. La ZCI es uno de los factores más influyentes en el régimen de precipitación del Pacífico, sobre todo hacia el sur del país. Puede desplazarse hasta alcanzar parte de nuestro territorio. Las lluvias ocurren predominantemente durante la tarde y primeras horas de la noche.

2.2. Régimen Caribe

El régimen de esta vertiente no presenta una estación seca definida pues las lluvias se mantienen entre los 100 y 200 mm en los meses menos lluviosos, lo cual es una cantidad de lluvia considerable. En las zonas costeras se presentan dos períodos relativamente secos. El primero entre febrero y marzo y el segundo entre setiembre y octubre. El primer período seco está en fase con el período seco de la vertiente pacífica, sin embargo, el segundo período coincide con los meses más lluviosos de dicha vertiente. Se presentan dos períodos lluviosos intercalados entre los secos. El primero va de noviembre a enero y es el período máximo de lluvias. El segundo se extiende de mayo a agosto y se caracteriza por un máximo en julio que coincide con el veranillo del Pacífico. El mes más lluvioso es diciembre, el cual se encuentra influenciado por los efectos de frentes fríos provenientes del Hemisferio Norte los cuales se presentan entre noviembre y mayo, pero con mayor posibilidad de afectación entre noviembre y marzo. Las lluvias ocurren con mayor probabilidad en horas de la noche y la mañana (Manso et al 2005).

Se caracteriza por poseer una época seca y una lluviosa bien definidas. La seca se extiende de diciembre hasta marzo. Abril es un mes de transición. El mes más seco y cálido es marzo. El inicio depende de la ubicación latitudinal. Comienza primero en el noroeste de la vertiente y de último en el sureste. Lo contrario sucede con el inicio de la época lluviosa. Este período va de mayo hasta octubre, siendo noviembre un mes de transición. Presenta una disminución relativa de la cantidad de lluvia durante los meses de julio y agosto (veranillo o canícula) cuando se intensifica la fuerza del viento Alisio. Los meses más lluviosos son setiembre y octubre debido principalmente a la influencia de los sistemas ciclónicos, los vientos Monzones

2.3. Regiones climáticas de Costa Rica

Los dos regímenes de precipitación (Pacífico y Caribe), la altura y orientación de las montañas, junto con los vientos predominantes y la influencia de los océanos, permiten diferenciar siete grandes regiones climáticas : Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur, Región Central, Zona Norte, Región Caribe Norte y Región Caribe Sur. La figura 1 muestra la nueva regionalización climática de Costa Rica y algunos elementos meteorológicos significativos que definen el clima regional.

3. LA LÍNEA BASE o CLIMATOLOGÍA de REFERENCIA

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomendó el uso de períodos estándares para caracterizar el clima actual de una región y hacerlos comparables estadísticamente con otros (INECO 2007). Estos períodos se conocen como Normales Climatológicas Reglamentarias, que son medias de los datos climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 años, a partir del 01 de enero de 1901 (OMM sf). Actualmente, la mayor parte de estas normales climatológicas o “líneas base climáticas” se construyen a partir de los registros del período normal 1961-1990, aunque debido a la mayor disponibilidad de datos y cercanía de tiempo también se están utilizando las del período 1971-2000. El análisis de la variabilidad climática de estos períodos base permite detectar tendencias, fases de oscilación de largo período e incluso cambios climáticos que se estén sucediendo (DINAMA 2005, Sinha y De 2003).

3.1. Método de análisis

La información para estimar la línea base (LB) se obtuvo de la base de datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Se seleccionó un total de 81 estaciones. De este grupo de estaciones, 50 presentaban registros de precipitación que comprenden el período de estudio elegido (1961-1990) y se encontraban actualizadas al 2006. Once estaciones presentan un registro menor de los 30 años sugeridos (pero siempre dentro del rango 1961-1990). También se encontraban actualizadas al 2006. Las veinte estaciones restantes se utilizaron como punto de referencia para la climatología general puesto que no tenían el período de análisis requerido, algunas estaban cerradas, pero presentaban un registro importante de datos y se encontraban geográficamente en zonas de interés. El 58% de las 50 estaciones de LB, tienen registro de precipitación y temperatura. El 42% restante, solo posee registro de precipitación.

La línea base para Costa Rica se desarrolló para el período 1961-1990, a nivel anual y mensual, tanto para la precipitación como para las temperaturas extremas (máxima y mínima). Se estima que esta escala puede atenuar los errores a nivel diario y horario de la base de datos del Instituto Meteorológico Nacional. Por otra parte, se ha observado que los valores anuales de precipitación, capturan la señal de eventos extremos de menor escala temporal atribuibles a la variabilidad del clima (Retana y Villalobos 2002, Retana y Villalobos 2004a y b). Normalmente, años lluviosos extremos indican la presencia de eventos atmosféricos que han impactado al país en el curso de semanas o días. Igualmente, un año seco en extremo, puede reflejar un período seco extendido a escala estacional o incluso a nivel de meses. La LB se calculó para cada región climática del país, con la única particularidad que la Región Central fue dividida en el Valle Occidental y el Valle Oriental, y la región Caribe en Caribe Norte y Caribe Sur. Se utilizaron las unidades fisiográficas estructurales propuestas por Bergoeing (1998) como referencia geográfica que ayude a explicar la variación de la lluvia dentro de la misma región. Se analizó el valor promedio y los diferentes rangos de variabilidad de precipitación a nivel anual y mensual. Se estimó la magnitud de los cambios en precipitación anual, días con lluvia, temperatura máxima y mínima, durante eventos extremos y la influencia que presentan las fases de El Niño-Oscilación Sur (ENOS) sobre estos eventos extremos.

Como parte del análisis de la LB, se caracterizaron algunos eventos extremos propios de la variabilidad climática, principalmente en cuanto a la cantidad de precipitación que aportan. Se consultaron las bases de datos del Boletín Meteorológico mensual del IMN y la recopilada por Ortíz (2007) para obtener estadísticas a partir de estas fuentes.



3.2. Pacífico Norte



Ubicación. Se localiza en el noroeste del país. Comprende la provincia de Guanacaste y los cantones de Esparza y Montes de Oro de la provincia de Puntarenas; y los cantones de Orotina y San Mateo de la provincia de Alajuela.

Ecología. El Pacífico Norte de Costa Rica es un área de extensa zona costera y rica en ecosistemas de gran importancia nacional e internacional, como lo son los bosques tropicales, los tropicales secos y los humedales. Predominan los suelos inceptisoles, alfisoles y los entisoles. En la planicie, de constitución aluvial, se encuentran los suelos más fértiles de la región, donde predomina la agricultura y producción de carne de carácter extensivo.

Hidrología. Guanacaste es una de las zonas de menor riqueza hídrica del país. Pese a que todo su territorio está regado por ríos, el caudal de su red hidrográfica, dominada por el río Tempisque, disminuye notablemente durante la estación seca que se prolonga por cinco o seis meses a partir de diciembre.

Clima. Fisiográficamente, se distinguen tres unidades que pueden representar las principales condiciones climáticas de la zona: la unidad continental constituida por la Cordillera de Guanacaste y la Cordillera de Tilarán con una altitud media de 1000 msnm, la unidad peninsular que comprende las penínsulas de Santa Elena y Nicoya con una altura media de 300 msnm y la unidad de la depresión del Tempisque, que es una zona llana con alturas medias de 30 msnm. (Solano y Villalobos 2001). El viento predominante durante el período seco y el veranillo es el noreste o Alisio, mientras que durante el período lluvioso el suroeste predomina (Zárate 1991). La influencia de estos vientos junto con la orografía determinan la distribución mensual de la precipitación.

Tal y como se observa en la figura 2, el período seco va de diciembre a marzo. En este período precipita un 4% del total de lluvia anual. El Alisio es el viento dominante. Abril es un mes de transición y en mayo se establecen las lluvias alrededor de la tercera década del mes. El primer período lluvioso se da entre mayo y agosto cuando precipita el 50% del total. En junio ocurre el primer máximo de lluvia, al intensificarse los vientos suroestes, que provocan tormentas locales y fuertes aguaceros. Entre julio y agosto, los vientos Alisos vuelven a intensificarse y como consecuencia se presenta el veranillo del Pacífico o canícula. Un segundo período lluvioso se extiende desde setiembre hasta noviembre. Durante setiembre y octubre se produce el mayor aporte de lluvia, asociado con una mayor influencia de eventos ciclónicos. El 46% de la lluvia anual, precipita en este segundo período lluvioso. Noviembre es un mes de transición hacia el período seco.



Figura 2. Precipitación promedio de la región Pacífico Norte de Costa Rica. 1961-1990.

3.2.1. Pacífico Norte: línea base

Cuadro 1. Variables climatológicas del Pacífico Norte de Costa Rica.

Región	Unidades fisiográficas	Estación	Línea Base anual (1961-1990)			
			precipitación (mm)	días con lluvia (días)	máxima (°C)	mínima (°C)
Pacífico Norte	Unidad continental	Tilarán	1900	164	27,2	19,3
		Monteverde	2483	205	22,3	15,0
		SM. Barranca	1964	124	32,0	21,4
		Cascajal, Orotina	2536	149	ND	ND
	Depresión del Tempisque	Liberia	1517	89	33,0	22,1
		Peñas Blancas	1784	102	33,0	22,7
	Unidad peninsular	Nicoya	2116	133	33,0	22,6
		Santa Cruz	1517	89	33,0	22,1
	PROMEDIO REGIONAL		2008	136	32,8	22,2

En el cuadro 1 se resumen los valores de la climatología de referencia del Pacífico Norte de Costa Rica. En general, presenta promedios de lluvia anual entre 1500 y 2500 mm, con grupos climáticos que van desde el templado (mesotermal) hasta climas de tipo tropical seco modificados por factores geográficos (MEH 1953). El Pacífico Norte es una de las zonas más secas y cálidas del país. La mayor precipitación se presenta en la zona montañosa de la Cordillera de Guanacaste y de Tilarán con valores anuales cercanos a los 2200 mm y temperaturas que oscilan entre los 25°C durante el día y 17°C durante la noche. La región central correspondiente a la depresión del Tempisque es la zona más seca con precipitaciones anuales promedio de 1700 mm y temperaturas entre los 32°C durante el día y 22°C durante la noche. La precipitación anual en la zona peninsular es cercana a los 1900 mm, con montos mayores en la zona cercana a los Cerros de Nicoya y el extremo sur y sureste de la Península de Nicoya. Las temperaturas máximas durante el día pueden promediar los 33°C, mientras durante la noche la temperatura puede ser de 22°C.

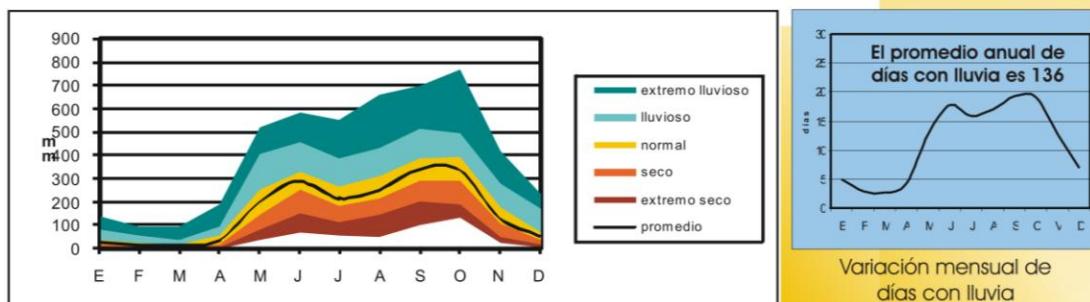


Figura 3. Precipitación promedio en comparación con cinco rangos de variabilidad climática. Pacífico Norte de Costa Rica. 1961-1990.

Diferentes fenómenos de variabilidad desvían el comportamiento normal de la precipitación hacia escenarios secos o lluviosos. En la figura 3 se presentan los rangos de variación correspondientes a la variabilidad climática y el comportamiento promedio de la lluvia mensual. En la figura 4 se presenta el comportamiento de las temperaturas extremas en la región cuya amplitud (diferencia entre la máxima y la mínima) es cercana a los 9°C.

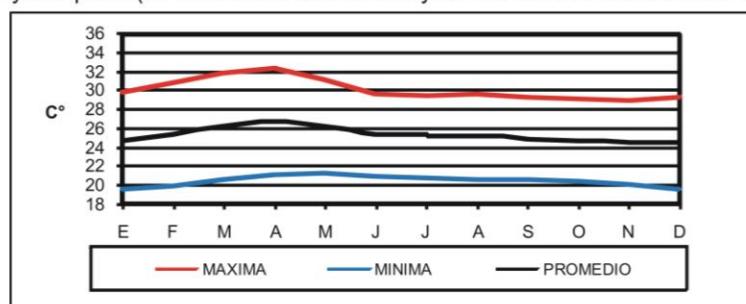


Figura 4. Temperaturas máxima, media y mínima mensuales. Pacífico Norte de Costa Rica. 1961-1990.



3.2.2. Pacífico Norte: variabilidad y extremos climáticos

Fenómenos de variabilidad climática como las fases de El Niño Oscilación Sur (ENOS), pueden hacer variar el comportamiento normal del clima regional. En el cuadro 2, se presenta la magnitud del cambio en la precipitación y la temperatura anual asociada a eventos extremos secos y lluviosos, generados por diferentes fenómenos de variabilidad climática. Tal y como se desprende del cuadro, en promedio, un evento extremo seco hace disminuir la precipitación de la zona en 417 mm, lo que representa un déficit del 26% anual. El número de días con lluvia puede disminuir hasta en 24 días. Durante esos mismos eventos, la temperatura se puede incrementar en 1.2°C durante las horas más cálidas del día o 1.0°C durante la noche. Los eventos extremos lluviosos aumentan la precipitación anual en 544 mm (28%) con disminuciones de la temperatura entre 1.2 y 1.6°C.

Cuadro 2. Eventos extremos. Pacífico Norte de Costa Rica.

Estación	Variación de la línea base con respecto a eventos extremos							
	Eventos extremos secos				Eventos extremos lluviosos			
	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	Minima (°C)	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	minima (°C)
Nicoya	-535 (-25%)	-33	1.0	0.8	522 (+25%)	20	-1.2	-2.8
Libería	-482 (-26%)	-18	0.8	0.5	549 (+36%)	30	-0.9	-0.6
Santa Cruz	-604 (-33%)	-23	0.8	0.9	516 (+29%)	13	-0.7	-1.1
Peñas Blancas	-764 (-43%)	-56	ND	ND	251 (+14%)	14	ND	ND
Tilarán	-329 (-17%)	-2	2.2	1.2	681 (+36%)	32	-1.8	-1.6
Monteverde	-337 (-14%)	-23	1.6	0.6	782 (+31%)	24	-1.5	-0.5
Cascajal, Orotina	-702 (-25%)	-26	ND	ND	493 (+20%)	42	ND	ND
S.M. Barranca	-466 (-24%)	-18	1.0	1.7	508 (+26%)	1	-1.0	-2.7
PROMEDIO	-417 (-26%)	-24	1.2	1.0	544 (+28%)	22	-1.2	-1.6

ND: no hay dato

En la figura 5 se presenta la variación mensual de la precipitación y temperaturas durante eventos extremos. Los extremos secos contribuyen con el aumento de la temperatura máxima (diurna) y mínima (nocturna), principalmente entre los meses de marzo y mayo, cuando pueden aumentar más de 1.5°C sobre el valor promedio.

Por su parte, eventos extremos secos pueden disminuir la precipitación durante el período lluvioso (junio a octubre) afectando principalmente el veranillo y el mes de setiembre, cuando las reducciones pueden ser del orden de los 100mm. Los extremos lluviosos producen los mayores aumentos de lluvia en octubre. Durante este mes puede llover hasta 200 mm más sobre el promedio de la Línea Base.

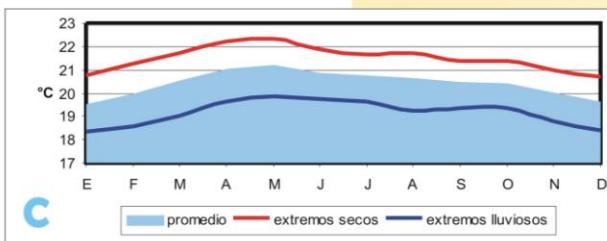
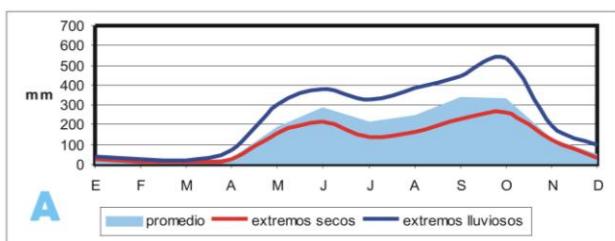
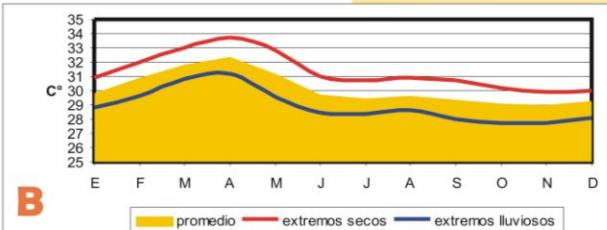


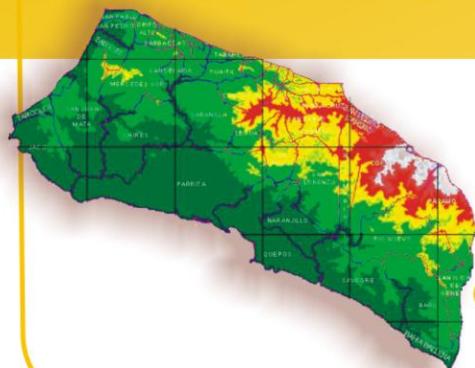
Figura 5. Variaciones mensuales de la precipitación (A) la temperatura máxima (B) y la temperatura mínima (°C) durante años de eventos extremos. Pacífico Norte de Costa Rica. 1961-1990.

El 79% de los eventos extremos secos está asociado con El Niño, mientras que la fase fría o La Niña, tiene un 60% de probabilidad de producir un escenario lluvioso. Esta asociación evidencia una “buena señal” de ENOS (El Niño Oscilación Sur) en la zona. A pesar que estos fenómenos tienen un gran peso ponderado en las anomalías climáticas como sequías o inundaciones que afectan al país cada año, existe un porcentaje significativo de la variabilidad que no puede ser explicado por estos eventos. Un caso evidente fue la sequía del 2001, donde no hubo evento ENOS durante ese año.

- Un evento El Niño puede causar sequías en el Pacífico Norte con reducciones promedio de lluvia anual de un 26%, afectando principalmente el segundo período lluvioso. La temperatura durante estos eventos, puede aumentar más de 1°C.

3.3. Pacífico Central

Ubicación. Situada en la parte central de la Vertiente del Pacífico de Costa Rica, se extiende desde Playa Herradura o Jacó, hasta Dominical, siguiendo por los Cerros de Herradura, Cerro Turrubares, Cerro Cangreja, y las partes bajas (pie de monte) de la Fila Costeña. Comprende el poblado de Tinamaste, todo el Valle de Parrita, Quepos y Manuel Antonio (Solano y Villalobos 2001).



Ecología. Existen áreas para explotación de bosques, protección de cuencas hidrográficas y vida silvestre, así como áreas agrícolas y ganaderas. Sobresalen los suelos de tipo volcánico y de relieve ondulado a muy ondulado, residuales, moderadamente profundos y poco fértiles como el inceptisol. También existen suelos aluviales, profundos, oscuros, fértiles y susceptibles a inundación como los mollisoles. Predominan dos tipos de bosque, el húmedo tropical y el bosque húmedo subtropical. A lo largo de la costa Pacífica se encuentran áreas de terreno inundados, influenciados por el mar. Cuando la influencia marina es importante, se desarrolla una vegetación tipo mangle (Villalobos et al, 2002).

Hidrología. La región cuenta con un potencial hidrográfico importante, destacándose las cuencas de los ríos Bongo, Lagarto, Guacimal, Aranjuez, Barranca, Jesús María, Grande de Tárcoles, Tusubres, Parrita, Damas, Naranjo, Savegre y Barú

Clima. De acuerdo con Bergoeing (1998), el Pacífico Central se encuentra dentro de la unidad fisiográfica estructural que comprende la Península de Osa y la zona costera Pacífica desde Puntarenas hasta el Golfo Dulce. El litoral alargado se puede dividir en dos valles limitados por parte del sistema montañoso secundario. Hacia el oeste de la región se encuentra el Valle de Candelaria limitado por los cerros de Tablazo, Candelaria, Escazú y Puriscal, mientras que hacia el sur se encuentra el Valle de Parrita limitado por los cerros de Bustamante y Dota. La precipitación es mayor en los valles y hacia el sur de la región debido a tres factores: la cercanía del pie de monte de la Fila Brunqueña, la dominancia de los vientos suroestes del Pacífico y la mayor proximidad a la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical.

El viento predominante durante la mayor parte del día es de componente Sur, mientras durante la noche es generalmente Alisio o calmo (Mena 2008). La protección de la Fila Brunqueña al este de la región impide la influencia directa de los Alisios, modificando el régimen de precipitación pacífico. Tal y como se muestra en la figura 6, la distribución mensual de la lluvia es diferente de acuerdo con la unidad fisiográfica y el viento dominante. Mientras que en las partes altas de la fila Brunqueña el veranillo es perceptible en los meses de julio y agosto debido a la influencia del Alisio, en las partes bajas o valles costeros, la montaña impide el paso de los norestes, el viento es de componente sur y el veranillo desaparece. Cuanto más al sur de la región, menor percepción del veranillo.

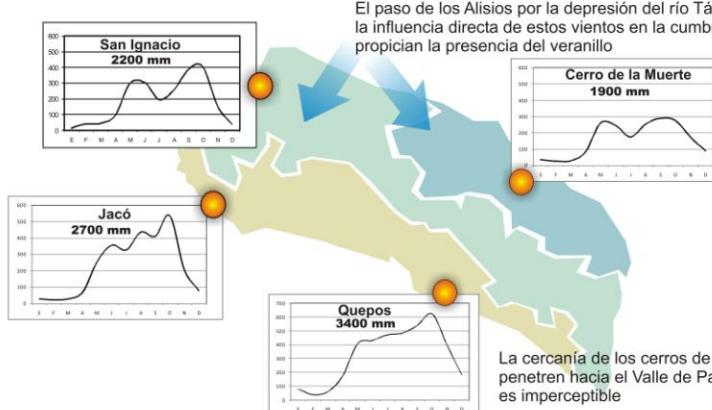


Figura 6. Distribución espacial de la precipitación mensual en el Pacífico Central de Costa Rica. 1961-1990.

La cercanía de los cerros de Bustamante impiden que los vientos Alisios penetren hacia el Valle de Parrita, por lo que el veranillo de mitad de año es imperceptible



3.3.1. Pacífico Central: Línea base

Región	Unidades fisiográficas	Estación	Línea Base anual (1961-1990)			
			precipitación (mm)	días con lluvia (días)	máxima (°C)	mínima (°C)
Pacífico Central	Zona costera del Pacífico. Valles	Quepos	3931	163	31.0	22.7
		Palo Seco	3005	152	ND	ND
		Damas	3423	170	31.0	22.7
		Cerritos	3967	179	ND	ND
		Bartolo	3883	174	ND	ND
		Pócaras	2710	166	ND	ND
PROMEDIO REGIONAL			3487	166	31.0	22.7



Cuadro 3. Variables climatológicas del Pacífico Central de Costa Rica. 1961-1990. Figura 7. Precipitación promedio en el Pacífico Central de Costa Rica. 1961-1990.

La precipitación promedio de la zona de valles es de 3500 mm anuales (cuadro 3). El régimen de precipitación del Pacífico está modificado por la posición geográfica (al sureste) y la protección de la cadena montañosa de la Fila Brunqueña. El clima es tropical con estación seca corta y moderada, y un período lluvioso muy severo y largo presente sobre todo hacia el sur de la Región. La temperatura máxima promedio es de 31°C y la mínima promedio es de 22.7°C.

Tal y como se presenta en la figura 7, el período seco va de enero a marzo donde precipita un 4% del total de lluvia anual. Abril es un mes de transición, previo al establecimiento de la temporada de lluvias a inicios de mayo. El primer período lluvioso se da entre mayo y agosto cuando precipita el 52% del total. Durante el segundo período lluvioso precipita el 44% de la lluvia anual. Diciembre es un mes de transición. Los fenómenos de variabilidad que desvían el comportamiento normal de lluvia y temperatura, se asocian principalmente con las fases de ENOS. En las figuras 8 y 9 se presentan las magnitudes de los cambios que se pueden presentar durante algunos fenómenos de este tipo.

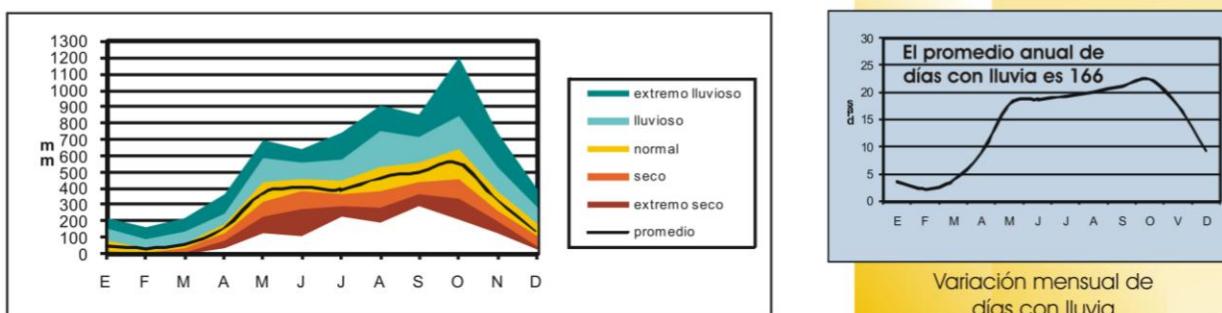


Figura 8. Precipitación promedio en comparación con cinco rangos de variabilidad climática. Pacífico Central de Costa Rica. 1961-1990.

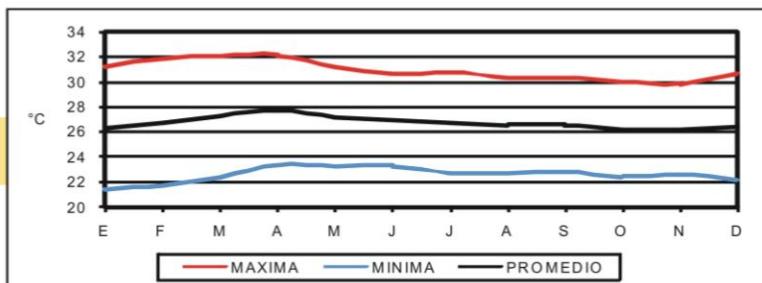


Figura 9. Temperaturas máximas, media y mínimas mensuales. Pacífico Central de Costa Rica. 1961-1990.

3.3.2. Pacífico Central: variabilidad y extremos climáticos

La ubicación geográfica de esta región, la hacen susceptible de sufrir los impactos de fenómenos atmosféricos que pueden causar extremos de precipitación y temperatura. La cercanía de los cerros de la Fila Brunqueña a los valles y la influencia de los vientos húmedos del suroeste, son los principales factores para que se presente un importante núcleo de precipitación hacia el sur de la región. Las inundaciones son comunes en las zonas bajas. Por otro lado, la fase cálida de ENOS (El Niño) tiene una alta probabilidad de producir escenarios secos en la región (Villalobos y Retana 2001). En el cuadro 4 se presenta el cambio en la precipitación y la temperatura anual asociada con eventos extremos secos y lluviosos. En promedio anual, los aumentos y disminuciones de la temperatura máxima y mínima producto de eventos extremos, no es significativo, la variación es mayor a escala mensual. La precipitación muestra desviaciones importantes en ambas escalas, particularmente a nivel anual, donde se registran aumentos o disminuciones del 26% y 22% respectivamente.

Cuadro 4. Eventos extremos. Pacífico Central de Costa Rica

Estación	Variación de la línea base con respecto a eventos extremos							
	Eventos extremos secos				Eventos extremos lluviosos			
	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	Mínima (°C)	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	mínima (°C)
Quepos	-850 (-22%)	-25	0.2	0.7	945 (+24%)	34	-0.7	-0.5
Palo Seco	-595 (-20%)	-16	ND	ND	983 (+33%)	31	ND	ND
Damas	-756 (-22%)	-17	0.2	0.7	1189 (+35%)	25	-0.7	-0.5
Cerritos	-1000 (-25%)	-24	ND	ND	890 (+22%)	19	ND	ND
Bartolo	-964 (-25%)	-19	ND	ND	1023 (+26%)	24	ND	ND
Pócares	-465 (-17%)	-22	ND	ND	1275 (+47%)	23	ND	ND
Quepos	-850 (-22%)	-25	0.2	0.7	945 (+24%)	34	-0.7	-0.5
	-772 (-22%)	-21	0.2	0.7	1050 (+31%)	26	-0.7	-0.5

En la figura 10 se presenta la variación mensual de la precipitación y la temperatura durante eventos extremos. Los extremos secos hacen aumentar la temperatura. Los meses de mayor variación son febrero, marzo y abril, mientras que el resto del año las temperaturas casi no sufren cambios. La precipitación puede disminuir durante el período lluvioso (de mayo a noviembre) y es posible observar un aparente veranillo durante el mes de agosto. En los eventos lluviosos, la temperatura máxima baja en forma más pronunciada que la temperatura mínima, siendo inferior al promedio casi todo el año, especialmente en setiembre y noviembre. La precipitación aumenta sobre todo en mayo y octubre.

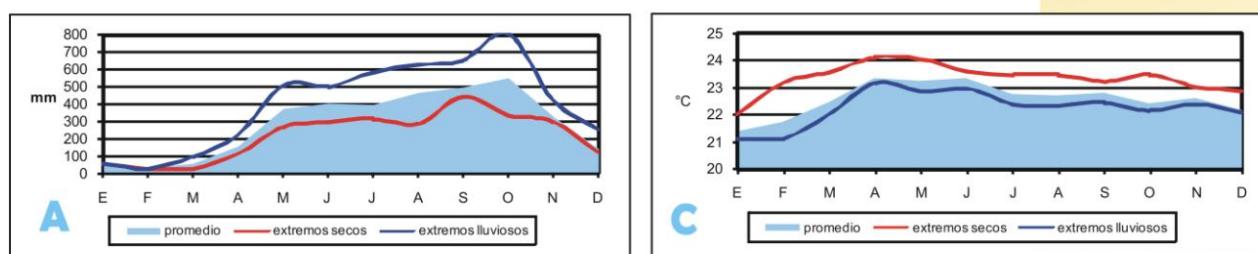


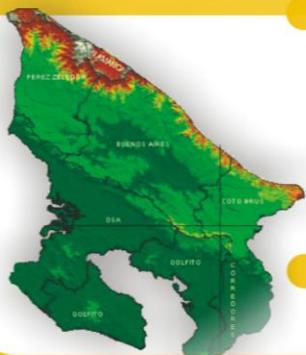
Figura 10. Variaciones mensuales de la precipitación (A) la temperatura máxima (B) y la temperatura mínima (C) durante años de eventos extremos. Pacífico Central de Costa Rica 1961-1990

El análisis de precipitación anual de las estaciones representativas del valle de Parrita, indica que el 94% de los eventos secos extremos en la región, coincide con la aparición del fenómeno de El Niño, mientras que el 77% de eventos lluviosos extremos, puede ser explicado por el fenómeno de La Niña.



3.4. Pacífico Sur

Ubicación. Se ubica al sureste del Pacífico Central. Se extiende desde Punta Uvita hasta San Isidro del General, siguiendo las estribaciones de la Cordillera de Talamanca del lado del Pacífico, y desde el Cerro Darí hasta Cerro Echandí. Incluye el límite fronterizo con Panamá y hasta Punta Burica. Comprende todo el Valle del General, la Península de Osa, el Valle de Coto Colorado, el Valle de Coto Brus, y Golfito. Predomina una topografía irregular, formada por montañas, filas y serranías, áreas de pie de monte, valles, llanuras, y cuencas hidrográficas. (Solano y Villalobos 2001).

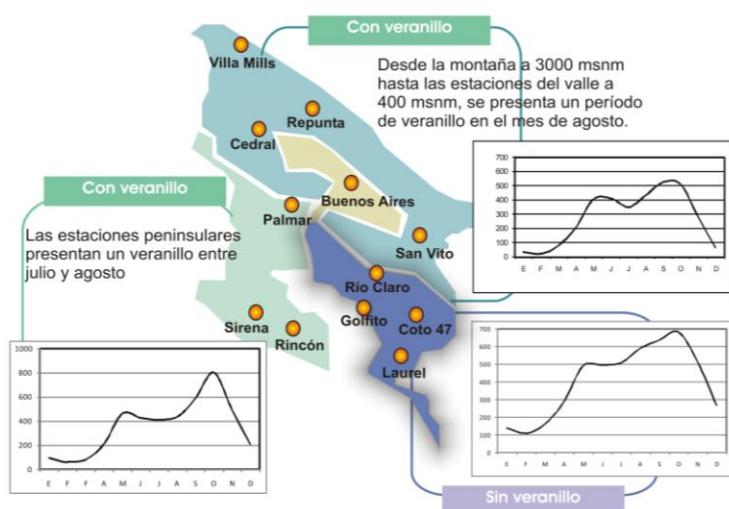


Ecología. En la plataforma peninsular se encuentran reductos de bosque tropical lluvioso con una biodiversidad impresionante, que hacen del Parque Nacional de Corcovado una de las áreas biológicas más ricas de Latinoamérica. Se destacan los suelos inceptisoles y ultisoles. Los inceptisoles son rojizos, profundos, arcillosos, fuertemente ácidos en regiones de pie de monte, asociados con suelos de mal drenaje en las depresiones. Los suelos ultisoles son aquellos que poseen materiales orgánicos, poco profundos, asociados con suelos derivados de cenizas volcánicas, oscuros, permeables, se localizan cerca de los ríos, por lo que son suelos fértiles (Villalobos et al 2003).

Hidrología. Esta región posee un rico componente hidrográfico producto de su relieve montañoso, lo que la convierte en una zona de alto potencial hidroeléctrico y para el abastecimiento de agua a la población y actividades socio productivas (PDR 1995).

Clima. De acuerdo con Bergoeing (1998), el Pacífico Sur posee dos unidades fisiográficas: La cordillera de Talamanca que se subdivide en la Fila Costeña o Brunqueña y la Zona Baja Tectónica que comprende el Valle del General, el Valle de Coto Brus y la zona baja hacia punta Burica. La otra unidad es la peninsular que comprende la Península de Osa. La magnitud de la precipitación anual aumenta hacia el sur de la región. La lluvia es menor en las partes altas de la cordillera (2500-3000 mm en promedio) donde hay influencia del Alisio en los meses secos y de veranillo. La lluvia aumenta en el pie de monte y los valles (3000 a 4000 mm) donde se produce un importante aporte de las brisas de montaña. Los mayores núcleos de precipitación (4000-6000mm), se presentan en la península, al norte de Golfito y en Ciudad Neily. Esta es la zona más lluviosa del país gracias a su estructura geográfica (la cordillera más alta), la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical y los vientos predominantes.

De acuerdo con Zárate (1978), el viento durante el día es predominantemente del oeste o del suroeste. Corresponde a brisas del mar y vientos ecuatoriales. Durante las noches predominan los vientos calmos y corresponden con brisas de montaña originadas en la Cordillera de Talamanca, con direcciones Noreste y Norte (Mena 2008).



El veranillo se presenta en las estaciones de toda la región excepto en la zona del Valle de Coto Colorado limitada al norte por la fila Brunqueña y al sur por los cerros de Punta Burica. La precipitación anual sobrepasa los 4500 mm.

Las estaciones pertenecientes a la Zona Baja Tectónica fuera del Valle de El General y Coto Brus, no presentan período de veranillo

1961-1990

3.4.1. Pacífico Sur: Línea base

Región	Unidades fisiográficas	Estación	Línea Base anual (1961-1990)			
			precipitación (mm)	días con lluvia (dias)	máxima (°C)	mínima (°C)
Pacífico Sur	Cordillera de Talamanca y Fila Brunqueña	Villa Mills	2632	191	18.8	15.0
		Cedral	4214	228	ND	ND
	Zona baja tectónica (Valle de El General, Valle Coto Brus, zona costera y Punta Burica)	Repunta	2531	181	ND	ND
		San Vito	3714	212	ND	ND
		Golfito	5073	228	29.1	23.4
	Península de Osa	Coto 47	4102	212	31.8	21.1
		Palmar	3584	177	31.8	22.5
		PROMEDIO REGIONAL	3693	204	27.9	20.5

Cuadro 5. Variables climatológicas del Pacífico Sur de Costa Rica. 1961-1990.

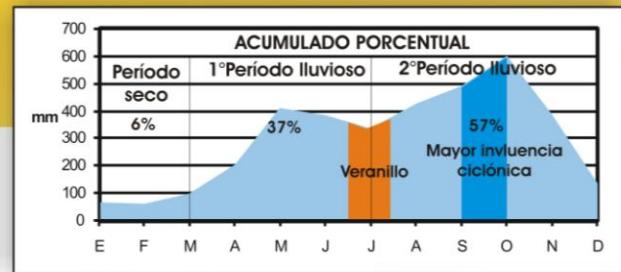
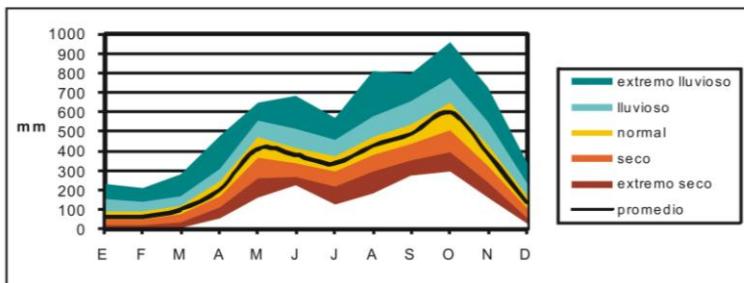


Figura 11. Precipitación promedio en el Pacífico Sur de Costa Rica. 1961-1990.

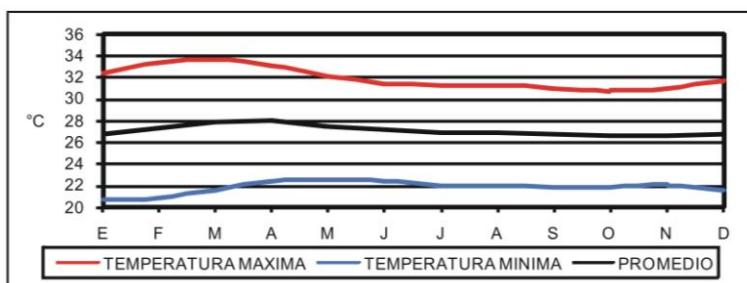
La precipitación promedio de la región es cercana a los 3700 mm anuales, con una temperatura máxima de 27.9°C y una mínima de 20.5°C (cuadro 5). Los variados accidentes geográficos generan un régimen de lluvias contrastado con relación al resto de las regiones de la vertiente Pacífica. Esta heterogeneidad se percibe en un clima en donde el período seco es corto, mientras el lluvioso es largo e intenso.

Tal y como se presenta en la figura 11, el período seco va de enero a marzo, siendo abril un mes de transición, con excepción de la zona del Valle del General donde las lluvias empiezan a finales de abril y principios de mayo. En este período precipita un 11% del total de lluvia anual. El primer período lluvioso se da entre mayo y agosto cuando precipita el 43% del total. Durante el segundo período lluvioso precipita el 46% de la lluvia anual. Diciembre es un mes de transición. Diferentes fenómenos de variabilidad como el ENOS, pueden desviar el comportamiento normal de lluvia y temperatura. En las figuras 12 y 13 se presentan las magnitudes de los cambios que se pueden presentar durante algunos fenómenos de este tipo.



Variación mensual de días con lluvia

Figura 12. Precipitación promedio en comparación con cinco rangos de variabilidad climática. Pacífico Sur de Costa Rica. 1961-1990.



9.5°C

Amplitud de temperatura

Figura 13 Temperaturas máxima, media y mínima mensual. Pacífico Sur de Costa Rica. 1961-1990.



3.4.2. Pacífico Sur: variabilidad y extremos climáticos



Varios factores contribuyen a que el Pacífico Sur sea la región de mayor precipitación anual en el país: la posición suroeste favorece la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical. Además el límite norte compuesto por la cordillera montañosa más elevada del país permite el desarrollo de lluvia convectiva sobre los valles. Por último, es una zona de marcada influencia oceánica. Cuando se presentan variaciones en el comportamiento normal de precipitación y temperatura durante eventos secos extremos, se puede esperar un promedio de reducción de 20% (744 mm) en la precipitación anual y un aumento de la temperatura de más de un grado Celsius durante el día y la noche. Por otra parte, eventos extremos lluviosos pueden aumentar en un 23% (777 mm) la lluvia anual, y hacer descender entre 0.3 y 0.6°C la temperatura diurna y nocturna respectivamente, tal y como se detalla en el cuadro 6. Comparativamente con todas las regiones de la vertiente Pacífica, esta región presenta la mayor disminución del número de días con lluvia durante eventos secos extremos. Por el contrario, en los extremos lluviosos el aumento en el número de días con lluvia es el más bajo.

Cuadro 6. Eventos extremos. Pacífico Sur de Costa Rica

Estación	Variación de la línea base con respecto a eventos extremos							
	Eventos extremos secos				Eventos extremos lluviosos			
	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	mínima (°C)	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	mínima (°C)
Golfito	-1179 (-23%)	-37	ND	ND	573 (+11%)	6	ND	ND
Repunta	-354 (-14%)	-37	ND	ND	869 (+34%)	1	ND	ND
Palmar Sur	-747 (21%)	-25	2.0	0.6	759 (+21%)	3	-0.4	-0.5
Cedral	-913 (22%)	-41	ND	ND	1176 (+28%)	7	ND	ND
San Vito	-665 (-18%)	-6	ND	ND	679 (+18%)	22	ND	ND
Coto 47	-850 (-21%)	-41	1.0	1.7	641 (+16%)	9	-0.2	-0.7
Villa Mills	-498 (-20%)	-39	ND	ND	745 (+30%)	12	ND	ND
PROMEDIO	-744 (-20%)	-32	1.5	1.2	777 (+23%)	9	-0.3	-0.6

En la figura 14 se presenta la variación mensual de la precipitación y la temperatura durante eventos extremos secos y lluviosos. Las mayores variaciones de precipitación producto de eventos extremos se producen entre mayo y octubre. Es precisamente octubre, el mes donde se presentan las mayores deficiencias o aumentos de lluvia, de acuerdo con el tipo de evento. Durante eventos lluviosos, la precipitación aumenta principalmente durante mayo, agosto y octubre. Es posible que el veranillo desaparezca durante estos eventos. En cuanto a temperatura, los extremos secos provocan más variación en la temperatura que los eventos lluviosos. Durante los extremos secos, la temperatura máxima aumenta principalmente entre junio y octubre, con variaciones de más de 1°C. La mínima, por su parte, aumenta mayormente durante febrero. En los eventos lluviosos, la temperatura máxima baja notoriamente en noviembre, mientras que la mínima disminuye más en febrero.

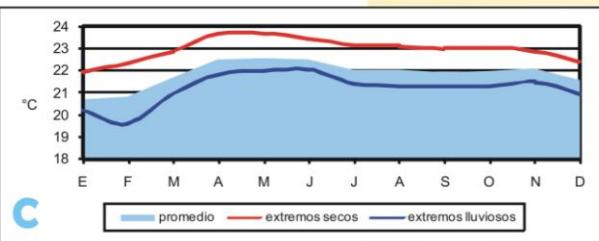
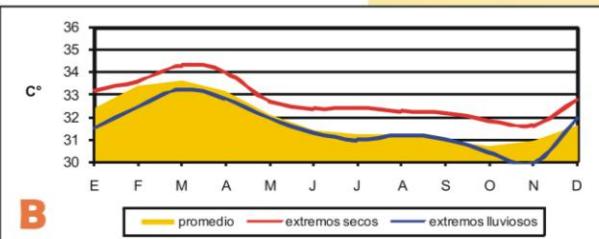
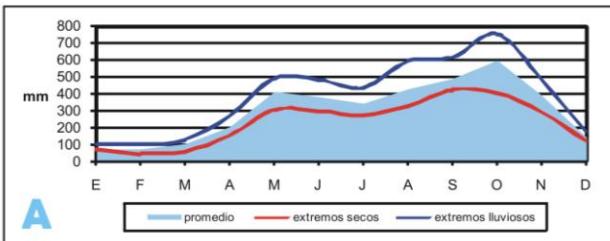
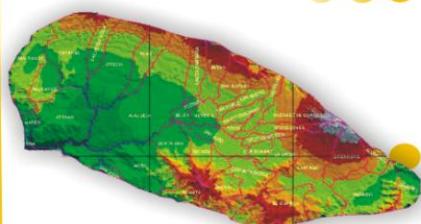


Figura 14. Variaciones mensuales de la precipitación (A) la temperatura máxima (B) y la temperatura mínima (C) durante años de eventos extremos. Pacífico Sur de Costa Rica 1961-1990

Existe un 86% de probabilidad de que un evento extremo seco coincida con un evento de El Niño. Por otra parte, se presenta una probabilidad del 82% de que un evento lluvioso extremo sea coincidente con La Niña.

3.5. Región Central: dos valles

Ubicación. Se encuentra en el centro del país. Es una región tectovolcánica que se encuentra limitada al norte por la Cordillera Volcánica Central, al sur por los Cerros de Escazú, Tablazo, Cedral y la Fila Candelaria, al oeste los Montes del Aguacate y al este por las estribaciones de la Cordillera de Talamanca. Comprende los núcleos urbanos más grandes de las provincias de San José, Heredia, Alajuela y Cartago.



Ecología. Esta región incluye zonas de vida de bosque húmedo tropical a bosque pluvial premontano. Existen áreas con características de bosque tropical húmedo con temperaturas promedio de 22°C y precipitaciones anuales de 2300 mm en promedio. Los suelos son de tipo latosol y de origen aluvial aunque existen suelos lateríticos de baja fertilidad natural, con gradientes muy fuertes.

Hidrología. En el sector Occidental de la región están ubicadas en su parte media y alta, varias de las principales cuencas hidrográficas del país, las cuales abastecen la demanda de agua potable de cerca del 50% de la población costarricense, las demandas de la industria ubicada en el Valle Central y una considerable parte de la producción hidroeléctrica del país (SA 2001).

Clima. La Región Central es parte de la Unidad Estructural Volcánica y la Franja de Tilarán (Bergoeing 1998). Inmerso en esta unidad, se distinguen dos valles: el Valle Central Occidental que corresponde a la depresión del río Grande de Tárcoles y el Valle Central Oriental, separado del primero por los cerros de La Candelaria y Ochomogo. El Valle Oriental que comprende los valles de El Guarco y Orosi, corresponde a la depresión del río Reventazón y sus afluentes. De acuerdo con Solano y Villalobos (2001), la región es afectada por condiciones del Pacífico (Zona de Convergencia Intertropical y los vientos ecuatoriales), así como por la influencia del Caribe (vientos Alisios del noreste, con derrame de nubosidad y lluvias débiles que llegan al Valle gracias a los pasos entre montañas). En las partes bajas del valle occidental (Atenas, Turrúcares, La Garita, Guácima), se puede encontrar un clima seco con marcada influencia del Pacífico. En las partes medias que corresponden a las cabeceras de San José, Heredia y Cartago principalmente, se experimenta un clima templado. En las zonas altas el clima es un poco más lluvioso y frío, característico de las zonas de montaña.

De acuerdo con Alvarado (2008), el viento predominante durante las mañanas de toda la temporada lluviosa es viento calmo o Alisio débil. Por las tardes predominan los oestes. En la temporada seca y durante el veranillo, el Alisio domina todo el día.

Como se observa en la figura 15, en promedio, el Valle Occidental es más lluvioso (2300 mm), que el Valle Oriental (1700 mm). Sin embargo, el Valle Oriental posee más días con lluvia y posee mayor precipitación durante los meses de diciembre, enero y febrero producto de una mayor influencia del Caribe, que se hace notoria también en la menor magnitud del veranillo. Algunas zonas del Valle Oriental, presentan cantidades de precipitación anual iguales o incluso inferiores a la zona más seca del Pacífico Norte (Tempisque). La diferencia es la distribución, ya que durante los meses secos (enero a marzo) se puede acumular más de 100 mm de lluvia, mientras que en el Tempisque, durante ese mismo período se acumulan entre 20 y 50 mm. Por otra parte, la influencia del Caribe durante el período seco, permite que la humedad ambiental no sea tan baja y las temperaturas no tan altas como en el Pacífico Norte. Por lo tanto, la sensación térmica en el Valle Oriental es menor.

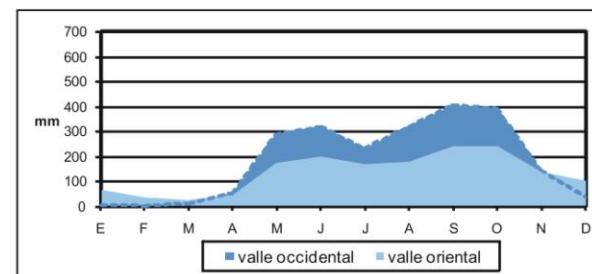
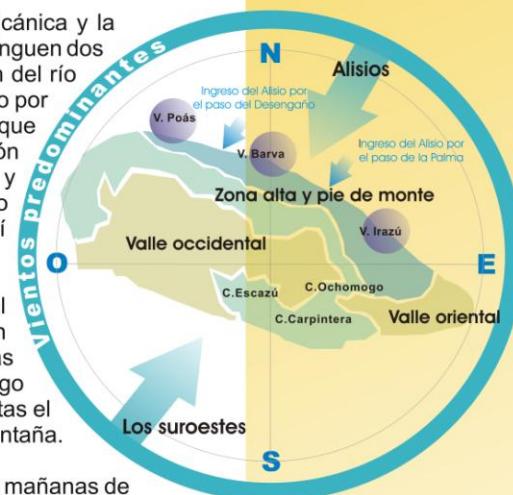


Figura 15. Precipitación mensual promedio en los valles occidental y oriental de la Región Central de Costa Rica. 1961-1990.



Paradójicamente, el Valle Oriental es en promedio la zona más seca del país y a la vez, presenta el mayor núcleo de precipitación en una zona de Orosi, Paraíso de Cartago, donde la estación meteorológica Tseis registra en promedio más de 7000mm por año.



3.5.1. Región Central: dos valles, dos líneas base

A pesar que la ubicación de los dos valles de la región Central es hacia el oeste de la divisoria de aguas (vertiente Pacífica), ambos valles presentan depresiones o pasos que permiten la influencia directa del Caribe en la zona montañosa y pie de monte. En el Valle Occidental, el paso del Desengaño, entre el volcán Poás y Barva, permite el paso del viento Alisio canalizado principalmente por la depresión del río Sarapiquí. El paso de la Palma, entre el volcán Barva y el Irazú, permite la influencia directa del Alisio sobre las zonas montañosas del Valle Occidental, que se canaliza por medio de la depresión del río Chirripó. La posición del Valle Oriental, más cercano al litoral Caribe, junto con la depresión del río Reventazón (entre el volcán Irazú y Turrialba), permiten una mayor influencia de los vientos Alisios y los frentes fríos que afectan a fin y principio de año. Existen diferencias entre el valle oriental y el occidental tal y como se desprende de los cuadros 7,8 y las figuras 16 y 17. El Valle Occidental es más bajo, cálido y lluvioso sobre todo entre setiembre y noviembre, con mayor influencia del Pacífico. El Valle Oriental es más alto, frío y de menor precipitación, con una mayor influencia del Caribe durante los meses de final y principio de año.

Región	Zonas dentro de la unidad fisiográfica Cordillera Volcánica	Estación	Línea Base anual (1961-1990)			
			precipitación (mm)	días con lluvia (días)	máxima (°C)	mínima (°C)
Región Central Occidental	Zona alta de montaña	Rancho R.	2531	152	21.4	11.5
		Sto. Domingo	3199	160	ND	ND
	Zona media, pie de monte y valle	San José	1915	143	24.7	16.2
		La Luisa	3032	159	27.7	16.9
	Zona baja del valle	La Argentina	2019	139	29.7	17.7
		Atenas	1931	140	26.9	17.6
		Aeropuerto	2003	145	28.0	17.7
		Fabio B.	1947	143	28.5	17.7
		PROMEDIO REGIONAL	2322	148	26.7	16.5

Cuadro 7. Variables climatológicas del Valle Occidental de la Región Central de Costa Rica. 1961-1990.

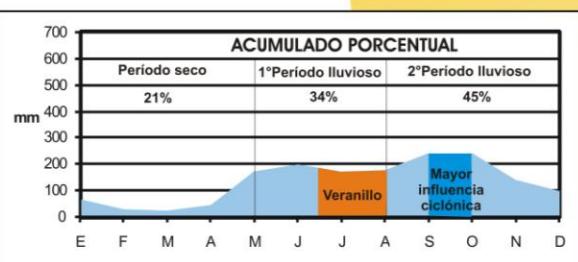


Figura 16. Precipitación promedio del Valle Occidental, Región Central. 1961-1990.

Región	Zonas dentro de la unidad fisiográfica Cordillera Volcánica	Estación	Línea Base anual (1961-1990)			
			precipitación (mm)	días con lluvia (días)	máxima (°C)	mínima (°C)
Región Central Oriental	Zona alta de montaña	Sanatorio	1415	158	19.9	5.2
		Pacayas	2245	193	21.0	12.3
	Zona media, pie de monte y valle	Paraiso	1619	169	ND	ND
		Linda Vista	1420	130	24.8	13.7
		PROMEDIO REGIONAL	1675	163	21.9	10.4

Cuadro 8. Variables climatológicas del Valle Oriental de la Región Central de Costa Rica. 1961-1990.



Figura 17. Precipitación promedio del Valle Oriental, Región Central. 1961-1990.

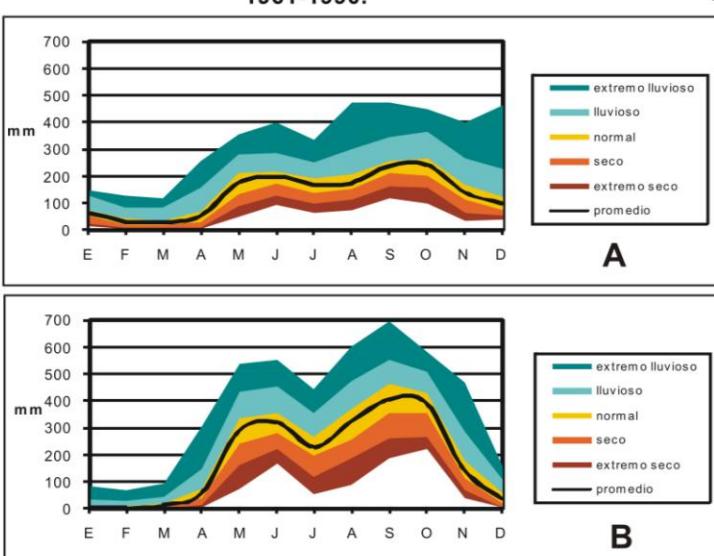


Figura 18. Precipitación promedio en comparación con cinco rangos de variabilidad climática. Valle Occidental (A) Valle Oriental (B). Región Central. 1961-1990.

Como se observa en la figura 18, el comportamiento promedio de precipitación se puede desviar a diferentes escenarios, producto de fenómenos atmosféricos particulares. La mayor diferencia entre los valles (además de sus diferentes magnitudes), se encuentra en los meses de noviembre, pero sobre todo diciembre durante escenarios lluviosos.

Bajo condiciones lluviosas extremas, el mes de diciembre puede convertirse en el más lluvioso del año en el Valle Oriental. Esta característica puede estar asociada al efecto que tienen los frentes fríos sobre el Caribe y su influencia directa en este valle de la región Central. Por otra parte, en el Valle Occidental bajo escenarios secos extremos, el veranillo puede extenderse desde julio hasta setiembre, tal como sucedió durante El Niño de 1997-1998.

1961-1990

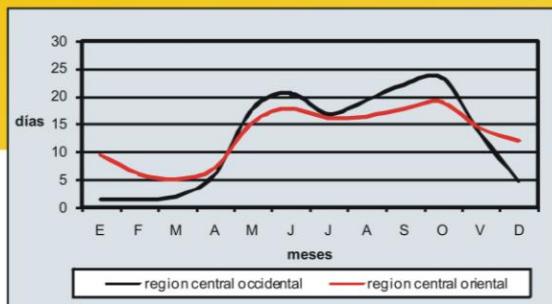


Figura 19. Días con lluvia promedio. Región Central. 1961-1990.

La temperatura es un elemento meteorológico que varía de acuerdo con la altura. El Valle Occidental posee una altura media de 1100 msnm, mientras que el Valle Oriental es más elevado. En promedio presenta una altitud de 1300 msnm. Este es uno de los factores que hacen variar la temperatura entre los valles.

De acuerdo con la figura 19, el comportamiento mensual de los días con lluvia es semejante. Se presenta un período seco entre diciembre y marzo y la lluviosa entre mayo y octubre. Los meses de abril y noviembre son meses de transición. A finales de junio, se presenta un veranillo corto pero muy popular, conocido como veranillo de San Juan. Luego, entre julio y agosto se presenta una disminución de lluvia y días con lluvia de mayor duración, conocido como canícula o veranillo. En el Valle Occidental se presentan 148 días con lluvia, mientras que en el Valle Oriental se presentan 163. Las mayores diferencias en este parámetro se presentan en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, que son los meses de mayor influencia de frentes fríos en el Caribe y que afectan la zona oriental de la Región Central de nuestro país.

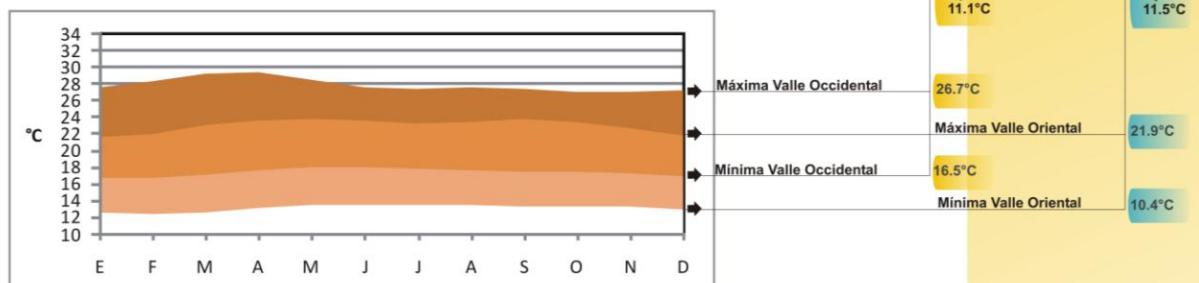


Figura 20. Temperatura máxima y mínima en los valles occidental y oriental de la Región Central de Costa Rica. 1961-1990.

Tal y como se aprecia en la figura 20, el Valle Occidental presenta una mayor temperatura ambiental en comparación con el Valle Oriental. De hecho, la temperatura promedio en el occidente, es aproximadamente la misma que la temperatura máxima del oriente de la región. Mientras en el Valle Occidental las mayores temperaturas se alcanzan en marzo y abril, en el Valle Oriental las mayores temperaturas se alcanzan en abril y mayo. Las temperaturas máximas en el Valle Occidental presentan mayor variación interanual que las temperaturas en el Valle Oriental.



3.5.2. Región Central: variabilidad y extremos climáticos

Los fenómenos de variabilidad climática pueden causar eventos extremos. En términos relativos, los eventos lluviosos en el Valle Oriental, son de mayor magnitud que los del Valle Occidental. Mientras que en el oriente se puede esperar un promedio de aumento de hasta un 32% de la lluvia anual, en el occidente el aumento promedio es de un 27%. Durante este tipo de eventos, se presenta unos 15 días más de lluvia en promedio para los dos valles. En el occidente, este tipo de eventos puede iniciarse desde marzo y finalizar hasta diciembre. En el oriente puede iniciarse a partir de enero. La temperatura mínima desciende más en el Valle Oriental. Los eventos lluviosos están asociados con la presencia de las fases de ENOS. El 75% de los casos lluviosos extremos en el occidente están asociados con La Niña. Mientras tanto, en el Valle Oriental estos eventos lluviosos se asocian en el 72% de los casos con El Niño. Los extremos secos son más severos en el occidente y pueden empezar a afectar a partir de junio. El mayor impacto se espera para el segundo período lluvioso. En el Valle Oriental, estos eventos secos son menos severos que en el Occidental, si bien los cambios de temperatura en el primero son superiores a 1°C. Los extremos secos se asocian en un 79% con la presencia de El Niño en el occidente, mientras que en el Valle Oriental, el 64% de las sequías extremas puede ser explicado por El Niño.

Cuadro 9. Eventos extremos. Región Central de Costa Rica
Valle Occidental (A) Valle Oriental (B)

A Estación	Variación de la linea base con respecto a eventos extremos							
	Eventos extremos secos				Eventos extremos lluviosos			
	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	mínima (°C)	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	mínima (°C)
Aeropuerto JSM	-537 (-27%)	-21	1.0	1.3	428 (+21%)	14	-0.7	-0.7
Atenas	-437 (-23%)	-15	ND	ND	557 (+29%)	21	ND	ND
La Luisa	-712 (-23%)	-11	ND	ND	863 (+28%)	23	ND	ND
La Argentina	-541 (-27%)	-23	1.0	0.9	775 (+38%)	16	-0.6	-0.9
San José	-569 (-30%)	-27	1.4	1.4	379 (+20%)	18	-0.7	-1.3
Fabio Baudrit	-495 (-25%)	-26	1.0	1.7	395 (+20%)	12	-0.5	-1.0
Rancho R	-704 (-28%)	-11	0.8	1.1	907 (+36%)	19	-1.2	-0.7
Sto. Domingo	-841 (-26%)	-12	ND	ND	854 (+27%)	23	ND	ND
PROMEDIO	-604 (-26%)	-18	1.0	1.3	645 (+27%)	18	-0.7	-0.9

B Estación	Variación de la linea base con respecto a eventos extremos							
	Eventos extremos secos				Eventos extremos lluviosos			
	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	mínima (°C)	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	mínima (°C)
Linda Vista	-390 (-27%)	-31	1.2	1.5	520 (+37%)	22	-1.3	-1.5
Pacayas	-524 (-23%)	-21	1.1	1.3	648 (+30%)	11	-1.0	-1.1
Paraíso	-266 (-16%)	-20	ND	ND	596 (+33%)	8	ND	ND
Sanatorio	-361 (-26%)	-30	ND	ND	631 (+44%)	5	ND	ND
PROMEDIO	-385 (-23%)	-26	1.2	1.4	510 (+32%)	12	-1.2	-1.3

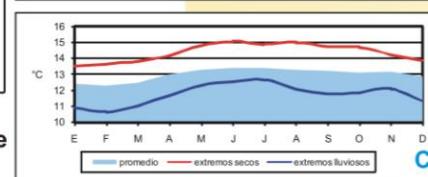
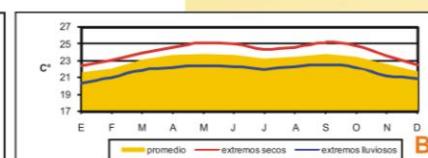
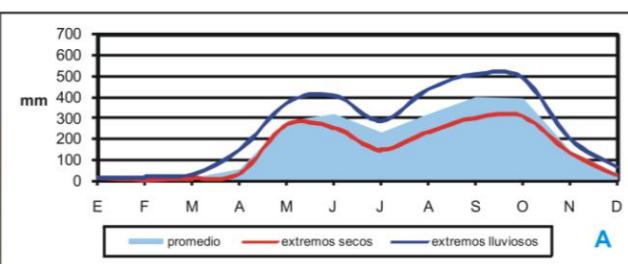


Figura 21. Variaciones mensuales de la precipitación (A) la temperatura máxima (B) y la temperatura mínima (C) durante años de eventos extremos. Valle Occidental, Región Central. 1961-1990

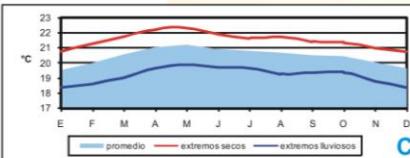
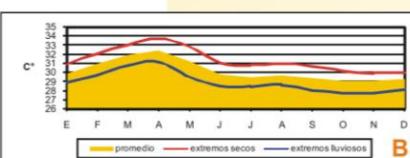
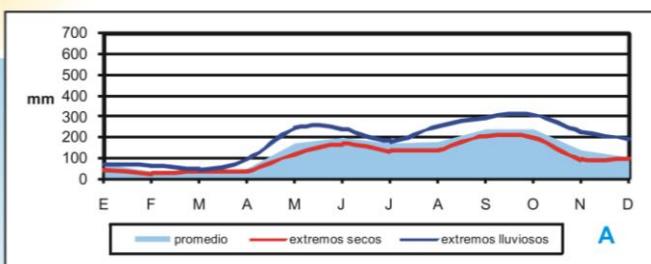
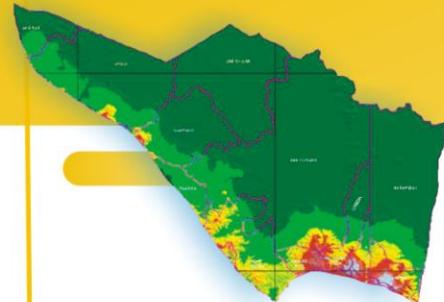


Figura 22. Variaciones mensuales de la precipitación (A) la temperatura máxima (B) y la temperatura mínima (C) durante años de eventos extremos. Valle Oriental, Región Central. 1961-1990

3.6. Zona Norte



Ubicación. Se localiza al norte del país, haciendo frontera con Nicaragua y el río San Juan. Al sur limita con la Cordillera Volcánica Central, al oeste con la Cordillera de Guanacaste y la Cordillera de Tilarán. El Río Chirripó forma el límite convencional este entre la Zona Norte y la Región Caribe.

Ecología. Los suelos forman parte de las llanuras inundables del Caribe, y su relieve es por lo general plano, producto del relleno aluvial con material de base de origen volcánico. El perfil topográfico se caracteriza por colinas de hasta 382 msnm, terrazas con altitudes entre 50 y 100 msnm y llanuras aluviales de terrenos, algunos de ellos pantanosos. El tipo de bosque que se presenta es el Bosque Tropical Húmedo y hacia el noroeste, transición a lo seco.

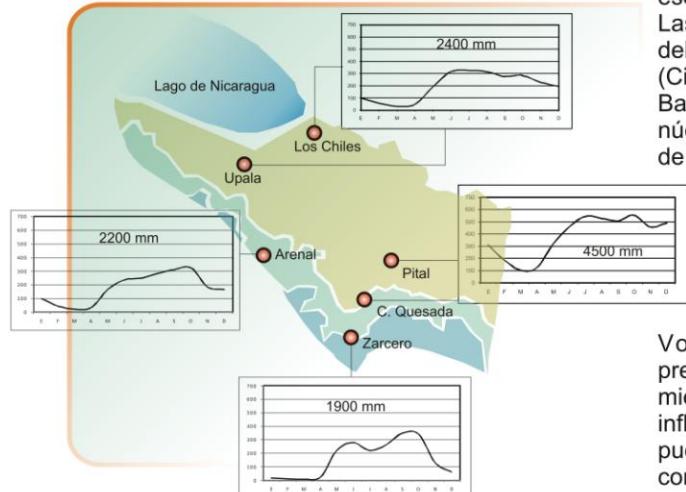
Hidrología. No cuenta con grandes ríos o fuentes de agua, lo que da como resultado que en períodos de verano mayores de tres meses, se agraven significativamente los problemas asociados al déficit hídrico en las explotaciones agropecuarias. Algunos de los principales ríos que corren hacia el Oeste son: río Peñas Blancas y San Carlos. Al este, el río Sarapiquí. Al Sur, los ríos La Vieja, Aguas Zarcas, Caño Negro, Toro Amarillo. Al norte, los ríos Frio, Medio Queso, y el río San Juan. Además, cuenta la región con la laguna del Arenal, Río Cuarto y Caño Negro (Villalobos et al 2002).

el Oeste son: río Peñas Blancas y San Carlos. Al este, el río Sarapiquí. Al Sur, los ríos La Vieja, Aguas Zarcas, Caño Negro, Toro Amarillo. Al norte, los ríos Frio, Medio Queso, y el río San Juan. Además, cuenta la región con la laguna del Arenal, Río Cuarto y Caño Negro (Villalobos et al 2002).

Clima. Según Bergoeing (1998), la Zona Norte pertenece a la unidad estructural denominada la Fosa de Nicaragua, que abarca toda la Zona Norte desde el Lago de Nicaragua, hasta el Caribe Sur del país. Además, presenta parte de la unidad estructural formada por las cordilleras volcánicas y la Sierra de Tilarán. Esta región pertenece al régimen de precipitación del Caribe, que es lluvioso todo el año, con una disminución relativa de las lluvias en los meses de febrero, marzo y abril. Es una región de contrastes en la lluvia, ya que en ella interactúan tanto elementos climáticos como factores geográficos debido a su relieve montañoso y la presencia de, llanuras extensas, aparte de la influencia del lago de Nicaragua al noroeste. Los lagos moderan las temperaturas, modifican el flujo de los vientos y son factores importantes en el ciclo hidrológico.

Los vientos predominantes durante el año son de componente este con una velocidad promedio de 10.7 km/h, que tienen mayor intensidad en los meses de diciembre a febrero. Los vientos de componente suroeste pueden afectar las zonas altas de la cordillera Volcánica Central.

El relieve influye sobre la distribución espacial de las lluvias tal y como se esquematiza en la figura 23.



Las mayores precipitaciones se presentan en la zona del pie de monte de la Cordillera Volcánica Central (Ciudad Quesada) y hacia el este de la zona, cerca de Barra del Colorado donde existe uno de los máximos núcleos de precipitación del país. Hacia las llanuras de San Carlos y los Guatuzos, la precipitación tiende a disminuir. Los valores mínimos de estas zonas planas se presentan en la zona fronteriza, en las cercanías del Lago de Nicaragua hacia el oeste, donde hay mayor influencia del régimen del Pacífico sobre todo durante años de eventos secos. En el pie de monte de la cordillera Volcánica de Guanacaste se presentan precipitaciones anuales superiores a los 2000 mm, mientras que en las partes altas de la cordillera, la influencia del Pacífico hace disminuir las lluvias pudiéndose observar incluso períodos de veranillo, como en el caso de Zarcero.

Figura 23. Distribución espacial de la precipitación en la Zona Norte de Costa Rica. 1961-1990.





3.6.1. Zona Norte: Línea base

Región	Zonas dentro de la unidad fisiográfica Cordillera Volcánica	Estación	Línea Base anual (1961-1990)			
			precipitación (mm)	días con lluvia (días)	máxima (°C)	mínima (°C)
Región Central Oriental	Cordillera Volcánica	Zarcero	1690	125	ND	ND
	Fosa de Nicaragua, llanura del norte y este	Upala	2439	212	31.0	21.8
		Sarapiquí	4443	236	ND	ND
	Pie de monte	C. Quesada	4468	225	27.0	18.9
		Q. Azul	3194	196	30.7	21.6
PROMEDIO REGIONAL			3247	199	29.6	20.8

Cuadro 10. Variables climatológicas de la Zona Norte de Costa Rica. 1961-1990.

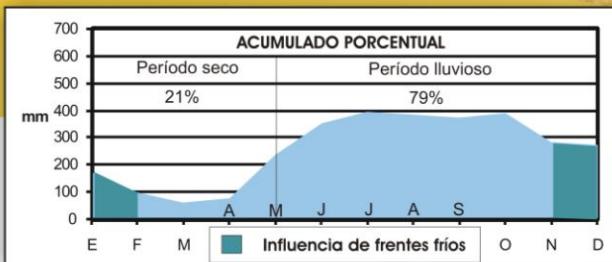


Figura 24. Precipitación promedio en la Zona Norte de Costa Rica. 1961-1990.

La Zona Norte es la tercera región más lluviosa del país con más de 3200 mm anuales en promedio (cuadro 10). Es superada solo por el Pacífico Sur y el Caribe Norte. Tal y como se observa en la figura 24, la Zona Norte presenta un solo período lluvioso que se inicia en mayo y finaliza en diciembre o enero. Durante los meses de fin y principio de año, el aporte de los frentes fríos es muy importante para sostener las actividades agropecuarias de la zona. De hecho, durante años lluviosos, los frentes fríos son los eventos que más aportan al total de lluvia anual. Se estima que cada frente frío puede contribuir con un 6% del total anual (195 mm de lluvia).

Bajo la influencia de algunos fenómenos de variabilidad (como El ENOS), es posible que los frentes fríos que afectan el sur de centroamérica no sean tan frecuentes o bien no aporten cantidades importantes de lluvia. Cuando esta condición predomina, es posible que se presenten sequías estacionales, principalmente entre diciembre y enero. Tal y como se presenta en la figura 25, desde noviembre y hasta febrero, se registran las mayores amplitudes de precipitación (diferencia entre escenarios secos y lluviosos).

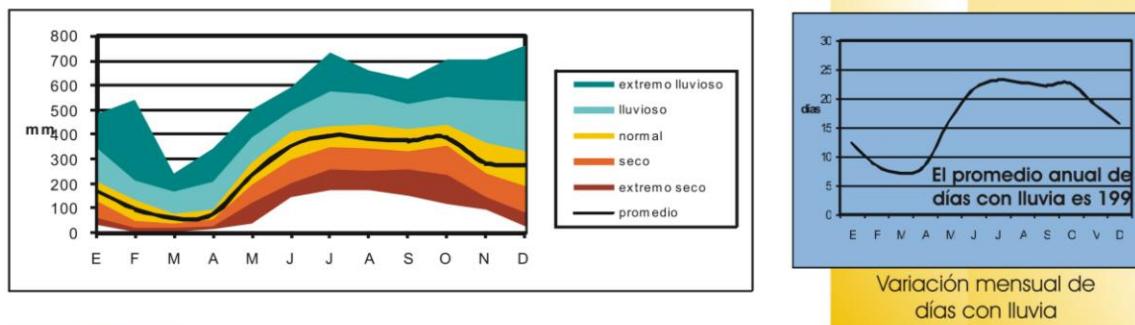


Figura 25. Precipitación promedio en comparación con cinco rangos de variabilidad climática. Zona Norte de Costa Rica. 1961-1990.

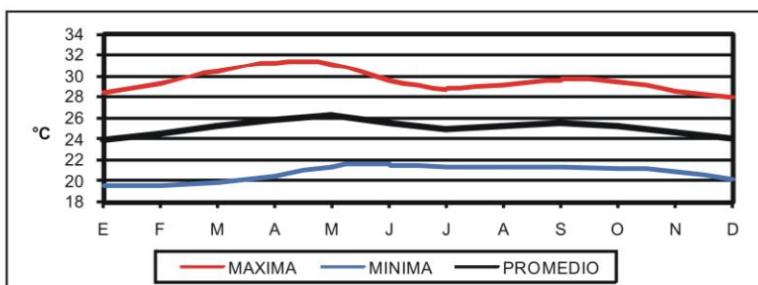


Figura 26 Temperaturas máxima, media y mínima mensuales. Zona Norte de Costa Rica. 1961-1990.

1961-1990

3.6.2. Zona Norte: variabilidad y extremos climáticos

La Zona Norte de Costa Rica está influenciada por varios fenómenos atmosféricos que hacen variar el comportamiento de la lluvia. Las fases de ENOS y la influencia estacional de los frentes fríos, han sido la causa principal de extremos meteorológicos durante los meses de fin y principio de año. Mientras que los frentes son eventos estacionales que contribuyen con la lluvia anual, las fases de ENOS no tienen un período fijo de aparición. Sin embargo, las señales que se asocian con las fases de ENOS, no presentan un patrón robusto. Esto quiere decir que los fenómenos de El Niño o La Niña, pueden causar eventos secos o lluviosos indistintamente. De acuerdo con Retana y Villalobos (2000) los eventos El Niño tienen la misma probabilidad de producir escenarios sobre o bajo el promedio. Por lo tanto, ante esta gran variabilidad climática de un evento al otro o de la respuesta de un mismo evento en distintos años, parece ser que el ENOS no es la única ni la más importante fuente de las anomalías climáticas que ocurren en esta región, lo cual también dificulta las predicciones climáticas.

Cuadro 11. Eventos extremos. Zona Norte de Costa Rica

Estación	Variación de la línea base con respecto a eventos extremos							
	Eventos extremos secos				Eventos extremos lluviosos			
	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	mínima (°C)	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	mínima (°C)
C. Quesada	-883 (-20%)	-20	1.3	0.8	800 (+18%)	30	-1.9	-1.2
Quebrada Azul	-552 (-17%)	-18	1.0	0.7	116 (+4%)	31	-0.7	-1.9
SM. Sarapiquí	-1442 (-32%)	-39	ND	ND	1371 (+31%)	17	ND	ND
Upala	-725 (-30%)	-16	1.3	0.3	478 (+20%)	21	-0.7	-0.6
Zarcero	-448 (-26%)	-13	ND	ND	694 (+41%)	7	ND	ND
PROMEDIO	-810 (-25%)	-21	1.2	0.6	692 (+23%)	21	-1.1	-1.2

A pesar que las fases de ENOS no presentan una buena señal en la zona, los eventos extremos, particularmente los secos, podrían estar relacionados con la presencia de eventos El Niño o la Niña de fuerte magnitud. Se han registrado sequías estacionales en la zona fronteriza, durante los Niños de 1965, 1982 y 1997. En 1995, se presentó una Niña que causó una disminución de lluvias en los primeros meses del año. Más recientemente, en el 2008 se presentó una sequía asociada con una de Las Niñas de mayor magnitud. Por otra parte, tal y como se aprecia en la figura 27A, los eventos lluviosos se relacionan principalmente con excesos de precipitación en los meses de diciembre, enero y febrero, lo cual está directamente asociado con una mayor influencia de frentes fríos.

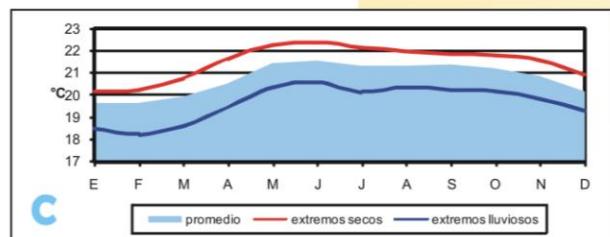
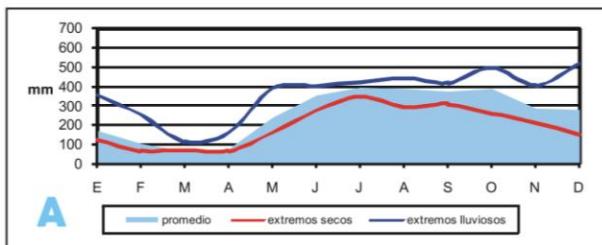
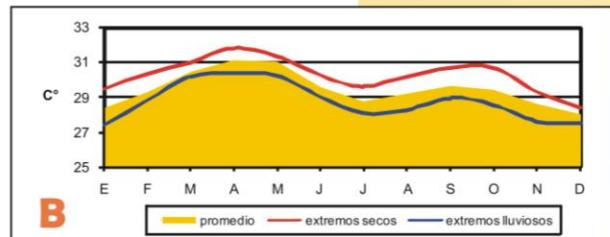


Figura 27. Variaciones mensuales de la precipitación (A) la temperatura máxima (B) y la temperatura mínima (C) durante años de eventos extremos. Pacífico Central de Costa Rica 1961-1990

Algunos eventos extremos secos pueden estar relacionados con fuertes episodios ENOS, como por ejemplo las sequías producidas durante El Niño de 1982-1983 y 1997-1998. Este efecto es previsible principalmente en la zona fronteriza con Nicaragua y cercana al Lago de Nicaragua. Aparentemente el efecto de sequía producido por Niños fuertes sobre la vertiente Pacífica de Centroamérica, puede eventualmente extenderse a las llanuras del norte por el paso existente entre el Lago y volcán Orosí, afectando Upala, Los Chiles y Guatuzo. Por otra parte, el fenómeno de La Niña puede explicar el 53% de los eventos lluviosos extremos, pero a la vez tiene una posibilidad cercana al 50% de producir escenarios secos extremos.



3.7. Región Caribe



Ubicación. Se sitúa en el este y noreste del país, extendiéndose por toda la costa caribeña, desde Barra del Colorado hasta el río Sixaola. Hacia el sur está limitada por la Cordillera de Talamanca, y al oeste la limita el río Chirripó. Comprende toda la provincia de Limón y la parte oriental de la provincia de Cartago (de Turrialba hacia el este).

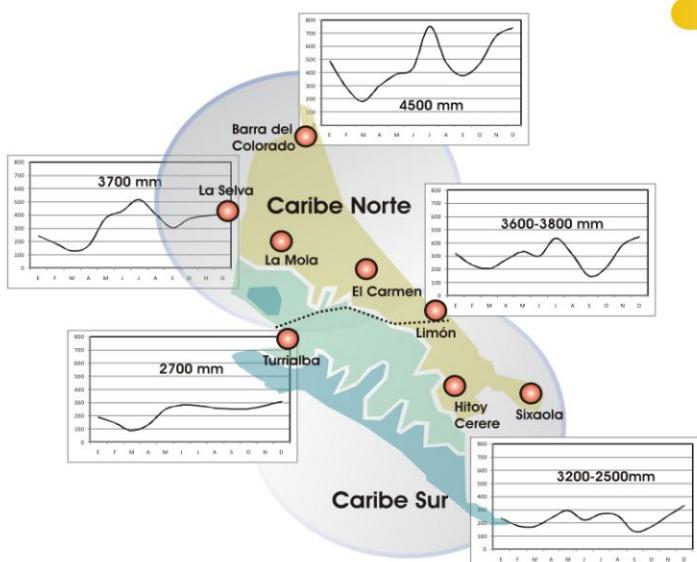


Ecología. Es una región muy húmeda que alberga sistemas ecológicos importantes no solo para las actividades productivas sino para la conservación de recursos naturales. El bosque tropical húmedo característico de la región, es rico en una exuberante vegetación por lo que tiene un alto potencial turístico. Por otra parte, las llanuras son utilizadas en el cultivo del banano, tubérculos y granos (Morales, 2000). La región se caracteriza por presentar un porcentaje relativamente alto de suelos jóvenes como Inceptisoles, y Andisoles. (CNP 2000).

Hidrología. El sistema fluvial corresponde a las subvertientes Caribe y Norte de la Vertiente del Caribe. A la primera pertenecen las cuencas de los ríos Sixaola, Reventazón, Parismina, Matina, Estrella, Tortuguero, Pacuare, Moín, Banano, Bananito, Madre de Dios y Sini. A la subvertiente Norte corresponde la Cuenca del Río Chirripó, drenada por el río de igual nombre, que nace en la confluencia de los ríos Sucio y Patria.

Clima. La Región del Caribe pertenece a la unidad fisiográfica Fosa de Nicaragua (Bergoeing 1998), que es dominada por una amplia zona de llanuras que se extienden desde el Lago de Nicaragua, hacia el sur de la costa caribeña. El límite suroeste lo componen las zonas altas de montaña de la Cordillera de Talamanca y las estribaciones de la Cordillera Volcánica Central. Las llanuras costeras del norte (Llanura de Tortuguero, Santa Clara y Matina) son más lluviosas que las del sur (Estrella y Sixaola).

De acuerdo con Zárate (1978), analizando las estaciones de Limón y Cobal, concluye que el viento predominante es del este o Alisio durante casi todo el año. Durante la noche predomina la brisa tierra-mar cuya dirección tiene componente del oeste y bajas velocidades. Esta brisa es más notoria cerca de la costa y su confluencia con los Alisios en el océano, producen el desarrollo de nubosidad y lluvias. Durante el día predominan los nortes y noreste con altas velocidades. Cuando disminuye la intensidad de los Alisios en setiembre y octubre, las lluvias del Caribe presentan los mínimos relativos de su régimen. En el Caribe Sur es usual en horas diurnas vientos del oeste, los cuales son producto de un rotor que es más acentuado en la costa y durante condiciones de fuerte estabilidad del aire.



Dos subregiones: La precipitación mensual y anual registrada en la vertiente, sugiere establecer una diferenciación entre la parte norte y sur de la región. Dado que el gradiente de lluvia anual corre de norte a sur, se divide la región en El Caribe Norte y el Caribe Sur. La parte norte de la región abarca desde Barra del Colorado, pasando por las llanuras de Tortuguero hasta las estribaciones del Turrialba, cortando las filas Mirador y Asunción al sur de Siquirres y terminando al sur de Limón Centro. El Caribe Sur comprende la ciudad de Turrialba, parte de la Cordillera de Talamanca, el Valle de la Estrella y termina en Sixaola, hacia la costa.

Como se puede observar en la figura 28, la precipitación en el norte va desde 3500 a más de 4500 mm por año, mientras que en el sur, la precipitación es menor, entre 3000 y 2500 mm.

La temperatura, tanto la máxima como la mínima, tiende a ser un grado más alta en la subregión norte. Otra distinción la establece el viento, ya que el norte por poseer extensas zonas de llanura, predominan los vientos Alisios, mientras que al sur, por ser más montañoso, de fuerte pendiente y cercano a la costa, se pueden registrar vientos de componente oeste.

Figura 28 Distribución espacial de la precipitación. Región Caribe. 1961-1990.

1961-1990

3.7.1. Región Caribe: Línea base



Cuadro 12. Variables climatológicas de las subregiones Caribe Norte y Caribe Sur de Costa Rica.

Región	Zonas dentro de la unidad fisiográfica Fosa de Nicaragua	Estación	Línea Base anual (1961-1990)			
			precipitación (mm)	días con lluvia (días)	máxima (°C)	mínima (°C)
Región Caribe Norte	Zona Costera	Limón	3324	185	30.0	21.7
	Zona de llanura hacia la costa	Hda. Carmen	3806	201	30.6	21.2
	Zonas de llanura hacia el Norte	La Lola	3488	164	29.9	20.2
		La Mola	3925	214	31.5	21.5
		La Selva	3969	212	30.2	21.6
PROMEDIO SUBREGIONAL			3702	195	30.4	21.2
Región Caribe Sur	Valle La Estrella	Hito Cerere	2991	175	30.8	20.9
	Llanura costera	Pto. Vargas	3163	181	ND	ND
	Depresión tectónica	Sixaola	2740	182	30.4	22.0
		CATIE	2616	200	26.9	18.0
PROMEDIO SUBREGIONAL			2878	184	29.3	20.3

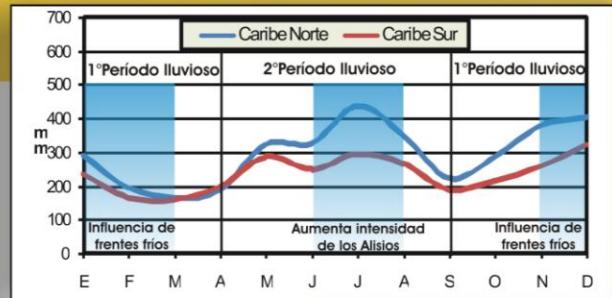


Figura 29. Precipitación promedio en el Caribe Norte y Caribe Sur de Costa Rica

La precipitación promedio de la región es cercana a los 3300 mm anuales con máximos en el noreste (4500mm) y mínimos relativos al sur y al pie de montaña en la depresión del Turrialba (2700 mm). El cuadro 12 y la figura 29 ponen de manifiesto que efectivamente hay una variación climática entre el Caribe Norte y el Sur, ya que el primero es más lluvioso que el segundo la mayor parte del año. Tanto para el Caribe Norte como para el Caribe Sur, se presentan dos períodos lluviosos interrumpidos por mínimos relativos. El primero se da entre setiembre y octubre. A partir de noviembre se inicia un período más lluvioso que finaliza en febrero. Durante este período el mayor aporte a la precipitación lo dan los frentes fríos que bajan del Polo Norte y que se asocian con el primer máximo de lluvias entre diciembre y enero. En este período precipita el 40% del total anual de lluvias tanto en el Caribe Norte como en el Caribe Sur. Entre febrero y marzo se presenta el segundo mínimo relativo. Un nuevo período lluvioso se inicia en abril y finaliza en agosto-setiembre. Principalmente entre julio y agosto, el viento Alisio se intensifica y aumenta el ingreso de ondas tropicales y vaguadas de altura a la costa, provocando que en julio se presente el segundo máximo de lluvias. El aporte porcentual de este período es del 46% en ambas subregiones. Como se aprecia en la figura 30, los meses de mayor amplitud de lluvias son los de final y principio de año. Esta amplitud obedece al aporte extraordinario de eventos lluviosos extremos asociados con frentes fríos sobre todo en diciembre. Otros eventos lluviosos pueden variar las condiciones de abril y julio principalmente.

Como se presenta en la figura 31, las temperaturas en el Caribe Norte son ligeramente mayores que las del Caribe Sur. Las temperaturas elevadas de setiembre coinciden con un mínimo relativo de precipitación, mientras que las altas temperaturas de mayo y junio no se asocian con períodos menos lluviosos, pero sí con una disminución del viento Alisio de acuerdo con lo observado por Zárate (1978).

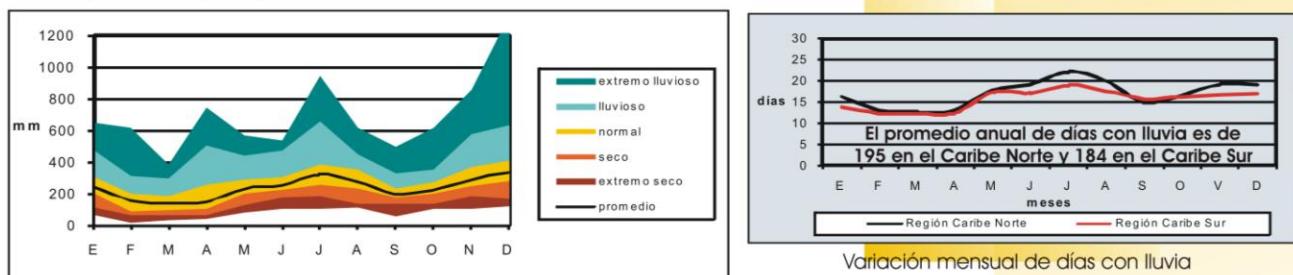


Figura 30. Precipitación promedio en comparación con cinco rangos de variabilidad climática. Región Caribe de Costa Rica. 1961-1990.

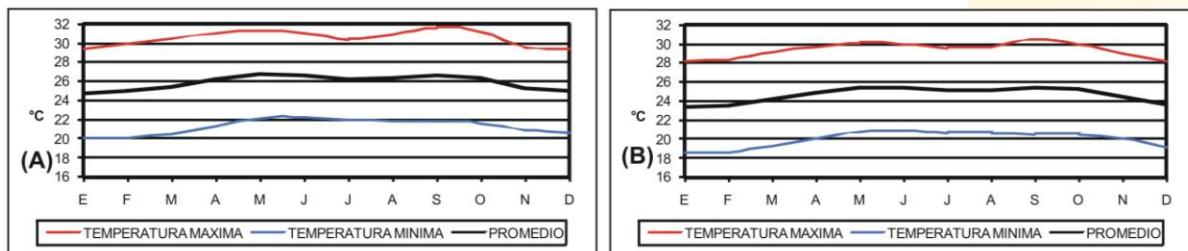


Figura 31. Temperaturas promedio del Caribe Norte (A) y el Caribe Sur (B) de Costa Rica.



3.7.2. Región Caribe: variabilidad y extremos climáticos

En el cuadro 13 se presentan los valores promedio de cambio en precipitación y temperatura durante eventos extremos del clima en el Caribe Norte y el Caribe Sur. Esto significa que durante estos eventos lluviosos o secos se han producido impactos en diferentes sectores de la región. Cuando ocurre un evento seco extremo, se puede esperar reducciones de hasta un 24% en la precipitación anual en ambas regiones y entre 17 y 20 días menos de lluvia. En promedio la temperatura máxima y la mínima pueden aumentar un grado o más en el norte y entre 1.2 y 0.6 (temperatura máxima y mínima respectivamente) en el sur. Con eventos lluviosos, la lluvia anual puede aumentar entre 32 y 35%, con unos 23 días más con lluvia en ambas subregiones. Las temperaturas máximas y mínimas en el norte pueden bajar 1.0°C, y menos de un grado en el sur.

Cuadro 13. Eventos extremos en el Caribe Norte y Caribe Sur de Costa Rica

Región	Estación	Variación de la línea base con respecto a eventos extremos							
		Eventos extremos secos				Eventos extremos lluviosos			
		lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	mínima (°C)	lluvia anual (mm y %)	días con lluvia	máxima (°C)	mínima (°C)
Región Caribe Norte	Limón	-854 (-26%)	-33	0.8	0.9	1637 (+49%)	22	-1.0	-0.7
	Hda. Carmen	-805 (-21%)	-22	1.0	1.2	1180 (+31%)	22	-0.5	-0.7
	La Mola	-918 (-23%)	-20	1.0	0.9	1344 (+34%)	18	-1.1	-1.2
	La Lola	-1032 (-26%)	-22	0.7	0.8	743 (+19%)	18	-1.1	-1.2
	La Selva	-874 (-25%)	-3	1.3	1.4	1510 (+43%)	33	-1.1	-1.0
	PROMEDIO	-897 (-24%)	-20	1.0	1.0	1283 (+35%)	23	-1.0	-1.0
Región Caribe Sur	Hitoy Cerere	-964 (-32%)	-24	0.8	0.8	1087 (+36%)	25	-1.0	-1.0
	Pto. Vargas	-565 (-18%)	-18	ND	ND	845 (+27%)	20	ND	ND
	Sixaola	-613 (-22%)	-22	0.6	0.5	632 (+23%)	23	-0.5	-0.4
	CATIE	-628 (-24%)	-2	2.1	0.6	1072 (+41%)	25	-0.5	-0.5
	PROMEDIO	-693 (-24%)	-17	1.2	0.6	909 (+32%)	23	-0.7	-0.6

Las fases de ENOS suelen estar asociadas a eventos extremos tanto climatológicos como meteorológicos. Durante la fase fría o La Niña, se favorecen escenarios climatológicos secos (a nivel anual), mientras que durante El Niño, existe mayor probabilidad de que se presenten escenarios climatológicos normales o lluviosos en toda la región. En la figura 32 se presenta la variación promedio de la precipitación y la temperatura durante eventos extremos secos y lluviosos para toda la Región Caribe. Los eventos secos hacen disminuir la precipitación sobre todo en los meses de final y principio de año, probablemente porque disminuye el número o la magnitud de los frentes fríos. Durante este tipo de eventos la temperatura máxima y mínima puede superar los valores normales en cerca de un grado centígrado.

Los eventos lluviosos pueden provocar aumentos de la precipitación sobre todo entre noviembre y febrero, donde la influencia de los frentes fríos es determinante. Durante mayo se puede presentar un nuevo máximo de lluvia. Los eventos secos no hacen variar significativamente el comportamiento normal, salvo entre diciembre y enero. Las temperaturas pueden disminuir levemente, tanto en el día como durante la noche.

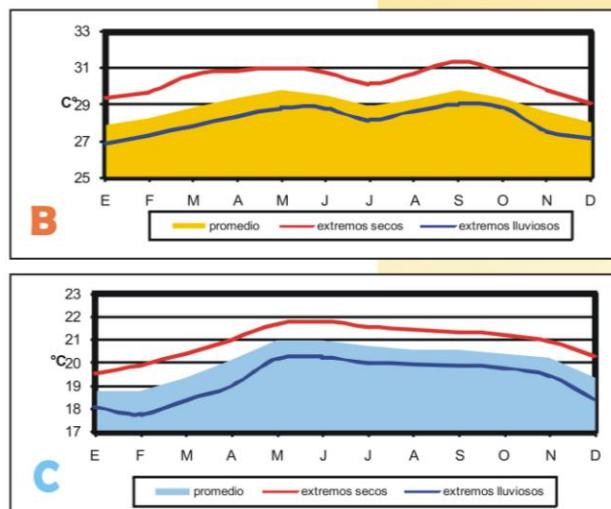


Figura 32. Variaciones mensuales de la precipitación (A) la temperatura máxima (B) y la temperatura mínima (C) durante años de eventos extremos. Región Caribe de Costa Rica 1961-1990

Los eventos secos extremos en el Caribe se pueden explicar en un 69% de los casos, por la presencia de eventos La Niña, mientras que el 93% de los eventos lluviosos, han coincidido con eventos de El Niño.

4. EVENTOS EXTREMOS en COSTA RICA

El concepto de extremos desde el punto de vista social, económico, climático tiene muchas y variadas definiciones. Existe un glosario en la documentación del IPCC sobre eventos extremos, sin embargo es necesario homogenizar dicha información. En algunos estudios se consideran los eventos extremos como aquellos valores umbrales, que desde el punto de vista climatológico producen un daño, determinan un área en riesgo, establecen posibles impactos (manifestándose en costos sociales y económicos). Según el IPCC (2007), “los eventos meteorológicos extremos son fenómenos raros en determinado lugar y época del año. Las definiciones sobre lo que se considera raro pueden variar, pero un fenómeno meteorológico extremo puede ser normalmente tan raro o más raro que el percentil 10 o 90 de la función de densidad de probabilidad observada. Por definición, las características de una meteorología extrema varían según los lugares. Si el efecto del evento meteorológico extremo persiste en el tiempo, puede clasificarse como evento climático extremo” (una sequía estacional por ejemplo).

A pesar que la definición del IPCC define lo extremo como fenómenos “poco frecuentes”, actualmente los eventos meteorológicos o climáticos extremos están referidos no tanto a su probabilidad de ocurrencia, como a la magnitud del impacto (DPA 2007, citando reportes de la OMM). Por ejemplo, los huracanes son eventos estacionales frecuentes en la cuenca del Caribe. Todos los años existe una alta probabilidad de que afecten áreas comprendidas dentro de sus rutas de paso. Por lo tanto no son fenómenos “raros” o poco comunes. Sin embargo, dada la magnitud del fenómeno y la vulnerabilidad de los sistemas, causan un impacto tal en la economía de los países, que algunos de estos eventos frecuentes pueden ser documentados como eventos meteorológicos extremos.

Para Costa Rica, se conceptualizó el “evento extremo” como una situación de emergencia donde un fenómeno hidrometeorológico (frecuentes o no) causa alteraciones significativas en el estado del tiempo o clima de alguna zona y cuyas consecuencias son impactos negativos importantes en actividades sociales o productivas. En el cuadro 14 se presentan algunos fenómenos meteorológicos que pueden causar eventos extremos en precipitación y temperatura si su magnitud es lo suficientemente fuerte y si los sistemas impactados, son vulnerables a estos cambios.

Cuadro 14. Algunos fenómenos meteorológicos causantes de eventos extremos en Costa Rica.

FENOMENOS METEOROLOGICOS GENERADORES DE EVENTOS EXTREMOS			EFECTOS EN EL CLIMA	IMPACTOS
FENOMENOS DE VARIABILIDAD CLIMATICA	FENOMENOS ESTACIONALES	FENOMENOS POCO FRECUENTES		
↓ Escala evolutiva (años y décadas)	↓ Escala evolutiva (días)	↓ Escala evolutiva (horas)		
El Niño Oscilación Sur ENOS	Huracanes	Granizadas		
Oscilación Atlántico Norte NAO	Tormentas tropicales	Tornados		
Oscilación Decadal del Pacífico PDO	Ondas tropicales	Olas de calor		
Oscilación mayo-junio Madden-Julian	Depresiones tropicales	Grandes bancos de neblina en lugares normalmente despejados		
Oscilación Artica AO	Sistemas de bajas presiones	Escarcha y congelamiento de espejos de agua		
	Vaguadas			
	Frentes fríos			



Los eventos extremos tienen que ver con el concepto clásico de riesgo, porque hablan de una amenaza real (clima, variabilidad o cambio climático) y un sistema impactado (vulnerabilidad). Los fenómenos meteorológicos causantes de eventos extremos tienen magnitudes y escalas diferentes dependiendo de la zona. Por ejemplo, los tornados y granizadas tienen algunos minutos de duración. Las tormentas locales de gran magnitud pueden durar más de media hora. Las bajas presiones y los frentes fríos son sistemas cuya duración es del orden de los días. Los sistemas ciclónicos (depresiones, tormentas y huracanes) tienen períodos evolutivos de más de una semana. Fenómenos de mayor escala como las fases de ENOS, no son eventos extremos en sí. Son oscilaciones aperiódicas del clima cuyo ciclo evolutivo puede durar años. Sus dos fases son los fenómenos de variabilidad mejor conocidos y estudiados (Stoltz 1998) y sus efectos son diferenciales en el territorio nacional. Se asocian con años secos y años lluviosos, y estas condiciones a su vez, están relacionadas con fenómenos hidrometeorológicos de menor escala espacial, que pueden llegar a ser extremos.

Los eventos extremos en precipitación y temperatura, se encuentren por debajo del percentil 10 (extremos secos) o arriba del percentil 90 (extremos lluviosos), ya sea a escala anual o mensual. Sus magnitudes difieren de región en región, tal y como el IPCC lo indica. Por ejemplo, 100 mm de lluvia durante enero en Liberia, podrían ocasionar inundaciones considerando que el promedio histórico durante enero son aproximadamente 2 mm. Por otra parte, esos mismos 100 mm en Limón durante enero, puede ser el inicio de una sequía estacional, si se considera que en promedio llueve el triple de esa cantidad durante el mes. En los cuadros 15 y 16 se presentan los cambios en el promedio de lluvia y temperatura durante un año extremo seco y lluvioso sin importar el fenómeno que lo haya causado.

Cuadro 15. Características de los eventos secos extremos en Costa Rica. Estimación anual

REGION	Eventos extremos secos				
	Promedio lluvia (mm)	reducción % y (mm)	reducción días con lluvia	aumento en máxima (°C)	aumento en mínima (°C)
Pacífico Norte	1481	26 (528)	26	1.2	1.0
Pacífico Central	2715	22 (772)	21	0.2	0.7
Pacífico Sur	2949	20 (744)	32	1.5	1.2
Valle occidental	1718	26 (604)	18	1.0	1.3
Valle oriental	1290	23 (385)	26	1.2	1.4
Zona Norte	2437	25 (810)	21	1.2	0.6
Caribe	2412	27 (731)	13	1.4	1.0

Cuadro 16. Características de los eventos lluviosos extremos en Costa Rica. Estimación anual

REGION	Eventos extremos lluviosos				
	Promedio lluvia (mm)	aumento % y (mm)	aumento días con lluvia	reducción en máxima (°C)	reducción en mínima (°C)
Pacífico Norte	2546	27 (538)	22	1.2	1.6
Pacífico Central	4537	31 (1050)	26	0.7	0.5
Pacífico Sur	4470	23 (777)	9	0.3	0.6
Valle occidental	2967	27 (645)	18	0.7	0.9
Valle oriental	2185	32 (510)	12	1.2	1.3
Zona Norte	3939	23 (692)	21	1.1	1.2
Región Caribe	4248	40 (1105)	27	0.9	0.7

En promedio para Costa Rica, un evento climático extremo, representa un aumento de un 29% o una disminución de un 24% del total anual de la lluvia. La distribución de esta lluvia también se ve alterada. Se puede reducir o aumentar hasta en 3 semanas la cantidad de días con lluvia. Durante eventos secos extremos se puede experimentar un aumento de 1.1 y 1.0°C en la máxima temperatura y la mínima temperatura respectivamente. Mientras tanto, durante eventos lluviosos, la máxima puede disminuir en 0.8°C, y la mínima 0.9°C. Estos umbrales coinciden en la mayoría de los casos, con impactos negativos en algún sector social o productivo del país. Estos valores anuales se componen de una serie de

alteraciones mensuales que, dependiendo del fenómeno que las causa, pueden presentarse en diferentes momentos del año.

A nivel de escala, se ha observado que los valores anuales de precipitación, capturan la señal de eventos extremos de menor escala temporal atribuibles a la variabilidad del clima (Retana y Villalobos 2004a y 2004b). Por ejemplo, años lluviosos extremos indican la presencia de eventos ciclónicos que han impactado al país en el curso de semanas o días. Igualmente, un año seco en extremo, puede reflejar un período seco extendido a escala estacional o incluso a nivel de meses. En el cuadro 17 se presentan algunos ejemplos de señales de eventos de escala mensual o diaria, reflejados en la precipitación anual.

Cuadro 17. Eventos extremos en Costa Rica y su relación con valores anuales de precipitación.

Año	Estación	Lluvia anual (mm)	Diferencia respecto al promedio histórico (%)	Eventos mensuales asociados	Algunos impactos registrados
1954	Coto 47	5118	+25	Evento La Niña desde abril. Efecto indirecto de huracanes Dolly y Hazel entre agosto y octubre	Inundaciones en Ciudad Cortés . 500 familias damnificadas
1959	Pacayas	1799	-20	Déficit de lluvias desde agosto hasta noviembre.	¢16 millones de pérdidas por sequía en Cartago
1969	San Vito	3005	-19	Evento El Niño durante todo el año	Pérdida de ¢5 millones en arroz
1970	Limón	5681	+71	Frentes fríos en diciembre.	Inundaciones en el Caribe
1992	Nicoya	1329	-37	Evento El Niño desde enero y hasta julio. A finales de año reaparece el calentamiento de aguas	Retraso de la época lluviosa. Sequía en Guanacaste y Pacífico Central.
1995	Barranca	2485	+27	Evento La Niña desde agosto. Paso de huracanes Orin, Opal y Roxanne	Fuertes precipitaciones en el pacífico de Costa Rica. Inundaciones.
1997	San José	2362	-33	Evento de El Niño desde abril de 1997 hasta junio de 1998	Sequía en la mayor parte del país. Desabastecimiento de agua potable
1998	Monteverde	3345	+35	Huracán Mitch en octubre. Un evento El Niño que inició en 1997 finaliza en junio y luego inicia un evento La Niña	Pérdidas en agricultura por ¢10000 millones (obedecen en gran parte a los daños causados por el huracán Mitch)
2007	Liberia	1351	-58	Evento El Niño desde junio del 2006 y hasta abril del 2007. Déficit de lluvia desde setiembre	Sequía severa en el todo el Pacífico y Región Central



4.1. Eventos extremos lluviosos

De acuerdo con datos del IMN del período 1980-2006, los eventos meteorológicos más frecuentes y que producen eventos extremos son: depresiones tropicales, tormentas tropicales, huracanes, ondas tropicales, sistemas de baja presión, vaguadas y frentes fríos. En la figura 33 se presenta la frecuencia mensual de esos siete fenómenos según el período de registro 1980-2006. La frecuencia que se presenta es de eventos que han causado extremos lluviosos. La frecuencia real de estos eventos puede ser diferente. Por ejemplo, durante la temporada lluviosa se registran en promedio una onda tropical cada 3 o 5 días, sin embargo no todas provocan lluvias o eventos extremos lluviosos.

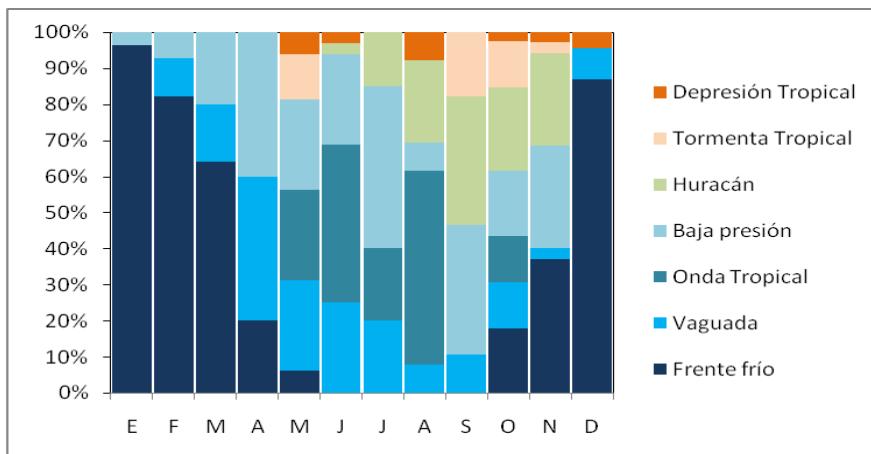
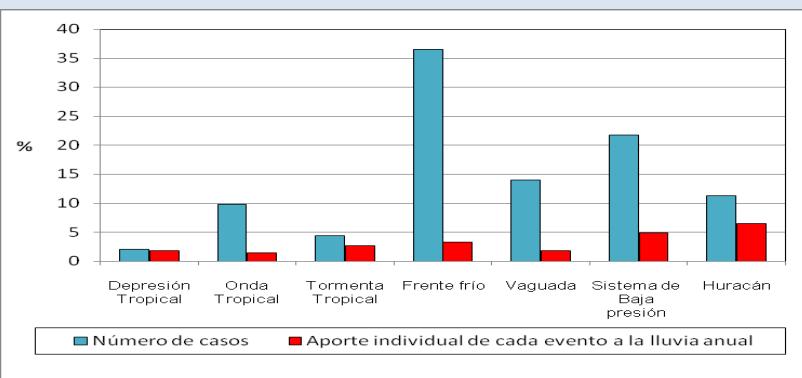


Figura 33. Frecuencia mensual (%) de siete fenómenos meteorológicos. Costa Rica

Nótese la marcada estacionalidad de los eventos, por ejemplo los frentes fríos se registran entre octubre y mayo, mientras que los huracanes entre junio y noviembre. En el cuadro 18 y figura 34, se presenta la contribución porcentual de cada fenómeno.

Cuadro 18. Contribución de fenómenos meteorológicos a la lluvia anual por regiones climáticas

Región	Aporte porcentual de fenómenos meteorológicos al total de lluvia anual							TOTAL
	Depresión Tropical	Onda Tropical	Tormenta Tropical	Frente frío	Vaguada	Sistema de Baja presión	Huracán	
Pacífico Norte	4	2	4	3	2	6	9	21
Pacífico Central	1	0	2	2	1	8	10	14
Pacífico Sur	2	2	2	2	2	3	5	13
Valle Occidental	1	2	3	2	2	6	6	17
Valle Oriental	0	0	2	5	3	3	5	13
Zona Norte	2	2	3	6	1	3	5	17
Región Caribe	0	3	1	8	2	2	1	17



Los frentes fríos son los fenómenos más frecuentes, pero los huracanes son los que individualmente aportan más a la lluvia anual, de acuerdo con la figura 34. La contribución de cada fenómeno es diferencial según la región y la época del año. En la figura 35 se presenta la frecuencia mensual de aparición de los tres fenómenos que individualmente aportan más a la lluvia anual.

Figura 34. Frecuencia y aporte individual de fenómenos meteorológicos a la lluvia anual en Costa Rica. 1980-2006

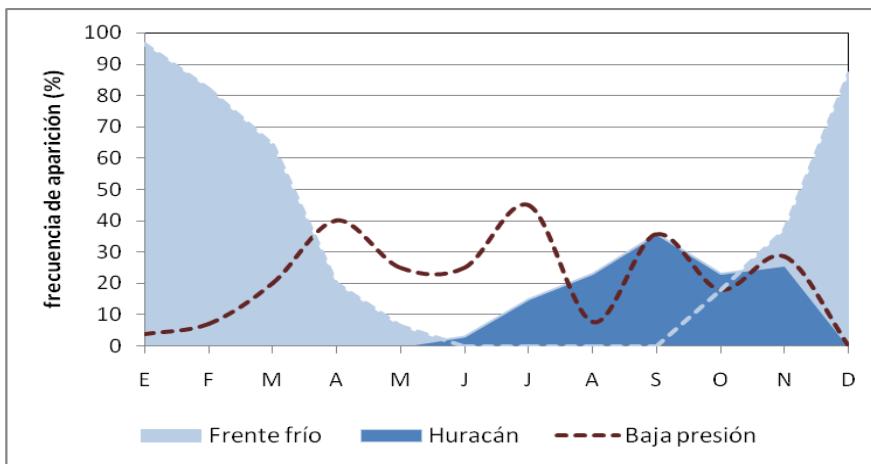


Figura 35. Frecuencia mensual de tres tipos de fenómenos meteorológicos

Los frentes fríos, sistemas de bajas presiones y los huracanes son los tres eventos que aportan más lluvia al total anual. Sin embargo, los frentes fríos se distribuyen principalmente en los tres primeros y tres últimos meses del año. Los sistemas de bajas presiones se distribuyen más uniformemente a lo largo del año, pudiendo presentarse desde enero hasta diciembre. Por su parte, los huracanes o ciclones tropicales tienen un período de aparición concentrado entre junio y noviembre. Estos tres fenómenos, por su distribución, frecuencia y aporte, tienen altas probabilidades de generar eventos extremos.

Ahora bien, tomando en cuenta la frecuencia mensual (Fig 33) y el aporte individual de cada uno de los siete eventos estudiados (Fig34), se puede concluir que los frentes fríos, las bajas presiones y los huracanes son los de mayor contribución a la lluvia anual (Fig 36).

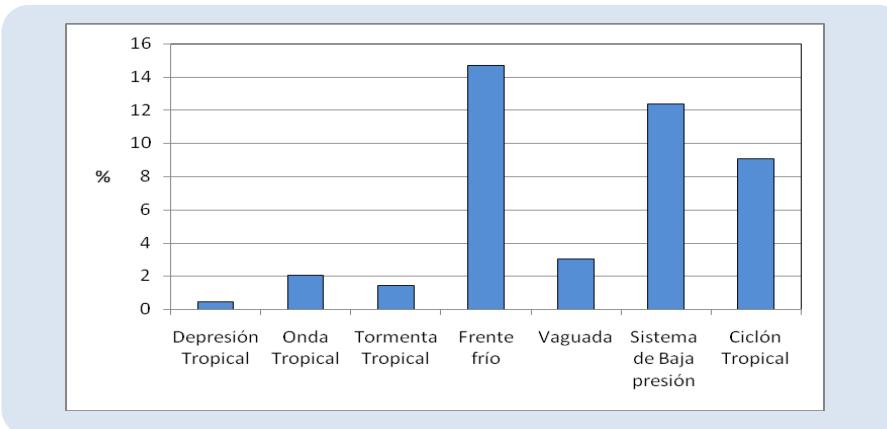


Figura 36. Aporte porcentual de fenómenos meteorológicos a la lluvia anual en Costa Rica, durante el período 1980-2006.

Los frentes fríos aportan más del 14% de la lluvia anual en Costa Rica (número de casos por aporte individual de evento). Tienen la mayor frecuencia de aparición entre noviembre y marzo, aunque hay pocos casos en abril e incluso mayo. Afectan principalmente el Valle Oriental de la Región Central, la Zona Norte y la Región Caribe. Los sistemas de baja presión pueden aportar más de un 12% a la lluvia anual. Son sistemas que afectan principalmente el Pacífico Norte, Pacífico Central y el Valle Occidental de la Región Central de Costa Rica. Los efectos indirectos de huracanes, aportan en promedio un 9% de la lluvia anual, afectan todo el país, con excepción del Caribe. La mayor afectación es en el Pacífico Norte y Central. En el cuadro 19 se presentan características de fenómenos meteorológicos asociados a eventos extremos lluviosos.



Cuadro 19. Fenómenos meteorológicos asociados a eventos extremos lluviosos (1980-2006)

FENOMENO	Numero de eventos promedio por año	Apporte a la lluvia anual (%)	Meses de mayor frecuencia	Regiones más afectadas	Tiempo de afectación promedio (días)	Máximo tiempo de afectación (días)
Frente frío	4.4	14.7	De noviembre a diciembre	Caribe, Zona Norte y Valle Oriental	2.8	8
Baja presión	2.5	12.4	De abril a noviembre	Pacífico Norte, Pacífico Central, Valle Occidental	2.9	8
Vaguada	1.6	3.0	De marzo a octubre	Región Central, Pacífico Norte, Pacífico Sur, Caribe	3.3	7
Huracán	1.4	9.0	De julio a noviembre	Pacífico Central, Pacífico Norte y Zona Norte	4.0	7
Onda	1.4	2.0	De mayo a octubre	Caribe, Zona Norte, Pacífico Norte y Sur, Valle Occidental	1.7	5
Tormenta	0.5	1.4	De setiembre a octubre	Pacífico Norte, Zona Norte, Valle Occidental	4.4	8
Depresión	0.2	0.5	De mayo a agosto	Pacífico Norte, Pacífico Sur, Zona Norte	1.2	2

Estos fenómenos en conjunto, podrían contribuir con un 43% de la lluvia total anual promedio para nuestro país. El número de casos por año de este tipo de fenómenos, puede ser mayor al presentado en este estudio ya que aquí solo se analizaron aquellos fenómenos que han causado eventos extremos lluviosos. Por ejemplo, entre 1995 y el 2005, el promedio de tormentas y huracanes en el océano Atlántico fue de 15 (Holland y Webster 2007), pero tan solo 2 o 3 penetran el mar Caribe y no necesariamente estos 3 ciclones afectan nuestro país. De acuerdo con Alvarado y Alfaro (2003), en el siglo XX del total de ciclones tropicales (huracanes y tormentas) que ingresaban anualmente al mar Caribe, en promedio solo uno era capaz de ocasionar un evento lluvioso en la Vertiente del Pacífico. Del total de frentes fríos que entran al mar Caribe por temporada, entre 3 y 7 logran proyectarse hasta Costa Rica (Alvarado, 2008). Según Zárate (2005) analizando el período 1975-2001, solo el 21% de los frentes fríos producen eventos extremos ya que no todos alcanzan nuestro territorio o causan lluvias fuera de lo normal. En la figura 37 se resume la frecuencia de años extremos lluviosos, cuyas causas se asocian con uno o más de los 7 eventos caracterizados en el cuadro 19 y con ENOS.

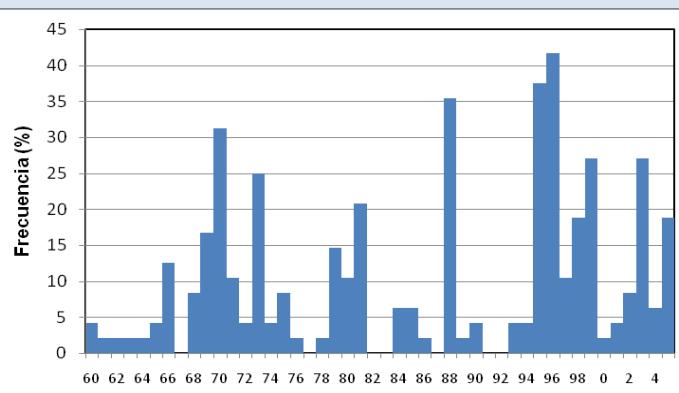


Figura 37. Frecuencia porcentual de eventos extremos lluviosos.1960-2006

Cuadro 20. Relación porcentual entre años lluviosos extremos con las fases de ENOS

Región	Niña	Niño
P. Norte	60	59
P. Central	77	66
P. Sur	82	52
RC. Occ	75	70
RC. Ort	57	72
Z. Norte	53	71
Caribe	39	93

4.2. Inundaciones

Son eventos naturales recurrentes que se producen en las corrientes de agua como resultado de lluvias intensas o continuas que, al sobrepasar la capacidad de absorción del terreno y de los cauces, desbordan e inundan extensiones. También puede ser causada por subida de mareas por encima del nivel habitual o avalanchas causadas por tsunamis. Se pueden clasificar de acuerdo con:

- El tiempo de duración de la inundación, éstas pueden ser lentas o repentinas, y
- El mecanismo que las genere, pueden ser pluviales (por exceso de lluvia), fluviales (por desbordamiento de ríos), por marea astronómica excepcional, por marea de tormenta ciclónica (producida por ciclones tropicales en las costas) o por falla o mala operación de obras hidráulicas.

En Costa Rica las inundaciones son recurrentes a las mismas zonas geográficas para el período de análisis 1950-1999. Lo que varía es la extensión del desborde, el impacto y la duración del fenómeno meteorológico que la detona. En la figura 38 se presentan las zonas que más frecuentemente han sido impactadas por inundaciones.

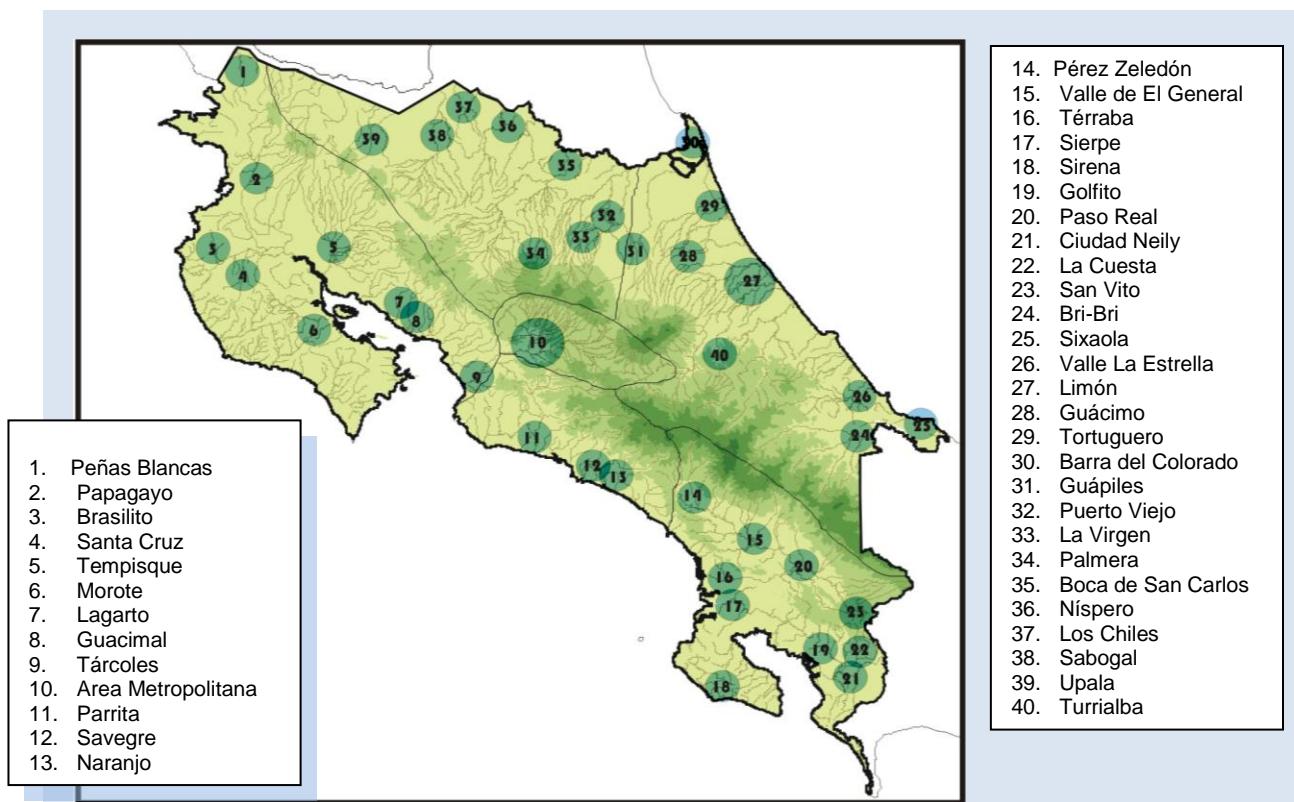


Figura 38. Zonas de inundación más frecuentes en Costa Rica.
Fuente: Solano, J.; Solera, M. 1998.

Cualquier fenómeno meteorológico intenso es el detonante que puede provocar inundaciones. Sin embargo a nivel de vertiente, existen condiciones particulares que pueden tener mayor probabilidad de producir este tipo de eventos. Los más importantes son:

4.2.1. Temporales

Condición meteorológica anormal que se caracteriza por temperaturas relativamente bajas, cielos nublados, ambiente húmedo y lluvias a cualquier hora del día o de la noche (Alvarado y Alfaro, 2003). El



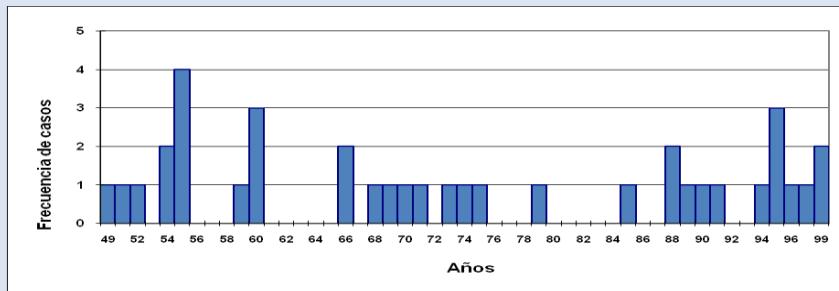
temporal produce lluvias continuas o intermitentes de variable intensidad por varias horas y por varios días (una semana o menos), puede afectar a una región entera e incluso a toda una vertiente. Debido a la persistencia de estos fenómenos, acumulan grandes cantidades de precipitación en muy pocos días, causando no sólo grandes inundaciones, sino también deslizamientos y derrumbes de tierra. Los temporales y las inundaciones son frecuentes en ambas vertientes, aunque en ocasiones el fenómeno que las produce varía de una vertiente a otra. La inundación por temporal es relativamente lenta y de tipo fluvial (por desbordamiento de ríos).

En la Vertiente del Pacífico deben su origen a depresiones tropicales, tormentas tropicales, huracanes y bajas presiones. Las zonas más susceptibles a inundarse por causa de temporales en el Pacífico Norte son la cuenca del río Tempisque, que es una zona de bajura, cuyo sistema fluvial lo forman el río Tempisque y sus principales afluentes el río Bebedero, las Piedras, Tenorio, las Cañas y las Palmas. También la parte baja de las cuencas de los ríos Barranca y Aranjuez. En el Pacífico Central las llanuras del Pírris o Parrita, las zonas bajas del Pocares, Naranjo y Savegre. En el Pacífico Sur, las llanuras circunvecinas al río Grande de Terraba y la cuenca del río General, la zona del río Sierpe y la del río Coto. En la vertiente del Caribe los temporales deben su origen a los frentes fríos, las ondas del este llamadas también ondas tropicales y a las vaguadas o bajas presiones de altura. Las zonas más susceptibles a inundarse son la desembocadura del río Parismina, Chirripo, las llanuras que atraviesan los ríos Banano, Bananito, Limoncito, Sixaola, río la Estrella. En la Zona Norte generalmente la desembocadura de los ríos Frío, Zapote, Pizote y Sapoa.

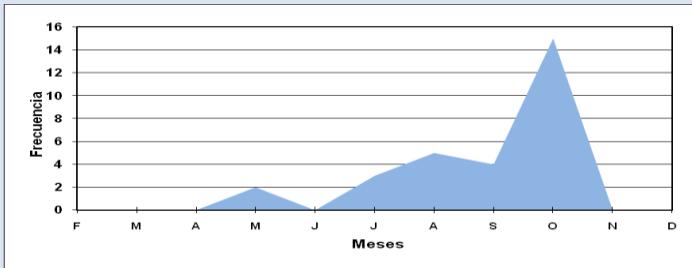
4.2.2. Tormentas locales severas

Las tormentas locales severas (TLS) son fenómenos meteorológicos extremos que en unos pocos minutos provocan daños económicos considerables e incluso la pérdida de vidas humanas. En Costa Rica las TLS son tormentas que se manifiestan con fuerte rayería, aguaceros intensos (25 mm/hora o más) y al menos uno de los siguientes fenómenos: trombas marinas, tornados, granizos de cualquier tamaño y vientos lineales (downbursts o aeroavalanchas) superiores a los 70 km/h. Se presentan en cualquier parte del territorio pero son más frecuentes en la Región Central. Están confinadas a áreas geográficas pequeñas del orden de las decenas de kilómetros cuadrados, son de corta duración, acumulan grandes cantidades de lluvia en pocas horas.

4.2.3. Inundaciones en el Pacífico Norte



De acuerdo con la figura 39 la frecuencia promedio es de una inundación por año, sin embargo se han presentado períodos (entre uno y cinco años) con ausencia de eventos, como en el caso de los períodos 1961-1965 y 1980-1984.



Se pueden presentar de mayo a noviembre, siendo estas más frecuentes a partir de agosto. Octubre concentra la mayor incidencia de inundaciones. La influencia de los veranillos (julio-agosto) no afecta la distribución de eventos a nivel mensual.

Figura 39. Frecuencia de inundaciones. Pacífico Norte. 1949-1999



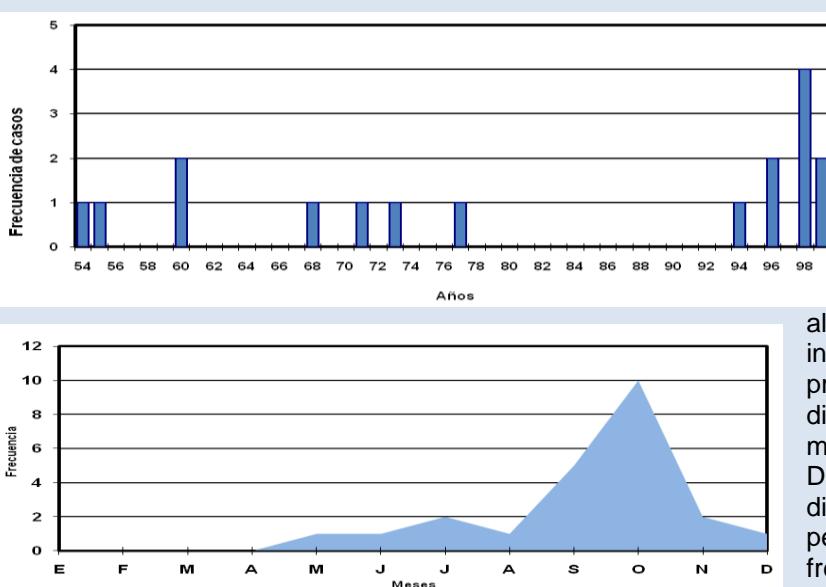
Los temporales generadores de inundaciones pueden durar de 3 a 4 días como promedio general y 10 días como casos extremos. En estos períodos se acumula entre 100 a 300 mm como promedio. Durante algunos temporales se han llegado a registrar de 400 hasta 700 mm. En los períodos de temporal el pico máximo de lluvia está entre los 250 a 380 mm.

La mayor parte de las inundaciones se presentan en la parte central de Guanacaste, cuenca baja del Tempisque, parte costera de la península de Nicoya y la desembocadura del Río Bejuco. Las localidades más afectadas por inundaciones son: 27 de Abril, Filadelfia, Santa Cruz, Bebedero, Nosara, Paquera y Barranca.

En la ilustración, "poblados inundados en el Pacífico Norte".

Fuente Solano, J.; Sanabria, N. 2000. IMN

4.2.4. Inundaciones en el Pacífico Central



La frecuencia de inundaciones es de una por año, no obstante se dan lapsos de dos, y más años sin reportarse inundaciones como puede observarse en la figura 40 (1979 a 1984 y de 1987 a 1993). En 1998 se presentó la mayor frecuencia (4). De acuerdo al período estudiado las inundaciones se pueden presentar desde mayo hasta diciembre. Octubre es el mes de mayor frecuencia de casos. Durante agosto hay una disminución leve de casos, a pesar de que el veranillo no es frecuente en algunas zonas inundables.

Figura 40. Frecuencia de inundaciones. Pacífico Central. 1954-1999



Las tormentas locales severas y los temporales son los fenómenos detonadores de inundaciones en la región. Las tormentas severas duran menos de 24 horas, mientras que los temporales duran en promedio 3 días. Ambos fenómenos pueden acumular en promedio entre 300 y 600 mm por período de duración respectivo. Las zonas más afectadas en el cantón de Garabito son la localidad de Jacó, el Valle de Parrita y Sitradiques. En el cantón de Aguirre, los mayores problemas se presentan en Quepos, Savegre, Barú y Dominical.

En la ilustración, "poblados inundados en el Pacífico Central".

Fuente Solano, J.; Sanabria, N. 2000. IMN



4.2.5. Inundaciones en el Pacífico Sur

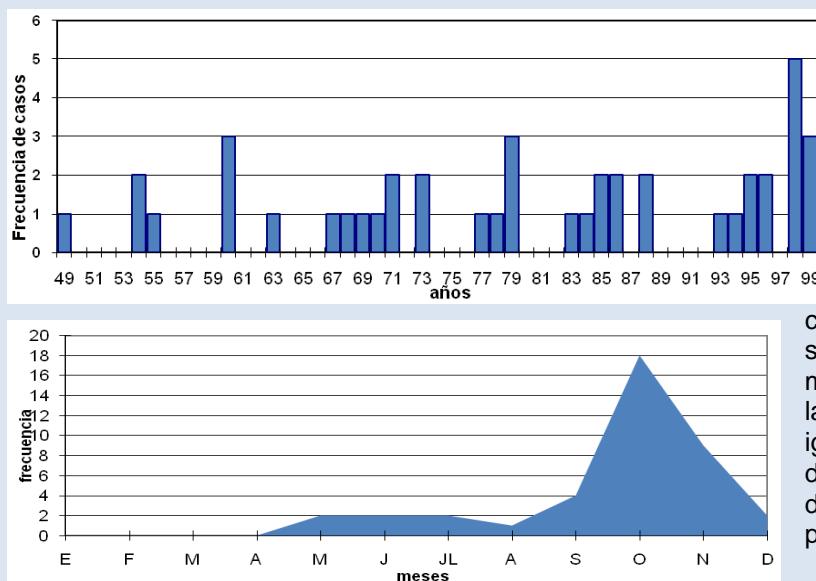


Figura 41. Frecuencia de inundaciones. Pacífico Sur. 1949-1999

Como en las otras regiones, las inundaciones son producto de temporales, aunque en ocasiones las tormentas fuertes pueden acumular 100 mm por evento. Los temporales tienen una duración promedio de tres días y máximos de 5 a 6 días como sucedió en 1969, 1973, 1979, 1986. Pueden acumular hasta 400 mm en promedio. Los acumulados mayores a 500 mm son poco frecuentes.

Las localidades afectadas por inundaciones en el Pacífico Sur, se concentran sobre El Valle de Diquís en los poblados de Puerto Cortés, Palmar Sur y Norte, y antes de la desembocadura del Río Térraba. En el Valle de El General, la incidencia de inundaciones es baja. Los poblados que han sido afectados son Paso Real, al extremo este del Valle y el cantón central San Isidro del General.

El Valle de Coto Colorado, al sureste del Valle de El General, es el más afectado por inundaciones, principalmente sobre los poblados de San Vito de Coto Brus, Sabalito, La Cuesta, Corredores, Coto 47 y Ciudad Neily.

*En la ilustración, "poblados inundados en el Pacífico Sur".
Fuente Solano, J.; Sanabria, N. 2000. IMN*



4.2.6. Inundaciones en la Zona Norte

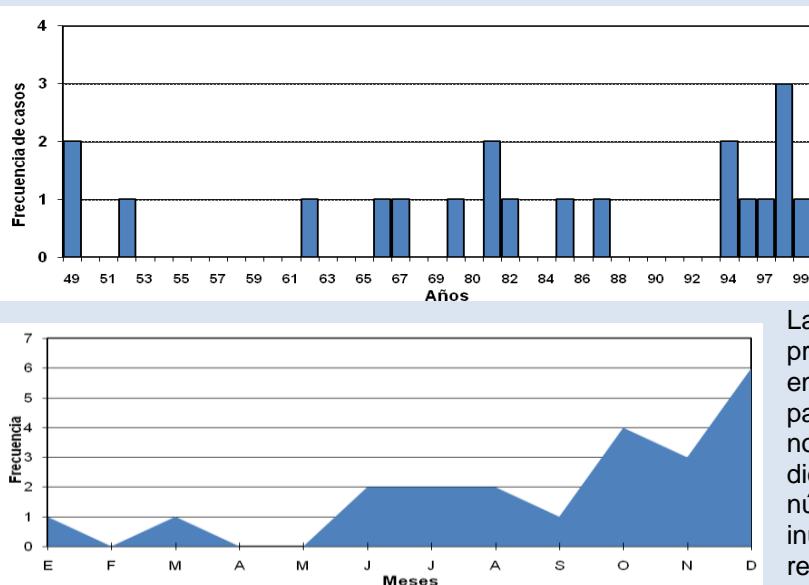


Figura 42. Frecuencia de inundaciones. Zona Norte. 1949-1999

Los temporales tienen una duración de 4 a 6 días, donde se puede acumular 300 mm en promedio, y excepcionalmente cantidades superiores a los 400 mm. Coincidentemente con la frecuencia de inundaciones por mes (figura 42), la mayor cantidad de lluvia durante temporales se presenta en los meses de junio, noviembre y diciembre, por lo tanto podría suponerse que las inundaciones que se presentan durante estos meses pueden ser producto de temporales fuertes.



En la Zona Norte se distinguen dos áreas vulnerables a las inundaciones. La primera se extiende desde Los Chiles, Upala hasta Aguas Claras. La segunda corresponde al suroeste de la región, en un extenso sector que cubre gran parte de las Llanuras de San Carlos y Tortuguero, donde se encuentran localidades como San Rafael de Guatuso, Puerto Viejo, Sarapiquí, Boca Arenal, Agua Zarcas, Horquetas y Venecia. Las zonas de llanura como los Guatusos, Florencia y Muelle o las zonas centrales al pie de montaña como Ciudad Quesada y el extremo norte alrededor de Peñas Blancas, son áreas de poca frecuencia de eventos. Las Localidades con mayor frecuencia son, Upala, Puerto Viejo de Sarapiquí, los Chiles y las cercanías a Río Zapote.

En la ilustración, "poblados inundados en la Zona Norte".
Fuente Solano. J.: Sanabria. N. 2000. IMN



4.2.7. Inundaciones en la Región Caribe

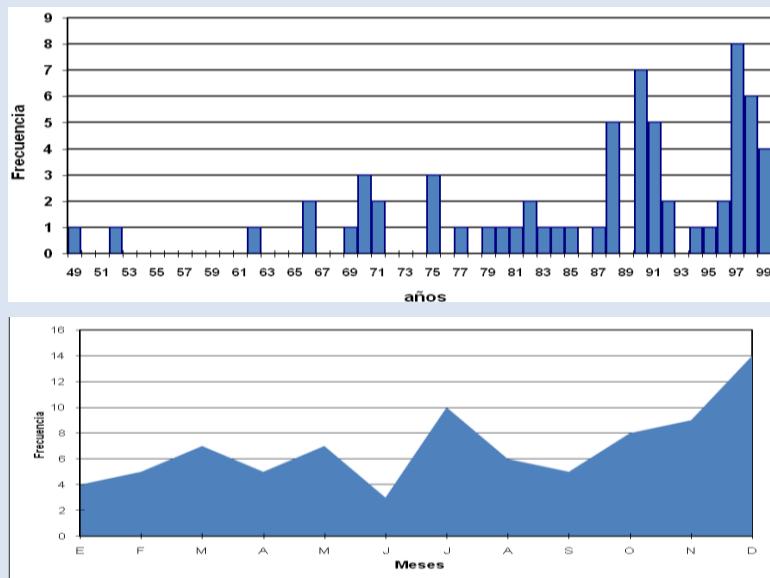


Figura 43. Frecuencia de inundaciones. Caribe. 1949-1999

Los temporales presentan una duración variable que puede ser de tres días como mínimo hasta 18. El rango promedio es de 5 a 10 días (Solano 2001). Los totales de lluvia acumulados van de 200 a más de 800 mm y el rango promedio es 300-500 mm. Generalmente las lluvias de temporal son las que dan inicio a las inundaciones en esta región. Las inundaciones se concentran en la franja costera central y sur. Además se presentan inundaciones importantes en Turrialba y hacia la zona de Pococí, Guácimo y Batán. Las localidades más afectadas son Turrialba, Limón Centro, Bananito y Valle de la Estrella.

*En la ilustración, "poblados inundados en la Región del Caribe".
Fuente Solano, J.; Sanabria, N. 2000. IMN*



En la figura 44 se resume la frecuencia de eventos de inundación para las cinco regiones analizadas. La región Caribe es la más afectada por número de eventos mientras el Pacífico Central es la menos afectada.

La mayor parte de los eventos que se presentan en la Región Central del país, responden a inundaciones urbanas, que tienen una complicada génesis. La falta de ordenamiento territorial y el manejo de desechos sólidos son generadores de inundaciones durante períodos de lluvia normal, por lo que no necesariamente corresponden con eventos extremos aún cuando el impacto es evidente (Solano et al, 2002).

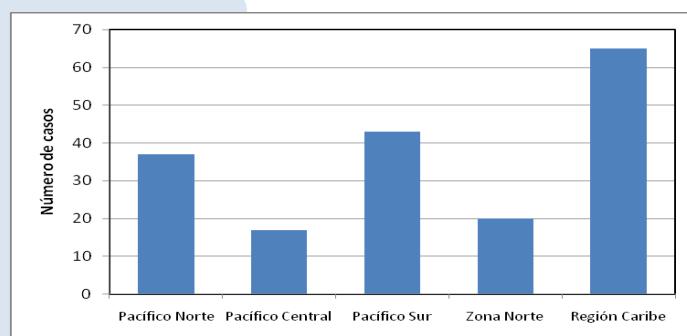


Figura 44. Frecuencia de inundaciones para cinco regiones climáticas de Costa Rica. 1949-1999

4.3. Sequías

En términos generales la sequía se define como una disminución de la cantidad de agua, causada por un desequilibrio entre la demanda y el suministro (Das 1998). Este término puede ser interpretado de diversas maneras (que no son necesariamente contradictorias), de acuerdo a la experiencia de los individuos, comunidades o naciones, y de acuerdo con las necesidades de una rama particular de la producción en la que el agua es un componente esencial (Gloyn y Lomas 1988, IPCC 2007). Por este motivo, se puede hablar de sequía meteorológica, sequía agrícola, sequía hidrológica, sequía económica, entre otras.

En términos climáticos, Wilhite y Svoboda (2000), refieren que la sequía es una manifestación normal del clima y ocurre virtualmente en todos los regímenes climáticos, ya sea de mucha o poca precipitación al año. Mencionan que la sequía es una desviación temporal de la normalidad, a diferencia de la aridez, que es una condición permanente. El tiempo de reducción de los montos precipitados es largo y generalmente referido a la estacionalidad del lugar.

En términos meteorológicos, el IPCC (2007) cita a Heim (2002) para definir la sequía como “una ausencia prolongada de precipitación...o un conjunto de condiciones meteorológicas anormalmente secas y prolongadas, que producen importantes desequilibrios hidrológicos...afectando alguna actividad o grupo de personas”.

La severidad de la sequía depende de cuatro características principales:

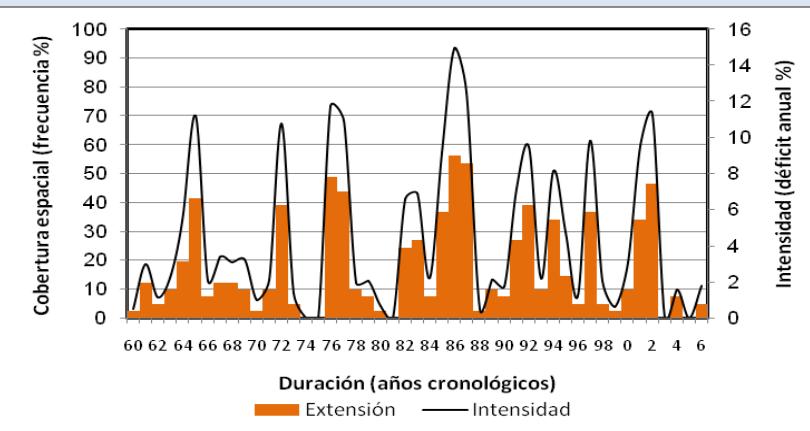
Intensidad: Generalmente puede ser medida con respecto a índices. Por ejemplo, el uso de percentiles puede ser un indicativo de severidad en la reducción de la precipitación mensual y acumulada.

Duración: Algunos autores indican que la sequía toma entre 2 o 3 meses para establecerse y puede extenderse por varias estaciones o años, como en el caso de África (Motha 2000; Monnik 2000). En Costa Rica la sequía se acentúa en períodos estacionales, sin embargo se registran hasta tres años consecutivos deficitarios con relación a lo normal en algunas zonas del país, como por ejemplo durante 1996, 1997 y 1998 en algunos lugares de la Zona Norte.

Cobertura espacial: Por lo general existe un área bien delimitada donde la sequía es recurrente, sin embargo, estas áreas pueden extenderse o contraerse. En Costa Rica, el área de mayor recurrencia se encuentra en la Región Pacífico Norte, aunque ha sufrido extensiones hacia la zona noreste, como por ejemplo durante 1982, 1997 y 2007.

Demandas: Se refiere a cantidad de agua que necesita el ecosistema para funcionar equilibradamente. La dependencia del recurso puede ser un indicativo de la vulnerabilidad ante extremos climáticos. A su vez, la vulnerabilidad está determinada por patrones sociales como población, actividades, empleo, tecnología, políticas, ordenamiento agrario, etc. Estos factores cambian con el tiempo y con ellos el grado de vulnerabilidad. Por lo tanto, un mismo déficit hídrico en una región, puede impactar o no diferentes actividades de acuerdo con su grado de vulnerabilidad.

De acuerdo con lo anterior, la sequía para Costa Rica se definirá cuando las precipitaciones anuales se encuentren por debajo de su primer quintil. Nitzche *et al.* (1985), desarrollaron un criterio semejante para definir la tendencia de la precipitación anual, usando promedios y desviaciones estándar en años secos, normales y lluviosos. Como ya se había referido en relación con años lluviosos, la precipitación anual puede captar señales de períodos secos estacionales. La intensidad de la sequía está referida al déficit porcentual de lluvia de ese año con relación al promedio. La duración de la sequía está dada por el número de años secos consecutivos o no. La cobertura espacial se determina de acuerdo a la frecuencia de casos de sequía por años para un grupo de estaciones dado. Esto quiere decir que si se analizaron 10 estaciones y la frecuencia de un año seco en particular fue de 50%, entonces se tuvo una cobertura teórica del 50% del territorio. En la figura 45 se resumen las condiciones de sequía (intensidad, duración y cobertura espacial) para un período 1960-2006 en Costa Rica.

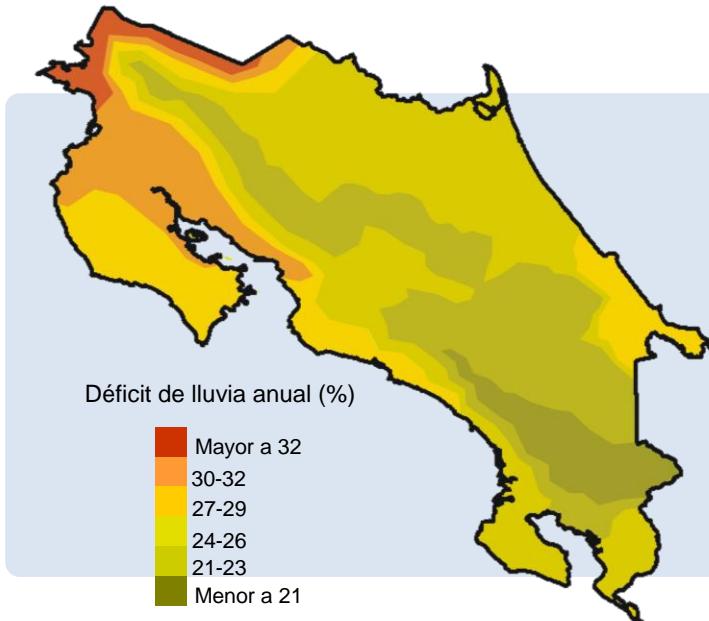


La intensidad de la sequía se calculó promediando el déficit contra el número total de estaciones estudiadas, aún y cuando alguna de estas no haya presentado sequía. Con esto se evita sesgar el promedio ya que se presentan casos aislados donde la sequía se registró en pocas estaciones pero con un gran déficit. Por esta razón los valores de déficit anual no corresponden con lo señalado en LB para años extremos secos.

Figura 45. Sequías en Costa Rica. 1960-2005

La figura 45 resume las condiciones generales de sequía para todo el país, sin embargo la sequía es diferencial en su intensidad, duración y cobertura espacial para las regiones climáticas.

De acuerdo con la figura 46, la disminución significativa de la lluvia anual en Costa Rica se puede presentar en cualquier región climática, sin embargo la intensidad varía. La **intensidad** de las sequías es mayor en el norte y noroeste del país, en la zona fronteriza con Nicaragua y cercana al Lago. Las reducciones sobrepasan el 32% anual. La zona baja del Tempisque y las zonas llanas (pampa Guanacasteca) es la segunda área en cuanto a intensidad de sequías se refiere. Una tercera área de consideración, se encuentra en el resto del Pacífico Norte, Pacífico Central y el Caribe hacia el sur donde las disminuciones promedio se aproximan al 28%. En el Valle Central y las llanuras del Norte y del Caribe, se pueden presentar disminuciones promedio del 25%, considerados verdaderos eventos extremos. El resto del país, sobre todo en la zona montañosa las reducciones son menores (22%). Hacia el Valle de El General y toda la depresión del río Téraba, se presentan las menores reducciones promedio durante sequías.



Cuadro 21. Relación porcentual entre años secos extremos con las fases de ENOS

Región	Niño	Niña
P. Norte	79	46
P. Central	94	29
P. Sur	86	44
RC. Occ	79	53
RC. Ort	64	54
Z. Norte	70	53
Caribe	59	69

Fuente: Retana, J. 2008

Figura 46. Distribución espacial del promedio del déficit de precipitación (%) durante sequías en Costa Rica. 1960-2005

En cuanto a la **duración** a nivel anual y en términos generales para ambas vertientes, es común que se presenten dos años consecutivos con un déficit importante de lluvias. Por ejemplo, Patterson (1992) menciona que en Guanacaste se han presentado hasta cuatro años consecutivos con un déficit de lluvia anual importante. En el Caribe, se han presentado hasta dos años consecutivos con déficit de precipitación como en 1978-1979.

Aunque la sequía es diferencial en su cobertura e intensidad, se puede decir que los años de mayor sequía en Costa Rica han sido 1965, 1972, 1976-1977, 1986-1987, 1992, 1994, 1997 y el 2001-2002. Todos estos años, con excepción del 2001, han coincidido con años El Niño, lo cual explica la persistencia anual de condiciones secas extremas, sobre todo en el Pacífico de Costa Rica. En la figura 47, se presenta la reducción mensual con respecto a la LB, observada durante los años de sequía en Liberia, Guanacaste.

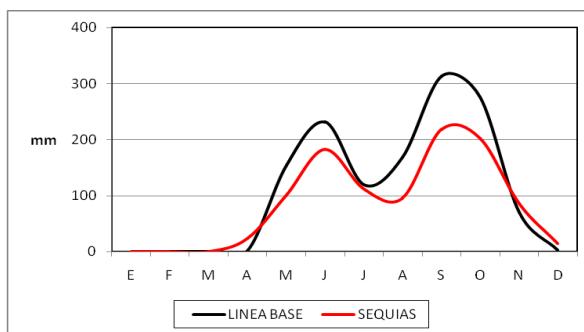


Figura 47. Lluvia mensual promedio durante sequías. Liberia, Guanacaste, Pacífico Norte.

La sequía a nivel mensual, tiene características estacionales que coincide con lo observado durante años El Niño. Según el IMN, el mes de mayor frecuencia de inicio de un evento El Niño es abril. Bajo su influencia, se puede presentar un atraso en el inicio de las lluvias (mayo) o bien un junio deficitario. El inicio del veranillo es normal, sin embargo los mayores problemas se observan en el segundo período lluvioso: el veranillo se alarga y los meses de setiembre y octubre no aportan lo esperado. Esto se puede deber a que durante El Niño la posibilidad de que un huracán afecte nuestro país se reduce a la mitad comparada con eventos La Niña. En el cuadro 21 se resume la relación porcentual entre años secos extremos y las fases de ENOS por región climática.

En el Caribe, los años de mayor sequía han sido 1964, 1971, 1978, 1979, 1985 y 1995. Con excepción de 1979, todos esos años han sido Niña, la cual puede provocar situaciones secas. Sin embargo, observando la figura 48, se observa que los mayores efectos durante sequías en el Caribe, se presentan en los meses de diciembre y enero, lo cual indica una disminución en el aporte por frentes fríos. Durante julio y agosto (veranillo del pacífico), se presenta también una disminución apreciable que puede estar asociada con una disminución del Alisio durante años Niña.

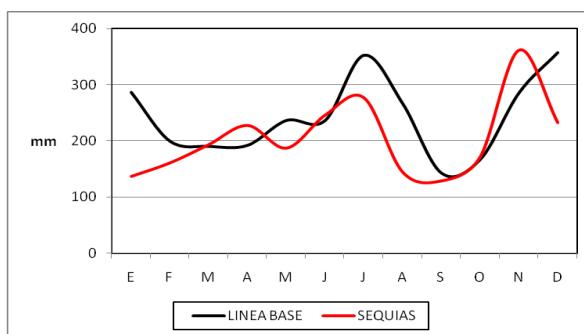


Figura 48. Lluvia mensual promedio durante sequías. Limón. Caribe



4.4. ENOS, El Niño Oscilación Sur

ENOS es el fenómeno que más se relaciona con variabilidad climática en Centroamérica (Fernández y Ramírez 1991) y en general es la fuente de variabilidad climática interanual más dominante en el Trópico. Por tal motivo, es el evento de esta naturaleza que más se ha estudiado en Costa Rica (Stoltz 2007). ENOS es el acrónimo de El Niño - Oscilación Sur. Se puede describir como un fenómeno de variabilidad climática que acopla dos componentes o fluidos. El componente oceánico es la corriente de El Niño, costera, cálida que anualmente se desplaza a lo largo de la costa de Ecuador y Perú (Vega y Stoltz 1997) y el componente atmosférico son los cambios interanuales de las condiciones atmosféricas sobre el océano Pacífico ecuatorial (Fernández y Ramírez 1991).

La corriente de El Niño se conoce desde el siglo XIX, pero no se relacionaba con cambios abruptos en el clima, sino hasta mediados del siglo XX (Jiménez 1987). Por su parte, la Oscilación Sur se definió a mediados del siglo XX. La relación entre ambos fenómenos y su impacto sobre los diferentes regímenes de precipitación y temperatura alrededor del mundo, se establecieron a finales de la década de 1950 (Vega y Stoltz 1997).

ENOS presenta dos fases. La cálida o El Niño, que se caracteriza entre otras cosas, por un calentamiento anormal de las aguas del Pacífico Ecuatorial, acoplado a una disminución de la Oscilación del Sur. La fase fría o La Niña, corresponde con la presencia de aguas más frías de lo normal en el Pacífico Ecuatorial, y un aumento de la Oscilación del Sur. Ambas fases afectan diferencialmente el clima de gran parte del planeta.

Cada fenómeno de ENOS es diferente, sin embargo existen algunas aproximaciones que pueden ser válidas para caracterizar las fases. Las principales características de ENOS de acuerdo con Alvarado *et al* (2007) se resumen en el siguiente cuadro.

Cuadro 22 . Características de las fases de ENOS

	El Niño	La Niña
Eventos entre 1961-1990	8	8
Promedio de magnitud*	1.6	-1.5
Recurrencia (meses)	28	30
Duración (meses)	15.6	19.6
Período de mayor magnitud	set-dic	mar-jun
Período frecuente de inicio	mar-jun	abr-may



*Se refiere a la anomalía (positiva o negativa) de temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) en la región ecuatorial del Océano Pacífico conocida como Niño 3.4.

ENOS afecta diferencialmente el territorio nacional. Ramírez (1990), Vega y Stoltz (1997), Alvarado (1998), Alvarado y Fernández (2001) concuerdan en que durante ENOS el patrón de vientos se altera por lo que la distribución y cantidad de precipitación en ambas vertientes se altera, lo mismo que la temperatura, sobre todo durante El Niño. Según Retana y Villalobos (2000) y Pereira (2001), cualquiera de las fases de ENOS puede producir condiciones secas, normales o lluviosas con diferente probabilidad de ocurrencia. En aquellas zonas donde existe una alta probabilidad de ocurrencia de un escenario en particular, se dice que ENOS tiene una buena señal. Por el contrario, donde las probabilidades de ocurrencia de varios escenarios climáticos son semejantes, la señal de ENOS es poco clara.

En el cuadro 23 se presentan las probabilidades de ocurrencia de cinco escenarios climáticos bajo la influencia de las fases de ENOS de acuerdo con los resultados obtenidos por Retana y Villalobos (2000) y Pereira (2001).

Cuadro 23. Probabilidades de ocurrencia de escenarios climáticos influenciados por las fases de ENOS.

Región	El Niño					La Niña				
	SECO extremo	SECO	NORMAL	LLUVIOSO	LLUVIOSO extremo	SECO extremo	SECO	NORMAL	LLUVIOSO	LLUVIOSO extremo
Pacífico Norte	A	A	Nd	B	B	B	B	B	M-B	M-A
Pacífico Central	A	A	Nd	B	B	B	B	B	M-B	M
Pacífico Sur	A	A	Nd	B	B	B	B	B	M-B	M
Región Central	A	A	Nd	B	B	B	B	B	B	M
Zona Norte	M	M	Nd	M	M	B-M	B	B	A-M	M
Región Caribe	B	B	Nd	M	A	M	M	B	B	B

A: alta probabilidad

M: probabilidad media

B: baja probabilidad

Nd: no hay dato estimado

En forma general, la señal de El Niño es más clara que la de La Niña. Durante El Niño existe mayor probabilidad de que toda la vertiente Pacífica y la Región Central de Costa Rica experimenten condiciones de secas a secas extremas, mientras que en el Caribe, existe una mayor probabilidad de escenarios lluviosos extremos. La Zona Norte no presenta una señal clara. Durante La Niña, los escenarios lluviosos a lluviosos extremos tienen más probabilidad de ocurrir en toda la vertiente Pacífica, la Región Central y la Zona Norte. El Caribe como lo señalan Pereira (1998), Alvarado (1998), tiene mayores probabilidades de escenarios deficitarios.

En el cuadro 24 se muestran los cambios en precipitación (porcentuales y absolutos) según el escenario climático más probable durante un Niño o una Niña. Además, con base en la información recopilada por Alvarado *et al* (2007) y Ortíz (2007), se presenta el número de eventos que individualmente contribuyen más con la precipitación anual y que están relacionados con las distintas fases de ENOS. Como lo señala Alvarado (1998), durante La Niña se puede percibir un aumento de la actividad de huracanes en el mar Caribe.

Cuadro 24. Variación de la precipitación anual durante eventos ENOS y algunos eventos meteorológicos asociados en Costa Rica.

	El Niño	La Niña
Pacífico Norte	-450mm (-26%)	+800mm (+46%)
Pacífico Central	-700mm (-26%)	+1000mm (+28%)
Pacífico Sur	-500mm (-13%)	+1200mm (+34%)
Región Central	-500mm (-23%)	+1200mm (+62%)
Zona Norte	No se define*	No se define*
Región Caribe	+650mm (+18%)	No se define*
Número Frentes fríos por evento	2.7	6.1
Número de Huracanes por evento	1.2	2.9

*Probabilidad semejante para más de tres escenarios, por lo tanto la señal no es clara

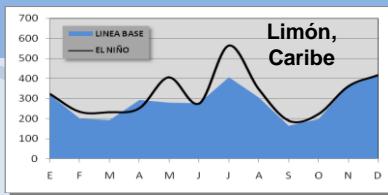
La Niña tiende a presentar condiciones más lluviosas en la generalidad del país. Mucho de este efecto se debe a un aumento del número de eventos que normalmente ocasionan fuertes temporales tanto en el Pacífico como en el Caribe. Por el contrario, durante El Niño, las condiciones son más secas y calurosas debido a un reforzamiento del viento Alisio que evita la penetración del viento suroeste generador de fuertes lluvias en el Pacífico. El siguiente esquema presenta las generalidades que se pueden esperar con mayor probabilidad, para cada una de las vertientes de Costa Rica y para cada una de las fases de ENOS.



El Niño

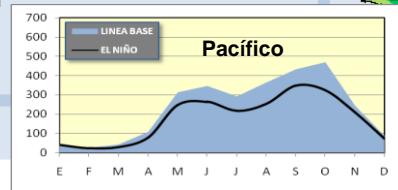
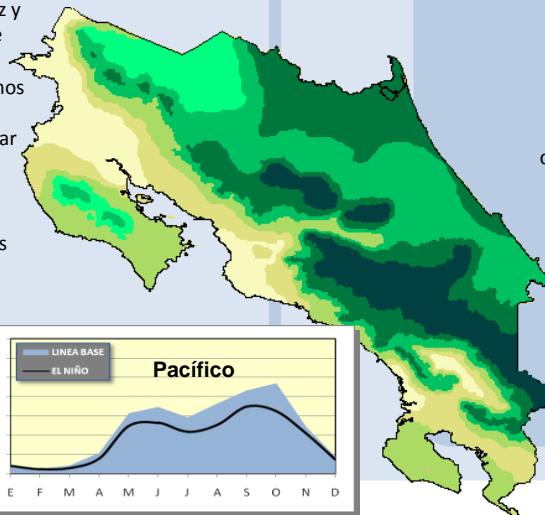
PACIFICO

Se puede presentar un período irregular de lluvias sobre todo entre julio y octubre. El veranillo se puede extender (Fernández y Ramírez 1991) y el número de días con lluvia disminuye. Períodos secos y secos extremos se asientan en zonas bajas y llanas, pudiendo incluso afectar el Valle Central, el Valle de El Guarco y el de General Coto-Brus. La temperatura puede elevarse principalmente en los meses más secos (febrero a abril). El inicio y la salida del período lluvioso pueden alterarse.



CARIBE

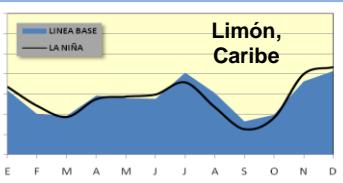
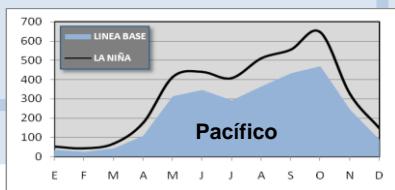
El Caribe tiende a condiciones más lluviosas debido al fortalecimiento del Alisio, principalmente durante los meses de mayo y julio (Vega y Stoltz 1997, Alvarado y Fernández 2003). El comportamiento de diciembre y enero es prácticamente normal. El número de frentes fríos disminuye con respecto al promedio. La Zona Norte del país no presenta una señal clara, sin embargo, Niños muy intensos han provocado sequías como en 1965, 1982 y 1997.



La Niña

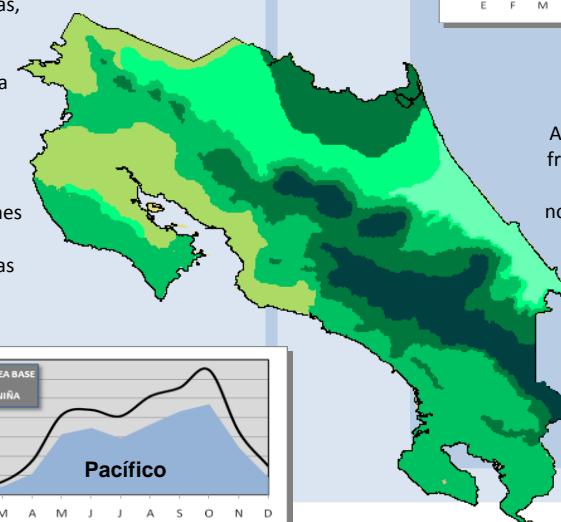
PACIFICO

Normalmente se pueden presentar condiciones lluviosas, sobre todo en el segundo período de la época lluviosa, debido a una mayor frecuencia de temporales asociados a eventos ciclónicos en el mar Caribe. Según Retana et al (2001), el 80% de años la Niña han coincidido con inundaciones en el Pacífico Norte de Costa Rica. También se ven afectadas las zonas normales de inundación.



CARIBE

A pesar que el número de frentes fríos aumenta durante eventos La Niña (principalmente durante noviembre), el promedio anual de precipitación presenta valores normales o inferiores al promedio. Se observa una disminución de la lluvia durante los meses de julio, agosto y setiembre.



4.5. Precipitaciones sólidas

Existen diferentes tipos de precipitación sólida. La nieve es tan solo una de ellas. Por tanto, no toda precipitación sólida debe ser considerada como una nevada típica de las altas latitudes, aún y cuando su apariencia sobre el terreno sea semejante a la nieve.



Fotografía cedida a Irina Katchan (IMN). 2002

La precipitación sólida es básicamente la caída de agua solidificada desde una nube hasta el suelo. De esta forma, procesos de condensación y solidificación de agua en superficies (como el rocío o la escarcha) no se pueden considerar lluvia. En el cuadro 25 se presenta una caracterización de los tipos de agua sólida producto de factores meteorológicos.

Cuadro 25. Tipos de lluvia sólida. Fuente:
www.rinconsolidario.org/meteorología/webs/precipcla.htm

Fenómeno	Características
Nieve	Precipitación sólida constituida por livianos cristales de hielo, la mayoría ramificados y hexagonales, aglomerados en copos. Se denomina nieve granulada, la formada por granos blancos y opacos de aspecto esponjoso, de forma casi esférica con un diámetro aproximado no superior a 5 mm. Se produce cuando el nivel de congelación está tan cerca de la superficie que los conglomerados de cristales de hielo no tienen tiempo de fundirse antes de llegar al suelo. La precipitación de nieve es máxima cuando la temperatura del aire en la superficie es de 1,5º C, aproximadamente. Pocas veces nieva a temperatura del aire de más de 4º C. Las nubes generadoras de nieve son Nimbostratos y Altostratos.
Aguanieve	Mezcla de lluvia y hielo o pequeñas bolitas de hielo transparente (gotas de lluvia helada), o copos de nieve que se han fundido y se han vuelto a helar.
Granizo y pedrisco	Precipitación sólida en forma de glóbulos, esféricos o cónicos, o bien trozos grandes e irregulares de hielo, presentando una estructura en capas concéntricas opacas y transparentes. Están formados por capas de hielo sucesivas, con diámetro inferior a 5 mm el granizo y superior a 5 mm el pedrisco. Las nubes generadoras son los Cumulonimbos.
Escarcha	La escarcha es la forma helada del rocío, cuando se depositan cristales de hielo en la superficie. El rocío son gotas de condensación que aparecen en la superficie del suelo o en la hierba, depositadas cuando la temperatura superficial está por debajo del punto de rocío.
Cencellada	Es hielo transparente y cristalino o granular que se deposita cuando las gotitas de la niebla o una nube subenfríadas se encuentran con una estructura vertical (árboles, cables,...). Es común en los climas marítimos fríos y en las montañas de latitudes medias en invierno.

En Costa Rica, se tienen registros de lluvia sólida en las partes altas de la cordillera de Talamanca y la Cordillera Volcánica Central. Las temperaturas de estas zonas son lo suficientemente bajas como para provocar escarcha.

Según el geógrafo Jorge Barquero (Varela 2007) el paisaje del cerro Chirripó (3820 msnm) está ligado a formaciones de hielo y lagos surgidos durante la última glaciación. La temperatura en el cerro puede llegar a descender a menos de cero grados Celsius. Si la formación de escarcha es común en estas zonas, la evidencia cercana de la historia humana debe registrarla. Los primeros habitantes del macizo, fueron algunos pueblos indígenas que presionados por la esclavitud durante la conquista, se aislaron en las altas montañas.



Fotografía cedida a Irina Katchan (IMN). 2002



Fotografía cedida a Gabriela Chinchilla (IMN). 2007



Abelardo Fonseca (Periodico Al Día). 2007



Fotografía cedida a Gabriela Chinchilla (IMN). 2007



Francisco Guevara (La Nación). 2008



Según Amador et al (2003) citando a Wagner y Schenzer (1856) los aborígenes de Talamanca, tienen una palabra en su vocabulario para describir el hielo y la nieve. Arguedas (2003), cita que la documentación del siglo XIX , habla sobre la “caída de nieve” en las partes más altas de la Cordillera de Talamanca.

En la cordillera Volcánica Central, en el Volcán Irazú (3432 msnm), los reportes históricos también mencionan sobre coberturas blancas en los meses de final y principio de año. En el Barva (2906 msnm) recientemente se presentó un fenómeno de solidificación de agua. De acuerdo con Rodolfo Tenorio científico del parque Braulio Carrillo, citado por Vargas (2008), con la altura del volcán –de más de 2.900 metros–, cuando hay frentes fríos y bajas temperaturas, el agua se transforma en hielo”.

Recientemente se han registrado fenómenos de solidificación de agua de lluvia y precipitación sólida en los mismos puntos donde los registros históricos mencionan la frecuencia de estos fenómenos. Los reportes meteorológicos que los explican se detallan en el cuadro 26.

Cuadro 26. Reportes sobre precipitaciones sólidas recientes en Costa Rica

Fecha	Fenómeno	Reporte meteorológico del IMN	Fuente
24/01/02	Precipitación sólida en forma de nieve granulada	En el Cerro de La Muerte entre la 1:00 y 1:50 p.m., se observó la caída de precipitación sólida en forma de nieve, debido a la influencia de una baja fría en la atmósfera alta que se proyectó hasta los niveles inferiores, originando un leve descenso en las temperaturas. Además el viento Alisio de moderada intensidad y la orografía, ayudaron con la formación de nubosidad dispersa sobre las cordilleras y transportada hacia el Cerro de La Muerte. La corta distancia entre la superficie y la base de la nube, permitió la precipitación en forma de nieve granulada. Este fenómeno puede ser observado entre diciembre y febrero en las partes altas de Costa Rica.	IMN (2002)
27/07/07	Precipitación sólida en forma de cristales de hielo	Sobre la carretera Interamericana Sur, en el sector del cerro de La Muerte a las 10 am precipitaron pequeños cristales de hielo. Aunque no es frecuente, el fenómeno ya se ha presentado en ese sector, principalmente entre los meses de diciembre y febrero. Los cristales de hielo tienen una forma y consistencia diferente a la nieve. Este fenómeno se originó por el descenso en la temperatura interior de una nube a menos de 0 grados, que también presentó un crecimiento vertical considerable sobre el sector específico del cerro de la Muerte.	Castillo 2007, Arias 2007
06/04/08	Precipitación sólida en forma de granizada	En las partes altas de Heredia se produjo una tormenta generada por un cumulonimbo, que originó una fuerte granizada. En aquellas zonas donde la temperatura descendió, el hielo en el suelo pudo conservarse por algún tiempo, dando un panorama denso y blanco, muy semejante a las nevadas verdaderas. El hielo se formó por el contraste de temperaturas. Por la mañana hubo temperaturas altas e ingresó humedad desde el Pacífico, mientras que por la tarde la temperatura bajó a 10° Celsius. La condensación de esta agua, favoreció la formación de nubes cumulonimbos (pueden alcanzar hasta 15 kilómetros de altura). A ese punto, el agua de las nubes se congela formando el hielo que luego baja en forma de granizo. Este fenómeno es muy extraño en estos meses del año.	Vargas (2008)

4.6. Tornados

Son violentos remolinos de viento sobre la tierra frecuentemente acompañados de fuertes lluvias, granizos y tormentas eléctricas. Poseen forma de embudo la cual se desprende de la base de una nube de tormenta o cumulonimbus extendiéndose hasta alcanzar el suelo. Gira formando una columna adherida a la base de la nube, a una velocidad de hasta 500 km/h. La presión atmosférica es baja en el centro del embudo, provocando una brusca diferencia de presión entre el interior y el exterior del tornado. Su diámetro y el recorrido varían desde pocas decenas de metros hasta cientos de kilómetros. En algunos casos los tornados no se presentan aislados, sino que se producen en series e inclusive la misma nube de tormenta puede generar varios de ellos.

En Costa Rica son poco frecuentes (tres eventos en promedio por año, según Barrantes y González , 2008) y de pequeñas dimensiones e intensidades, si se comparan con los tornados que se desarrollan en latitudes medias. Sin embargo, su impacto local en la infraestructura de viviendas, es considerable. En nuestro país duran unos pocos minutos (15 aproximadamente), son estacionarios y se desplazan en trayectorias erráticas, pero restringida al área de nubosidad. El diámetro se mide con base a la zona afectada (30 metros como promedio).

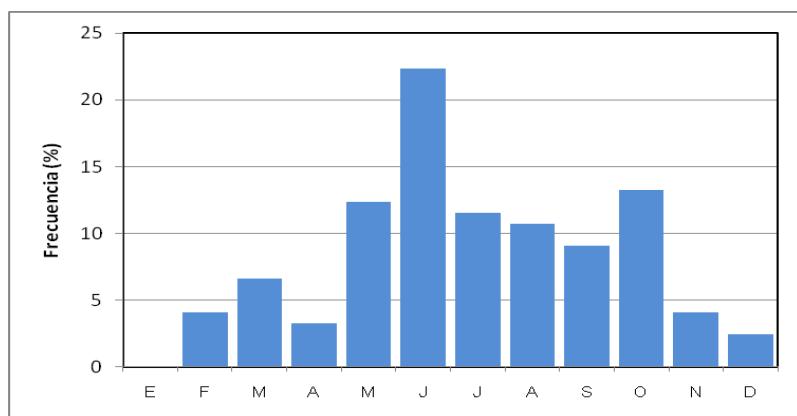
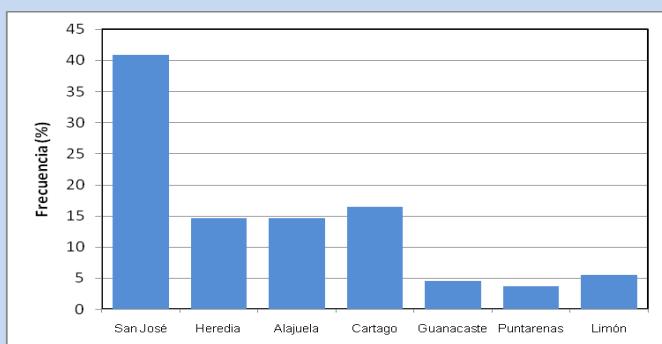


Figura 49. Frecuencia mensual de tornados en Costa Rica.
1954-2007.

41%. Han sido afectadas mayoritariamente el Centro (20% de incidencia), Escazú (16%), Sabana (12%) Santa Ana (10%), Alajuelita (10%). Otros lugares son Desamparados y Aserrí (6%), Ciudad Colón (4%), Pavas y hacia el Noreste (2%).

Según las estadísticas recopiladas por Ortiz (2007) para el CRRH, los tornados se pueden presentar durante todos los meses excepto en enero (Fig. 49). La mayor frecuencia se presenta en junio y octubre que corresponden con dos de los meses más lluviosos en el pacífico y centro del país.

Espacialmente como se observa en la figura 50, los tornados se pueden desarrollar en cualquier parte del país, aunque el 87% de los casos se concentra en la Región Central. La provincia que reporta mayor número de casos es San José con



Provincias	Casos	%
San José	45	41
Cartago	18	16
Alajuela	16	15
Heredia	16	15
Guanacaste	5	5
Limón	6	5
Puntarenas	4	3

Figura 50. Frecuencia de tornados por provincia. 1954-2007.



En la provincia de Cartago, los lugares donde se desarrollan más tornados son el Centro (52% de incidencia), en Tres Ríos, Oreamuno y Ochomogo (10%), Tejar, Paraíso, Los Diques y Juan Viñas (5%).

En la provincia de Alajuela, los lugares más frecuentemente afectados son el Centro y San Carlos (representan un 14%), en Sarchí, Orotina y Grecia (un 10% en cada lugar). También se han presentando en Turrúcares, Sabanilla, Poás, Naranjo, Atenas, Arenal y Pocosol. En Heredia se han visto afectado San Rafael (21%), San Antonio y el Centro (11% en cada lugar), Belén, San Antonio, San Francisco, Santa Cecilia, Mercedes Sur, Santa Bárbara, Barva, Los Lagos, Pirro, San Pablo, Santo Domingo, San Rafael, Sarapiquí (cerca del 5% cada uno).

De acuerdo con la figura 51 en horas de la mañana es muy raro que se presente este tipo de fenómenos. Su mayor frecuencia es entre las 14 y 15 horas, sin embargo, el rango crítico es a partir de las 12 medio día y hasta las cinco de la tarde, que es el período de formación de tormentas. Esta situación esta vinculada con el calentamiento diurno de la superficie terrestre y la gran cantidad de humedad en la atmósfera.

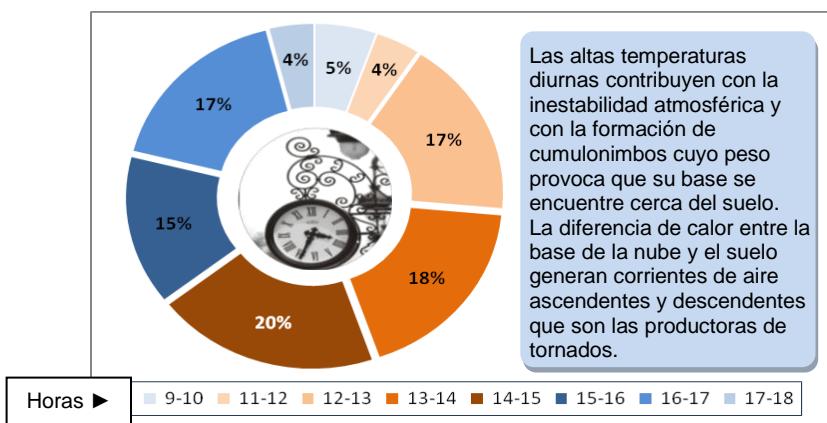


Figura 51. Frecuencia horaria de tornados. 1954-2007.

Los tornados en el país, se han presentado preferentemente en los valles, con un promedio anual de tres casos. Según Barrantes y González (2008), la concentración de estos eventos en la Depresión Tectónica Central se debe a la línea de choque entre los vientos Alisios y los Sinópticos, lo cual crea una gran inestabilidad atmosférica principalmente durante la época lluviosa del Pacífico. Los mismos autores, indican que la línea de choque de vientos puede desplazarse latitudinalmente durante fenómenos de variabilidad climática como ENOS.

Otro aspecto a considerar en cuanto a la concentración de tornados en el centro del país, es que por ser fenómenos de rápido desarrollo y fuerte impacto, los tornados son registrados cuando afectan la sociedad civil, por esta razón el registro noticioso se referencia a los centros de población principalmente.

Los daños en su mayoría se producen en áreas pequeñas, caseríos, o barrios, donde el elemento de impacto son los fuertes vientos que pueden afectar las estructuras de las viviendas (ventanas, techos, puertas y paredes), el servicio eléctrico (interrupción por caída de tendido eléctrico y alumbrado público) y las vías de comunicación (por árboles caídos principalmente). Barrantes y González (2008), indican que para el período 1961-2006, fueron atendidas un total de 104 personas a causa de tornados. La mayor concentración de atención se presenta durante el mes de junio. En ese mismo período, se reportaron 10 fallecimientos.

5. SEÑALES de CAMBIO en el CLIMA de COSTA RICA

5.1. Magnitud de los cambios observados

La mayor parte de las proyecciones del clima futuro basadas en diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), simplifican sus resultados y los expresan como el cambio de magnitud de promedios de lluvia o temperatura anual. Tal y como lo menciona Peterson (2005) durante décadas los análisis de cambio climático a largo plazo se han centrado en los cambios de los valores medios.

Sin embargo, las variaciones estadísticas de los promedios están lejos de explicar los verdaderos impactos del cambio en el clima en el corto y mediano plazo. Es necesario dimensionar la respuesta al por qué de los cambios en los valores de tendencia central. Una variación en los promedios de lluvia o temperatura basada en 30 años de evolución climática, es suficiente tiempo como para provocar una adaptación autónoma de los sistemas. De hecho, la mayor parte de nuestros sistemas actuales se adaptaron y continúan adaptándose a las oscilaciones de mediano y largo plazo de la variabilidad climática. Esta ha sido la respuesta histórica ante variaciones naturales del clima, en escalas de miles de años: los sistemas se transforman para adaptarse, los más fuertes aprovechan el cambio y los más vulnerables tienden a desaparecer. El clima es un factor de evolución de especies.

Sin embargo, el cambio climático antropogénico al que acudimos actualmente, es abrupto, de mediano plazo si se compara con los cambios naturales del clima y se sucede en un mundo social y económico complejo que puede potenciar los efectos globales del cambio. De acuerdo con el IPCC (2007) las variaciones futuras en el comportamiento promedio de temperatura y precipitación están ligadas principalmente a las variaciones de la magnitud y frecuencia de los eventos extremos. Si esta suposición es cierta, nuestro período de adaptación es mucho menor, puesto que los extremos climáticos son los fenómenos de mayor impacto en los actuales sistemas socio productivos. Son de rápida evolución y corta duración, intensos y con períodos de recurrencia inciertos. Los impactos de este tipo de eventos, son de grandes dimensiones, erosionan el entorno y crean verdaderas transformaciones. El efecto de un evento extremo no solo afecta la parte física del sistema impactado directamente (pérdidas económicas y sociales producto de un huracán, por ejemplo), sino que afecta indirectamente otros sistemas cercanos. Un evento extremo crea un eco regional o mundial, por medio de los eslabones de la globalización económica y cultural, creando depredación de recursos (agua, material combustible, alimentos, medicamentos), sensibilidad en los mercados (seguridad alimentaria, seguridad habitacional y seguridad energética) y un aumento de la vulnerabilidad acumulada por estancamiento en los índices de desarrollo generada por crisis económicas y sociales regionales o mundiales (la crisis actual del petróleo, por ejemplo).

Bajo esta dimensión del cambio, es urgente detectar la coherencia entre las posibles señales del cambio observadas en las últimas décadas con las proyecciones futuras del clima. Si la señal existe, la adaptación debiera de pasar a ser una estrategia de estado con el fin de disminuir riesgos climáticos futuros, disminuir la vulnerabilidad de los sistemas y fortalecer la estrategia para el desarrollo de las comunidades.

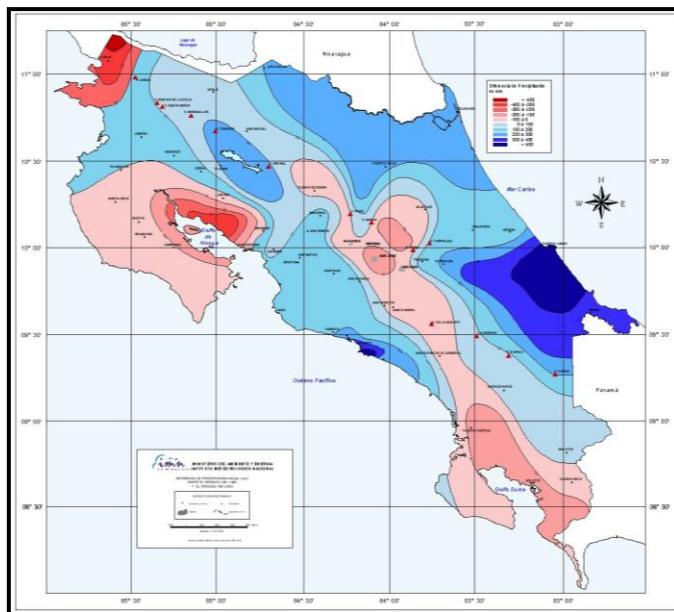
5.2. Cambios observados comparando LB y el período 1991-2005

En el cuadro 27 y la figura 52 se resumen las variaciones observadas entre la LB y el período 1991-2005. Además de las estaciones usadas para LB, se analizaron otras estaciones de menor período pero con registros confiables y actualizados al 2005, con el fin de robustecer los resultados y tener una mejor cobertura por región para trasladar los resultados a un mapa.



Cuadro 27. Variación del período 1991-2005 con respecto a la Línea Base. Costa Rica

Zona	Precipitación anual			Temperaturas							
	Períodos		Diferencia	Tipo	Período		Diferencia				
	1961-1990	1991-2005	%		1961-1990	1991-2005	°C				
PACIFICO NORTE											
Zona alta	2255	2537	12	Máxima	33.1	32.9	-0.1				
Alto Tempisque	1628	1729	6	Mínima	22.2	22.6	0.4				
Bajo Tempisque	1908	1735	-9								
Santa Elena	1649	1377	-16								
Península sur	2829	2774	-2								
PACIFICO CENTRAL											
Valle Parrita	3558	3816	7	Máxima	30.8	31.0	0.2				
				Mínima	22.6	22.8	0.2				
PACIFICO SUR											
Valle El General	3850	3609	-6	Máxima	31.8	31.9	0.1				
Cuenca Térraba	3623	3513	-3								
Fila Brunqueña	2598	2573	-9								
Valle Coto Brus	4159	4081	-2	Mínima	22.5	22.7	0.2				
Península	4982	4423	-11								
REGION CENTRAL OCCIDENTAL											
Zona baja	2095	2010	-4	Máxima	26.4	26.7	0.3				
Zona media	2149	1972	-8	Mínima	16.9	17.9	1.0				
Zona alta	2732	2783	2								
REGION CENTRAL ORIENTAL											
Valle Guarco	1828	1972	8	Máxima	22.9	22.3	-0.6				
Este del Valle	2445	2685	9	Mínima	13.0	13.8	0.8				
Zona alta	2632	2537	-4								
ZONA NORTE											
Ciudad Quesada	3919	3581	-9	Máxima	30.6	31.1	0.5				
Altura	1695	2064	22								
Norte	2481	2409	3								
Llanura	2817	3208	14	Mínima	21.7	21.8	0.1				
REGION CARIBE											
Central	3649	3986	9								
Norte	3947	4327	9								
Sur	2800	3355	20								



La mayor parte de las diferencias se encuentran dentro del rango normal de variación. Sin embargo, existen algunos puntos en el Pacífico Norte, el Pacífico Central y el Caribe Sur, que sobrepasan la desviación estándar (Fig 52). Se observan patrones consistentes en el Valle de Parrita, la Península de Santa Elena y la parte baja de la cuenca del Tempisque, donde los datos de Línea Base presentan una buena cobertura. En el Caribe Sur, la información de LB en el período 61-90 es deficitaria a pesar de mostrar cambios significativos en el historial existente. De acuerdo con el cuadro 27, se observa un patrón de aumento de temperaturas, principalmente la temperatura nocturna o mínima. Esta tendencia de la temperatura nocturna ya ha sido reportada por Amador *et al* (2003), Aguilar *et al* (2005).

Figura 52. Anomalía de precipitación anual al comparar el período 1961-1990 contra 1991-2005

En las siguientes figuras se presenta la distribución mensual y un histograma de frecuencia de lluvias anuales para las zonas donde las variaciones en los últimos 15 años han sido significativas.

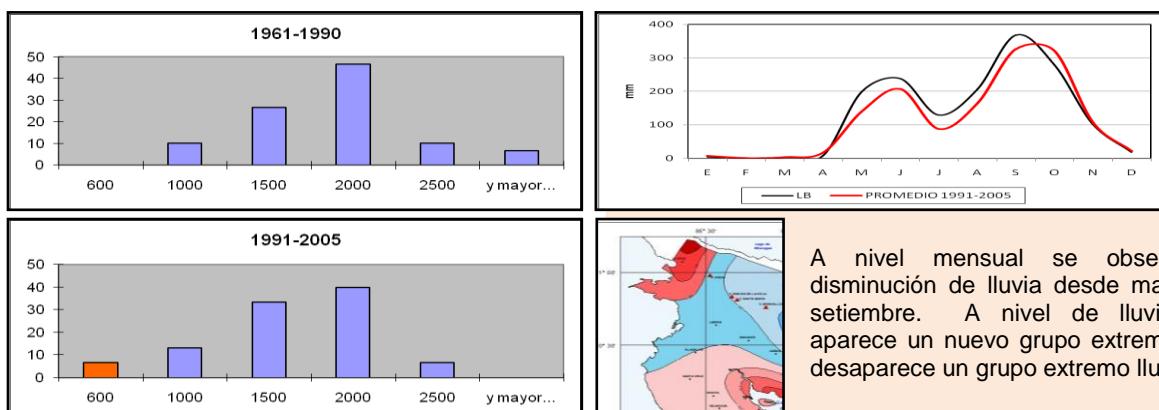


Figura 53. Histograma de frecuencia (%) y variaciones en la lluvia mensual entre la Línea Base y el período 1991-2005. Península de Santa Elena y Zona Baja del Tempisque. Pacífico Norte.

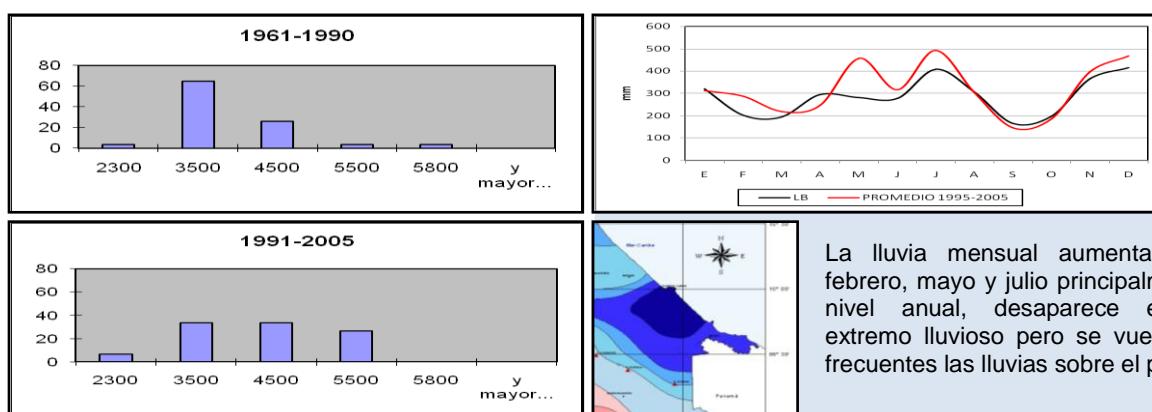


Figura 54. Histograma de frecuencia (%) y variaciones en la lluvia mensual entre la Línea Base y el período 1991-2005. Caribe central y Caribe sur.

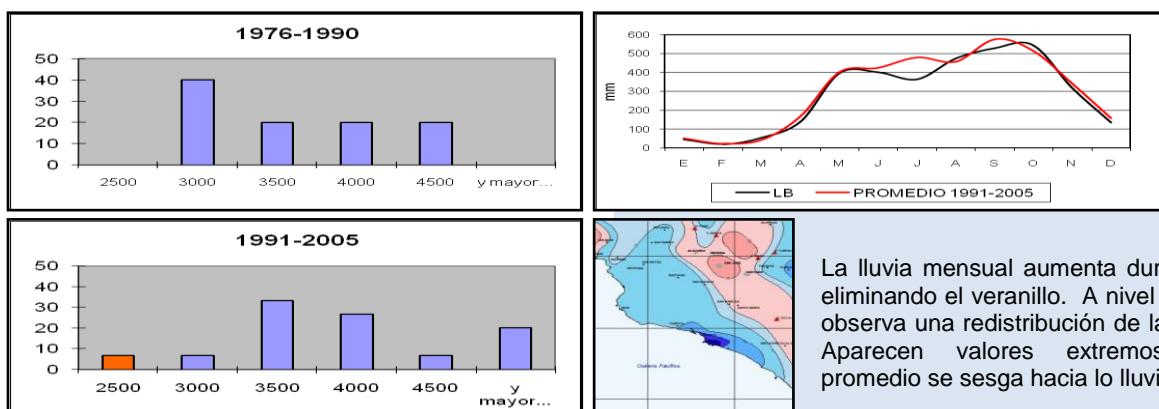


Figura 55. Histograma de frecuencia (%) y variaciones en la lluvia mensual entre la Línea Base y el período 1991-2005. Valle de Parrita. Pacífico Central.



5.3. Cambios observados en los eventos extremos

Zwiers *et al* (2003) y Paterson (2005) han fomentado el uso de índices de cambio climático a partir de los registros meteorológicos diarios, con el fin de definir algunas tendencias de los eventos extremos y relacionarlas con cambios en el clima. Aguilar *et al* (2007), recogen gran parte de esta información para Centroamérica y concluyen que las precipitaciones y temperaturas máximas extremas diarias han venido aumentando. Esto indica un aumento de la temperatura ambiental y de la intensidad de los aguaceros.

A nivel anual, los eventos extremos secos y lluviosos muestran una tendencia de aumento, tal y como se presenta en la figura 56.

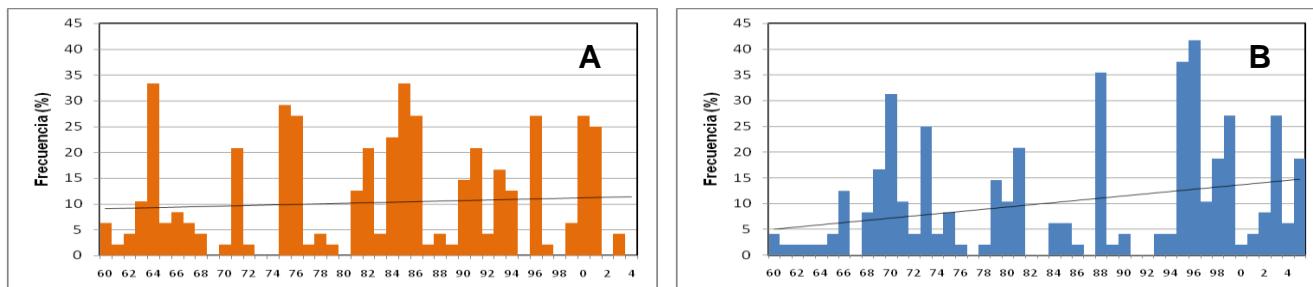


Figura 56. Frecuencia de eventos extremos secos (A) y extremos lluviosos (B) en Costa Rica.

Como se mencionó, los valores anuales extremos se corresponden con fenómenos de variabilidad a escala menor. Según los análisis de Alvarado *et al* (2007) en el cuadro 28 se presenta la variación de cuatro fenómenos de variabilidad de diferente escala, en los últimos 16 años comparados con LB.

Cuadro 28. Frecuencia de fenómenos de variabilidad climática para dos períodos de tiempo.

Fenómeno	Período 1961-1990				Período 1991-2007			
	Casos	Años*	Duración	Magnitud**	Casos	Años*	Duración	Magnitud**
El Niño	8	19	15.6 mes	1.6	7	13	13.1 mes	1.5
La Niña	8	20	19.6 mes	-1.5	4	9	13.7 mes	-1.3
Huracanes	34	17	11 días	3.2	17	10	10 días	3.0
Tornados	57	-	-	-	48	-	-	-

*Se refiere al número de años que han sido afectados por el evento

** La magnitud del ENOS se refiere a la Temperatura Superficial del Mar en Niño 3.4 y la magnitud de Huracanes es de acuerdo con la escala Safford-Simpson (Alvarado *et al*, 2007)

A escala planetaria, el número de eventos El Niño ha aumentado en los últimos 16 años, sin embargo su duración se ha reducido y su magnitud se mantiene. Si la frecuencia de estos eventos continúa a este ritmo, para el año 2021 se habrá duplicado su número con relación a la LB. La frecuencia y magnitud de La Niña se mantiene constante (8 eventos en 30 años), pero se ha reducido su duración en casi 6 meses.

A escala regional, el número de huracanes del Atlántico que han afectado Costa Rica, ha disminuido ligeramente al igual que su magnitud. El tiempo de evolución se redujo se redujo en un día. Por lo tanto, estos fenómenos se han vuelto menos frecuentes e intensos, tal y como lo concluye Alvarado y Alfaro (2003) quienes demuestran que la década más activa fueron las de los 40, 50 y 60. Según Bengtsson (2007), algunos autores no identifican una señal clara de aumento de estos fenómenos a nivel mundial.

La relación entre las fases de ENOS y el número de huracanes, indica que durante La Niña existe una mayor posibilidad de formación de huracanes en el Atlántico, que durante El Niño. En los últimos años, se ha observado un leve aumento en el número de ciclones tropicales que han afectado Costa Rica durante La Niña tal y como se presenta en el cuadro 29.

Cuadro 29. Relación entre años ENOS y presencia de huracanes que afectan Costa Rica

Fase ENOS	Huracanes por período	
	1961-1990	1991-2007
El Niño	12	5
La Niña	19	11

En los últimos 15 años, durante episodios La Niña, se han presentado más del doble de huracanes que durante El Niño

Esto concuerda con lo propuesto por Alvarado y Zárate (2005), quienes opinan que los resultados de los modelos futuros de clima que prevén aumentos de lluvia en el pacífico centroamericano, puede estar sustentado en un mayor número de episodios La Niña y una mayor frecuencia de paso de ondas tropicales y perturbaciones ciclónicas. Por otra parte, los frentes fríos, eventos de escala regional que pueden afectar a Costa Rica, han venido en disminución tal y como se presenta en la figura 57. Zárate (2005) comprueba esta tendencia.

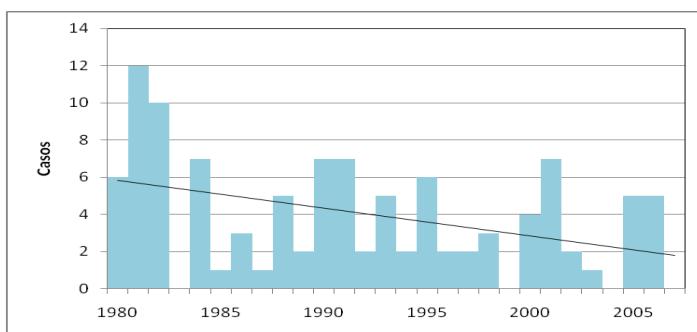


Figura 57. Frecuencia de frentes fríos que han impactado a Costa Rica.

A escala local, de acuerdo con la información recopilada por Ortíz, L. (2007) para el CRRH, los tornados han aumentado su frecuencia en forma significativa (figura 58). Si se mantiene el ritmo mostrado en los últimos 16 años, para el año 2021 se presentarían 33 tornados más de los que se presentaron durante 1961-1990. Por ejemplo, la provincia de Cartago ha duplicado el número de tornados en los últimos 16 años.

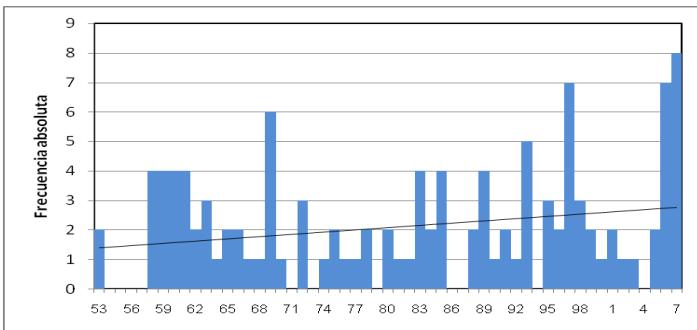


Figura 58. Frecuencia de tornados en Costa Rica.

Este aumento de fenómenos de variabilidad que pueden causar eventos extremos en nuestro país, coincide con lo que reporta el IPCC (2007) como un eventual escenario de cambio climático.

A pesar de que estos registros históricos tienen una corta extensión y pueden estar influenciados por oscilaciones naturales y decaduales del clima, las evidencias próximas son otro tipo de señales que indican que algunos sistemas no se están adaptando, o bien, se están transformando ante estas variaciones del clima (naturales o no). En el cuadro 30 se resumen algunas observaciones de evidencias próximas en Costa Rica.



Cuadro 30. Evidencias próximas del Cambio Climático en Costa Rica

SISTEMA	ZONA	OBSERVACION	Relación con Cambio Climático	FUENTE
Costero	Damas, Pacífico Central	Variaciones geomorfológicas de la espiga de Damas provocada por la penetración del mar hacia el estero en 1997 y separando la punta de tierra continental. Observación desde 1997.	Aumento en el nivel del mar, efecto del fenómeno El Niño 1997-1998 y marea alta.	Lizano y Salas 2001.
Costero	Puntarenas, Pacífico Norte	Inundación de aguas de mar en el centro de Puntarenas luego de una inusitada marea alta. Observación en el 2007.	Efecto de El Niño, inicio de Luna nueva y el equinoccio de primavera.	Rivera, 2007
Forestal	La Selva, Sarapiquí, Zona Norte	El aumento de la temperatura dificulta el proceso de fotosíntesis y disminuye el grosor de áboles. Mediciones desde 1980.	Aumento de temperatura media y temperatura nocturna.	Clark y Clark 2007, citado por Ponchner 2007a
Forestal	Todo el país	Orquídeas silvestres amenazadas por pérdida de su hábitat, cambios en floración y polinización. Observaciones recientes.	Aumentos de temperatura alteran el hábitat de algunas especies y desequilibran poblaciones de agentes polinizadores	Vargas, 2007a.
Biodiversidad	La Selva, Sarapiquí, Zona Norte	33 especies de aves han disminuido la población un 50%, murciélagos en un 30% . Observaciones desde 1970.	Aumento de la temperatura asociado con sequías y uso de plaguicidas	Siegel 2007, Sánchez 2007, citados por Ponchner 2007
Biodiversidad	La Selva, Sarapiquí, Zona Norte	El 75% de los anfibios en esta estación biológica, han desaparecido en los últimos 35 años.	Sequías asociadas con altas temperaturas hacen variar la hojarasca, sitio de reproducción de muchas especies de anfibios.	Whitfield 2007, citado por Ponchner 2007b
Biodiversidad	Monteverde, Puntarenas, Pacífico Norte	El hongo Batrachochytrium dendrobatidis, es el agente causante de la muerte y desaparición del sapo dorado y la rana arlequín. Dos tercios de la población de ranas desparecieron entre 1980-1990	El cambio climático provoca ambientes más húmedos y noches más calurosos, lo cual es detonante del hongo.	Ponds 2006, citado por Vargas 2006, Margolis 2006.
Biodiversidad	Parque Marino las Baulas, Pacífico Norte y Central	Alteraciones en el desove de tortugas marinas (Loras, Baulas y Carey). En 1990 se esperaban entre 246 a 1000 Baulas. En el 2005-2006 solo anidaron 58. Se encontraron nidos de tortugas Carey en Pacífico Central, algo inusual. En 20 años aumentó 20 veces el número de tortugas Lora que arriban a desovar a Ostional.	Altas temperaturas del mar y efectos de El Niño afectan el metabolismo y su capacidad de desplazamiento. La salinidad y la temperatura puede afectar las rutas de migración de las tortugas marinas.	López, 2007a, López 2007b, Acuña 2005, Vargas 2006, Arrieta 2005.
Biodiversidad	Manglares, todo el país.	La amazilia es un ave endémica de Costa Rica que habita en manglares. Es una de las 1226 especies en estado crítico de extinción. Declarada en peligro de extinción en el 2007.	Las altas temperaturas y las sequías alteran los espejos de agua y hacen desaparecer esta ave.	Vargas 2007b.
Biodiversidad	Parque Nacional Corcovado, Pacífico Sur	De 220 000 primates en 1995, hoy solo quedan 107 000. En el 2006 murieron 1000 ejemplares de las 4 especies en Costa Rica, durante un temporal que azotó la Península de Osa.	Aumento de eventos extremos, más intensos y destructivos. Los monos murieron por stress climático.	Gudiño 2007, Coto, 2006.
Biodiversidad	Humedal Caño Negro, Zona Norte y Sierpe, Pacífico Central	Se observó una inversión en la proporción de sexos de caimanes que puede estar ligada al incremento de las temperaturas ambientales. Registro desde 1984-2005 en Caño Negro, revelan un aumento de la población de machos a partir de años cálidos asociados con El Niño. Se observó un aumento en la temperatura de los nidos en el 2005.	Aumento de la temperatura ambiental asociada con elevación de temperatura en nidos y nacimiento de machos de caimán. Sequías y El Niño inciden en desproporción del sexo.	Escobedo, 2005, Escobedo 2005.
Clima	Pacífico de Costa Rica	La tormenta tropical Alma es la primera tormenta tropical del Pacífico que se origina a menos de 50km de las costas de Guanacaste.	Aumento de eventos extremos. Nunca antes se había presentado un caso como Alma	IMN. 2007. Reportes técnicos.
Clima	Monteverde, Puntarenas, Pacífico Norte	El bosque nuboso pierde humedad. La base de las nubes asciende por el calentamiento poniendo en riesgo de extinción muchas especies.	Las altas temperaturas hacen que las nubes se alejen del piso habitual del bosque	Mora, 2001

6. PROYECCIONES FUTURAS del CLIMA en COSTA RICA

El clima está cambiando. No hace mucho tiempo, estos cambios eran atribuidos solo a causas naturales o externas, tales como variaciones en el comportamiento del Sol, parámetros orbitales terrestres (excentricidad, presión, y nutación del eje de rotación), actividad volcánica o las corrientes oceánicas. Sin embargo, en la actualidad se sabe que la influencia humana o antropogénica, en especial aquellas relacionadas con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y uso de la energía y de la Tierra, producen un forzamiento¹ radiativo adicional en el sistema climático terrestre que están cambiando el clima, en particular aumenta la temperatura mundial y distorsiona el ciclo hidrológico.

Una abrumadora cantidad de pruebas científicas relaciona las variaciones de la temperatura con las variaciones en las concentraciones atmosféricas de CO₂ y otros GEI (metano, óxido nitroso, ozono). El efecto de estos gases en la atmósfera es retener parte de la radiación solar saliente, lo que aumenta la temperatura de la Tierra. Este “efecto invernadero” natural es lo que mantiene nuestro planeta habitable, sin él, la Tierra sería 30°C más fría. No obstante, el hombre ha perturbado este balance al introducir más GEI que los que pueden absorber los sumideros del sistema climático. Así, durante los últimos 100 años, la superficie de la Tierra se ha calentado en un promedio de 0,74 °C, y el ritmo de calentamiento se ha acelerado desde la década de los 1970's. De hecho, los 11 años más cálidos registrados a escala global han tenido lugar entre 1995 y el 2006. En este sentido el Panel Intergubernamental de Cambio Climático² reconoce por primera vez que “el calentamiento del sistema climático es inequívoco y que es muy probable que las actividades humanas sean las responsables del acelerado calentamiento de los últimos 100 años”. Para re establecer el balance energético, el sistema climático responde por medio de ajustes en sus componentes, tales como el aumento de la temperatura de la superficie terrestre, aumento en el nivel medio del mar, reducción de la círosfera, variaciones en los regímenes de lluvia, aumento de la variabilidad natural del clima, etc. En el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), estos ajustes en los parámetros climáticos ocasionados directa o indirectamente por el forzamiento humano son denominados como “cambio climático”, que se diferencia del término “calentamiento global”, que es un concepto más generalizado que no hace alusión a las causas de los cambios.

En la actualidad, los responsables de planificar y establecer estrategias y políticas para la lucha contra los efectos y las causas del cambio climático necesitan disponer de herramientas de evaluación y proyecciones climáticas lo más PRECISAS posibles. Además, los antecedentes basados en observaciones reales de los cambios del clima así como las advertencias del IPCC evidencian la necesidad de que los países dispongan de estudios de la variabilidad climática registrada y proyecciones futuras del clima. Una forma de exponer el conjunto de la información actual disponible sobre la posible evolución del clima, para poder aplicarla a las evaluaciones de impacto del cambio climático, son los llamados “**escenarios de cambio climático**”. Un escenario de cambio climático (ECC) es una descripción espacial y temporal, consistente con la física atmosférica, de rangos plausibles de las condiciones climáticas futuras, basada en un cierto número de suposiciones y en la actual comprensión científica de nuestro sistema climático. Es importante enfatizar que los escenarios de cambio climático no están diseñados como una predicción o pronóstico del clima futuro y de sus posibles impactos, sino que básicamente se utilizan como una herramienta para evaluar la sensibilidad de sistemas o sectores ante condiciones climáticas nuevas (Benioff et al, 1996). Así, con ellos se puede investigar el signo de ciertos cambios, por ejemplo, posibilidad de un mayor o menor caudal en cuencas y ríos, o el impacto potencial de ese cambio (inundaciones, escasez de agua en una región). El lapso que se emplea para estos

¹ Los forzamientos son factores que alteran el balance total de energía del sistema climático (conformado por la atmósfera, la biosfera, la geosfera, la hidrosfera y la círosfera).

² El Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido en inglés con las siglas IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), fue creado en el año 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM o WMO, World Meteorological Organization) y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP, United Nations Environment Programme). La función, encomendada al IPCC, es la de estudiar y evaluar el cambio climático, causas, efectos y proponer las formas de reducirlos con la mitigación, reducción de emisiones, y la adaptación a estos riesgos. Realiza estas funciones mediante informes basados en publicaciones de revistas técnicas y científicas contrastadas. En el año 2007 fue galardonado con el Premio Nobel de la Paz, compartido con el vicepresidente Al Gore.



escenarios en general es de 25 a 100 años a partir del presente. Este tiempo de referencia futuro (u horizonte de tiempo) depende de los sectores o sistemas analizados. Existe una gran variedad de métodos para crear los ECC (Carter *et al.*, 1993; IPCC, 2001; Benioff *et al.*, 1996), los cuales se pueden agrupar en: escenarios sintéticos (también conocidos como incrementales), análogos, y aquellos que pueden construirse a partir de las salidas de los “**modelos climáticos globales**” o “**modelos de circulación general**” (MCG). Entre esos grupos, la variante más utilizada hasta el momento ha sido la de los MCG, debido a que ellos constituyen las mejores herramientas científicas para proyectar el clima futuro (Benioff *et al.*, 1996). Los MCG son modelos matemáticos que simulan e incorporan en sus ecuaciones la dinámica de los procesos físicos y de las interacciones fundamentales entre los componentes más importantes del sistema climático. Esta clase de modelos, con proyecciones de décadas y hasta un siglo, requieren como datos de entrada los escenarios de emisiones de los GEI y aerosoles, los cuales están relacionadas con factores socioeconómicos tales como el aumento de la población, el crecimiento económico, el costo y la disponibilidad de fuentes de energía, las pautas de producción y consumo, y cambios de prácticas en el uso de la tierra, entre otros. Por lo tanto, los MCG proyectan la respuesta de muchas variables climáticas en función de un conjunto de escenarios de emisiones de GEI.

Debido a las incertidumbres en los grados de emisiones y de sus efectos en el clima, los resultados de los MCG y ECC son expresados por medio de rangos de variaciones posibles (esto es, estimando entre qué valores mínimo y máximo se ubicarán las variables climáticas), y niveles de confianza que proporcionan una medida del intervalo de incertidumbre en el procedimiento de evaluación de un determinado cambio climático. Por lo tanto, aun cuando los MCG y ECC sean herramientas bastante confiables para simular el comportamiento del sistema climático global, sus proyecciones no deben considerarse como predicciones en el mismo sentido que las de los modelos utilizados en la predicción del tiempo. Esta es una de las razones por la que no resulta adecuado que sus resultados sean vistos como pronósticos del clima futuro.

Para proporcionar proyecciones más consistentes sobre las emisiones de los GEI, en el año 2000 el IPCC desarrolló el Informe Especial Sobre Escenarios de Emisiones (SRES por sus siglas en inglés). El resultado fue un conjunto de argumentos lógicos que abarcan las relaciones sociales y físicas que conducen a las emisiones de GEI (IPCC, 2000). Para describir de manera coherente estas relaciones entre las fuerzas determinantes de las emisiones y su evolución, y para añadir un contexto a la cuantificación de los escenarios, se diseñaron cuatro líneas evolutivas diferentes (denominadas familias) **A1, A2, B1 y B2**, compuestos de 6 grupos de escenarios (A1F1, A1T, A1B, A2, B1 y B2), cada uno de ellos lleva implícito un cambio (o tendencia) demográfico, social, económico, tecnológico y medioambiental. No hay un único escenario más verosímil, “central” o “más previsible”, ninguno tiene asociado un valor de probabilidad o de verosimilitud, ninguno representa tampoco una estimación de una tendencia central para todas las fuerzas determinantes o emisiones. En términos de emisiones de GEI, el A1F1 y el A2 son considerados escenarios de emisiones altos, el B2 y el A1B escenarios intermedios, y el B1 y A1T como escenarios bajos.

Si bien el cambio climático es un problema global, sus mayores impactos son a escalas regionales y locales, por esa razón los escenarios de cambio climático de los MCG no deben aplicarse sin un previo análisis a estudios de impacto a escala regional o local (IPCC, 2001), su baja resolución espacial les impide considerar los forzantes del clima local (topografía, uso del suelo, etc.) y reproducir de manera aceptable las circulaciones y condiciones climáticas de escalas espaciales y temporales más pequeñas. Los modelos globales más modernos tienen resoluciones de 2 a 5° latitud x longitud, por lo que algunas mallas o pixeles abarcan espacialmente entre 200 y 400 km. Regionalizar o mejorar la resolución horizontal (downscaling en inglés) se puede lograr mediante dos esquemas diferentes: estadísticos y dinámicos (ver capítulo 11, IPCC, 2007).

Para Costa Rica es prioritario e imprescindible disponer de los mejores escenarios regionalizados posibles de cambio climático futuro, con objeto de poder realizar los análisis de riesgos y los impactos que ellos podrían provocar en el país, así como para determinar las posibles medidas de adaptación. En la Primera Comunicación Nacional (IMN, 2000) ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el IMN obtuvo los escenarios climáticos nacionales mediante la

integración de las proyecciones de los MCG y la climatología base (1961-1990) de estaciones meteorológicas; sin embargo, desde el 2006 se están aplicando técnicas estadísticas y dinámicas para aumentar la resolución espacial.

6.1. Método de estudio

En el contexto de este estudio se considera que un escenario de cambio climático es la diferencia entre un escenario climático futuro y el clima actual.

El escenario climático futuro será determinado mediante un método de reducción de escala (downscaling) dinámico, por medio de un modelo climático regional (MCR): PRECIS. PRECIS es un modelo dinámico adaptado para la creación de escenarios climáticos, tiene una alta resolución espacial y temporal, y se puede rodar sobre cualquier parte del planeta. Fue desarrollado por el Centro Hadley de la Oficina de Meteorología del Reino Unido y representa la versión para PC de su más actualizado modelo regional HadRM3P. PRECIS tiene la capacidad de correr en dos resoluciones horizontales distintas: $0.44^\circ \times 0.44^\circ$ latitud/longitud y $0.22^\circ \times 0.22^\circ$ latitud/longitud, equivalente a pixeles de 50km x 50km y 25km x 25km, respectivamente. La resolución vertical es de 19 niveles atmosféricos (desde la superficie hasta 30 km en la estratosfera) y cuatro niveles bajo la superficie terrestre. La resolución temporal varía desde décadas hasta horas. Para esta investigaciones las resoluciones espacial y temporal seleccionadas fueron de 50 km y anual. Además de tener una representación comprensiva de la dinámica y los procesos físicos en la atmósfera y la tierra, también cuenta con una parametrización para el ciclo del carbono. Como lo hacen la mayoría de los MCR, PRECIS debe ser forzado o alimentado con los datos iniciales y condiciones de frontera en los límites laterales del dominio seleccionado. Este proceso se realizó mediante las salidas o resultados del modelo global atmosférico de baja resolución (HadAM3H) y las anomalías de la superficie del mar del modelo acoplado HadCM3. Debido a circunstancias meramente computacionales, el modelo es forzado con las condiciones de frontera de solo dos períodos u horizontes de tiempo, cada uno de 30 años de duración, el primero de 1961-1990, el cual representa la simulación del modelo del clima más reciente; el segundo periodo se extiende del 2071 al 2100, es un periodo del futuro, donde la señal de cambio climático estaría más limpia del ruido de la variabilidad climática natural.

El clima actual o de línea base (LB) es el conjunto de datos con respecto al cual se mide el cambio. En los estudios de cambio climático, se emplean en la mayoría de los casos series de 30 años de datos, por considerar que en ese lapso de tiempo se presentaron todas las variaciones posibles que pueden darse en la región. En el caso particular de este estudio la línea base se construirá con el periodo de 30 años de 1961 a 1990, que es aceptado ampliamente por la OMM y el IPCC. Para tal efecto, se utilizaron 3 bases de datos climáticos, dos de ellas en el formato de puntos de malla: (i) la del proyecto CRN073-IAI realizada por el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México³, que consiste en datos de lluvia y temperatura media distribuidos en una grilla uniforme sobre Mesoamérica (cubre el área marítima y continental), con resolución de 0.5°C latitud/longitud; (ii) puntos de grilla de la salida de control del modelo PRECIS, forzado con las condiciones de frontera del modelo global HadAM3P; la resolución horizontal es de 0.5°C latitud/longitud, las variables incluidas son lluvia anual y temperatura media anual; (iii) la climatología de 81 estaciones meteorológicas del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) distribuidas en todo el país con parámetros mensuales y anuales de la temperatura máxima, la temperatura mínima y lluvia ubicadas en 28 de los 30 pixeles del dominio PRECIS para Costa Rica. De estas 81 estaciones, 50 tienen el periodo de LB (61-90), las restantes tienen períodos menores y fueron utilizadas como puntos de referencia para la validación del modelo. El modelo PRECIS proporcionará los escenarios climáticos futuros del 2010 al 2100, bajo el escenario de emisiones A2⁴, el cual es un escenario que se ajusta a las circunstancias globales actuales, donde las

³ Existen tres versiones de esta climatología, la primera de 1999 (la cual contiene datos tanto en tierra como en el mar); la segunda del 2007 (es una serie de tiempo más larga que la primera, además solo contiene datos de puntos en tierra).

⁴ En este estudio se seleccionó el escenario de emisiones A2 por diversas razones: por la disponibilidad de datos de frontera para forzar al MCR, por acuerdos regionales, por recomendaciones de estudios previos (Echeverría, 2004) y para realizar comparaciones con investigaciones similares. Además, A2 es un escenario que se está ajustando a las circunstancias globales actuales, particularmente de una alta y creciente tasa de emisiones de GEI, debido a que las naciones con mayores emisiones se niegan a firmar los protocolos internacionales de reducción de GEI. De modo que este escenario puede proporcionar una clara idea de todos los posibles impactos del cambio climático, incluso a los que no se desea enfrentar.



grandes naciones con mayores emisiones de GEI no solo no se han comprometido políticamente para reducir las actuales emisiones de GEI, sino que más bien están aumentando los niveles de contaminación.

Se mencionó antes que los resultados de PRECIS fueron calculados para dos períodos, uno del clima actual (1961-1990) y otro del clima futuro (2071-2100). Con estos dos horizontes de tiempo se obtuvo resultados directos del modelo, sin embargo para el presente estudio y otros de impacto y adaptación fue necesario estimar un clima futuro de corto plazo (2011-2040) y otro a mediano plazo (2041-2070). En vista de que no existían datos para ambos períodos, se optó por realizar una extrapolación, la literatura científica ofrece dos métodos de estimación, el primero fue introducido por Santer *et al.* (1990), conocido como el patrón o factor de escala; el segundo sugerido por D.B. Stephenson (citado por Rupa *et al.*, 2006), el cual asume que la distribución de probabilidad de los valores para un parámetro determinado cambia debido a las tendencias antropogénicas en posición (por ejemplo la media) y escala (por ejemplo la desviación estándar). Debido a la simplicidad, rapidez de cálculo y uso más extendido, en esta investigación se adoptó el primer método, una descripción detallada de este procedimiento se puede consultar en Lu & Hulme (2002) y Ruosteenoja, K. *et al.* (2003).

Los resultados son las proyecciones de precipitación anual y temperatura máxima y mínima promedio anual para cada una de las regiones climáticas. El horizonte de tiempo es el 2100. En la figura 59 se presenta el dominio, la malla y la resolución espacial del modelo PRECIS, ajustando los límites de las regiones climáticas a la disposición de la grilla. Cada cuadrado o píxel representa un área de 0.5° de latitud por 0.5° de longitud, equivalente a un área de 3000 km².

La ubicación y tamaño de los píxeles indicados en el mapa de la figura 59 no es arbitraria ya que depende de las limitaciones y configuraciones del modelo, sin embargo representan una gran limitante y debilidad, ya que dichos píxeles no coinciden o se ajustan plenamente con los límites orográficos reales, por lo que los resultados de los análisis o el uso de estaciones que pertenecen a una región y son estudiadas en otra, solo intentan dar una aproximación de la tendencia general de la precipitación y la temperatura para una gran zona.

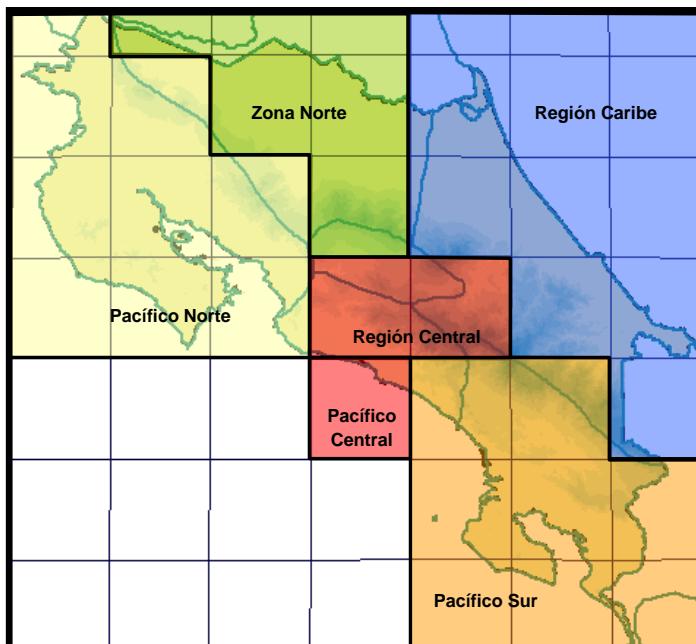


Figura 59. Dominio y resolución espacial del modelo PRECIS para Costa Rica.

6.2. Validación del modelo PRECIS

Una forma de evaluar la confiabilidad de las proyecciones de cambio climático de un modelo climático en particular, es mediante su habilidad de simular o reproducir el clima más reciente. Por eso PRECIS fue rodado para reproducir el clima del periodo 1961-1990 con el fin de comparar estos resultados con los de una climatología formada de observaciones reales del mismo periodo. En el caso particular de esta validación, la misma se realiza solo para la precipitación, por cuanto es el parámetro más complejo de predecir por los modelos. Se comparó la simulación de PRECIS y la de dos climatologías de observaciones reales, una de ellas la correspondiente a los datos de estaciones meteorológicas del IMN y la otra es la climatología de rejilla de la precipitación para Mesoamérica recopilada por el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Autónoma de México (UNAM, versiones de 1999 y 2007), la cual presenta una resolución espacial idéntica a la de PRECIS, además fue creada a partir de datos reales provenientes de distintos medios, Taylor y Enfield (2002) y Magaña *et al.* (1999) comentan sobre la construcción de esta base de datos así como de la validación. En la figura 60 se comparan a nivel anual la climatología del modelo PRECIS y la de CCA-UNAM (1999). Nótese que en general la climatología de PRECIS es menos húmeda que lo real, principalmente en el Pacífico Sur, en donde se registran las mayores diferencias. En ambas hay consistencia de un máximo en la costa del Caribe

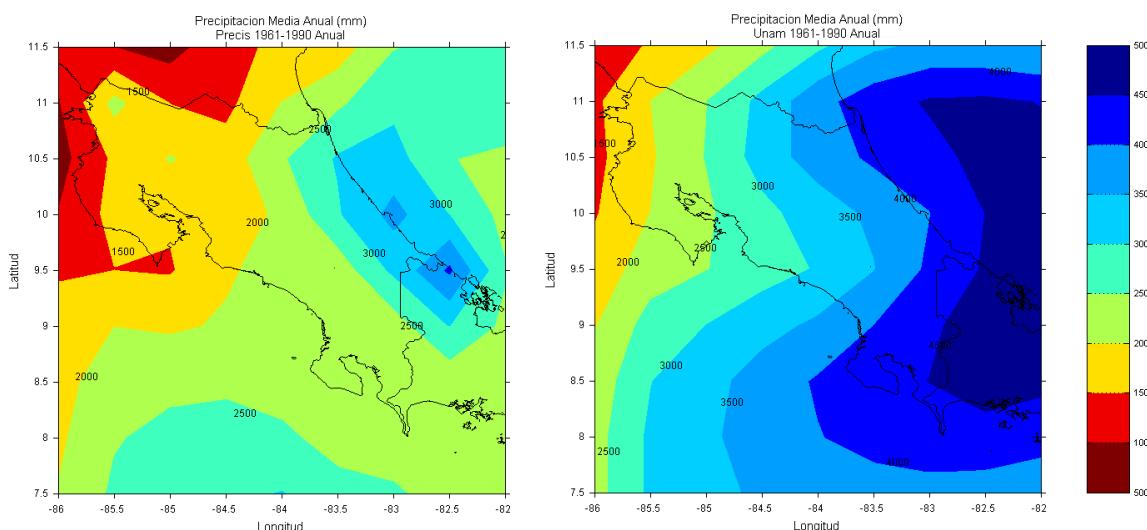


Figura 60. Mapa de la precipitación media anual del periodo 1961-1990. A la izquierda la versión simulada por el modelo PRECIS y a la derecha la climatología obtenida de las observaciones (CAC-UNAM, 1999)

Otra parte de la validación consistió en una comparación más cuantitativa, por eso se contrastó el valor puntual de lluvia anual de la estación (generado de la base de datos del Instituto Meteorológico Nacional) con el correspondiente píxel de la línea base del PRECIS; además, se obtuvieron estadísticos de comparación píxel vs pixel con la climatología de rejilla de CCA-UNAM (1999). Los parámetros estadísticos utilizados para esta verificación fueron el coeficiente de correlación y la desviación (error) absoluta media.

En la figura 61 se presenta la correlación obtenida al comparar la climatología simulada de PRECIS y la climatología de las observaciones, nótese que a nivel anual la dispersión entre los datos es alta, de ahí que la correlación calculada sea baja, además se puede apreciar que el modelo tiende a subestimar el valor de referencia, que según la desviación absoluta media es de aproximadamente 950 mm. Se realizó el mismo ejercicio pero a escala estacional y se encontró una mejor representación estadística en la temporada de diciembre a marzo (figura 62). Durante mayo-octubre la climatología real no es bien reproducida debido a la gran subestimación que realiza el modelo, lo cual supone una gran incertidumbre durante este importante periodo del año.

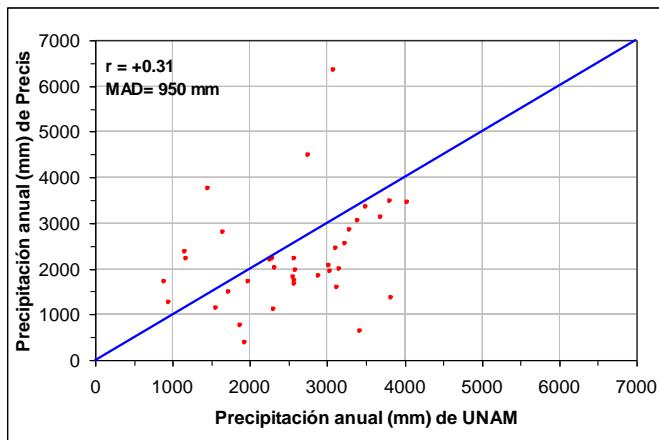


Figura 61. Dispersión de la correlación entre la climatología anual (1961-1990) del modelo PRECIS y la de UNAM (2007) para todos los pixeles del dominio para Costa Rica.
MAD es la desviación absoluta promedio.

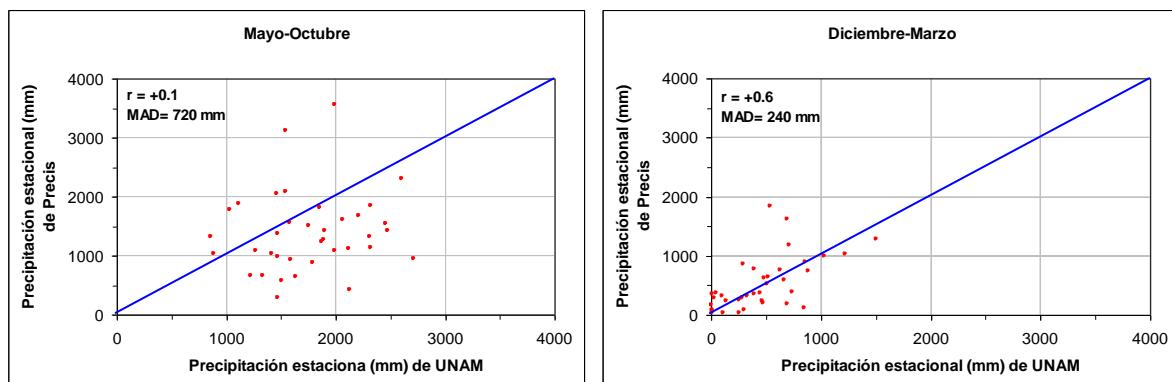


Figura 62. Dispersión de la correlación entre la climatología estacional (1961-1990) del modelo PRECIS y la de UNAM (2007) para todos los pixeles del dominio para Costa Rica.
MAD es la desviación absoluta promedio.

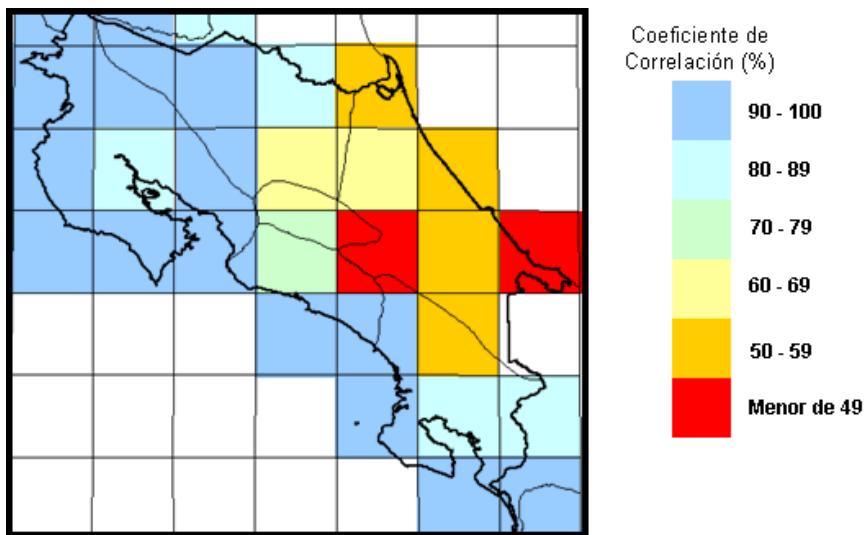


Figura 63. Patrón de correlaciones de la lluvia anual entre la climatología del modelo PRECIS y la correspondiente a los datos de las estaciones meteorológicas nacionales.

En la figura 63 se muestran las correlaciones entre la climatología de línea base del PRECIS vs las estaciones meteorológicas nacionales. Esta figura permite determinar qué tan hábil es PRECIS en la estimación de la lluvia para las distintas zonas del país; nótese que las correlaciones son muy altas en el norte y noroeste, pero bajas al este, esto significa que hay un mayor grado de confianza en las proyecciones de PRECIS para el Pacífico que del lado del Caribe.

Con respecto a la validación del ciclo anual de lluvia, se puede apreciar en las gráficas de la figura 64 que PRECIS reproduce bien dicho ciclo aunque con diferencias en las magnitudes; por ejemplo en el pixel correspondiente a la estación de Liberia (ubicada en el noroeste del país e influenciada por el océano Pacífico) el PRECIS tiene un sesgo hacia la subestimación, principalmente en la magnitud de los dos máximos (junio y setiembre), no obstante acierta muy bien la intensidad de los mínimos (el de julio asociado al veranillo y el de la temporada seca entre noviembre y abril); en Limón (ubicada al este del país y bajo la influencia del mar Caribe) se observa un patrón contrario al de la evaluación de Liberia, en promedio el PRECIS tiende a sobreestimar, sobre todo en los mínimos de marzo y setiembre, sin embargo logra reproducir con una relativa mejoría los valores máximos (julio y diciembre).

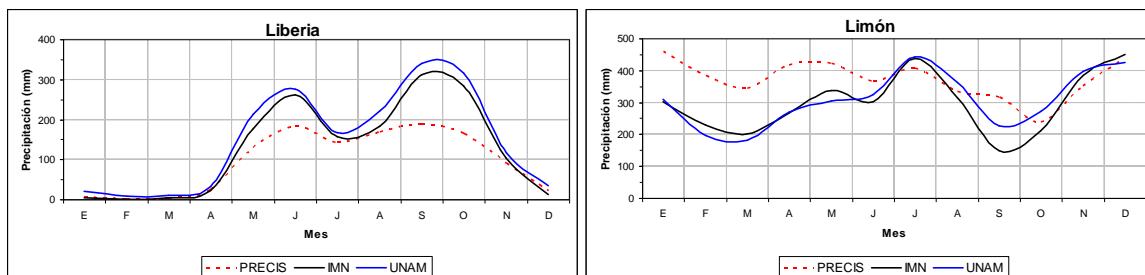


Figura 64. Ciclo anual de lluvia en dos puntos del país según la simulación de PRECIS, CCA-UNAM y IMN.

Un análisis más cuantitativo demostró que en toda la región del Pacífico la correlación del ciclo anual (entre lo simulado por el PRECIS y lo observado en las climatologías del IMN o CCA-UNAM) fue en promedio de 0.9, mientras que en el Caribe de 0.6.

6.3. Análisis regional: Pacífico Norte

La precipitación anual disminuye en toda la región. Los datos de PRECIS indican niveles de reducción entre el 13 y el 24%, siendo la zona del Golfo de Nicoya la más afectada (color rojo en el esquema).

Las regiones menos afectadas son las zonas montañosas de la Cordillera de Tilarán y el sur de la Península de Nicoya, donde las reducciones son del orden del 2 al 18%. La Cordillera Volcánica, la Península de Santa Elena y la parte oeste de la Península, presentan valores de reducción del 20 al 29%.

En cuanto a la temperatura, el comportamiento para toda la zona es de aumento tanto en la máxima como en la mínima. La máxima muestra un rango de aumento desde 3 hasta 8°C, y la mínima entre 2 y 3°C.

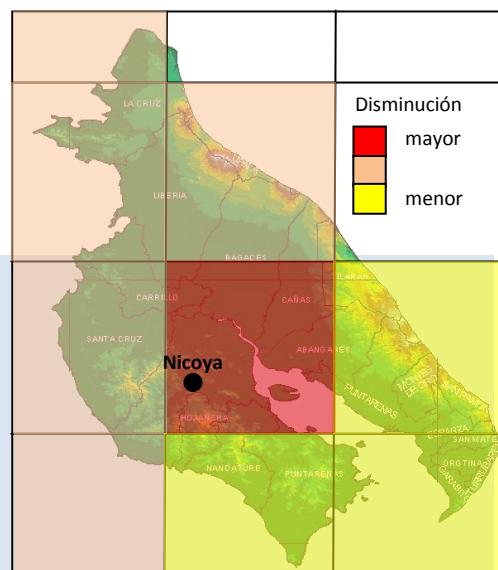
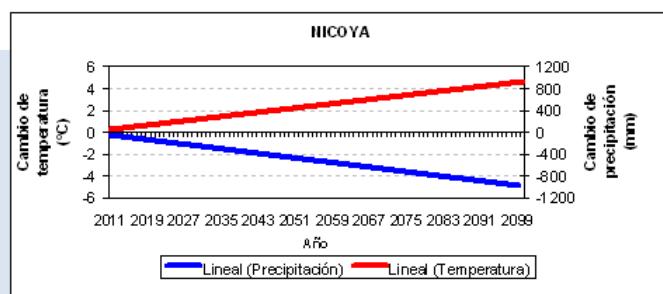
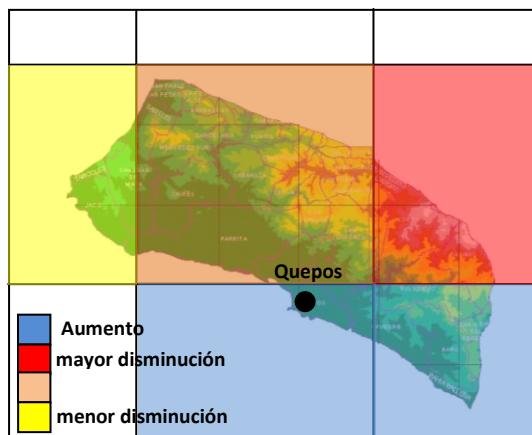


Figura 65. Escenarios de cambio climático para el Pacífico Norte



6.4. Análisis regional: Pacífico Central

Se observa que la precipitación anual tiende a disminuir en la parte norte de la Región. La disminución es menor en la zona de Jacó y Herradura. Hacia el Valle de Parrita la disminución es mayor y es progresiva hacia la zona alta del Pacífico Central. Los aumentos de lluvia se presentan al sur, luego de Puerto Quepos y hacia la Fila Brunqueña.



Las temperaturas, máxima y mínima, aumentan en toda la región. La máxima puede aumentar hasta 6°C, mientras que la mínima puede subir 4°C aproximadamente.

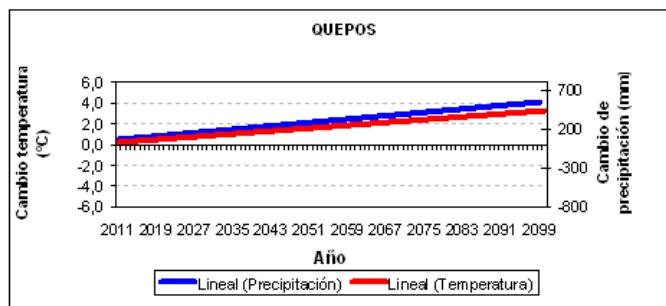
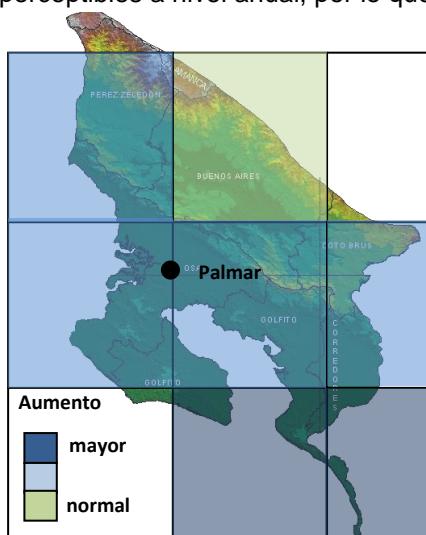


Figura 66. Escenarios de cambio climático para el Pacífico Central

6.5. Análisis regional: Pacífico Sur

El Pacífico Sur muestra una tendencia de aumento de las precipitaciones anuales. Este aumento es más elevado hacia el sur de la Península de Osa y hacia Punta Burica. Un aumento menos elevado se presenta en el resto de la Península, la Fila Brunqueña y la parte sur del Valle de El General y Coto Brus. En el Valle de El General y hacia la Cordillera de Talamanca, los cambios en la precipitación son poco perceptibles a nivel anual, por lo que se considera una tasa de cambio igual a cero.



Con respecto a las temperaturas, se observa un incremento en toda la Región. La temperatura máxima aumenta en rangos que van desde los 2 a los 4°C, mientras que la mínima aumenta entre 1 y 3°C. En el Pacífico Sur es la región donde más aumenta la temperatura mínima en Costa Rica.

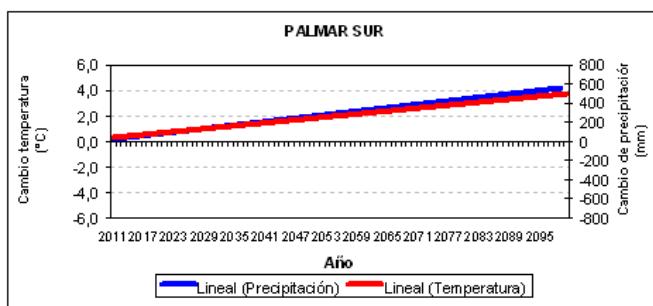


Figura 67. Escenarios de cambio climático para el Pacífico Sur.

6.6. Análisis regional: Región Central

Se observa que la precipitación anual tiende a disminuir en toda la Región hasta alcanzar valores de disminución entre el 16 y el 23% hacia fines de siglo. La zona de mayor impacto es el Valle Oriental. La temperatura máxima y la mínima tienden a aumentar. La máxima puede subir entre 4 y 5°C, mientras que la temperatura mínima tiende a aumentar entre 2 y 4°C aproximadamente.

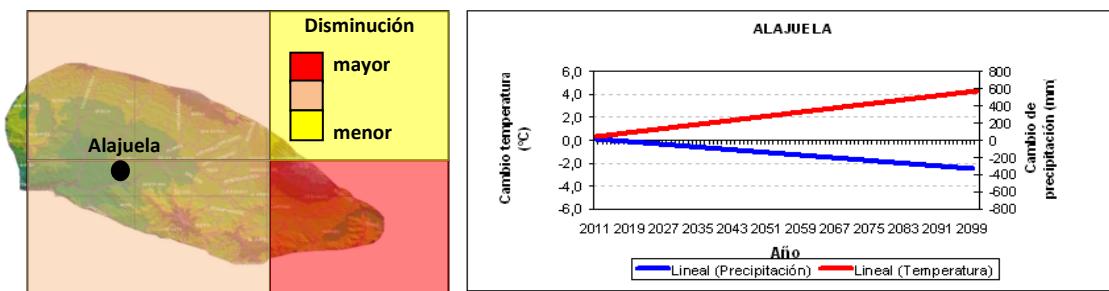


Figura 68. Escenarios de cambio climático para la Región Central.

6.7. Análisis regional: Región Caribe

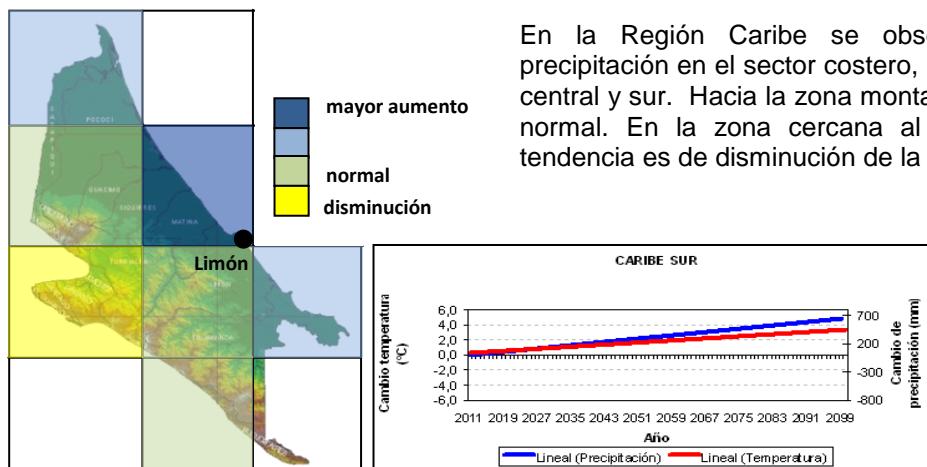


Figura 69. Escenarios de cambio climático para la Región Caribe.

La temperatura máxima y la temperatura mínima muestran un comportamiento de aumento progresivo en toda la región. La máxima se puede incrementar entre 2 y 4°C, mientras que la mínima puede aumentar entre 2 y más de 3°C.



6.8. Análisis regional: Zona Norte

La precipitación anual disminuye en toda la Región, enfocándose en la zona fronteriza y cercana al Lago de Nicaragua. Sin embargo, las disminuciones hacia Palo Seco en las Llanuras de San Carlos se consideran dentro de los rangos normales de variación. De acuerdo con los resultados de PRECIS, las disminuciones tienen un rango entre 7 y 56%. En cuanto a las temperaturas, las máximas pueden aumentar entre 4 y 5°C, mientras que las mínimas aumentarían entre 2 y 3°C aproximadamente.

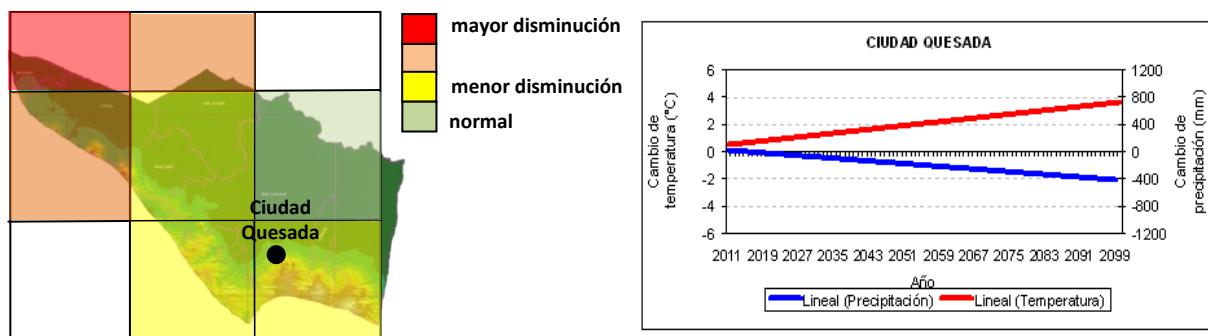


Figura 70. Escenarios de cambio climático para la Zona Norte.

7. CONCLUSIONES

El estudio de la LB climática no es solo un análisis estadístico descriptivo de las medidas de tendencia central. Además de fijar la condición “normal” de la lluvia y la temperatura, la LB debe guardar la simplicidad para interpretar los eventos extremos meteorológicos (a escala de tiempo reducida) o eventos extremos climáticos (a escalas mayores de tiempo) que son los fenómenos que más impactan las actividades socioproyectivas del hombre. Es precisamente este tipo de eventos, los que condicionan en parte la ruta de adaptación que deben elegir los sectores.

El estudio de LB debe proporcionar información que permita conocer el comportamiento pasado de los diferentes fenómenos de variabilidad climática que han afectado los procesos sociales y productivos de un país. En este sentido, analizar la LB debe de incitar a una mejora en la documentación, registro y monitoreo de condiciones cercanas y derivadas del clima: impactos, vulnerabilidad de sectores, tendencias, entre otros. Conocer la LB, permite definir cambios importantes observados en los últimos tiempos y que pueden significar el inicio de una tendencia que los modelos proyecten a futuro. La LB da una aproximación a la priorización de regiones históricamente afectadas por el clima, su variabilidad y cuyas proyecciones a futuro son preocupantes.

Actualmente, los estudios de LB tienen un enfoque de cambio en el clima. La modelización, como herramienta exploratoria del clima futuro, toma especial importancia dentro de estos estudios. PRECIS es en la actualidad, el método dinámico de reducción de escala de los MCG, más conocido en la región centroamericana. Resulta importante para obtener panoramas locales de los resultados de gran escala. Pese a sus limitaciones, los resultados obtenidos en la corrida del escenario A2 para el dominio correspondiente a Costa Rica, son consistentes con lo que otros esfuerzos a nivel regional han determinado como un posible escenario del clima futuro. En términos generales, se espera una reducción de la precipitación en el norte del país (Pacífico Norte, Zona Norte y Región Central). Hacia el sur del país se espera un aumento de precipitación en especial sobre la parte peninsular. Hacia el Caribe, no se observan cambios importantes en la zona montañosa, pero sí se presenta un aumento

significativo de las lluvias en la costa, principalmente hacia el sur de la vertiente. Por tanto, el clima de Costa Rica se verá sometido a extremos del clima secos y lluviosos. De acuerdo con el estudio de LB, y si las condiciones de variabilidad siguen dominando la expresión anual del clima, existen múltiples fenómenos que pueden aumentar o disminuir su frecuencia e intensidad para explicar estas variaciones encontradas. Los resultados obtenidos con la precipitación son coherentes con los datos estimados de temperaturas. Las zonas más secas se relacionan con las zonas más cálidas durante el día, mientras que un aumento en las precipitaciones en el Caribe costero y la zona Sur, puede provocar que la temperatura durante la noche aumente con más intensidad que en otras partes del país, por efecto de retención de radiación de onda larga (la que emite la Tierra hacia el espacio durante la noche) por el aumento del vapor de agua (gas de efecto invernadero).

Las proyecciones futuras del clima de acuerdo a los resultados cuantitativos del modelo PRECIS se presentan en las siguientes figuras.

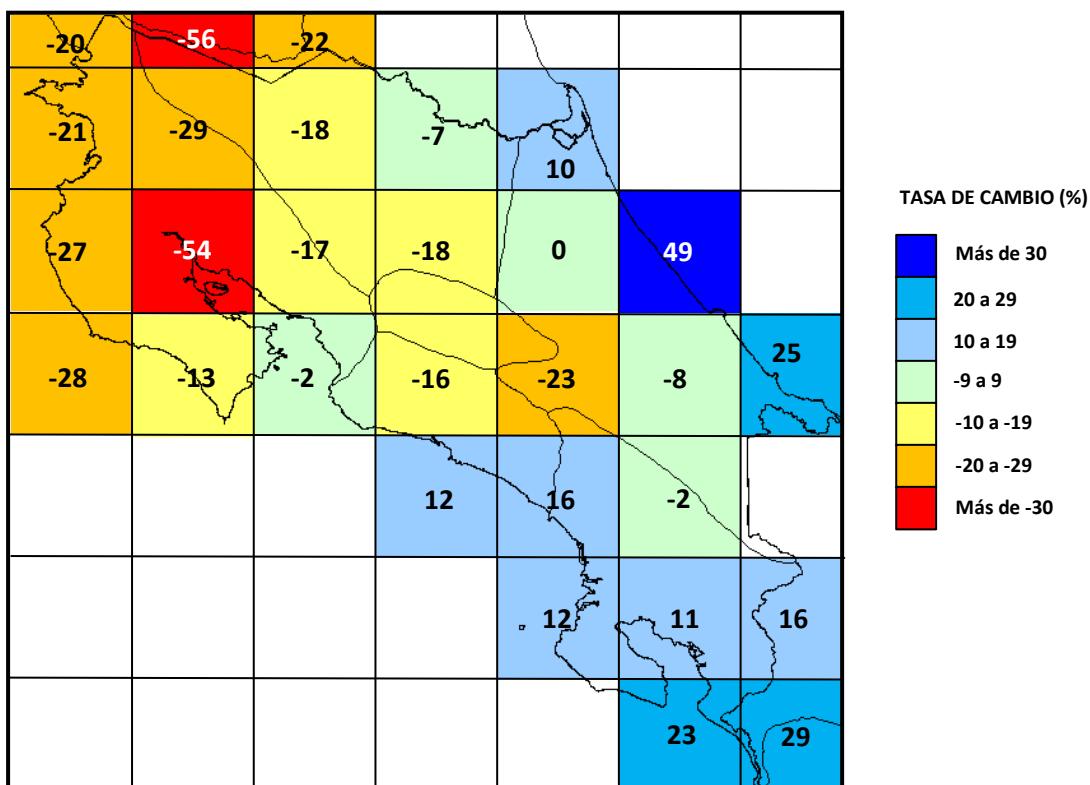


Figura 71. Escenarios de cambio climático para la precipitación. Tasa de cambio (%) comparando el promedio de LB (período 1961-1990) contra el promedio del período (2071-2100).

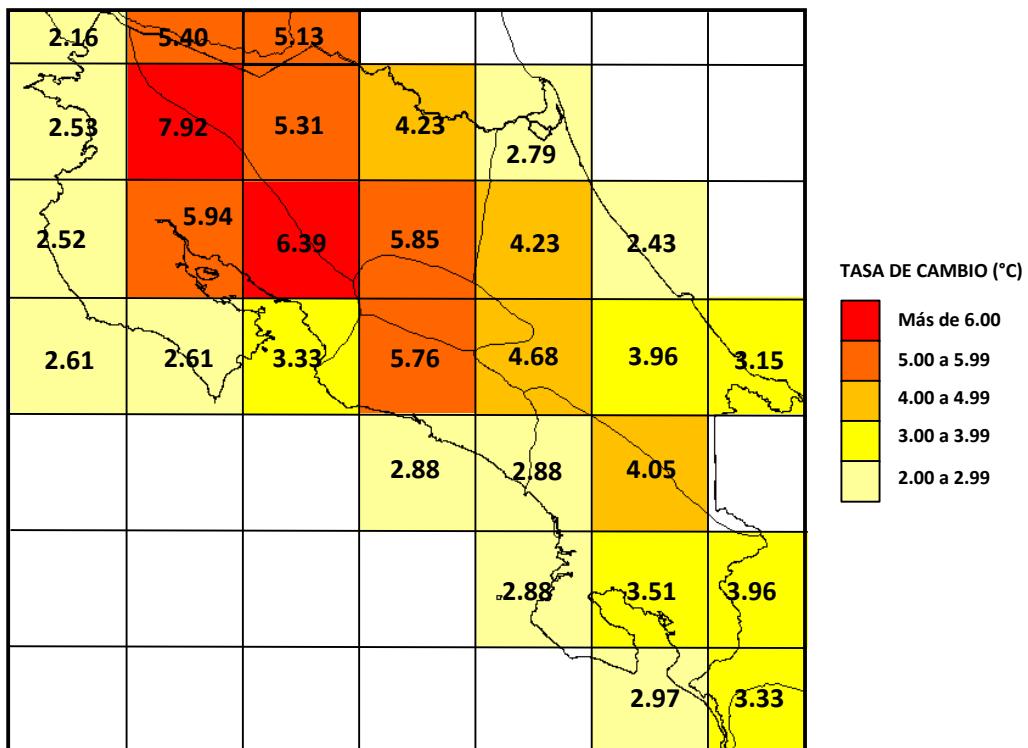


Figura 72. Escenarios de cambio climático para la temperatura máxima. Tasa de cambio (°C) de acuerdo con la tendencia de aumento que proyecta PRECIS para el período 2071-2100.

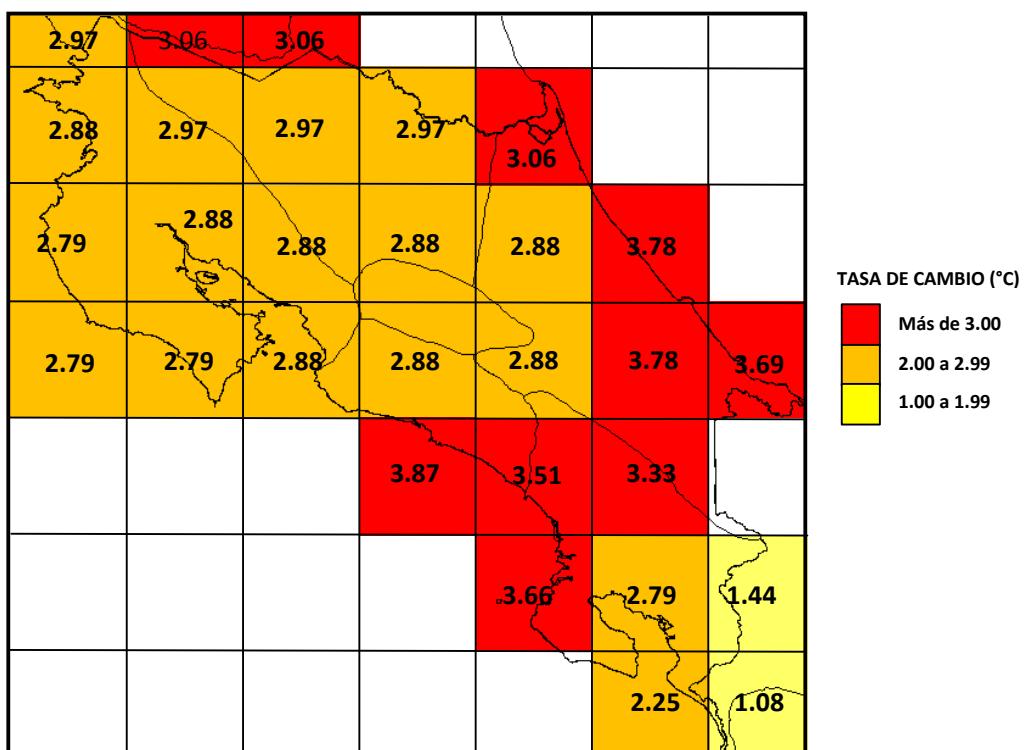


Figura 73. Escenarios de cambio climático para la temperatura mínima. Tasa de cambio (°C) de acuerdo con la tendencia de aumento que proyecta PRECIS para el período 2071-2100.

Literatura citada

- Acuña, C. 2005. Tortugas verdes rompen récord. La Prensa Libre. Abanico. CR. Oct. 01:7.
- Aguilar, E.; Peterson, T.; Ramírez, P.; Frutos, R.; Retana, J.; Solera, M.; Soley, J.; González, G.; Araujo, R.; Santos, R.; Valle, V.; Brunet, M.; Aguilar, L.; Alvarez, L.; Bautista, M.; Castañón, C.; Herrera, L.; Ruano, E.; Sinay, J.; Sánchez, E.; Hernández, G.; Obed, F.; Salgado, J.; Vázquez, J.; Baca, M.; Gutiérrez, M.; Centella, C.; Espinoza, J.; Martínez, D.; Olmedo, B.; Ojeda, E.; Núñez, R.; Hayloch, M.; Benavides, H.; Mayorga, R. 2005. Changes in precipitation and temperatura extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research*. Vol 110: D23107.
- Alvarado, L. 1998. Sobre El Niño y La Niña. Gestión Operativa. Instituto Meteorológico Nacional. Nota Técnica. San José, Costa Rica. 3p.
- Alvarado, L., 2008. Perspectiva de Temporada de Empujes Fríos 2008-2009. Nota Técnica. Gestión de Desarrollo, Instituto Meteorológico Nacional, pp. 11.
- Alvarado, L; Alfaro, E. 2003. Frecuencia de los ciclones tropicales que afectaron a Costa Rica durante el siglo XX. *Top. Meteoro. Oceanog.* 10 (1) 1-11.
- Alvarado, L.; Fernández, W. 2001. Relación de las anomalías climáticas de la atmósfera libre sobre Costa Rica y la variabilidad de las precipitaciones durante eventos de El Niño. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 8(2): 145-157.
- Alvarado, L.; Zárate, E. 2005. Posibles relaciones de cambio climático en Centroamérica y el Caribe suroccidental entre patrones lluviosos actuales y futuros. Proyecto PNUMA-TWAS "Assessment of Impacts and Adaptation Measures for the Water Resources Sector due to Extreme Events under Climate Change Conditions in Central America" conducido por el Comité Regional de Recursos Hídricos del Istmo Centroamericano (CRRH) y la Universidad de Costa Rica. Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). Comité Regional de Recursos Hídricos (CRRH). Universidad de Costa Rica (UCR). Centro de Investigaciones Geofísicas de la UCR. San José, Costa Rica. 5p.
- Alvarado, L.; Stoltz, W.; Pereira, M.; Chinchilla, G. 2007. Caracterización técnica de algunos fenómenos de variabilidad climática que han afectado Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. Correspondencia personal. 7 hojas de análisis.
- Amador, J.; Mora, G.; Rivera, E. 2003. Signals of climate change in Central America during the last decades. CIGEFI (Center of Geophysical Research) LIAP (Department of Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics (LIAP). Universidad de Costa Rica. Presentación de resultados. Sp.
- Arguedas, C. 2003. Suben las temperaturas mínimas. La Nación. CR. Dic 15:8A.
- Arias, L. 2007. Cristales de hielo en el Cerro de la Muerte. La Nación. CR. Jul.28.
- Arrieta, E. 2005. Histórica reducción de nidos de tortugas baula. La Prensa Libre. CR. Mar.07:5.
- Barrantes, O.; González, P. 2008. Distribución espacial y caracterización del fenómeno meteorológico tornado en Costa Rica en el período 1950-2007. Práctica Profesional Supervisada. Instituto Meteorológico Nacional. Escuela de Ciencias Geográficas. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional. Heredia. 32p.
- Bengtsson, L. 2007. Ciclones tropicales en un clima más cálido. *Boletín Tiempo-clima-agua*. OMM. 56(3):196-2003.
- Benioff, R., S. Guill, y J. Lee (1996): Vulnerability and Adaptation Assessments. An International Handbook. Kluwer Academic Publisher
- Bergoeing, J.P. 1998. Geomorfología de Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional. Primera Edición. San José, Costa Rica. 409p.
- Carter, T., E. Holopainen y M. Kannien, 1993. Techniques for developing regional climatic scenarios for Finland. Publications of the Academy of Finland 2/93, Painatuskeskus, Helsinki, 63 pp.
- Castillo, D. 2007. Se adelantó la Navidad. Al Día. CR. Jul. 28.



Centella A., T. Gutiérrez, M. Limia and R. Rivero, 1998a. Climate change scenarios for impact assessment in Cuba. Centro Nacional del Clima, Instituto de Meteorología, Cuba, 21 pp.

Centella A., L. Castillo y A. Aguilar, 1998b. Escenarios climáticos de referencia para la República de El Salvador. Reporte Técnico, Proyecto PNUD/GEF/ELS/97G32, El Salvador, 21 pp.

Centella, A. y L. Herrera, 2000. Escenarios de Cambio Climático para Guatemala. CONAMA, PNUD, GEF. Guatemala.

Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA), 1999. Analysis of gridded monthly precipitation and mean temperature for Mexico and Central America. Universidad Nacional Autónoma de México.

Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA), 2007. Cressman analysis of monthly gridded precipitation, and maximum and minimum temperature for Mexico and Central America. Universidad Nacional Autónoma de México.

Comité Regional de Recursos Hidráulicos del Istmo Centroamericano (CRRH), 2005. Base de eventos meteorológicos extremos en Costa Rica basada en artículos de prensa. Estudio elaborado dentro del Proyecto "Assessment of Impacts and Adaptation Measures for the Water Resources Sector due Extreme Events under Climate Change Conditions in Central America" (AIACC).

Coto, S. 2006. Presumen que fuertes lluvias ocasionaron muerte de monos. La Prensa Libre. CR. Ago. 14:2.

Das, H. 1998. Seminario itinerante sobre la meteorología agrícola en relación con los fenómenos adversos. Organización Meteorológica Mundial. Traducción al castellano en la División de Meteorología Agrícola de la OMM y en el Instituto Nacional de Costa Rica. San José, Costa Rica. 40p.

DINAMA (Dirección Nacional de Medio Ambiente) 2005. Análisis de la estadística climática y desarrollo y evaluación de escenarios climáticos e hidrológicos de las principales cuencas hidrográficas del Uruguay y de su Zona Costera (río Uruguay, río Negro, laguna Merín, río de la Plata y Océano Atlántico). Unidad de Cambio Climático. Dirección Nacional de Medio Ambiente. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Global Environment Facility (GEF), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD-Uruguay). Uruguay. 88p.

DPA (Deutsche Presse Agentur). 2007. Planeta rompió record de eventos climáticos extremos en el 2007. La Nación, Aldea Global. CR. Ago 08.

Echeverría, B.J., 2004. Selección de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero para desarrollar escenarios de cambio climático en Centroamérica. CRRH-UCR-CIGEFI-AIACCLA06. San José, Costa Rica.

Escobedo, A. 2005. Efecto del clima en la proporción de sexos del Caimán (*Caiman crocodilus*, Reptilia: *Alligatoridae*)". Tesis de grado para obtener el título de Licenciatura en Biología con énfasis en el Manejo de Recursos Naturales. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

Escobedo, A. 2006. Temperature variation in nests of *Caiman croodylus*. Acta herpetological. 1(2): 131-134.

Fernández, W.; Ramírez, P. 1991. El Niño, la Oscilación del Sur y sus efectos en Costa Rica. Una revisión. Tecnología en Marcha. 11(1). Sp.

Gloyn, R.; Lomas, J. 1988. Compendio de apuntes para la formación de personal agrometeorológico de las clases II y III. Organización Meteorológica Mundial. Traducido al castellano por Canziani, O. OMM 551. Ginebra, Suiza. 303p.

Gudiño, A. 2007. Expertos analizan en Costa Rica el futuro de los primates, una especie amenazada. La Nación. CR. Jul.25.

Holland, G. y P. Webster, 2007. Heightened tropical cyclone activity in the North Atlantic: natural variability or climate trend?. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 365, 2695-2716, (doi:10.1098/rsta.2007.2083).

Hulme, M., Wigley, T.M.L., Barrow, E.M., Raper, S.C.B., Centella, A., Smith, S.J. y Chipanshi, A.C., 2000: Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook. Climatic Research Unit, Norwich UK, 52 pp.

Proyecto Segunda Comunicación sobre Cambio Climático en Costa Rica

IGN (Instituto Geográfico Nacional). 2005. División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica. Comisión Nacional de División Territorial Administrativa. San José, Costa Rica. Sp.

IFAM (Instituto de Fomento y Asesoría Municipal). 1974. Estudio para el desarrollo regional de la provincia de Guanacaste y tres distritos de la provincia de Puntarenas. Volumen I. Diagnóstico de la Región. Departamento de Investigación y Evaluación. San José, Costa Rica. 183p.

IMN (Instituto Meteorológico Nacional) 1999. Primera Comunicación Nacional de Costa Rica sobre el Cambio Climático. IMN-MINAE. San José, Costa Rica. Sp.

IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2001. Escenarios de cambio climático para Costa Rica. Primera Comunicación Nacional para UNFCCC. Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio del Ambiente y Energía. San José, Costa Rica. Sp.

INECO 2007. Plan Territorial Especial de Infraestructura del tren del sur. Anejo N°7. Climatología, hidrología y drenaje. Cabildo de Tenerife, España. 67p.

IPCC, 1995. Climate Change 1994. Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios, J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, J. Bruce, H. Lee, B. A. Callander, E Haites, N. Harris and K. Maskell (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 339 pp.

IPCC, 2000. Special Report on Emission Scenarios (Chapter 4: An Overview of Scenarios). Cambridge University Press, UK, pp.570.

IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). 2007. Cambio climático 2007. Base de las ciencias físicas. Resumen para responsables de políticas. Resumen técnico. Preguntas frecuentes. Contribución del Grupo de Trabajo 1 al Cuarto Informe de Evaluación. OMM-UNEP. 153p.

Jiménez, R. 1987. Antecedentes históricos del fenómeno El Niño. Boletín Meteorológico. Organización Meteorológica Mundial. 36(3):192-194.

Lizano, O.; Salas, D.2001. Variaciones geomorfológicas en los últimos 50 años en la isla Damas, Quepos, Costa Rica. Revista Biología Tropical. 49(2):171-177.

López, J. 2007. Anidación de tortugas baula disminuye en más del 50%. La Nación. CR. Feb. 25.

López, J. 2006. Más de un millón de tortugas lora anidan en Ostional. La Nación. Ciencia y Tecnología. CR. Nov. 21.19A.

Lu, X. and M. Hulme, 2002. A Short Note on Scaling GCM Climate Response Patterns. Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia.

Magaña V., J. Amandor y S. Medina, 1999. The mid-summer drought over Mexico and central America. *J. Climate*, **12**, 1577-1588.

Magaña V., J. Vázquez, J. Perez y J. Perez, 2003. Impact of El Niño in México. *Geof. Int.*, 42(3), 313-330.

Margolis, M. 2006. Trouble beyond the Tropics: Why the frogs are dying. Newsweek. Oct. 46-53.

Mena, M. 2008. El clima de Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. Gestión de Información y Comercialización. San José, Costa Rica. Sp.

Mitchell, J.F.B., T.C. Johns, M. Eagles, W.J. Ingram, and R.A. Davis, 1999: Towards the construction of climate change scenarios. *Clim. Change*, 41, 547-581.

Mitchell, J. et al., 1999. Towards the construction of climate change scenarios. *Clim. Change*, 41, 547-581.

Monnik, K. 2000. Role of drought early warning systems in South Africa's evolving drought policy. In: Wilhite, D.; Sivakumar, M.; Wood, D. 2000. Early Warning Systems for drought preparedness and drought management. World Meteorological Organization-Institute of Meteorology Lisbon-National Drought Mitigation Center, Secretariat of the United Nations Convention to Combat Desertification, United Nations Development Programme. Proceedings of an expert group meeting. 5-7 september 2000, Lisbon, Portugal. 47-56p.



- Mora, C. 2001. Bosque se queda sin nubes. La República. CR. Nov 21:9A.
- Morales, E. 2000. Estudios Sociales 4. Editorial Santillana. Primera Edición. San José, Costa Rica. 159p.
- Motha, R. 2000. Recommendations on drought monitoring by the U.S. National Drought Policy Commission. In: Wilhite, D.; Sivakumar, M.; Wood, D. 2000. Early Warning Systems for drought preparedness and drought management. World Meteorological Organization-Institute of Meteorology Lisbon-National Drought Mitigation Center, Secretariat of the United Nations Convention to Combat Desertification, United Nations Development Programme. Proceedings of an expert group meeting. 5-7 september 2000, Lisbon, Portugal. 39-45p.
- Muñoz, C.; Fernández, W.; Gutiérrez, J.; Zárate, E. 2002. Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos. 9(1):1-13.
- Nakicenovic, N. et al. 2001. IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge.University press. 599 pp.
- New, M., Hulme, M. y Jones, P.D.,1999. Representing Twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate*, 12, 829-856.
- OMM_. Organización Meteorológica Mundial. Reglamento Técnico de la OMM ,Volumen 1-Generalidades. Documentos Fundamentales N° 2, OMM-N° 49. Ginebra, Suiza.
- Ortíz, L. 2007. Base de datos: Eventos hidrometeorológicos extremos y sus impactos en Costa Rica. 1954-2007. Comité Regional de Recursos Hídricos. CRRH-SICA-UNEP-AIACC.
- Parry, M. y T. Carter, 1998. Climate impact and adaptation assessment. A guide to the IPCC approach. Earthscan Publication, London, 166 pp.
- Patterson, O. 1992. Riesgo por sequías en Costa Rica. Revista Geográfica de América Central. Vol 25-26:385-411.
- Pereira, M. 2001. Caracterización pluviométrica de la fase fría del fenómeno enos en costa rica basado en probabilidades de ocurrencia de eventos en cinco escenarios: muy seco, seco, normal, lluvioso y muy lluvioso. Gestión de Análisis y Pronóstico. Instituto Meteorológico Nacional. Nota Técnica. San José, Costa Rica. 17p.
- Peterson, T. 2005. Índices de Cambio Climático. Boletín Tiempo-Clima-Agua. OMM. 54(2):83-86.
- Ponchner, D. 2007a. Aumento de temperatura atrasa el crecimiento del bosque tico. La Nación. Aldea Global. CR. May.15.
- Ponchner, D. 2007b. La selva se está quedando sin anfibios. La Nación. Aldea Global. CR. May.15.
- Ponchner, D. 2007c. Cambio climático duplica el número de huracanes en el Atlántico. La Nación. Aldea Global. CR. Ago. 01.
- Ramírez, P. 1990. El fenómeno de El Niño Oscilación del Sur. Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas. Instituto Meteorológico Nacional. Año XIV-1990. San José, Costa Rica. Abril. 3-5p.
- Retana, J.; Villalobos, R. 2000. Caracterización pluviométrica de la fase cálida de ENOS en Costa Rica basado en probabilidades de ocurrencia de eventos en tres escenarios: seco, normal y lluvioso. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos. 7(2):124-130.
- Retana, J.; Villalobos, R. 2002. Eventos extremos meteorológicos en Linda Vista, Valle del Guarco, Cartago. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos. 9(1):56-63.
- Retana, J.; Villalobos, R. 2004a. Metodología para el análisis mensual de la lluvia del año más seco. En: Matamoros, G.; Solera, C.; Villalobos, R. 2004. Convenio entre el SENARA-ICAA-IMN para la elaboración de mapas climatológicos de una región del Valle Central. Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. 12p. (Correspondencia personal)
- Retana, J.; Villalobos, R. 2004b. Determinación del año más seco en la Región Chorotega de Costa Rica por medio de un análisis de conteo de casos. Gestión de Desarrollo, Instituto Meteorológico Nacional. 6p.

Proyecto Segunda Comunicación sobre Cambio Climático en Costa Rica

- Retana, J. 2008. Mapa: Déficit de lluvia anual durante años de sequía en Costa Rica. Gestión de Desarrollo, Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. Sin escala. 1 hoja.
- Ruosteenoja, K. et al., 2003. Future climate in world regions: an intercomparison of model-based projections for the new IPCC emissions scenarios. The Finnish Environment 644, Finnish Environment Institute, Helsinki, 83 pp.
- Rupa Kumar, et al., 2006, High resolution climate change scenarios for India for the 21st century. Current Science. 90: 3, 334-345.
- Santer, B. et al., 1990: Developing Climate Scenarios from Equilibrium GCM results. Report No. 47, Max-Planck-Institut-für-Meteorologie, Hamburg, 29 pp.
- Sinha Ray, K.; De, U. 2003. Cambio climático en la India evidenciado a partir de registros instrumentales. Boletín Organización Meteorológica Mundial. 52(1):56-62.
- Solano, J.; Solera, M. 1998. Mapa: Zonas de inundación más frecuentes en Costa Rica. Gestión de Desarrollo, Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. Sin escala. 1 hoja.
- Solano, J.; Sanabria, N. 2000. Mapa: Poblados inundados por región climática de Costa Rica. Gestión de Desarrollo, Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. Sin escala. 5 hojas.
- Solano, J.; Villalobos, R. 2001. Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico-climático de Costa Rica. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos. 8(1): 26-39.
- Solano, J.; Villalobos, R.; Retana J. 2002. Inundaciones. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos. 9(2):104-122.
- Stoltz, W. 1998. ENOS:El Niño-La Oscilación del Sur. In : Banichevich,A.; Castro, V.; Bonatti, J. 1998. Una biosfera en convulsión: el potencial cambio global. IMN-UCR. San José, Costa Rica. Primera Edición. 160p.
- Stoltz, W. 2007. El fenómeno ENOS. Gestión de Análisis y Predicción. Instituto Meteorológico Nacional. Información de la Página web www.imn.ac.cr. San José, Costa Rica. Sp.
- Taylor M, Enfield D, Chen A (2002): The influence of the tropical Atlantic vs. the tropical Pacific on Caribbean Rainfall. J. Geophys. Res., 107(c9): 3127.
- Vargas, A. 2006. Hongo extinguió dos especies de anfibios en Monteverde. La Nación. CR. Ene:12.
- Vargas, A. 2007a. Científicos temen extinción de especies de orquídeas. La Nación. CR. Mar:27.
- Vargas, A. 2007b. Ave costarricense muy seriamente amenazada. La Nación. CR. May:20.
- Vargas, A. 2006. Ostional desbordada por masiva anidación de tortugas lora. La Nación. Aldea Glogal. CR. Oct. 11:16A.
- Varela, I. 2007. Jorge Barquero: un enamorado del Chirripó. La Nación. CR. Abr:22.
- Vega, G.; Stoltz, W. 1997. El fenómeno de El Niño su impacto en la economía de Costa Rica. Ministerio del Ambiente y Energía. Instituto Meteorológico Nacional. Oficina de Pronósticos. Nota Técnica, boletín informativo. San José, Costa Rica. 9p.
- Vinner D. and Hulme M., 1992. Climate change scenarios for Impact studies in the U. K. Climatic Research Unit, UEA, UK.
- Villalobos, R.; Retana, J.; Ramírez, S.; Machado, P. 2002. Mejoramiento de la capacidad técnica para mitigar los efectos de futuros eventos de la variabilidad climática en Costa Rica. El Niño. Proyecto Mitigación de Desastres en Centroamérica. Gobierno de Japón- BID. CRRH-CEPREDENAC-IMN-SEPSA-ICE. San José, Costa Rica. 182p.
- Wilhite, D.; Svoboda, M. 2000. Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation. In: Wilhite, D.; Sivakumar, M.; Wood, D. 2000. Early Warning Systems for drought preparedness and drought management. World Meteorological Organization-Institute of Meteorology Lisbon-National Drought Mitigation Center, Secretariat of the United Nations Convention to Combat Desertification, United Nations Development Programme. Proceedings of an expert group meeting. 5-7 september 2000, Lisbon, Portugal. 1-16pp.



Xie, P. and Arkin, P.A., 1997. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2539–2558.

Zárate, E. 1978. Comportamiento del viento en Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. 31p.

Zárate, E. 2005. Base de datos para la comparación entre empujes fríos y magnitud del viento Alisio con eventos extremos en el litoral Caribe de Costa Rica. Centro Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH) - Universidad de Costa Rica (UCR). Proyecto PNUMA-TWAS “Assessment of Impacts and Adaptation Measures for the Water Resources Sector due to Extreme Events under Climate Change Conditions in Central America. San José, Costa Rica. 7p.

Zárate, E. 2005. Comportamiento de los empujes fríos que alcanzan Centroamérica y el Caribe. “Evaluación de impactos ocasionados por eventos extremos sobre el sector hídrico y medidas de adaptación bajo condiciones de Cambio Climático en América Central. (AIACC-LA06). Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). Universidad de Costa Rica (UCR). Centro de Investigaciones Geofísicas de la UCR. San José, Costa Rica. 22p.

Zwiers, F.; Cattle, H.; Peterson, T.; Mokssit, A. 2003. Detección del cambio climático. Boletín Organización Meteorológica Mundial. 52(3):252-527.