

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ciencias Sociales
Escuela de Geografía

Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Geografía

**La sequía meteorológica provocada por El Niño y
algunos de sus efectos en el sector turismo.
América Central, 1950 – 2014**

RUDY GABRIEL MUÑOZ JIMÉNEZ
Carné: B04378

Comité asesor:
Dr. Christian Birkel
M. Sc. Alonso Brenes
M. Sc. Claudia Solera

Febrero, 2019
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Dedicatoria

A Martita, quien con su esfuerzo, paciencia y cariño supo sacar adelante a una familia completa y a quien le debo todo lo que soy; mi admiración, cariño y gratitud por siempre y para siempre. Y a Leonora, que llegará a iluminar nuestras vidas y darnos una razón más para seguir luchando por nuestros sueños comunes.

Este Trabajo Final de Graduación en la modalidad de tesis fue defendido el 27 de febrero de 2019, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Geografía, el Tribunal Examinador estuvo conformado por las siguientes personas:

Dra. Isabel Avendaño Flores

Representante del decano, Facultad de
Ciencias Sociales

M.Sc. Francisco Solano Mata

Representante de la dirección, Escuela
de Geografía

Dr. Christian Birkel

Director del Comité Asesor

M. Sc. Alonso Brenes

Miembro del Comité
Asesor

M. Sc. Claudia Solera

Miembro de Comité
Asesor

Bach. Rudy Muñoz Jiménez

Candidato

Índice

Índice de figuras	vi
Índice de recuadros	vii
Índice de tablas	vii
Acrónimos	viii
Capítulo I.- Marco introductorio	1
1.1.- Introducción.....	1
1.2.- Delimitación espacial y temporal	2
1.3.- Problematización.....	3
1.4.- Justificación	3
1.5.- Antecedentes.....	4
1.6.- Objetivos.....	7
1.6.1.- Objetivo general.....	7
1.6.2.- Objetivos específicos	7
1.7.- Marco conceptual	7
1.7.1.- El ciclo ENOS en el contexto de la variabilidad climática	7
1.7.2.- El estudio de la sequía: Definiciones variadas, cuantificación y efectos	9
1.7.3.- Análisis general del sector turismo en América Central	13
1.8.- Metodología.....	15
1.8.1.- Fase I: Contextualización conceptual	15
1.8.2.- Fase II: Análisis espacio-temporal: Base de datos Numerosa y producto global	15
1.8.3.- Fase III: Estudios de caso y conversatorios	24
Capítulo II.- Comportamiento temporal de la sequía meteorológica en América Central, 1950-2014.....	26
2.1.- Caracterización pluviométrica.....	26
2.2.- Selección de estaciones pluviométricas	30
2.3.- Distribución en el tiempo	31
2.3.1.- Belice	32
2.3.2.- Guatemala.....	32
2.3.3.- El Salvador.....	33
2.3.4.- Honduras.....	34
2.3.5.- Nicaragua	35
2.3.6.- Costa Rica.....	36
2.3.7.- Panamá.....	37

2.4.- Tendencias regionales	38
Capítulo III.- Patrones espaciales de la sequía meteorológica en América Central, 1950 – 2014.....	42
3.1.- Análisis espacial.....	42
3.1.1.- Evento 1957 – 1959.....	42
3.1.2.- Evento 1965 – 1966.....	44
3.1.3.- Evento 1972 – 1973.....	44
3.1.4.- Evento 1982 – 1983.....	47
3.1.5.- Evento 1997- 1998.....	47
3.1.6.- Evento 2002 – 2003.....	50
3.2.- Tendencias regionales	52
Capítulo IV.- Sequía meteorológica y sector turismo	53
4.2.- Estudios de caso.....	53
4.2.1.- Evento 1957 – 1959. Departamento Petén.....	55
4.2.2.- Evento 1965 – 1966. Departamento Chinandega.....	55
4.2.3.- Evento 1972 – 1973. Provincia Guanacaste.....	56
4.2.4.- Evento 1997 – 1998. Provincia Alajuela	57
4.2.5.- Evento 2002 – 2003. Provincia Bocas del Toro.....	58
4.3.- Análisis regional.....	59
Conclusiones	61
Bibliografía citada	63

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de temperaturas anómalas de la superficie oceánica en diciembre de 1997.....	8
Figura 2. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas de la base de datos Numerosa en América Central.	17
Figura 3. Mapa de humedad relativa en enero de 1966.	26
Figura 4. Distribución anual de la precipitación en las estaciones meteorológicas Usulután y Palmares, 1990 - 2005.	27
Figura 5. Distribución anual de la precipitación, estación meteorológica Bluefields, 1990 - 2005	28
Figura 6. Modelo Digital de Elevación de América Central (A) e interpolación espacial del Promedio de Precipitación Anual (B).	29
Figura 7. Interpolación espacial del coeficiente de correlación entre la base de datos Numerosa y el producto global.	30
Figura 8. Desarrollo del SPI12 en estación meteorológica Ladyville, vertiente Caribe de Belice; 1950 - 2014	32
Figura 9. Desarrollo del SPI12 en estaciones meteorológicas de Guatemala: Tiquisate, en la vertiente Pacífica (A) y Mariscos, en la vertiente Caribe (B); 1950 - 2014	33
Figura 10. Desarrollo del SPI12 en estaciones meteorológicas de El Salvador: Metapán (A) y Jiquilisco (B), ambas en la vertiente Pacífica; 1950 - 2014.	34
Figura 11. Desarrollo del SPI12 en estaciones meteorológicas de Honduras: Choluteca, vertiente Pacífica (A) y Guayabillas, en la vertiente Caribe (B); 1950 - 2014.	35
Figura 12. Desarrollo del SPI12 en estaciones meteorológicas de Nicaragua: Condega, en la vertiente Pacífica (A) y Siuna, en la vertiente Caribe (B); 1950 - 2014.	36
Figura 13. Desarrollo del SPI12 en estaciones meteorológicas de Costa Rica: Santa Cruz, en la vertiente Pacífica (A) y Turrialba, en la vertiente Caribe (B); 1950 - 2014.	37
Figura 14. Desarrollo del SPI en estación meteorológica Alanje, ubicada en la vertiente Pacífica de Panamá; 1950 - 2014.	37
Figura 15. Interpolación del valor z para los períodos 1950 - 2014 (A) y 1990 - 2014 (B).....	40
Figura 16. Interpolación del valor p para los períodos 1950 - 2014 (A) y 1990 - 2014 (B)	41
Figura 17. Interpolación espacial del SPI12 en América Central para tres meses de El Niño 1957 - 1959: Marzo 1957 (A), Junio 1958 (B) y Octubre 1959 (C)	43
Figura 18. Interpolación del SPI12 en América Central para tres meses de El Niño 1965-1966: Febrero 1965 (A), diciembre 1965 (B) y noviembre 1966 (C)	45
Figura 19. Interpolación del SPI12 en América Central para tres meses de El Niño 1972 - 1973: Febrero 1972 (A), diciembre 1972 (B) y noviembre 1973 (C)	46

Figura 20. Interpolación del SPI12 en América Central para tres meses de El Niño 1982 - 1983: Febrero 1982 (A), diciembre 1982 (B) y noviembre 1983 (C)	48
Figura 21. Interpolación del SPI12 en América Central para tres meses de El Niño 1997 - 1998: Febrero 1997 (A), Diciembre 1997 (B) y Noviembre 1998 (C)	49
Figura 22. Interpolación del SPI en América Central para tres meses de El Niño 2002 - 2003: Febrero 2002 (A), Diciembre 2002 (B) y Noviembre 2003 (C)	51
Figura 23. Zonas político - administrativas escogidas para los estudios de caso.	54

Índice de recuadros

Recuadro 1. Script para obtener la base de datos completa	19
Recuadro 2. Ecuación del coeficiente de correlación r de Spearman.	20
Recuadro 3. Ecuación del SPI para un determinado período de tiempo.	20
Recuadro 4. Script para calcular los valores de SPI12	21
Recuadro 5. Ecuación del método de interpolación IDW.	22
Recuadro 6. Ecuación de la prueba de tendencia Mann - Kendall	23
Recuadro 7. Script para calcular la prueba de tendencia Mann - Kendall	24

Índice de tablas

Tabla 1. Métodos de cuantificación para la sequía meteorológica.....	11
Tabla 2. Principales áreas afectadas según tipo de efecto.....	13
Tabla 3. Llegadas de turistas internacionales según país.....	14
Tabla 4. América Central: Estaciones meteorológicas de la base de datos Numerosa, según país 16	
Tabla 5. Rango de SPI 12 según color en mapa.....	21
Tabla 6. Ministerios públicos de turismo en América Central	25
Tabla 7. Estadísticas básicas del SPI12 de estaciones meteorológicas seleccionadas, 1950 - 2014	31
Tabla 8. Valores de la prueba de tendencia Mann - Kendall en estaciones meteorológicas seleccionadas	38
Tabla 9. Sitios con los valores de SPI12 más bajos según evento El Niño	53

Acrónimos

BMDI – Bhalme and Mooley Drought Index

CATIE – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

CCP – Centro Centroamericano de Población

CEPAL – Comisión Económica para América Latina y el Caribe

CIGEFI – Centro de Investigaciones Geofísicas

ENOS – El Niño Oscilación Sur

EP – Precipitación Efectiva

FAO – Food and Agriculture Organization

FLACSO – Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales

ICT – Instituto Costarricense de Turismo

IDW – Inverse Distance Weighted

IMN – Instituto Meteorológico Nacional

INTUR – Instituto Nicaragüense de Turismo

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

OMM – Organización Meteorológica Mundial

OMT – Organización Mundial del Turismo

PDSI – Palmer Drought Severity Index

PHI – Programa Hidrológico Internacional

PIB – Producto Interno Bruto

RI – Índice Nacional de Lluvia

SICA – Sistema de la Integración Centroamericana

SPI – Standardized Precipitation Index

TSM – Temperatura Superficial del Mar

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

ZCIT – Zona de Convergencia Intertropical

Capítulo I.- Marco introductorio

1.1.- Introducción

El Niño – Oscilación Sur, mejor conocido como ENOS, es un fenómeno natural de escala global cuyas interrelaciones entre el océano y la atmósfera generan fluctuaciones en la temperatura superficial del Océano Pacífico alrededor del Ecuador. Registros sistematizados que comienzan en el siglo XIX han permitido identificar que su comportamiento es cíclico y se compone de tres fases: fase cálida, fase fría y fase neutra (Bonilla, 2014).

La fase cálida del ciclo ENOS (en adelante El Niño) implica un calentamiento superficial del Océano Pacífico Ecuatorial, que genera variaciones climáticas en los distintos territorios bajo su influencia. Por ejemplo, altera las precipitaciones en la mayor parte de América Central, reduciéndolas drásticamente en la vertiente Pacífica e intensificándolas en la vertiente Caribe (IMN, 2018). De esta forma, El Niño actúa como una anomalía meteorológica capaz de desencadenar diferentes fenómenos climáticos, como la sequía.

Si bien existen diferentes definiciones para este término, todas se refieren al déficit de precipitación en un territorio y período determinados. Asimismo, según el área afectada, es posible diferenciar cinco tipos de sequía: meteorológica, hidrológica, agrícola, socio – económica y ecológica. La presente investigación se ocupa de la sequía meteorológica en América Central, la cual ha tenido un comportamiento recurrente y complejo; independientemente de las particularidades de cada evento de sequía, en todos ellos pueden identificarse efectos con intensidades variables de daño o impacto sobre los ecosistemas, la disponibilidad del recurso hídrico en fuentes superficiales y subterráneas, la seguridad alimentaria y nutricional, la producción agrícola y por ende sobre los sectores económicos.

Debido a una intensa vulnerabilidad ambiental, económica, política y social América Central es una zona en demasía propensa a experimentar desastres de origen natural (Hidalgo; Alfaro, 2013). Desde el año 2000, la amenaza que más ha afectado esta Región ha sido la sequía (OMM, 2016), realidad que el sector turismo, de vital importancia, ha atestiguado. Si bien este sector económico no ha sido tomado en cuenta en los análisis sobre sequía, la experiencia vivida con el evento 2014 – 2016 mostró, por un lado, la relevancia de las pérdidas económicas, y por el otro, la necesidad de mejorar su capacidad de adaptación ante este flagelo (SICA, 2017).

Este estudio pretende aportar al conocimiento existente sobre el comportamiento temporal y la dinámica espacial de la sequía meteorológica provocada por El Niño en América Central,

partiendo del hecho de que al menos una vez cada década ocurre una sequía de este tipo entre moderada y severa (Bonilla, 2014). Asimismo, se propone ilustrar de qué forma estas sequías han afectado el sector turismo de la Región.

1.2.- Delimitación espacial y temporal

El área de estudio de esta investigación comprende América Central, abarcando los siguientes países: Belice, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Mientras que el período de análisis cubre del año 1950 al 2014. La principal razón de esta escogencia es la disponibilidad de una base de datos climáticos de calidad que cubre de manera eficiente, tanto espacial como temporalmente, el área de interés.

El Programa Estado de la Nación insta a estudiar a América Central como una región, si bien en distintos ámbitos muy diversa dentro de sí misma, pero que contiene ciertos aspectos que la caracterizan como unidad: su original configuración ístmica, su carácter interoceánico y sobre todo, una misma realidad geopolítica (McKay, 2008. Granados, 1986). El reconocimiento de este carácter regional facilita el análisis realizado en este documento.

América Central consta de 530.492 kilómetros cuadrados (0,5% de la superficie terrestre) y para el año 2015 tuvo una población de aproximadamente 39.844.400 personas (CCP, 2016), la cual se encuentra irregularmente distribuida. Los principales núcleos de población se encuentran en la vertiente Pacífica, mientras que la vertiente Caribe posee una densidad de población promedio de 14 habitantes por kilómetro cuadrado (FAO, 2015), considerada como muy baja.

Dentro de sus características geográficas, América Central posee una variedad climática que se engloba en un clima tropical (Van der Zee, 2012). Se caracteriza por una distribución heterogénea de las precipitaciones, causada por distintos factores (orientación del relieve, dirección de los vientos y la posición de la Zona de Convergencia Intertropical, entre otros). El eje montañoso que atraviesa la Región en dirección Noroeste – Sureste crea un contraste climático entre las vertientes Pacífica y Caribe. Así, el Caribe muestra una fachada muy húmeda. En contraposición, la cara Pacífica presenta un clima contrastado, donde sobresale una estación seca de aproximadamente siete meses. En el contexto de la variabilidad climática, el régimen de precipitaciones descrito puede intensificarse a causa del cambio en el patrón de los vientos que ocurre durante El Niño. Debido a este fenómeno, en la vertiente Pacífica se

pueden producir sequías, mientras que en la vertiente Caribe, El Niño es responsable de un aumento de las lluvias.

1.3.- Problematicación

La sequía, en sus diferentes tipos, ocurre en todas las regiones de la superficie terrestre y tiene un amplio rango de impacto. Según la base de datos EM – DAT (2015), este evento hidrometeorológico ha generado cuantiosas pérdidas humanas y materiales: más de 10.000.000 de personas aquejadas por la desertificación en el Sahel (1980 – 1985); 20.000.000 de personas afectadas por la hambruna en Brasil (1983); 49.000.000 de personas damnificadas, 1.400 personas muertas, 11.300.000 hectáreas arables perdidas y US\$943.000.000 en daños en China (1988); 3.200.000 personas afectadas en Albania (1988 – 1991); 800.000 personas perjudicadas y 96.000 hectáreas de agricultura pérdidas en Honduras (2001) son algunos ejemplos que se han repetido a lo largo del globo, especialmente en países con una alta vulnerabilidad.

Se estima que el evento del 2014 – 2016 (asociado a El Niño) afectó a 168.200 familias en Guatemala, 160.300 en El Salvador, 76.700 en Honduras y 40.000 en Nicaragua. En Costa Rica la pérdida en granos básicos fue de US\$13.000.000, y en Panamá las pérdidas en maíz ascendieron a 1.130 hectáreas (TropiSeca, 2019). La variabilidad climática (manifestada entre otros por medio del fenómeno El Niño) y condiciones de vida desfavorables en América Central, han aportado para que las sequías sean cada vez más recurrentes, además que los daños asociados sean más intensos y por períodos cada vez más extensos (CEPAL, 2015). La sequía tiene un profundo impacto sobre los sistemas de vida y el sustento de la población, ya que la mayor parte de la agricultura de la Región depende de la lluvia, esto ha ocasionado reducciones significativas en el Producto Interno Bruto de los países en estudio, sin dejar de lado el impacto en la disponibilidad del recurso hídrico para consumo humano y sus consecuencias en la salud y calidad de vida de los habitantes.

1.4.- Justificación

En América Central, la sequía ha tomado aún más importancia como un tema de actualidad y relevancia social (Gobierno de Costa Rica, 2014), debido principalmente a dos situaciones: a la intensidad de El Niño manifestada en la Región en el evento 2014 – 2016, el cual es uno de los más significativos que se hayan registrado (NOAA, 2016); y al impacto negativo que éste cogerá (junto con una alta vulnerabilidad socioeconómica y ambiental).

Los diferentes sectores económicos de la Región han presenciado efectos directos e indirectos de la sequía. En la cumbre de presidentes de América Central de 2008, se desarrolló por primera vez el tema de las afectaciones al sector turismo asociadas a la sequía y se instó a los países de la Región a conformar planes de adaptación para dicho sector (SICA, 2010). Este acontecimiento de carácter político es un hito pues sentó precedentes para pensar en el turismo y su impacto a escala de región y tratar de hacer a un lado, las miradas parciales y nacionales.

La presente investigación se justifica por la falta de un estudio regional que analice tanto el comportamiento espacio – temporal de la sequía meteorológica como sus efectos en América Central, entre otros los relacionados con el sector turismo. Desde la Geografía, se puede intentar llenar este vacío por medio de su capacidad de análisis a diferentes escalas, tomando en cuenta las interacciones entre el medio físico y las actividades que en él se realizan para poder analizar qué se ha hecho bien y qué es posible mejorar.

1.5.- Antecedentes

El estudio de la sequía en el contexto internacional es sumamente amplio, a partir de la segunda mitad del siglo XX se desarrollaron múltiples investigaciones que abordaron este tópico desde diferentes enfoques. Debido a su importancia para este estudio, sobresalen tres libros: 'Understanding the drought phenomenon: The role of definitions' (Wilhite y Glantz, 1985), 'Drought event definition' (Hisdal, 2000) y 'Hydrological drought explained' (Van Loon, 2015).

En la década 1980, Wilhite y Glantz agruparon las principales aproximaciones conceptuales existentes hasta ese momento y establecieron cuatro tipos de sequía (meteorológica, hidrológica, agrícola y socio – económica), esta diferenciación parece ser el punto mínimo de entendimiento teórico y el más difundido en la literatura (Brenes, 2005). En un principio, esta clasificación introdujo confusión en el tratamiento del tema debido a que en algunos casos, como en la sequía agrícola y socio – económica, se condicionaba el evento a la presencia de un desastre (Borton, 1994). Sin embargo, actualmente, el trabajo de Wilhite y Glantz es la base teórica de cualquier investigación sobre sequía.

Otro punto de inflexión fue el trabajo de Hisdal. Este autor asoció la intensidad de las sequías ocurridas en los últimos años de la década 1990 con el cambio climático. Según Domínguez (2016), esta asociación fue un aporte importante para que el conocimiento científico sobre la

sequía, se desarrollara en zonas que no habían tenido la oportunidad de hacerlo. Entre los aportes, por tanto, está en conocer más a fondo el fenómeno en América Central.

En el año 2015, Van Loon publicó su libro '*Hydrological drought explained*', el cual reunió los conocimientos modernos sobre sequía, en relación a definiciones, procesos y efectos; utilizando ejemplos de eventos ocurridos después del año 2010, por lo que se caracteriza por su actualidad. La importancia de dicho libro para la investigación desarrollada en este documento radica en la contextualización climática de la sequía hecha para América Central, razón por la cual se considera el principal soporte bibliográfico de la misma.

Por otro lado, en comparación al contexto internacional, las investigaciones relacionadas con el tema de la sequía en la Región son más escasas. Los trabajos existentes desarrollan diferentes aspectos del fenómeno, como su distribución espacial, monitoreo y su relación con distintos niveles de vulnerabilidad. Como trabajos regionales, destacan la '*Perspectiva Climática para Mesoamérica*' y el '*Atlas de Sequías para América Latina y el Caribe*', que son productos digitales que predicen gráficamente la evolución de la sequía a partir del comportamiento climático de los tres meses anteriores a su publicación, que desde el 2011 se realiza mensualmente. Si bien este insumo es la única caracterización espacial que se actualiza periódicamente, su debilidad radica en que para América Central, la interpolación es poco detallada por lo que se pierde calidad en la información.

'*Patrones de sequía en Centroamérica*' es otro ejemplo de un análisis regional, en este caso realizado por *Global Water Partnership*. Al igual que la presente investigación, utiliza el Índice Estandarizado de Precipitación, conocido como SPI en sus siglas en inglés (*Standardized Precipitation Index*), para cuantificar la sequía meteorológica y definir la intensidad de los eventos ocurridos, enfatizando el análisis en el Arco Seco de Panamá (conformado por las provincias Veraguas, Herrera, Los Santos y Coclé).

A diferencia de los ejemplos anteriores, se pueden encontrar casos de investigaciones más focalizadas, en cuanto a lugares o eventos específicos. En este sentido sobresale el trabajo de Birkel (2005 y 2006), quien ha desarrollado investigaciones en el Golfo de Fonseca (compartido por El Salvador, Honduras y Nicaragua) y en Costa Rica, centrándose en los modelos que permiten calificar y cuantificar los períodos de sequía. Las conclusiones más importantes de este grupo de trabajos fueron la tendencia al aumento de la intensidad de la sequía en distintos puntos de la vertiente Pacífica, y la idoneidad del Índice Estandarizado de

Precipitación y el Índice de Severidad de Sequía para analizar el fenómeno en la Región, los cuales aconseja utilizar en futuras investigaciones.

En cuanto al análisis de eventos específicos, destaca el informe de la sequía de 1997 - 1998 realizado por la FAO, que fue elaborado con el objetivo de determinar el desarrollo espacial de dicho evento. Su principal aporte fue el establecimiento del concepto Corredor Seco Centroamericano para referirse a las zonas más afectadas, y su posterior delimitación. En lo específico, el Corredor Seco Centroamericano se define como un grupo de ecosistemas que se combinan en la ecoregión del bosque tropical seco de América Central, que inicia en Chiapas (México) y abarca las zonas bajas de la vertiente Pacífica y gran parte de la región central premontana (0 a 800 msnm) de Guatemala, El Salvador, Nicaragua y parte de Costa Rica (hasta la provincia Guanacaste); en Honduras, incluye fragmentos que se aproximan a la costa Caribe (FAO, 2012).

En la actualidad, existen tres instituciones realizando esfuerzos por mejorar el entendimiento de la sequía en la Región. El Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres en América Central y República Dominicana (CEPRENAC) mantiene activos proyectos de carácter regional mientras que TropiSeca y el Observatorio del Agua y Cambio Global centran sus estudios en cuencas específicas. El objetivo común de estas tres instituciones es fortalecer las capacidades de universidades e instituciones públicas para generar conocimiento basado en la investigación, en el campo de la evaluación y el manejo de la sequía meteorológica en regiones tropicales (TropiSeca, 2018), por lo que se complementan de muy buena manera con la presente investigación.

Por otro lado, como se explica en la Justificación, no existe ninguna investigación que analice los efectos que la sequía ayuda a provocar en el sector turismo en América Central. El estudio más relacionado, se desarrolla en el Parque Nacional Iguazú en Brasil ('Drought on the Iguazú'), donde se concluye que existe una correlación entre los períodos de sequía y la disminución en el ingreso de turistas al parque nacional, sin profundizar en las posibles causas.

1.6.- Objetivos

1.6.1.- Objetivo general

Analizar la sequía meteorológica provocada por El Niño en América Central durante el período 1950 – 2014, mediante el Índice Estandarizado de Precipitación, con el propósito de determinar las tendencias espacio – temporales ocurridas; y determinar algunas afectaciones asociadas al sector turismo.

1.6.2.- Objetivos específicos

1. Caracterizar el comportamiento temporal de la sequía meteorológica en la región de estudio para el período 1950 – 2014, usando el Índice Estandarizado de Precipitación.
2. Determinar la dinámica espacial de la sequía meteorológica en la zona de estudio durante los principales eventos El Niño entre 1950 – 2014, utilizando el Índice Estandarizado de Precipitación.
3. Revisar, mediante información bibliográfica y consultas a informantes claves, algunas de las afectaciones de la sequía meteorológica en el sector turismo de las zonas de mayor intensidad del fenómeno El Niño, durante los principales eventos entre 1950 – 2014.

1.7.- Marco conceptual

El presente apartado aborda el estudio de tres ejes de la investigación: el ciclo ENOS, la sequía y el sector turismo.

1.7.1.- El ciclo ENOS en el contexto de la variabilidad climática

El primer concepto central de esta investigación, la fase cálida del ciclo ENOS o bien El Niño, se analiza desde la variabilidad climática. Este término se refiere a las fluctuaciones observadas en los valores medios de elementos del clima, durante períodos de tiempo determinados. Así, se puede hablar de variabilidad climática estacional, interanual e interdecadal (Montealegre, 2004). A la diferencia entre el valor registrado y el valor promedio se le conoce como anomalía y puede ser producto de un fenómeno atmosférico como el ciclo ENOS, el cual es la mayor fuente de variabilidad climática en las zonas tropicales (IMN, 2016).

El ciclo ENOS es un evento climático natural que se desarrolla debido a una interacción entre la atmósfera y el Océano Pacífico Ecuatorial; el mismo causa alteraciones en la temperatura superficial del mar (TSM) y en los sistemas de presiones de las zonas subtropicales que afectan la fuerza y dirección de los vientos alisios. Presenta tres fases: El Niño, La Niña y la Fase

Neutra; las cuales se presentan en intervalos irregulares, que oscilan entre los 2 y 7 años. Su fase cálida (El Niño) se caracteriza por un aumento de la TSM, mientras que su fase inversa (La Niña) presenta la TSM más fría de lo normal (Maturana, 2004).

El ciclo ENOS ocasiona una alteración en el régimen de precipitación a escala global. Afecta zonas como la costa Pacífica de América del Sur, el Cono Sur, América Central, el Sudeste Asiático y en general, las tierras emergidas ubicadas en la Zona de Convergencia Intertropical (Figura 1).

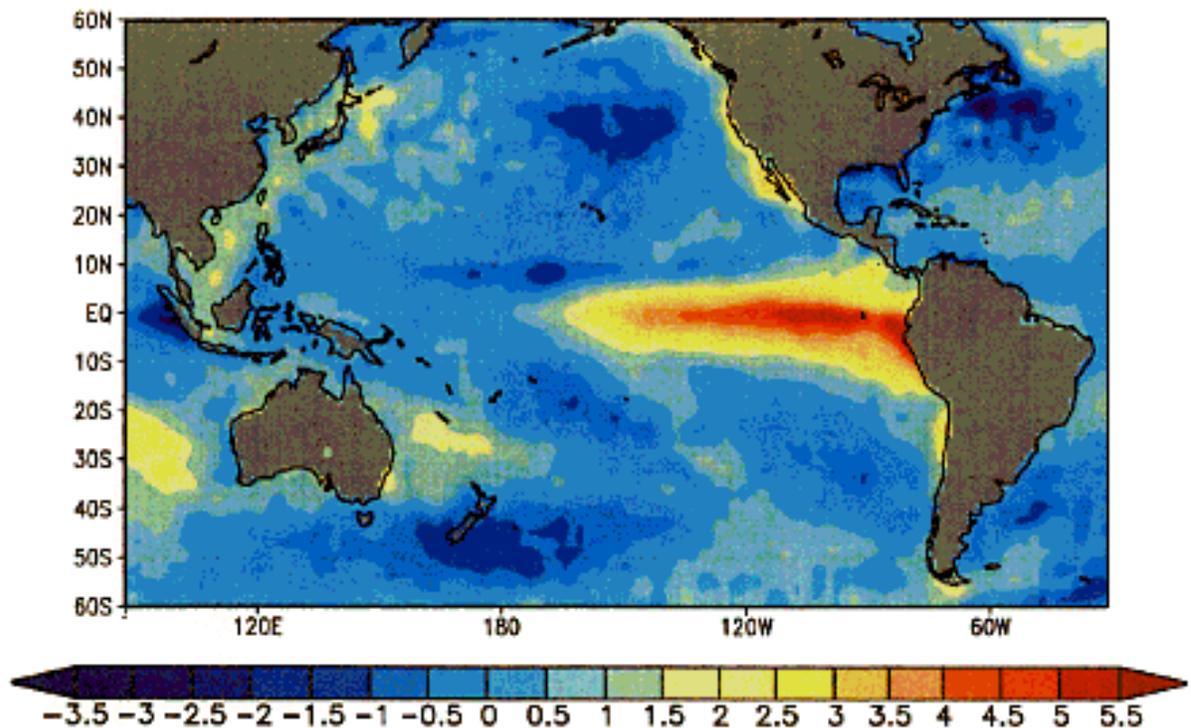


Figura 1. Mapa de temperaturas anómalas de la superficie oceánica en diciembre de 1997; muestra un aumento de la TSM en el Pacífico Ecuatorial. Fuente: EM - DAT.

Durante El Niño, se produce un calentamiento de las aguas del Océano Pacífico Ecuatorial. Al mismo tiempo, se producen disturbios en la presión atmosférica y con ello, en la circulación general del viento, provocando que el estado del tiempo de muchas regiones del planeta varié su comportamiento (IMN, 2016). Los elementos que conforman esta fase son: la TSM, la presión atmosférica, los vientos alisios, la precipitación y el nivel del mar.

1.7.2.- El estudio de la sequía: Definiciones variadas, cuantificación y efectos

El fenómeno de la sequía se caracteriza por la carencia de una definición única, ya que posee una importante cantidad de conocimientos y enfoques diversos entre sí, debido principalmente a la variedad de climas existentes y a los diferentes niveles de adaptación de los lugares influenciados (Tallaksen & Van Lanen, 2004). A pesar de lo anterior, existen definiciones que comparten el déficit de precipitación durante un determinado período como un elemento común, por ejemplo:

- “Período en el cual la cantidad de lluvia es apreciablemente menor que el promedio, calculado con base en un largo período de registro; y cuando esta deficiencia produce condiciones adversas” (Solórzano, 1996). En este caso se condiciona el fenómeno a la presencia de un desastre.
- “Deficiencia de precipitaciones durante un período relativamente prolongado” (Valiente, 2001). El autor también plantea una definición operacional, que toma en cuenta la realidad climática para establecer la cuantificación de la deficiencia y el tiempo expresado.
- “Período sostenido en que la disponibilidad de agua está por debajo de lo normal, con características espaciales y temporales que varían significativamente de una región a otra” (Van Loon, 2015).

El trabajo que intenta agrupar las principales aproximaciones conceptuales y, a la vez, el más difundido en la literatura y en el campo académico, es el de Wilhite y Glantz (1985). Estos autores formulan cuatro definiciones de sequía que corresponden a un aspecto diferente del fenómeno, como se detalla a continuación:

- Sequía meteorológica: Basada en datos climáticos, es una desviación de la precipitación respecto a la media durante un período determinado. Ante la dificultad de establecer una magnitud y una duración del déficit pluviométrico válidas para diferentes áreas geográficas, no se definen umbrales fijos.
- Sequía hidrológica: Se refiere a una deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas. Su manifestación puede durar meses desde el inicio del déficit o bien, puede no darse.
- Sequía agrícola: Se produce cuando no hay suficiente humedad en el suelo para permitir el desarrollo de un determinado cultivo. Al igual que en la sequía hidrológica, la gestión del agua juega un papel importante en su desarrollo.

- Sequía socio – económica: Sucede cuando el déficit pluviométrico produce daños económicos o personales. También se puede entender como los impactos negativos ocasionados por los tres tipos de sequía descritos.
- Sequía ecológica: Añadida por Tallaksen y Van Lanen (2004), se presenta cuando la falta de precipitación provoca estrés en ecosistemas.

De forma incorrecta, hay dos términos que son utilizados como sinónimos de sequía. Uno de ellos es la aridez, que es una característica propia y permanente del clima seco, ya sea estepario o desértico, según la clasificación climática de Köppen. En este clima, la sequía combinada con actividades humanas mal planificadas puede producir degradación de tierras y la transformación de ecosistemas productivos en desiertos (desertización). Otro de los conceptos que suele ser mal utilizado es la escasez de agua. Si bien ambas ocurren simultáneamente, la escasez se refiere al consumo humano o agrícola y está relacionada con una deficiente gestión del recurso hídrico, no obstante, el desarrollo de una sequía no condiciona la presencia de la escasez hídrica (Solórzano, 1996).

Con el objetivo de facilitar el análisis desarrollado en este estudio, se plantea una única definición de sequía meteorológica, fundamentada en el concepto de Wilhite y Glantz; de esta forma, se define como un déficit de precipitación en comparación a condiciones promedio, causado por una anomalía meteorológica en una zona específica.

Habiendo analizado las diferentes definiciones de sequía, resulta importante acotar que la escala espacial y temporal de un evento de sequía depende mayoritariamente de la anomalía meteorológica que lo provoca y de su relación con factores como la vegetación, el suelo y la geomorfología (Suárez, 1985). Este fenómeno difiere en gran medida de otros eventos meteorológicos como las inundaciones, generalmente más rápidos y de menor extensión. A pesar de que puede tener una extensa distribución, en comparación a otros eventos meteorológicos, la sequía posee cierta heterogeneidad. En este sentido, según Tallaksen y Van Lanen (2004), algunas características que tienen que ser estudiadas son: la extensión espacial de eventos individuales, la variabilidad dentro del área afectada, la dinámica de la extensión espacial y los patrones recurrentes en el espacio y el tiempo.

La cuantificación es uno de los aspectos más complejos del estudio de la sequía. Ello se debe a la falta de consenso en su definición. Así, el déficit de precipitación se calcula a partir de las condiciones climáticas medias de cada zona. No existen parámetros globales, regionales ni

locales que establezcan medidas estándar. Aun así, para cada tipo de sequía existen determinados métodos de cuantificación que poseen virtudes y limitaciones. Para el caso de la sequía meteorológica, se cuenta con diversos índices, que se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1. Métodos de cuantificación para la sequía meteorológica, modificados de Valiente (2001)

Método	Sigla	Descripción
Porcentaje de la Precipitación Media	BMDI	Se define como el cociente de la precipitación total registrada y la precipitación media, expresado en porcentaje. Debido a su simplicidad es el índice de sequía meteorológica más utilizado (Valiente, 2001). Sin embargo, su resultado no es comparable para lugares diferentes.
Cuantiles	-	Evita las limitaciones del método anterior al dividir la distribución de ocurrencias pluviométricas en intervalos para cada 20%, 10% o 1%. Esto permite que el período de cálculo no sea escogido de manera aleatoria.
Índice Estandarizado de Precipitación	SPI	Fue desarrollado por McKee (1993). Se calcula la precipitación total de un determinado período menos la media aritmética y se divide por la desviación típica. Permite establecer comparaciones entre todo tipo de climas.
Índice de Severidad de Sequía	PDSI	Fue creado por Palmer en 1965 para medir condiciones de humedad. Se basa en el balance hídrico, de tal forma que utiliza numerosas variables para reflejar el aporte y la demanda de agua. Si bien es muy efectivo al definir la intensidad de una sequía, su principal debilidad es que se basa en condiciones climáticas de los estados Iowa y Kansas (Estados Unidos) por lo que su uso se encuentra limitado a lugares con condiciones similares.
Índice Nacional de Lluvia	RI	Fue creado por Gomme y Petrassi (1994), que lo aplicaron en África. Se calcula país por país, tomando la precipitación media anual del territorio según el peso de las medias a largo plazo de cada estación. Presenta comparabilidad entre países, aunque no permite una escala espacial de detalle.
Precipitación Efectiva	EP	Byun y Wilhite (1999) propusieron este índice para calcular la duración y severidad de las sequías. El índice es todavía muy reciente, pero los resultados que los autores ofrecen para el estado Nebraska (Estados Unidos) reflejan que permite llevar a cabo un seguimiento en tiempo real de la evolución de la sequía.

Como se ha visto, existen varias formas de cuantificar la sequía meteorológica, y todas poseen ventajas y limitaciones. Para el caso de América Central, se considera que el Índice Estandarizado de Precipitación es el más adecuado, debido principalmente a su capacidad de comparar resultados en zonas climáticamente diferentes. Si bien otros métodos han sido utilizados en la Región, de estos solo el Índice de Severidad de Sequía ha tenido resultados relativamente buenos (Birkel, 2006), aunque es necesario refinar su aplicación en esta área. El

Porcentaje de la Precipitación Media y el Índice Nacional de Lluvia no poseen una escala espacial de detalle adecuada mientras que la fórmula de la Precipitación Efectiva no está completamente lista para la Región, aunque podría ser una buena opción a futuro (Valiente, 2001).

Con respecto a los efectos de la sequía en el espacio geográfico, la presente investigación entiende estos efectos como impactos que se construyen de manera multifactorial por medio de interacciones entre el entorno físico y el ser humano. Tallaksen y Van Lanen clasifican los efectos de la sequía en físicos, sociales y económicos; tanto directos como indirectos. Cabe destacar que la mayoría de las veces, la sequía se desarrolla de manera lenta e imperceptible y puede pasar inadvertida por mucho tiempo. Por esta razón, los efectos repentinos de otros eventos (inundaciones, tsunamis, deslizamientos) son en ocasiones, más llamativos (Aguilar et al, 2005). Aun así, la sequía ocurre en todas las regiones y tiene un amplio rango de impactos.

En la literatura se ha ampliado la creencia de que en países desarrollados, los impactos producidos por la sequía son de naturaleza física y económica (dándole un menor peso a lo social), mientras que en países no desarrollados se sufren los tres tipos (Tallaksen; Van Lanen, 2004). Para cuantificar estos impactos las únicas referencias cuantitativas son las pérdidas económicas derivadas de la escasez hídrica, el número de personas afectadas por el desabastecimiento y el número de personas fallecidas atribuibles a procesos desencadenados por la sequía. La tabla 2 muestra las principales áreas afectadas según el tipo de efectos.

Tabla 2. Principales áreas afectadas según tipo de efecto; modificado de Tallaksen y Van Lanen (2004)

TIPO	EFECTOS	
	DIRECTOS	INDIRECTOS
Físico	Niveles de caudales y aguas subterráneas	Calidad del agua
	Humedad en el suelo	Crecimiento vegetal
	Nivel de embalses	Hábitats
	Velocidad del agua	Tormentas de polvo
Económico	Extracción de agua superficial y subterránea Rendimiento de cultivos	Fuegos forestales
		Agua para irrigación y uso doméstico
		Muerte de ganado
		Navegabilidad
		Energía hidroeléctrica
Social	Agua para el consumo	Alimentos
		Crecimiento económico
		Conflictos hídricos
		Desempleo
		Hambre
		Pobreza
		Salud
Migración		
		Muertes humanas

1.7.3.- Análisis general del sector turismo en América Central

El turismo visualizado como actividad económica forma parte del sector económico terciario o sector servicios. Según la Organización Mundial de Turismo, consiste en los viajes y estancias que realizan personas en lugares distintos a su entorno habitual, de manera doméstica o internacional (ICT, 2017), por lo tanto requiere de la existencia de una estructura de producción de bienes y servicios, que permita el intercambio de quienes compran un producto turístico y quienes lo elaboran.

Se estima que el sector turismo representa cerca del 5% del PIB mundial, además de contribuir con entre el 6% y 7% del número total de puestos de trabajo directos e indirectos en el planeta (OMT, 2017). Asimismo, posee una marcada fragilidad económica y ambiental; el volumen de llegada de turistas, la estructura y arraigo cultural de la localidad receptora, las características del ambiente y la estructura política del país y comunidad receptora son factores cambiantes de los cuales la salud de este sector es dependiente.

Debido a esta importancia y fragilidad, entes administrativos y gubernamentales de varias regiones del mundo conciben este sector como uno de los elementos claves en la consecución

de un desarrollo económico y social sostenible a largo plazo, y por ende, mediante diferentes instrumentos de política, lo enfocan como eje de configuración de estructuras económicas y sociales acordes con las condiciones y necesidades de cada sociedad.

En América Central, el desarrollo del turismo se da muy avanzado el siglo XX, a causa de la inseguridad generada por los gobiernos militares y la situación de conflicto armado que se mantuvo hasta 1986 (a excepción de Costa Rica). La pacificación del istmo centroamericano a partir de dicho año generó el inicio del incremento constante del turismo hasta la actualidad (Vargas, 2006). La tabla 3 muestra parte del desarrollo de la visitación turística externa para la Región.

Tabla 3. Llegadas de turistas internacionales según país; modificado de OMT (2016)

País	Año		
	2005	2010	2015
Costa Rica	1.679.000	2.100.000	2.660.000
Panamá	702.000	1.324.000	2.109.000
Guatemala	1.080.000	1.219.000	1.548.000
El Salvador	1.127.000	1.160.000	1.402.000
Nicaragua	712.000	1.011.000	1.386.000
Honduras	673.000	663.000	914.000
Belice	237.000	242.000	341.000

Inmann (1999) definió cuatro condiciones básicas que han creado el potencial de éxito para el turismo de América Central, estas condiciones son la ubicación geográfica (que facilita la comunicación e intercambio con el mercado Norteamericano), la dotación de recursos naturales, el clima y la riqueza cultural; las cuales determinan los productos turísticos de la Región: el ambiente natural y la conservación de la naturaleza, la arqueología e historia precolombina, los grupos étnicos y la cultura viva y la arquitectura urbana y patrimonio colonial (Vargas, 2006).

A pesar de lo anterior, según Bosch (2010), muchos lugares de América Central han experimentado la “industrialización del turismo”, que se caracteriza por la apropiación de lugares estratégicos, el crecimiento desmedido de la planta turística, infraestructuras insuficientes e inadecuadas en muchas ocasiones y emprendimientos inmobiliarios de especulación cuyo principal objetivo es la rápida recuperación del capital invertido a cualquier precio.

Como excepción se puede citar el caso de Costa Rica, que es considerado el pionero del eco – turismo (Vargas, 2006). En gran medida esto se debe a las estrategias aplicadas para la conservación de los recursos naturales, ofreciendo productos turísticos en los cuales los turistas pueden vivir una experiencia única al interactuar con la naturaleza y con las comunidades locales de una manera sostenible.

1.8.- Metodología

El contenido de la investigación se desarrolla en tres fases, a saber:

1.8.1.- Fase I: Contextualización conceptual

Se realiza una recopilación de información bibliográfica con relación a la sequía, El Niño y el sector turismo. Esta tarea implicó la revisión de libros, artículos de revista, tesis, noticias y entrevistas a expertos. Este conocimiento fue base para el desarrollo de los capítulos II al V.

1.8.2.- Fase II: Análisis espacio-temporal: Base de datos Numerosa y producto global

Esta fase cubre los primeros dos objetivos específicos, que pretenden caracterizar el comportamiento espacio – temporal de la sequía meteorológica usando el Índice Estandarizado de Precipitación en la región de estudio para el período 1950 – 2014. Para esto se utiliza, principalmente, la base de datos Numerosa (CIGEFI, 2004) y como complemento, un producto global. Este último se refiere a una fuente de información meteorológica en línea, que tiene una cobertura espacial y una temporalidad específicas, según su origen. A continuación se detallan las características de ambas fuentes de datos.

La base de datos Numerosa fue facilitada por el Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica (CIGEFI). Data del 2004 y contiene información climatológica de 21 países de América Latina. La versión utilizada para esta investigación posee 133 estaciones con datos de precipitación promedio mensual, divididas de la siguiente forma.

Tabla 4. América Central: Estaciones meteorológicas de la base de datos Numerosa, según país

País	Estaciones	Porcentaje
Belice	1	0,7
Guatemala	47	35,3
Honduras	12	9,0
El Salvador	12	9,0
Nicaragua	18	13,7
Costa Rica	21	15,8
Panamá	21	16,5

La tabla 4 permite visualizar que esta base de datos se caracteriza por una distribución desigual de las estaciones meteorológicas según país. Por ejemplo, existe un primer grupo de países que poseen más de 20 estaciones cada uno (Guatemala, Costa Rica y Panamá), mientras que hay tres países con menos de 16 estaciones cada uno (Honduras, El Salvador y Nicaragua), por último, Belice solo cuenta con una estación en su territorio.

La figura 2 detalla la distribución espacial de las estaciones meteorológicas en América Central. Existen algunos departamentos, regiones autónomas y provincias que no cuentan con estaciones, por ejemplo el departamento Petén en Guatemala; los departamentos Colón Olancho, Gracias a Dios, Comayagua y La Paz en Honduras; los departamentos Usulután, San Miguel, Morazán y La Unión en El Salvador; las regiones autónomas Atlántico Norte y Atlántico Sur en Nicaragua; el sur de la provincia Puntarenas en Costa Rica y la provincia Darién en Panamá. Debido a la importancia de una red de estaciones que cubra la región de estudio de la manera más uniforme posible, los vacíos de información espacial que la base de datos Numerosa posee van a ser complementados con el producto global mencionado.

Al contrario de la distribución espacial, los registros temporales de las estaciones propias de la base de datos Numerosa son muy regulares. En el periodo de 1950 al 2000, cada año tiene un promedio de 60 estaciones disponibles. En este estudio, esta cantidad se considera suficiente para realizar una interpolación confiable para la Región. El lapso comprendido entre el año 2001 y el 2014, así como, los vacíos de información temporal (meses sin registro), van a ser completados con la fuente que se describirá en adelante.

Para aproximar los valores de los registros faltantes y así llenar los vacíos de información meteorológica de la base de datos Numerosa, se utiliza la base de datos de precipitación y temperatura de la Universidad de Delaware, la cual proviene de interpolaciones realizadas a partir de estaciones de la Red Mundial de Clima Histórico (Willmott; Matsuura, 2001). Esta

base de datos cubre todo el mundo con una resolución de 0,5° y sus registros empiezan en el año 1949; la misma fue descargada de la página oficial del *Earth System Research Laboratory*.

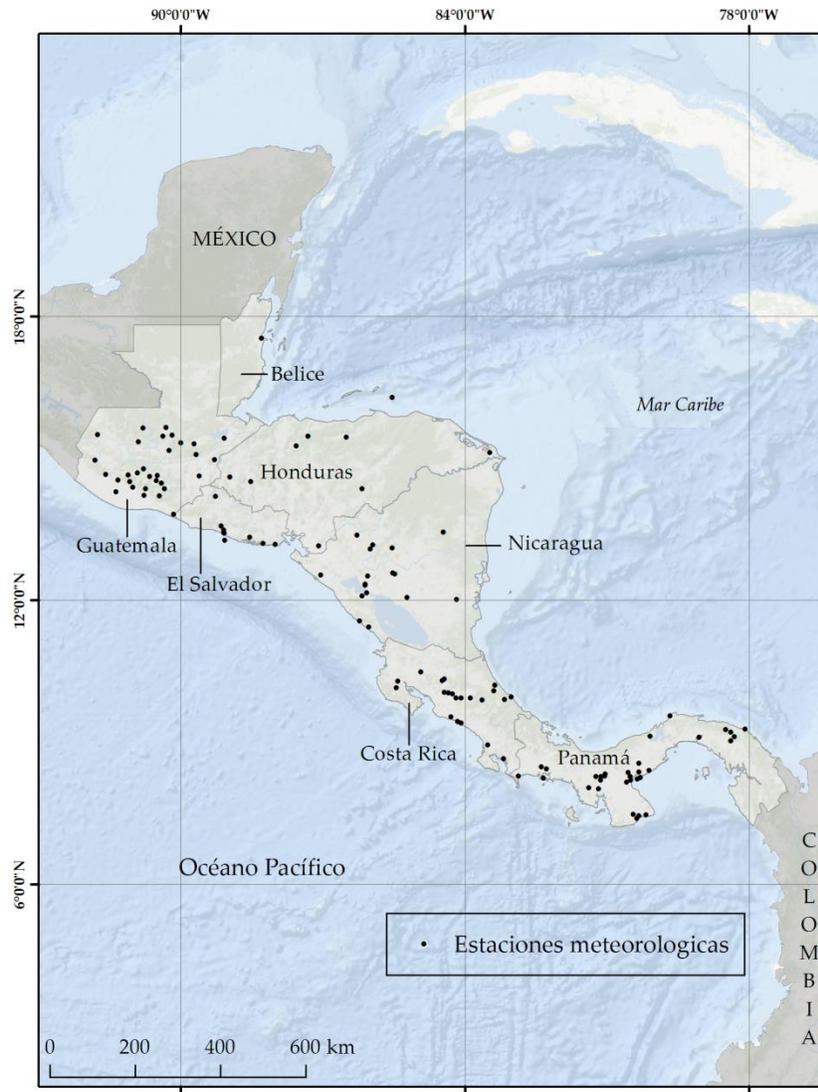


Figura 2. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas de la base de datos Numerosa en América Central. Fuente: Elaboración propia.

Para la elaboración de gráficos y la cartografía, se partió de las fuentes que proveyeron los datos meteorológicos. En el presente apartado, se explican los pasos necesarios para realizar los gráficos y mapas correspondientes a los capítulos II y III:

- a) Por medio del programa Excel, se organizaron manualmente los datos de precipitación promedio mensual según estación, con el objetivo de importarlos y procesarlos automáticamente en el lenguaje estadístico de programación “R” (R *Development Core Team*, 2016). R es un lenguaje y entorno de programación para análisis estadístico y gráfico, que realiza el cálculo del Índice Estandarizado de Precipitación de manera muy ágil.
- b) Utilizando el editor de programado del programa R se crea un *script*¹ personalizado (recuadro 1), el cual aproxima los registros faltantes para completar la precipitación promedio mensual en el período de estudio. Como resultado de este paso se obtiene una base de datos completa, con registros para cada uno de los meses entre 1950 y 2014.

¹ Un script es un documento que contiene instrucciones, funciones y cálculos escritos en códigos de programación con el objetivo de su ejecución automática al interior de un programa de computación.

Recuadro 1. Script para obtener la base de datos completa

```
# library("mapproj")
# library("ncdf4")
# library("sp")

file= nc_open("precip.mon.total.v401.AC.nc")
lonmat= ncvr_get(nc=file,varid="lon")
lonmat[which(lonmat>180)]= lonmat[which(lonmat>180)]-360
latmat= ncvr_get(nc=file,varid="lat")
xlim= c(-93,-77)
ylim= c(6,19)

xx= as.vector(lonmat)%*%t(as.vector(rep(1,length(latmat))))
yy= as.vector(latmat)%*%t(as.vector(rep(1,length(lonmat))))
yy= t(yy)

variable= 10*ncvar_get(nc=file,varid="precip",start=c(1,1,1))
variable= variable[,601:1380]
variable[which(variable== -9999.)]= NA
maxvalue= max(variable,na.rm=TRUE)
minvalue= min(variable,na.rm=TRUE)

data1= read.table("observados.csv",sep=";",dec=".",skip=1,stringsAsFactors=FALSE)
coord= read.table("coordenadas.csv",sep=";",dec=".",skip=1,stringsAsFactors=FALSE)

serie1= matrix(nrow=780,ncol=133)
serie2= matrix(nrow=780,ncol=133)
serie3= matrix(nrow=1,ncol=133)

for(i in 1:133){
  pixx= floor(((coord[i,2])--93)/0.5)+1
  pixy= floor((((coord[i,3])--19)/0.5)+1)*-1

  serie1[,i]= variable[pixx,pixy,]
  serie2[,i]= data1[829:1608,(i+1)]

  nonas= which(is.na(serie2[1:780,i])==FALSE)
  mod= lm(serie2[nonas,i]~serie1[nonas,i]-1)
  mod1= cor(serie2[nonas,i],serie1[nonas,i],method="spearman")
  serie3[,i]= mod1

  sinas= which(is.na(serie2[1:780,i])==TRUE)
  serie2[sinas,i]= mod$coefficients[1]*serie1[sinas,i] #formula ec. lineal
}

mean(serie3)
sd(serie3)

write.csv(serie2, file="serie_completa1.csv")
write.csv(serie3, file="coeficientes1.csv")
```

- c) Debido a que los datos meteorológicos son afectados por errores humanos y cambios espontáneos no esperados, se aplica un análisis de consistencia que incluye un estudio visual y estadístico para detectar valores extremos. A la vez, se desarrolla un mapa de coincidencia de valores entre las dos bases de datos principales (Numerosa y producto global) utilizando el coeficiente de correlación r de Spearman, que es una medida de correlación entre dos variables aleatorias continuas (Hernández, 2009). Su ecuación se muestra a continuación.

$$r = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)}$$

Recuadro 2. Ecuación del coeficiente de correlación r de Spearman; donde D es la diferencia entre los rangos X y Y , y N es el número de datos. Fuente: Elaboración propia a partir de Hernández (2009).

Para calcular esta medida se utilizó la función *cor* de R.

- d) Con la base de datos homogeneizada, se procede a calcular el Índice Estandarizado de Precipitación.

Este índice fue desarrollado para monitorear sequías, ya que permite determinar la intensidad de un evento en estaciones con información histórica de precipitación. Posee la ventaja de tomar en cuenta el promedio de precipitación de cada estación, por lo que resultados de estaciones en distintas zonas geográficas son comparables entre sí. Matemáticamente, se define como la división entre la precipitación total de un determinado período menos la media aritmética y la desviación típica; la figura 4 muestra su ecuación.

$$SPI = \frac{\sum P - \mu}{\sigma}$$

Recuadro 3. Ecuación del SPI para un determinado período de tiempo; donde P es la precipitación total, μ la media aritmética y σ la desviación típica. Fuente: Elaboración propia.

Utilizando el editor de programado de R, se crea un script propio (recuadro 4) que por medio del paquete *SPEI*, genera una matriz con los valores mensuales del índice por estación meteorológica y un gráfico que muestra visualmente la serie de tiempo mensual del Índice Estandarizado de Precipitación. En el contexto de programación en

R, el término paquete se refiere a un conjunto de funciones relacionadas a un tema específico, en este caso el cálculo del SPI, las cuales se instalan como un complemento externo.

Recuadro 4. Script para calcular los valores de SPI12

```
# library("SPEI")

datos= read.csv("serie_completa.csv", na.strings="")
valores_spi= data.frame()

for(i in 1:133){
  valores_spi[1:780,i]= spi(datos[,i+1],12)$fitted
  plot(spi(datos[,i+1],12))
}

write.csv(valores_spi,file="SPI.csv")
```

El Índice Estandarizado de Precipitación se puede calcular a partir de diferentes escalas de tiempo. Las escalas de tiempo corto (tres y seis meses) son adecuadas para fines agrícolas, mientras que las escalas a medianos y extensos períodos como el Índice Estandarizado de Precipitación de 12 meses (en adelante SPI12) reflejan mejor las condiciones hidrológicas de la región monitoreada. Con el objetivo de poder realizar comparaciones entre diferentes lugares, la escala de colores se normaliza bajo los siguientes valores:

Tabla 5. Rango de SPI 12 según color en mapa

Color	Rango de SPI 12
	-6 a -4
	-4 a -2
	-2 a -0,5
	-0,5 a 0,5
	0,5 a 2
	2 a 3
	3 a 4

Según la OMM (2016), los valores de SPI entre -0,5 y 0,5 representan los valores neutros de toda serie de precipitación analizada. Para establecer el resto de rangos se toman en cuenta los valores extremos de la base de datos, en este caso -5,416 y 3,358. Así, se establecen tres rangos proporcionales hacia cada uno de los valores extremos; entre más bajo sea el valor de SPI12, mayor es el déficit de precipitación.

- e) Después de calcular todos los valores de SPI12, los mismos se interpolan para toda la zona de estudio en los seis principales eventos El Niño por medio del software ArcGis 10.3, para esto se utiliza el método de interpolación IDW (*Inverse Distance Weighted*) cuya ecuación se muestra seguidamente.

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i) \quad i = 1, \dots, n$$

Recuadro 5. Ecuación del método de interpolación IDW; donde $Z(S_0)$ es el valor estimado del punto interpolado, n es el número de observaciones vecinas usadas para la estimación y λ_i es el peso dado al valor observado $Z(S_i)$ en las cercanías del valor S_0 . Fuente: Elaboración propia a partir de Lozano (2004).

En este método, los puntos de muestreo se ponderan durante la interpolación de tal manera que la influencia de un punto en relación con otros disminuye con la distancia desde el punto desconocido que se desea crear (Bonilla, 2014).

- f) Con el objetivo de identificar la tendencia que desarrolló el SPI12, se lleva a cabo la prueba de tendencia con significancia estadística de Mann - Kendall para los períodos 1950 - 2014 y 1990 - 2014, la cual elimina la correlación serial en los datos. Ésta prueba presenta dos hipótesis: La hipótesis nula indica que la información meteorológica proviene de una población distribuida de forma idéntica; la hipótesis alternativa indica que la información meteorológica sigue una tendencia monótona, ya sea ascendente y positiva o descendente y negativa (Pohlert, 2017). La ecuación de esta prueba se muestra a continuación.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{sí } x > 0 \\ 0 & \text{si } x = 0 \\ -1 & \text{sí } x < 0 \end{cases}$$

Recuadro 6. Ecuación de la prueba de tendencia Mann - Kendall; donde n es el tamaño de la muestra y x_j y x_i son datos secuenciales. Fuente: Elaboración propia a partir de Pohlert (2017).

Al igual que los cálculos anteriores, la prueba Mann - Kendall se realizó por medio del programa R, utilizando el paquete *zyp* (recuadro 7) el cual calcula el valor z (signo de la tendencia) y el valor p (significancia o probabilidad de un resultado no aleatorio) utilizando la función *zyp.trend.vector*.

Como producto final de esta fase, se obtienen dos gráficos de desarrollo del SPI12 por país, con el objetivo de contrastar el comportamiento en la vertiente Pacífica y Caribe (a excepción de Belice, porque solo tiene una vertiente, y Panamá, que carece de datos disponibles en la vertiente Caribe). Se agregan tres mapas de interpolación espacial del SPI12 en la región de estudio para cada uno de los seis principales eventos El Niño (uno para el segundo mes del evento, otro para la mitad y otro para el penúltimo mes del mismo) determinados a partir de Montealegre y Pabón (2004). Los eventos revisados en el presente estudio son los siguientes: 1957-1959; 1965-1966; 1972-1973; 1982-1983; 1997-1998 y; 2002-2003.

Recuadro 7. Script para calcular la prueba de tendencia Mann - Kendall

```
# require("Kendall")
# require("zyp")

base_datos= read.table("serie_completa.csv", sep=";", dec=".", skip=1,
  stringsAsFactors=FALSE)

Tiquisate= base_datos[469:780,99]
zyp.trend.vector(Tiquisate, method="zhang")
Mariscos= base_datos[469:780,104]
zyp.trend.vector(Mariscos, method="zhang")
Ladyville= base_datos[469:1780,31]
zyp.trend.vector(Ladyville, method="zhang")
Metapan= base_datos[469:780,125]
zyp.trend.vector(Metapan, method="zhang")
Jiquilisco= base_datos[469:780,128]
zyp.trend.vector(Jiquilisco, method="zhang")
Cholulteca= base_datos[469:780,39]
zyp.trend.vector(Cholulteca, method="zhang")
Guayabillas= base_datos[469:780,2]
zyp.trend.vector(Guayabillas, method="zhang")
Condega= base_datos[469:780,3]
zyp.trend.vector(Condega, method="zhang")
Siuna= base_datos[469:780,6]
zyp.trend.vector(Siuna, method="zhang")
Santa_Cruz= base_datos[469:780,29]
zyp.trend.vector(Santa_Cruz, method="zhang")
Turrialba= base_datos[469:780,27]
zyp.trend.vector(Turrialba, method="zhang")
Alanje= base_datos[469:780,57]
zyp.trend.vector(Alanje, method="zhang")
```

1.8.3.- Fase III: Estudios de caso y conversatorios

Esta fase corresponde al tercer objetivo específico. Para cada uno de los eventos El Niño estudiados y con base en los mapas realizados en el capítulo III, se ubica la zona político - administrativa que tenga el valor de SPI12 más bajo (donde la sequía meteorológica se dio con mayor intensidad), tomando en cuenta tanto la tabla de valores original como la interpolación espacial realizada.

En cada una de las zonas escogidas, se aplica un análisis de las afectaciones asociadas al sector turismo, en específico aquellas que la sequía meteorológica ayudó a provocar, considerando y tomando como base la tabla referente a las principales áreas afectadas según tipo de efecto ambiental. Para esto se utiliza como fundamento el conocimiento adquirido en los capítulos II y III y una recopilación de información bibliográfica a partir de registros en ministerios públicos reseñados en la tabla 6, libros, artículos, noticias, memorias y videos; de manera complementaria se utilizan entrevistas a profesionales en el tema y a actores claves, tanto presenciales como por medio de Internet. El producto final consiste en seis estudios de caso que sirven para obtener conclusiones sobre el proceso de afectación al sector turismo por parte de la sequía meteorológica.

Tabla 6. Ministerios públicos de turismo en América Central, 2018

País	Ministerio público de turismo
Belice	Oficina de Turismo
Guatemala	Instituto Guatemalteco de Turismo
Honduras	Secretaría de Turismo
El Salvador	Ministerio de Turismo
Nicaragua	Instituto Nicaragüense de Turismo
Costa Rica	Instituto Costarricense de Turismo
Panamá	Autoridad de Turismo

Para los conversatorios realizados con informantes clave, cuyo material fue base para el análisis desarrollado en el capítulo IV, se realizaron dos entrevistas a funcionarios relacionados, directamente, con el manejo de espacios turísticos en distintas zonas de la región. Estas fueron a Dagoberto Villegas Carmona (representante del INTUR para los departamentos León, Chinandega y Estelí) realizada vía Skype el día 4 de julio de 2017 y a Nelson Marín (director del Área de Conservación Arenal – Tempisque) realizada de manera presencial el día 22 de junio del 2017. Las preguntas realizadas se muestran a continuación:

- ¿Cuál es su puesto y cuánto tiempo lleva en él?
- ¿Cuál es su área de cobertura laboral?
- ¿Cuáles son las fortalezas del sector turismo en dicha zona?
- ¿Estas fortalezas se han visto afectadas por la sequía meteorológica? ¿De qué manera?
- ¿Se han tomado o se toman actualmente medidas preventivas y correctivas para disminuir los impactos a dicho sector económico?

Capítulo II.- Comportamiento temporal de la sequía meteorológica en América Central, 1950-2014

Cada fenómeno físico, sin importar su dimensión, se desarrolla en un ámbito temporal y al mismo tiempo en uno espacial, que se rigen por tendencias o patrones determinados por las condiciones del medio. Tomando en cuenta esta premisa, el presente capítulo caracteriza el comportamiento temporal del SPI12, enfatizando en seis eventos El Niño.

2.1.- Caracterización pluviométrica

América Central está ubicada en el área de influencia de la Zona de Convergencia Intertropical, región del globo terrestre donde confluyen los vientos alisios del Hemisferio Norte con los del Hemisferio Sur. Esta zona se caracteriza por ser una franja de bajas presiones donde convergen masas de aire cálido y húmedo, dando origen a una abundante nubosidad y a fuertes precipitaciones (NOAA, 2016).

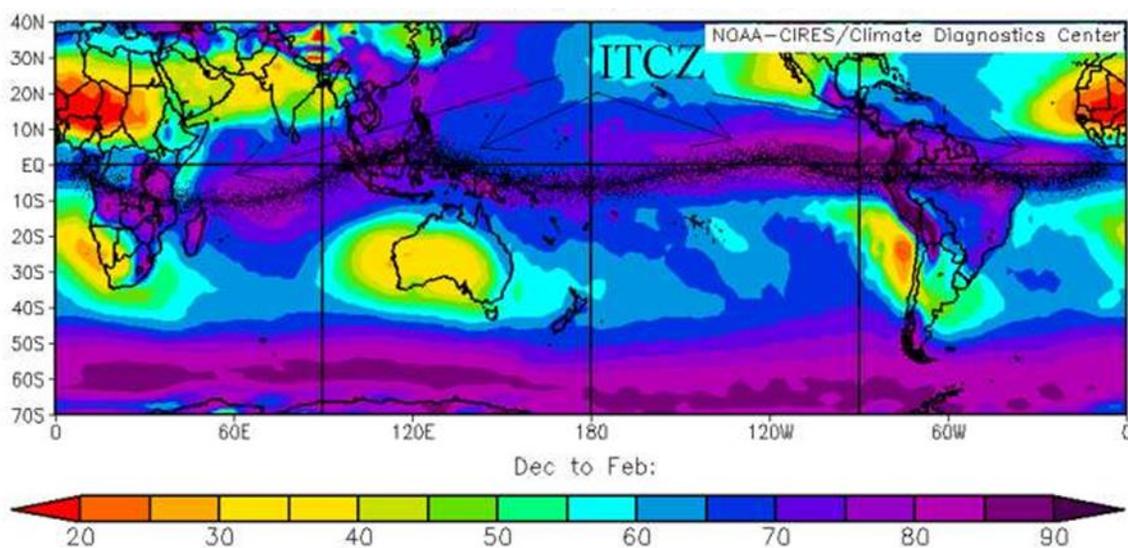


Figura 3. Mapa de humedad relativa en enero de 1966. Fuente: EM - DAT.

La interacción entre la Zona de Convergencia Intertropical y la cadena montañosa que atraviesa el istmo de Noroeste a Sureste define dos regímenes de lluvias diferentes: el de la vertiente Pacífica y el de la vertiente Caribe. En la vertiente del Pacífico se diferencia una estación seca y una lluviosa, con ligeras variaciones al Norte y al Sur de la provincia Guanacaste en Costa Rica. Al Norte de esta provincia la estación lluviosa se extiende de fines de mayo a principios de octubre mientras que al Sur se extiende de abril a fines de noviembre. En medio

de la estación, durante los meses de julio y agosto, se presentan períodos secos conocidos como veranillos o canículas (Bonilla, 2014).

La figura siguiente muestra la distribución anual de la precipitación en las estaciones Usulután (ubicada en la zona Norte de la Región, dentro del Corredor Seco Centroamericano) y Palmares (ubicada en la zona Sur de la Región), pertenecientes a la base de datos Numerosa.

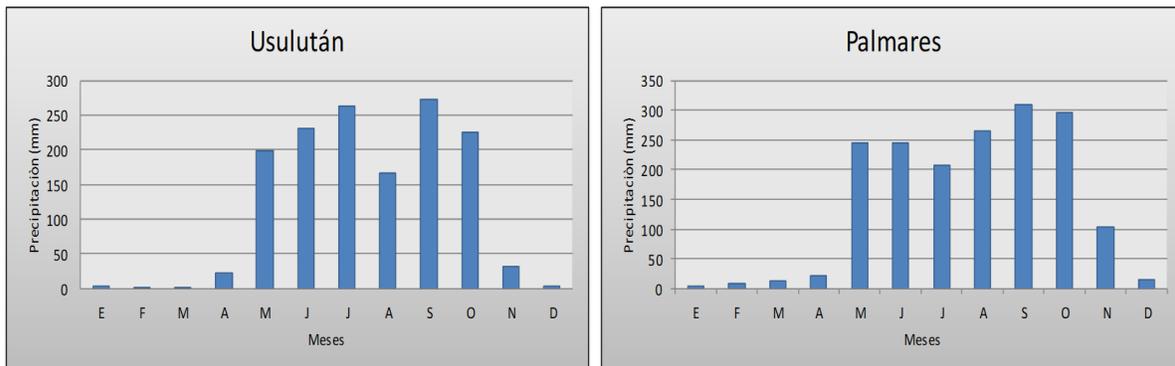


Figura 4. Distribución anual de la precipitación en las estaciones meteorológicas Usulután y Palmares, 1990 - 2005. Fuente: Elaboración propia.

Ambos gráficos siguen un comportamiento muy similar, donde setiembre y octubre son los meses más lluviosos y julio o agosto los meses de canícula. Sin embargo, la diferencia radica en que al Sur de la provincia Guanacaste la precipitación anual es, por lo general, 400 mm más alta que al Norte de dicha provincia (Gispert, 2009).

Por otro lado, en la vertiente del Caribe no existe una estación seca definida, ya que las lluvias se mantienen casi todo el año; solo se presentan mínimos relativos en marzo y abril, correspondientes a una reducción de la precipitación pero no a períodos de días secos. Los meses más lluviosos suelen ser julio y agosto. La figura 5 presenta la distribución anual de la precipitación en la estación Bluefields, ubicada en la vertiente Caribe de Nicaragua. En esta estación, así como en otras ubicadas en el Caribe de América Central, es normal que el valor de la precipitación anual sobrepase los 3.500 mm.

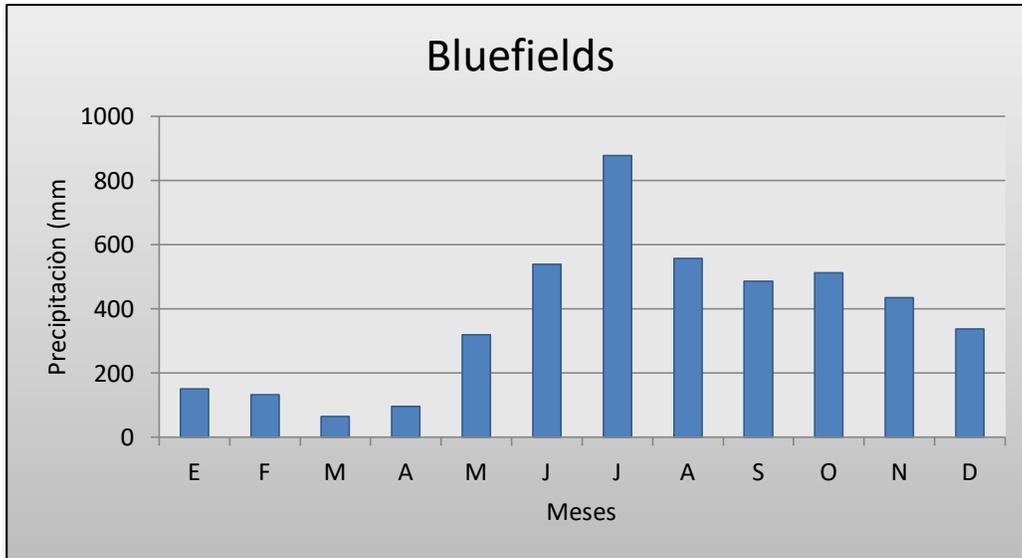


Figura 5. Distribución anual de la precipitación, estación meteorológica Bluefields, 1990 - 2005.
Fuente: Elaboración propia.

En síntesis, en toda la Región, pero particularmente en la vertiente Pacífica, la posición de la Zona de Convergencia Intertropical es el principal factor en la distribución estacional de las lluvias. El desplazamiento hacia el Norte o hacia el Sur de esta zona, define la estacionalidad de las lluvias sobre la misma y determina su distribución bimodal (FAO, 2012).

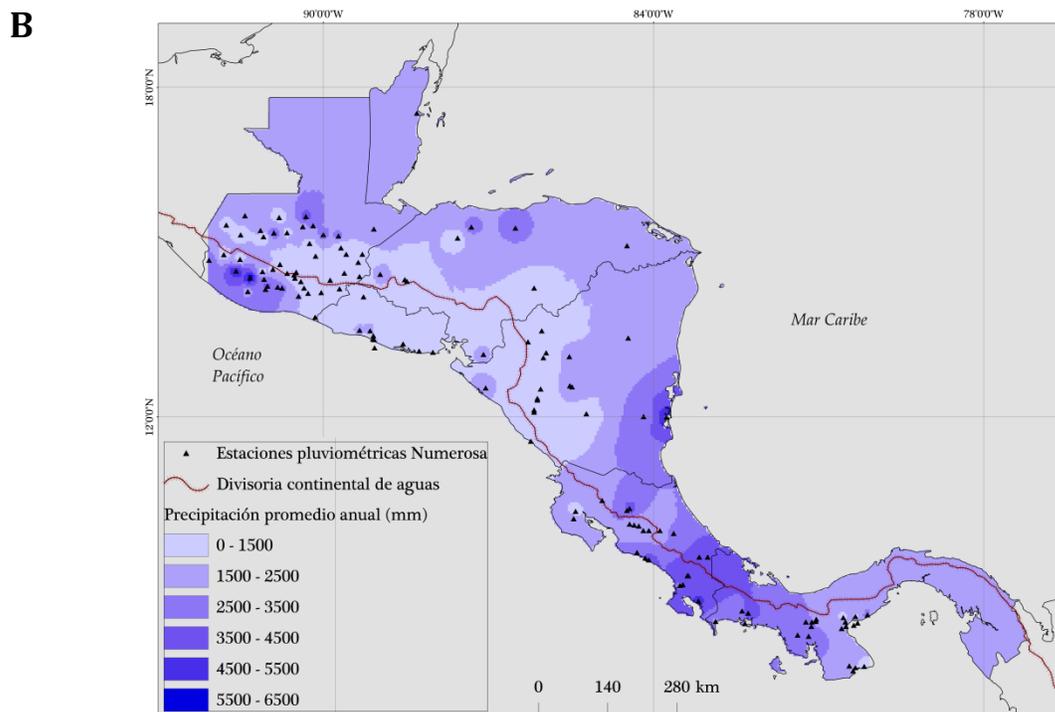
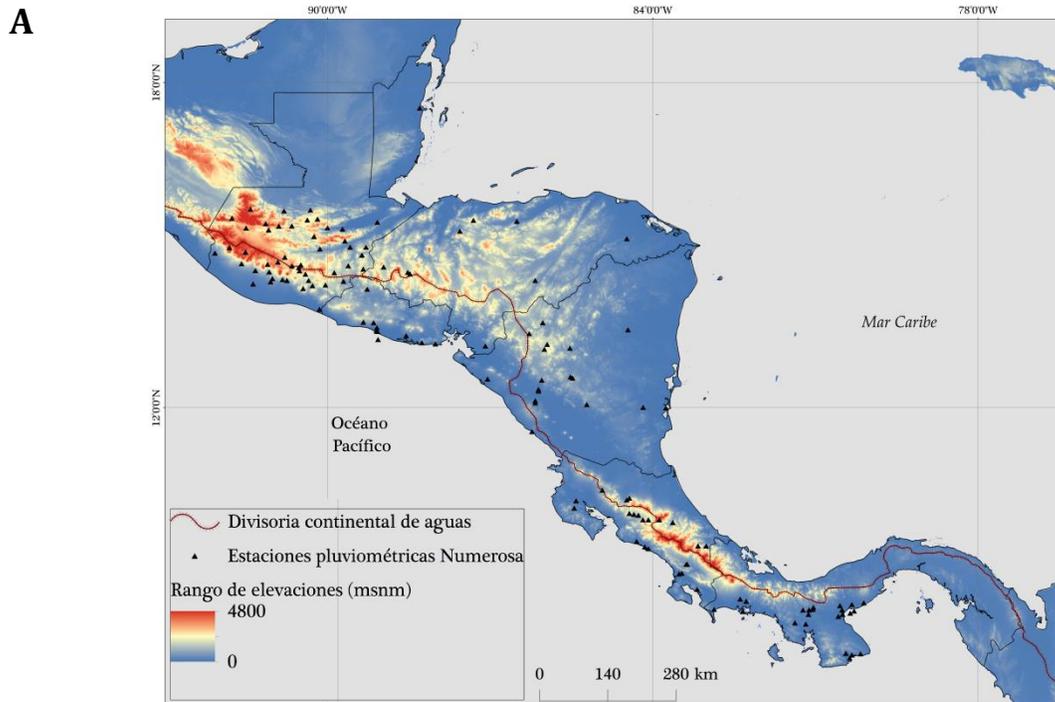


Figura 6. El Modelo Digital de Elevación indica la topografía de América Central (A) y la interpolación espacial del Promedio de Precipitación Anual (B) delimita el Corredor Seco Centroamericano con valores inferiores a 1.500 mm. Fuente: Elaboración propia.

2.2.- Selección de estaciones pluviométricas

Tal como fue detallado en la metodología, la información de precipitación que se utiliza en el análisis espacio - temporal proviene de dos fuentes: La base de datos Numerosa y el producto global. La figura 7 muestra la interpolación espacial del coeficiente de correlación r de Spearman entre ambos grupos de datos, donde el valor 1 es una coincidencia exacta que decrece en cuanto se acerca a 0.

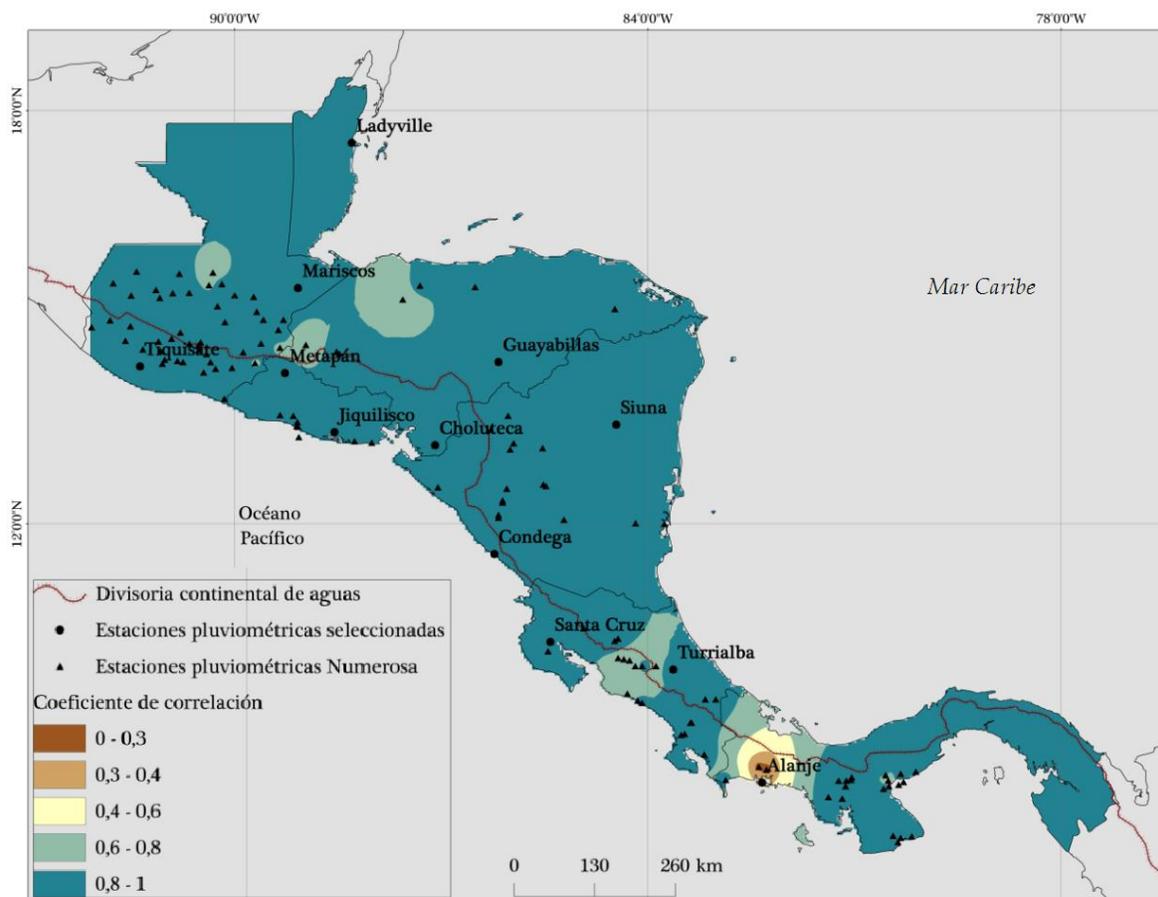


Figura 7. Interpolación espacial del coeficiente de correlación entre la base de datos Numerosa y el producto global. Fuente: Elaboración propia.

A lo largo de la Región la coincidencia entre los valores de la base de datos Numerosa y del producto global es alta (coeficientes de correlación mayores a 0,8), a excepción de una franja ubicada en el extremo Oeste de Panamá. Tomando en cuenta que los faltantes de datos de la base Numerosa se completaron con el producto global, se concluye que la información utilizada para este análisis tiene un nivel de confianza muy alto.

A partir de lo anterior, se eligieron 12 estaciones meteorológicas para aplicarles la metodología escogida, la figura 11 también muestra la distribución espacial de estas estaciones. Para la selección de estos sitios se buscó cubrir dos vertientes por país, a excepción de Belice y El Salvador (cuentan únicamente con una vertiente), y Panamá (no cuenta con datos en la vertiente Caribe). Es importante aclarar que la estación Alanje no posee datos faltantes en la base de datos Numerosa, razón por la cual no tiene implicaciones negativas que este en una zona con un coeficiente de correlación bajo. La siguiente tabla resume las principales características de las estaciones meteorológicas escogidas.

Tabla 7. Estadísticas básicas del SPI12 de estaciones meteorológicas seleccionadas, 1950 - 2014

NOMBRE	PAÍS	VERTIENTE	VALOR MÍNIMO DE SPI12	VALOR MÁXIMO DE SPI12	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Ladyville	Belice	Caribe	-3,363	2,704	1,002
Tiquisate	Guatemala	Pacífica	-2,811	2,276	0,998
Mariscos	Guatemala	Caribe	-2,535	3,19	0,997
Metapán	El Salvador	Pacífica	-2,452	2,302	0,998
Jiquilisco	El Salvador	Pacífica	-3,257	2,606	0,996
Choluteca	Honduras	Pacífica	-2,917	2,47	0,987
Guayabillas	Honduras	Caribe	-3,494	2,859	1,028
Condega	Nicaragua	Pacífica	-3,881	2,429	1,018
Siuna	Nicaragua	Caribe	-3,25	2,371	1,002
Santa Cruz	Costa Rica	Pacífica	-3,026	3,068	0,996
Turrialba	Costa Rica	Caribe	-2,499	3,358	0,994
Alanje	Panamá	Pacífica	-3,527	2,38	0,998

2.3.- Distribución en el tiempo

Para el siguiente análisis de las características temporales de la precipitación en América Central, es importante recordar que, generalmente, El Niño se asocia con una deficiencia de precipitaciones en la vertiente Pacífica, mientras que es responsable de un aumento de las lluvias en la vertiente Caribe (IMN, 2018; Bonilla, 2014).

2.3.1.- Belice

En el desarrollo del SPI12 propio de la estación Ladyville, sobresalen dos sequías de importante intensidad desencadenadas por eventos El Niño: La primera tuvo lugar a principios del año 1959, que llegó a tener un valor de SPI12 menor a -3, y la de principios de 1965, de una intensidad menor. En el resto de eventos El Niño el comportamiento fue propio de una estación meteorológica ubicada muy cerca de la costa Caribe, teniendo frecuentemente precipitaciones superiores a la media. Ladyville tiene la particularidad de presentar las sequías más intensas al inicio del período de estudio, durante los años 1952 – 1961.

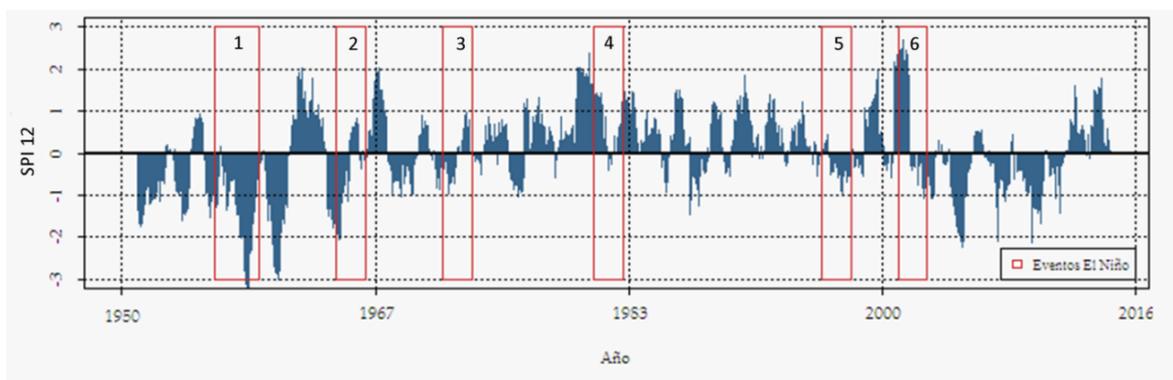


Figura 8. Desarrollo del SPI12 en estación meteorológica Ladyville, vertiente Caribe de Belice; 1950 – 2014. Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.- Guatemala

En los gráficos de la figura 9, el comportamiento esperado durante El Niño se cumple únicamente en el evento 1957 – 1959. Ahí, la estación Tiquisate (figura 9A) presentó un valor mínimo de SPI12 de -1. Por su parte, la estación Mariscos (figura 9B) uno máximo de aproximadamente 0,6 que fue descendiendo a partir de enero de 1959.

En el evento 1972 – 1973 el comportamiento fue opuesto al esperado: la estación ubicada en la vertiente Pacífica tuvo un SPI12 alto (aproximadamente 1) y la estación de la vertiente Caribe tuvo uno muy bajo (menor a -2). En los demás cuatro eventos, resalta una similitud entre ambas estaciones, destacando el evento 2002 – 2003 que llegó a tener un valor mínimo de SPI12 de -2,5.

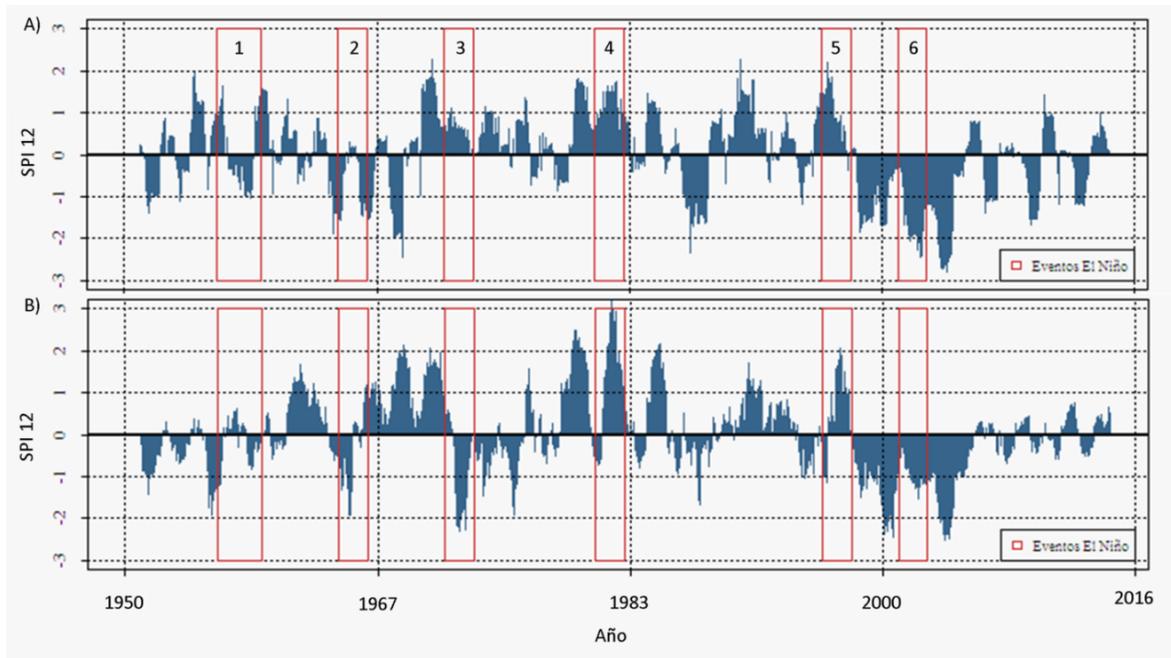


Figura 9. Desarrollo del SPI12 en estaciones meteorológicas de Guatemala: Tiquisate, en la vertiente Pacífica (A) y Mariscos, en la vertiente Caribe (B); 1950 – 2014. Fuente: Elaboración propia.

2.3.3.- El Salvador

La estación Metapán (figura 10A) se encuentra ubicada en la cordillera fronteriza Alotepeque – Metapán y la estación Jiquilisco (figura 10B) en la Cadena Costera, ambas en la vertiente del Pacífico y a una elevación muy similar, razones por las cuales siguen un mismo comportamiento. En los cinco primeros eventos escogidos, El Niño no causó una deficiencia de precipitaciones, al contrario, los valores de SPI12 fueron siempre positivos, tomando en algunos casos valores superiores a 2. La excepción es el evento 2002 – 2003, que además de tener una intensidad máxima de -2, tuvo una duración muy considerable, acaparando prácticamente la totalidad de ambos años.

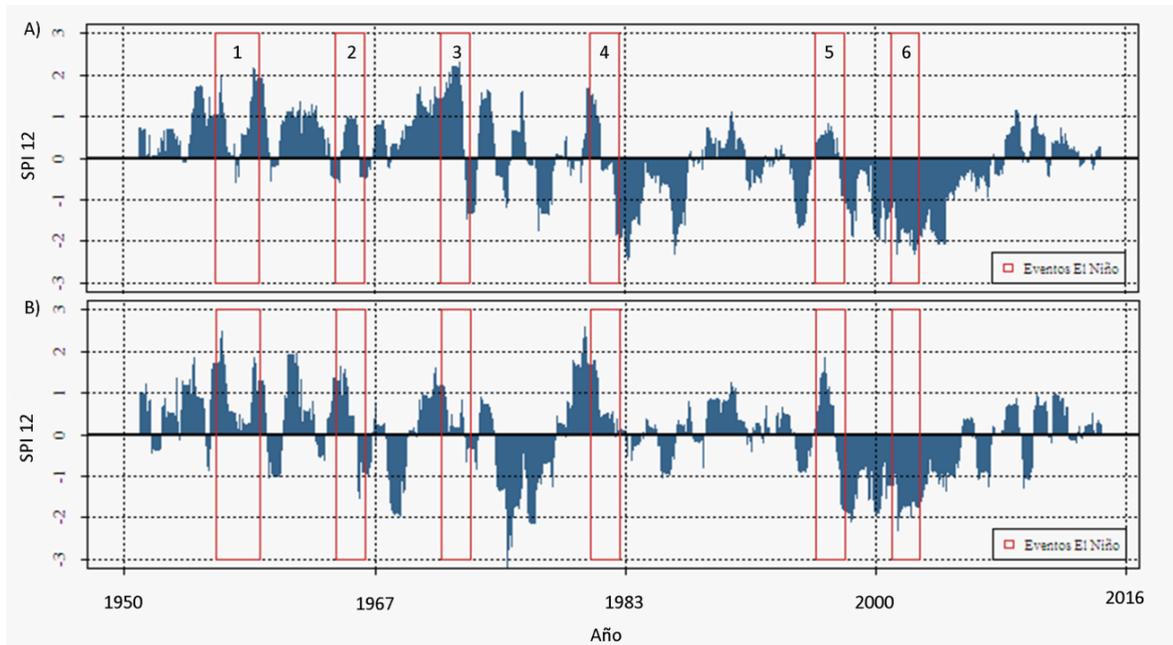


Figura 10. Desarrollo del SPI12 en estaciones meteorológicas de El Salvador: Metapán (A) y Jiquilisco (B), ambas en la vertiente Pacífica; 1950 – 2014. Fuente: Elaboración propia.

2.3.4.- Honduras

Al igual que en el caso de El Salvador, las dos estaciones ubicadas en Honduras y representadas en la figura 11, presentan un comportamiento similar en los eventos El Niño, a pesar de encontrarse en vertientes distintas. En los primeros cinco eventos escogidos se muestra una tendencia a valores positivos no mayores a 2. Por el contrario, El Niño 2002 – 2003 potenció (principalmente en la estación Guayabillas) una sequía que ya tenía dos años de estarse desarrollando y que llegó a tener un valor máximo de SPI12 de -3,5.

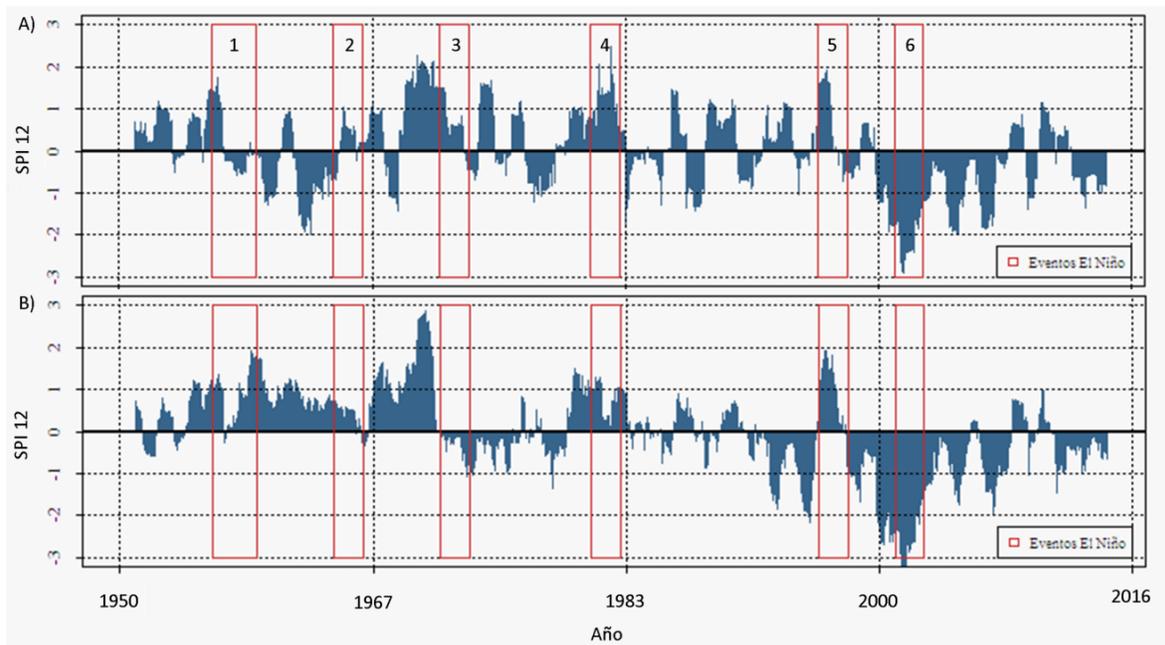


Figura 11. Desarrollo del SPI12 en estaciones meteorológicas de Honduras: Choluteca, vertiente Pacífica (A) y Guayabillas, en la vertiente Caribe (B); 1950 - 2014. Fuente: Elaboración propia.

2.3.5.- Nicaragua

En los primeros tres eventos El Niño representados en la figura 16, el comportamiento del SPI12 fue el esperado (valores bajo cero en estaciones del Pacífico y valores positivos en la vertiente Caribe), mientras que en el cuarto evento el comportamiento fue marcadamente inverso: En Condega (figura 12A), un valor máximo de SPI12 de 2 y en Siuna (figura 12B) un valor mínimo de aproximadamente -2. Tanto en 1997 - 1998 como en 2002 - 2003, se presentaron fuertes sequías que inclusive llegaron a tener un valor mínimo de -3, ambos eventos coinciden en intensidad con valores de estaciones ubicadas al Sur del paralelo 13 grados Norte.

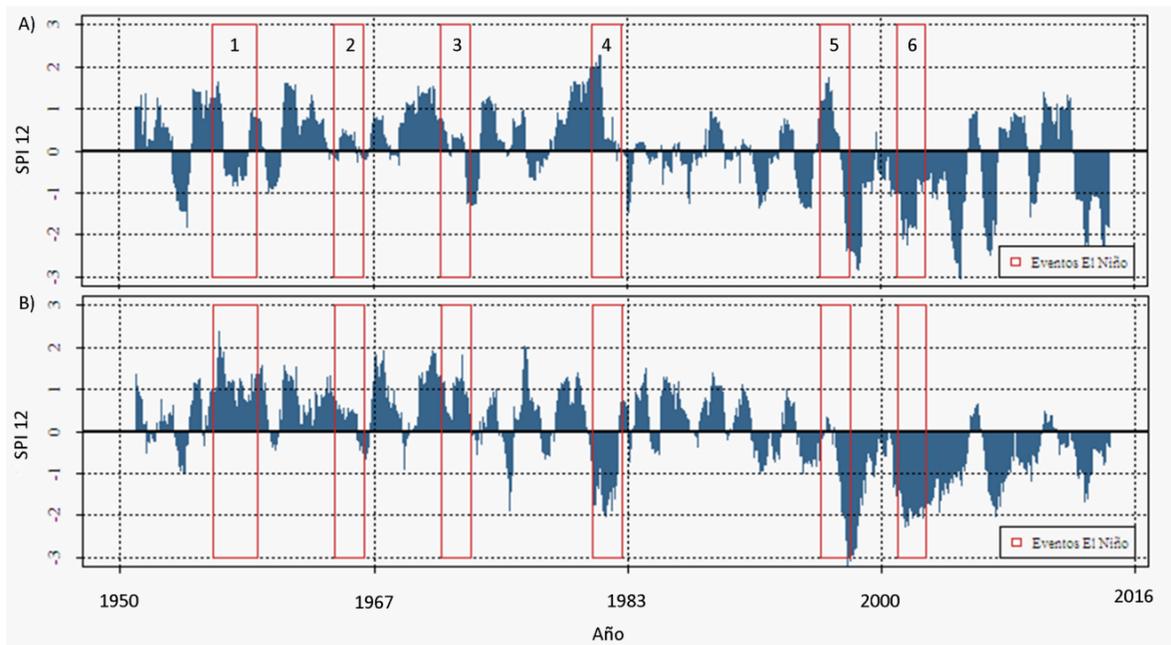


Figura 12. Desarrollo del SPI12 en estaciones meteorológicas de Nicaragua: Condega, en la vertiente Pacífica (A) y Siuna, en la vertiente Caribe (B); 1950 – 2014. Fuente: Elaboración propia.

2.3.6.- Costa Rica

Las estaciones meteorológicas escogidas para Costa Rica tuvieron una variación de los valores de SPI muy alta. Los primeros dos eventos El Niño no poseen una tendencia clara, dado que en ambas estaciones sus valores de SPI12 pasan de positivos a negativos en muy poco tiempo. El evento 1972 – 1973 presenta un comportamiento alto en la estación Santa Cruz (figura 13A) y neutro en la estación Turrialba (figura 13B).

Los eventos 1997 – 1998 y 2002 – 2003 contaron con una importante deficiencia de precipitación y por ende sequía en ambas estaciones (siguiendo la tónica de otros países de la Región). Es interesante el caso de la estación Turrialba, en la cual a partir de 1998 el valor de SPI no tomó valores positivos, denotando condiciones de falta de precipitación sostenidas en el tiempo.

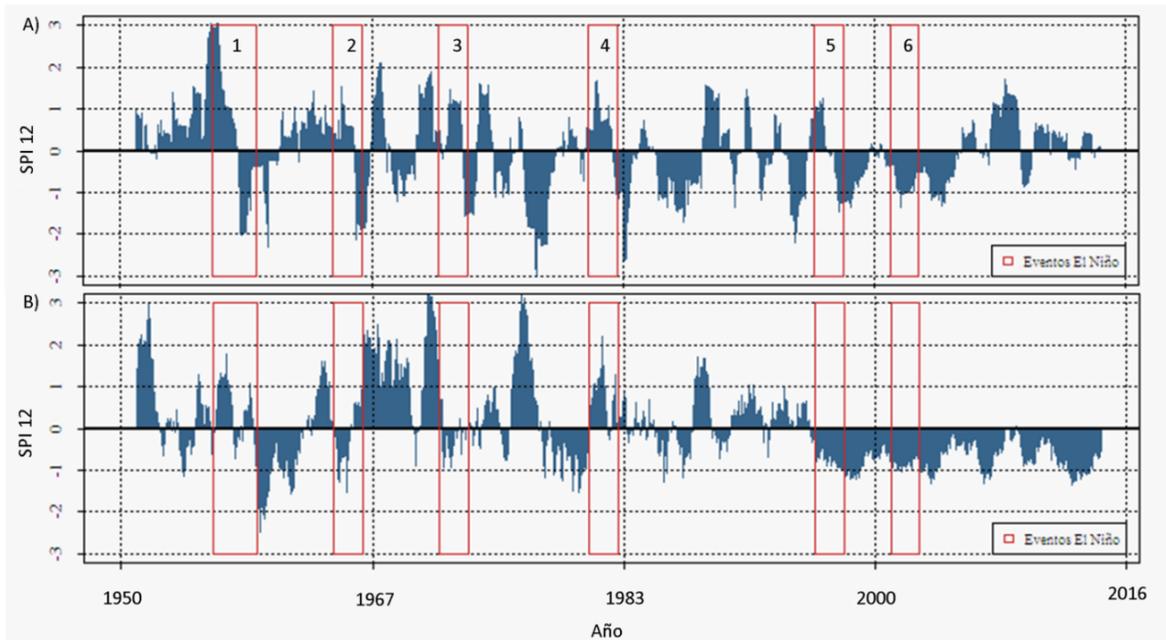


Figura 13. Desarrollo del SPI12 en estaciones meteorológicas de Costa Rica: Santa Cruz, en la vertiente Pacífica (A) y Turrialba, en la vertiente Caribe (B); 1950 - 2014. Fuente: Elaboración propia.

2.3.7.- Panamá

Para la mayoría de los eventos El Niño referenciados, el comportamiento del SPI12 en la estación Alanje fue típico de la vertiente Pacífica. Se presentaron sequías en cada uno de los eventos, salvo en el de 1972 - 1973. A excepción de las demás estaciones analizadas, en este caso los eventos 1997 - 1998 y 2002 - 2003 no fueron los más intensos.

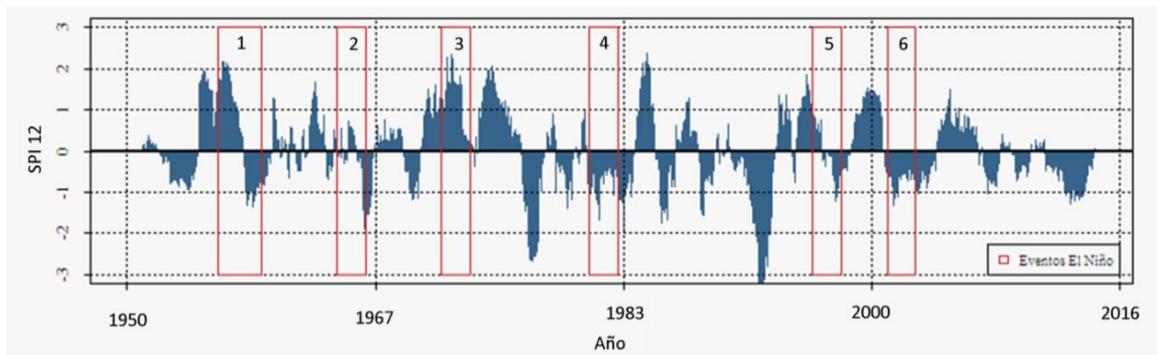


Figura 14. Desarrollo del SPI en estación meteorológica Alanje, ubicada en la vertiente Pacífica de Panamá; 1950 - 2014. Fuente: Elaboración propia.

2.4.- Tendencias regionales

El primer aspecto a destacar, tomando como base los gráficos temporales anteriormente descritos, es el hecho de que el comportamiento considerado como normal en eventos El Niño (sequías en la vertiente Pacífico y precipitaciones mayores a la media en la vertiente Caribe) se presentó en el 50% de los eventos analizados mientras que el otro 50% tuvo un comportamiento contrario o nulo. Esto se determinó a partir de un análisis visual de los gráficos, donde en 36 casos se cumple el comportamiento y en 36 casos no, de un total de 72 cuadros analizados.

En cuanto a la intensidad de los eventos de sequía, se visualiza una tendencia a que sean cada vez más fuertes. La tabla 8 muestra el cálculo de la prueba de tendencia Mann - Kendall para los períodos 1950 - 2014 y 1990 - 2014.

Tabla 8. Valores de la prueba de tendencia Mann - Kendall en estaciones meteorológicas seleccionadas

Estación	Prueba de tendencia Mann - Kendall			
	1950 - 2014		1990 - 2014	
	Valor z	Valor p	Valor z	Valor p
Tiquisate	0,0052	0,054	0,0643	0,2657
Mariscos	0,0074	0,0463	-0,01	0,1349
Ladyville	0,0153	0,0559	-0,0841	0,0884
Metapán	-0,0138	0,0201	0,0656	0,2389
Jiquilisco	0,0058	0,0493	0,0549	0,3421
Choluteca	0	0	0,0109	0,1845
Guayabillas	-0,0336	0,0014	-0,0134	0,0981
Condega	-0,0062	0,0618	-0,0005	0,0204
Siuna	0,0062	0,0618	-0,0058	0,2128
Santa Cruz	0,034	0,0833	0,1257	0,3614
Turrialba	-0,0395	0,003	-0,0915	0,0476
Alanje	0,0066	0,0613	0,0564	0,2199

En la tabla anterior se observa que durante el período 1950-2014, la mayoría de estaciones escogidas presentaron un signo positivo (valor z). Ello indica una tendencia hacia el incremento del SPI12 (a excepción de Metapán, Guayabillas, Condega y Turrialba), situación que es posible corroborar en la figura 15A (a excepción cuatro núcleos segregados). Mientras que el nivel de significancia estadística (valor p) se mantuvo por debajo de 0,1 en casi todas las estaciones (figura 15C). Esto muestra una probabilidad de 90% de que los resultados del valor z no sean aleatorios.

Si se toma como referencia el período 1990 – 2014 se tiene que en la mayoría de estaciones escogidas del Pacífico el comportamiento se mantuvo similar al período completo (1950 – 2014). Por otro lado, el comportamiento de las estaciones ubicadas en la vertiente Caribe fue el opuesto: Mientras que en el período completo existía una tendencia hacia el incremento del SPI12 (signos positivos), durante el período 1990 – 2014 este comportamiento se invirtió, pasando a tener una tendencia hacia valores de SPI12 negativos (signo por debajo de cero), denotando que en las últimas tres décadas la sequía ha ampliado su rango de distribución aún más. La figura 15B representa fielmente este comportamiento, que se presentó principalmente en el territorio de Honduras y Nicaragua.

El valor p perteneciente al período 1990 – 2014 fue casi siempre mayor a 0,1 (a excepción de un núcleo en Guatemala y otro en Nicaragua, tal como lo muestra la figura 15D) lo cual indica que el rango de probabilidad de resultados no aleatorios se mantuvo la mayoría de las veces por debajo de 90% (ausencia de significancia estadística).

Figura 15. Interpolación del valor z para los períodos 1950 - 2014 (A) y 1990 - 2014 (B). Fuente: Elaboración propia.

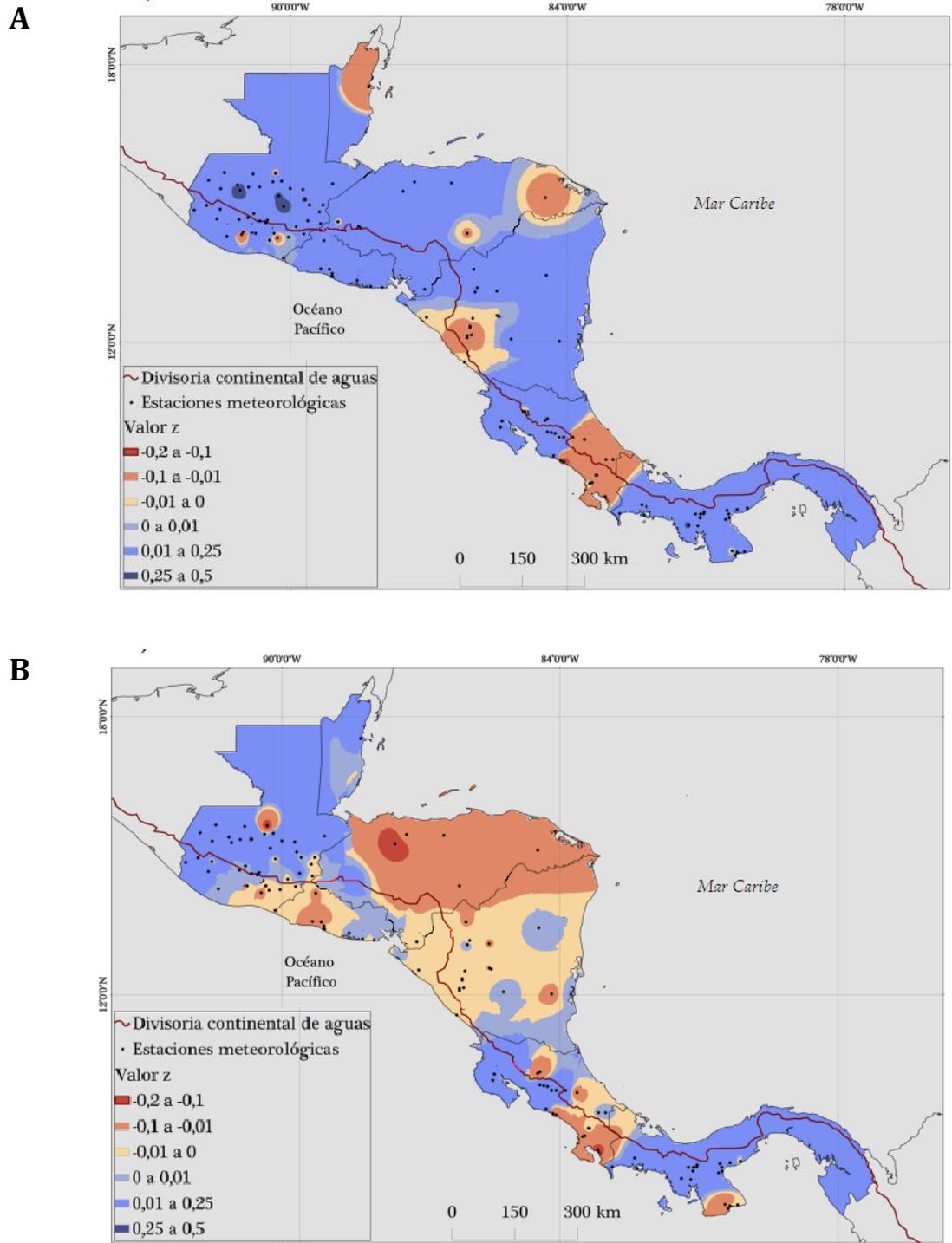
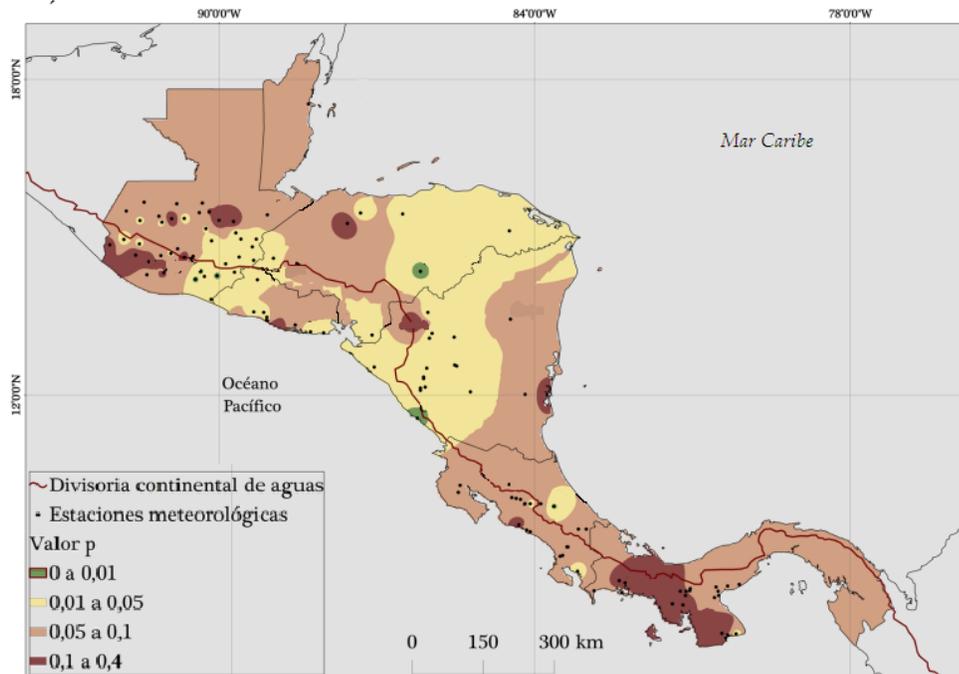
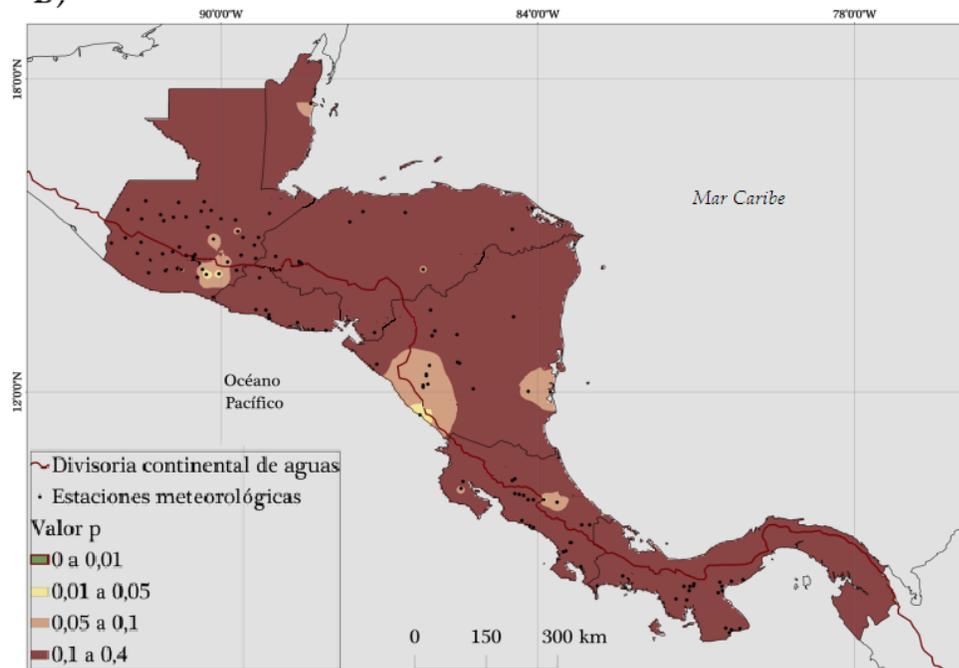


Figura 16. Interpolación del valor p para los períodos 1950 - 2014 (A) y 1990 - 2014 (B). Fuente: Elaboración propia.

C



D



Capítulo III.- Patrones espaciales de la sequía meteorológica en América Central, 1950 - 2014

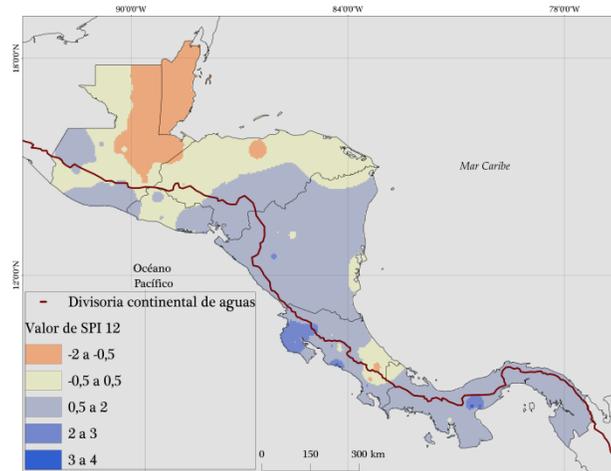
En el presente capítulo se muestra la espacialidad de la sequía meteorológica en la región América Central. Esta representación se realizó con base en interpolaciones espaciales del SPI12, correspondientes a los eventos El Niño en los años 1957-1959, 1965-1966, 1972-1973, 1982-1983, 1997-1998 y 2002-2003. Con el objetivo de poder realizar comparaciones entre diferentes los diferentes fenómenos, la escala de colores se normalizó bajo los valores de la tabla 5.

3.1.- Análisis espacial

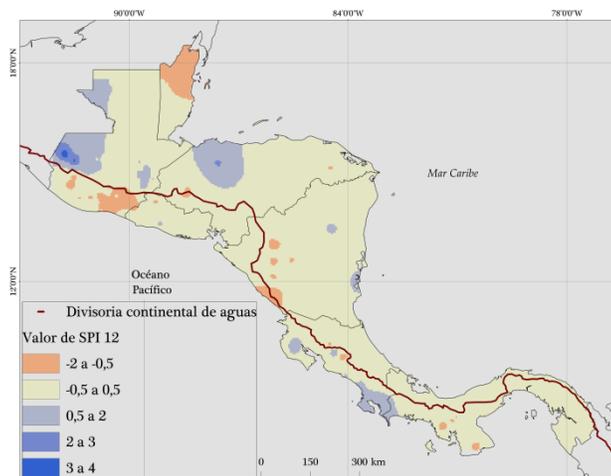
3.1.1.- Evento 1957 - 1959

El período de tres años que va de 1957 a 1959, estuvo influenciado por la fase cálida del fenómeno ENOS. Este lapso comenzó su desarrollo en América Central bajo unas condiciones de la precipitación, mayores a la media. Este patrón se exceptúa en Belice, Guatemala y Honduras, como lo muestra el mapa de marzo de 1957 (figura 17A). A lo largo de este periodo, estas condiciones se fueron aplacando y para junio de 1958 (figura 17B) las condiciones eran relativamente normales (valores de SPI12 cercanos a 0). Para el final del período, se puede observar como la sequía se concentró en la zona central de Costa Rica y en la península Burica en Honduras. Si bien este evento no se caracterizó por su intensidad (comparándolo con otros que sucedieron después), provocó sequías focalizadas, principalmente en Belice y Costa Rica.

A



B



C

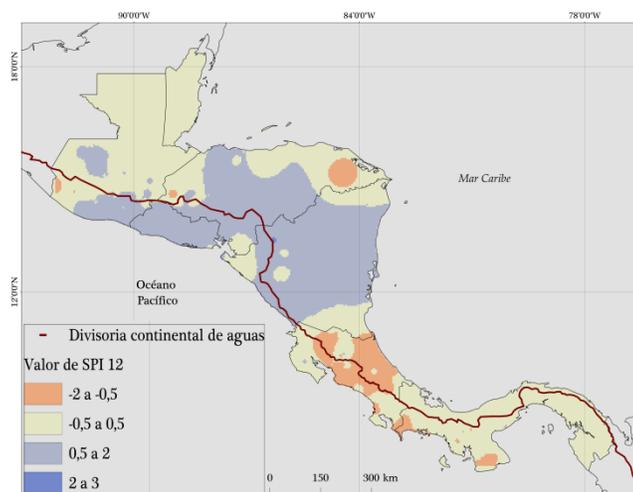


Figura 17. Interpolación espacial del SPI12 en América Central para tres meses de El Niño 1957 – 1959: Marzo 1957 (A), Junio 1958 (B) y Octubre 1959 (C). Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.- Evento 1965 - 1966

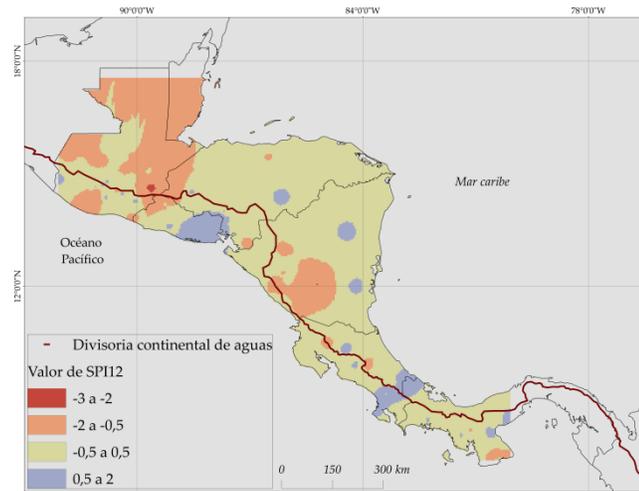
En el inicio del evento El Niño de 1965 - 1966, no se reconoce una tendencia clara (figura 18A), aunque al igual que el evento analizado anteriormente, el departamento Petén en Guatemala y prácticamente la totalidad de Belice presentan una considerable sequía (valores de SPI entre -2 y -0,5). En el segundo mapa, correspondiente a diciembre de 1965 (figura 18B), la sequía parece apaciguarse, tomando un comportamiento “esperado”, donde la vertiente Caribe presenta más lluvia de lo habitual. Para el final de este período la sequía se potenció en zonas como el Altiplano de Guatemala, la provincia Limón en Costa Rica, una franja en el Oeste de Panamá y, sobretodo, en el Corredor Seco Centroamericano, zona en donde a medida que avanzaba la segunda mitad del siglo XX, fueron cada vez más recurrentes las sequías de alta intensidad (CATIE, 2005).

3.1.3.- Evento 1972 - 1973

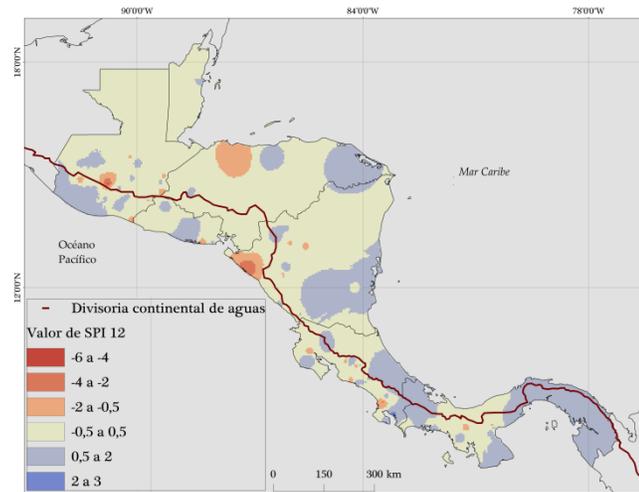
El periodo entre el año 1972 y 1973 es un claro ejemplo de como las condiciones climáticas de una región pueden cambiar drásticamente en poco tiempo debido a un fenómeno físico de injerencia regional, como lo es El Niño. En el mapa de febrero de 1972 (figura 19A) se muestra gran parte de América Central inmersa en condiciones de precipitación mayor a la media. Para el mes noviembre de 1973 (figura 19C) el panorama es inverso: sequía de primer nivel (-0,5 a -2) cubriendo el 80% de la región, siendo especialmente intensa en la zona cercana a la Laguna de Caratasca en Honduras y en la Península de Nicoya en Costa Rica. Estas condiciones se mantuvieron por aproximadamente tres meses más, hasta normalizarse para febrero de 1974.

Figura 18. Interpolación del SPI12 en América Central para tres meses de El Niño 1965–1966: Febrero 1965 (A), diciembre 1965 (B) y noviembre 1966 (C). Fuente: Elaboración propia.

A



B



C

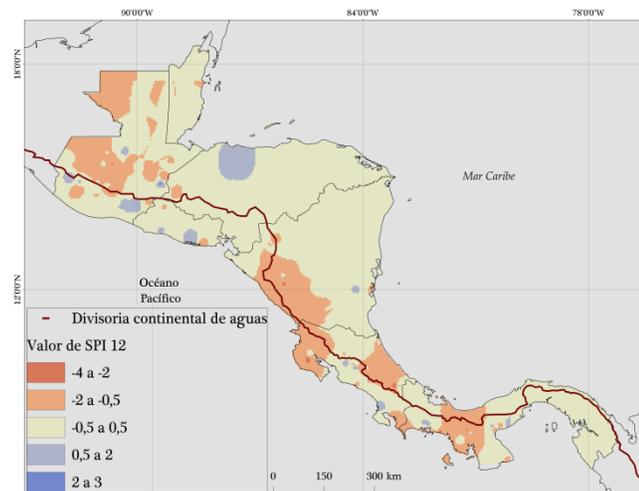
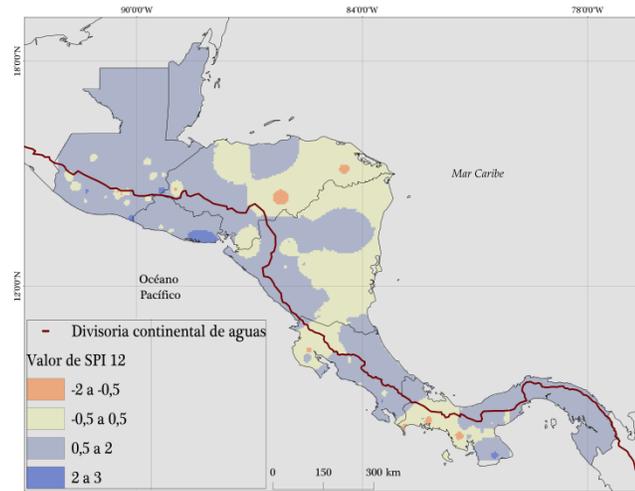
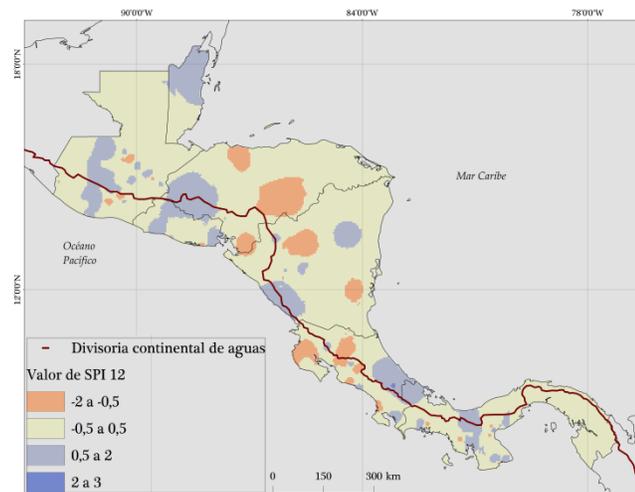


Figura 19. Interpolación del SPI12 en América Central para tres meses de El Niño 1972 - 1973: febrero 1972 (A), diciembre 1972 (B) y noviembre 1973 (C). Fuente: Elaboración propia

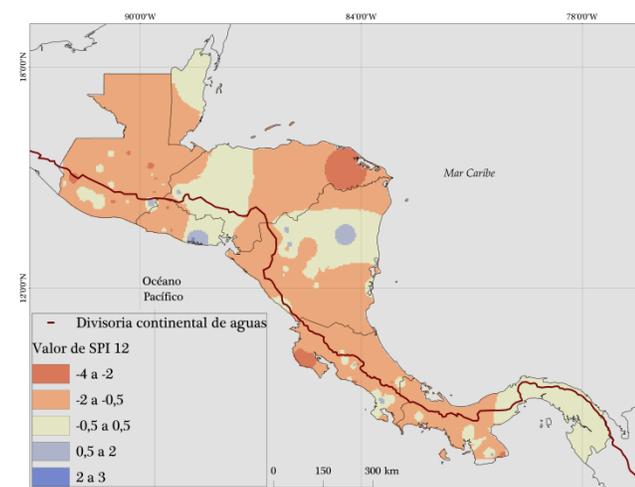
A



B



C



3.1.4.- Evento 1982 - 1983

Para comienzos de 1982 (figura 20A) no se notaba una tendencia clara en relación a la distribución del SPI12 en la Región, aunque nuevamente habían dos focos importantes y recurrentes: Belice en la vertiente Caribe y la Península de Nicoya, en la vertiente Pacífico de Costa Rica. Para finales del mismo año (figura 20B), El Niño estaba provocando condiciones mayoritariamente húmedas, especialmente en la vertiente Caribe. Es importante tomar en cuenta, a partir de lo analizado hasta el momento, que la antagonía entre vertientes pareciera no aplicarse a Panamá, que por lo general tiene valores similares a ambos lados de su eje montañoso principal.

Para noviembre de 1983 (figura 20C) las condiciones húmedas dieron paso a valores cercanos a la media de precipitación, presentando tres sequías importantes en El Salvador, Honduras y Panamá. Aunque para la mayoría de la región el clima era normal (hablando estrictamente a partir del SPI12), de igual manera el impacto del Niño es visible para este momento, ya que en un lapso de 11 meses los valores de SPI12 disminuyeron dos rangos.

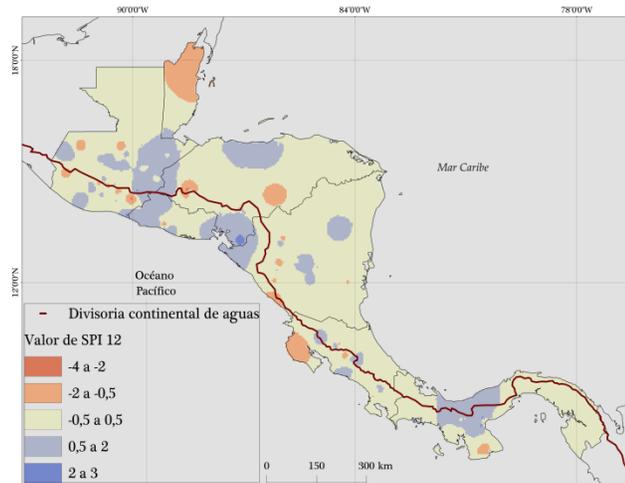
3.1.5.- Evento 1997- 1998

El evento 1997 - 1998 empezó con una clara tendencia húmeda que fue disminuyendo durante ese año, como se muestra en las figuras correspondientes a los meses febrero 1997 y diciembre 1997 (Figura 21). Para principios de 1997 también se presentó una sequía de pequeño desarrollo espacial en el departamento San Pedro Sula, en Honduras.

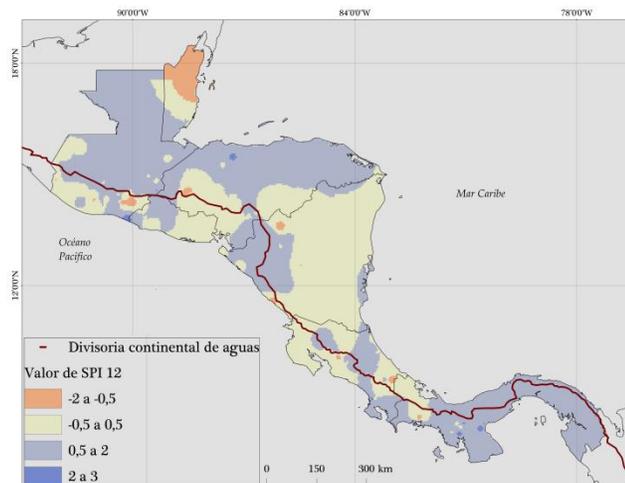
El mapa correspondiente a noviembre de 1998 (figura 24.C) representa y ratifica la intensidad de este Niño, que según diversas fuentes (Montealegre, 2004) fue el más intenso del último siglo. La sequía generada tuvo una alta intensidad y se desarrolló a lo largo de toda la Región, con valores de SPI12 en un rango de -2 a -6, el valor más bajo registrado en este estudio. Estas condiciones se mantuvieron por al menos dos meses más, para después ir disminuyendo gradualmente. Este episodio de El Niño se caracterizó por su gran fuerza y por la corta duración de la sequía provocada (en comparación a otros eventos): tres meses en su pico más alto y ocho meses en general.

Figura 20. Interpolación del SPI12 en América Central para tres meses de El Niño 1982 - 1983: Febrero 1982 (A), diciembre 1982 (B) y noviembre 1983 (C). Fuente: Elaboración propia.

A



B



C

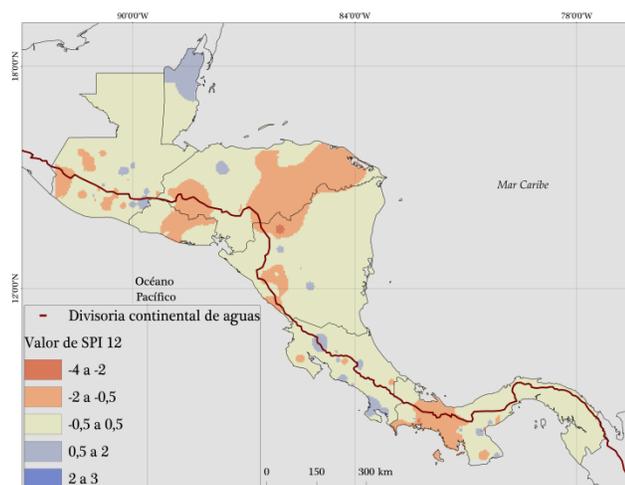
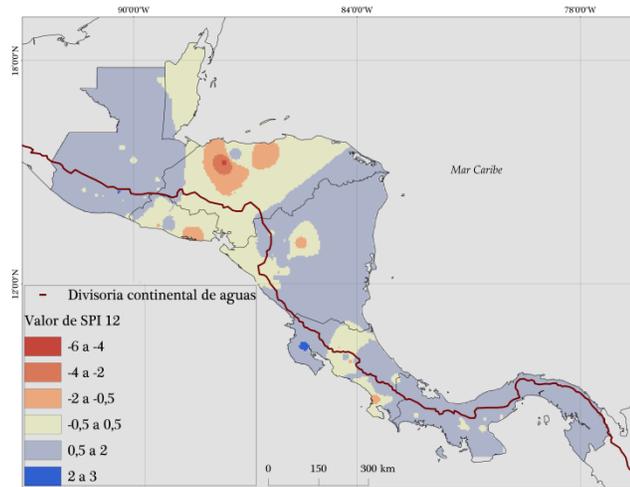


Figura 21. Interpolación del SPI12 en América Central para tres meses de El Niño 1997 – 1998: Febrero 1997 (A), Diciembre 1997 (B) y Noviembre 1998 (C). Fuente: Elaboración propia

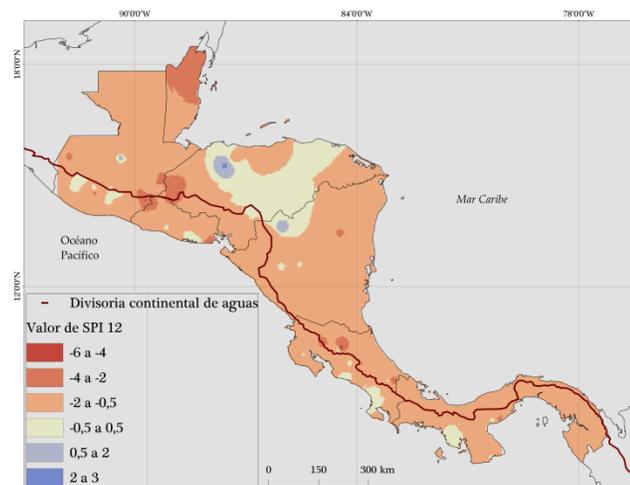
A



B



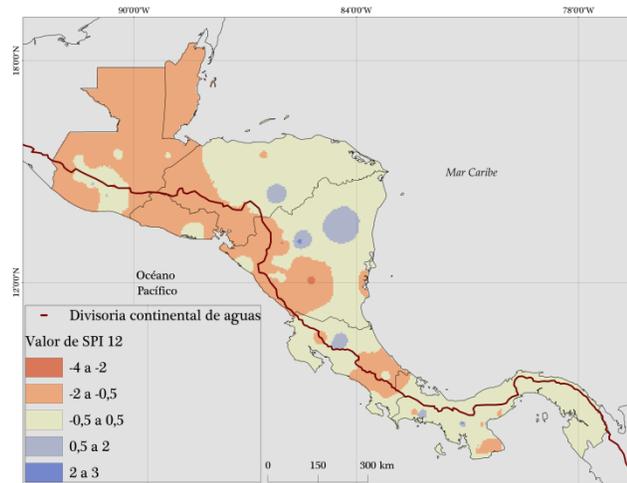
C



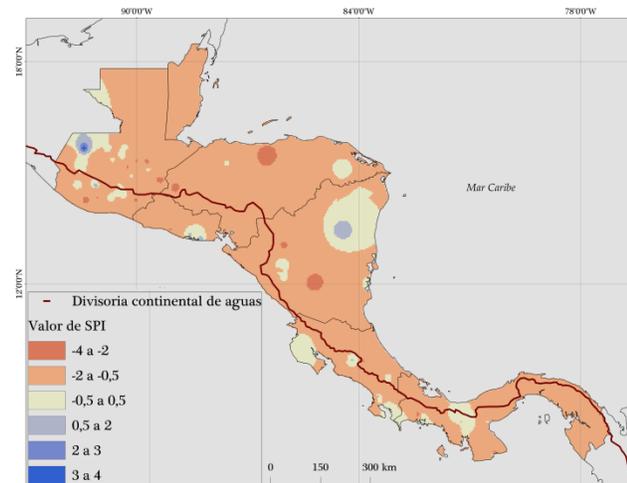
3.1.6.- Evento 2002 - 2003

Este evento tuvo la particularidad de ser el más homogéneo de todos los analizados. Como se puede observar en los tres mapas que forman la figura 22, la sequía fue abarcando toda la Región (a excepción del departamento Usulután en El Salvador) hasta el punto que muestra la figura 22C, donde se estableció por igual en ambas vertientes. Su intensidad también fue considerable, manteniendo un rango de -4 a -2, lo cual se considera una sequía muy severa. La comparación de este escenario con otros ocurridos antes de 1990 nos permite reafirmar la conclusión de que la sequía amplió tanto su rango de incidencia como su intensidad.

A



B



C

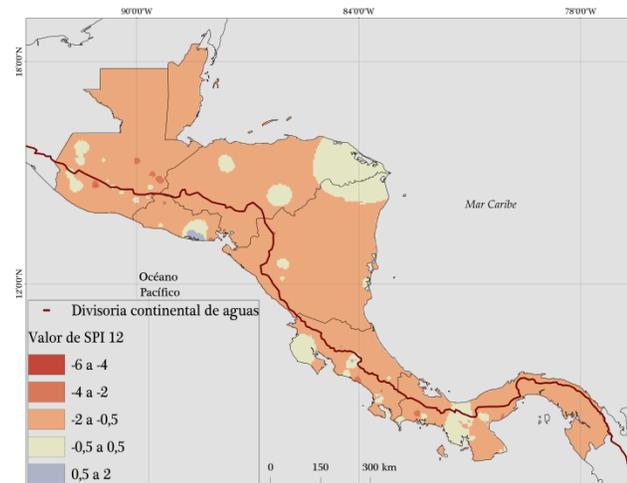


Figura 22. Interpolación del SPI en América Central para tres meses de El Niño 2002 - 2003: Febrero 2002 (A), Diciembre 2002 (B) y Noviembre 2003 (C). Fuente: Elaboración propia.

3.2.- Tendencias regionales

La dinámica espacial de la sequía meteorológica causada por El Niño presentó cambios durante el período 1950 – 2014, los cuales se visualizan en los seis eventos estudiados, estableciéndose dos etapas diferentes: una caracterizada por sequías focalizadas y otra caracterizada por sequías generalizadas. La primera etapa corresponde a los primeros dos eventos analizados (1957 – 1959 y 1965 – 1966), donde predominan valores de SPI neutros (de -0,5 a 0,5) los cuales hacen entrever condiciones promedio. Además, durante esta etapa las sequias presentes estaban focalizadas en distintos lugares, entre los que sobresalen el Corredor Seco Centroamericano, el departamento Peten, Belice y la provincia de Nicoya como las zonas de mayor recurrencia.

La segunda etapa se desarrolló a partir del evento 1972 – 1973, en ella la tendencia focalizada cambió. Sí bien las sequias empezaban de igual manera (desarrollándose alrededor de pequeños núcleos), la diferencia radica en que crecían hasta formar uno o dos fenómenos que cubrían toda la Región (por ejemplo las figuras 22.C, 24.C y 25.B), y que con el pasar de los eventos cubrían aún más territorio. Este comportamiento espacial coincide con el expresado en el apartado 2.4, que concluye que la sequía tiende a ser cada vez más intensa.

Capítulo IV.- Sequía meteorológica y sector turismo

En el presente capítulo, se ejemplifican algunas afectaciones de la sequía meteorológica en el sector turismo de América Central, región en la cual la mayoría de los lugares turísticos de ocio son particularmente vulnerables a fenómenos meteorológicos extremos. Para identificar y analizar dichas afectaciones es importante resaltar que, a excepción de algunos casos específicos, el déficit de precipitación es un factor que interactúa con determinadas condiciones de vulnerabilidad y que combinados entre sí, tienen la característica de que desarrollan efectos que inciden en el sector de estudio. Con base en lo expresado, cabe adelantar que los impactos analizados se construyen de manera multifactorial.

4.2.- Estudios de caso

Con base en los mapas realizados en el capítulo III y en sus tablas de datos asociadas, se determinó la zona político – administrativa donde el valor de SPI12 fue más bajo para cada uno de los seis eventos El Niño analizados, en ellas se aplica la metodología para el análisis de las afectaciones. La tabla 9 determina dichas zonas, mientras que la figura 22 las ubica espacialmente.

Tabla 9. Sitios con los valores de SPI12 más bajos según evento El Niño

Evento	Sitio	País
1957 – 1959	Departamento Petén	Guatemala
1965 – 1966	Departamento Chinandega	Nicaragua
1972 – 1973	Provincia Guanacaste	Costa Rica
1982 – 1983	Departamento El Paraíso	Honduras
1997 – 1998	Provincia Alajuela	Costa Rica
2002 - 2003	Provincia Bocas del Toro	Panamá



Figura 23. Zonas político - administrativas escogidas para los estudios de caso. Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.- Evento 1957 – 1959. Departamento Petén

El departamento Petén se sitúa en el extremo septentrional de Guatemala y tiene una extensión territorial de 35.854 kilómetros cuadrados, que lo convierte en el más extenso de su país. Este departamento se caracteriza por tener una larga tradición ecológica y cultural. Su mayor atractivo son una serie de áreas protegidas, por ejemplo el Parque Nacional Tikal, el Parque Nacional Laguna del Tigre y el Parque Nacional Sierra del Lacandón; las cuales combinan sitios arqueológicos mayas con un bosque húmedo tropical de gran biodiversidad.

A principios del año 1957, se empezó a presentar un alto déficit de precipitación en este departamento. Esta situación se refleja en la base de datos Numerosa por medio de las estaciones Mariscos (figura 9.B), Secol y Santa Margarita; las cuales para los primeros tres meses de dicho año presentaron valores mínimos de SPI de -2, -2,4 y -2,6 respectivamente.

En junio de 1957, el Parque Nacional Tikal sufrió su primer incendio forestal de grandes proporciones, que comenzó como una quema controlada de matorral, pero debido a las condiciones de sequía se salió de control (Craveri, 2013). Según la bitácora obtenida de la página oficial de este parque nacional, en julio de 1957 este incendio forestal cubrió la zona más oriental del parque (colindante con la frontera con Belice), por esta razón estuvo cerrado por 146 días seguidos; debido a esta situación tanto el parque nacional como los negocios adyacentes (principalmente en el poblado El Caoba) se vieron sumamente afectados por la baja afluencia de turistas, que eran provenientes mayoritariamente de Guatemala y Estados Unidos (recuperado de <http://mcd.gob.gt/tikal/> el 08/06/2017).

En este caso, la sequía meteorológica actuó como el potenciador de un desastre de origen antrópico, y se consolidó como uno de sus causantes. Como consecuencia, el enclave turístico de la zona se vio modificado, afectando a las personas dependientes de él.

4.2.2.- Evento 1965 – 1966. Departamento Chinandega

El departamento Chinandega está ubicado en el extremo Oeste de Nicaragua, contiguo al Golfo de Fonseca, en la frontera con Honduras; posee una extensión de 4.822 kilómetros cuadrados. Al estar ubicado dentro del Corredor Seco Centroamericano, se caracteriza por sus bajas precipitaciones (promedio de precipitación anual menor a 1.500 mm, como muestra la figura 6.B). Los principales atractivos turísticos de este departamento son la ciudad colonial Chinandega, los volcanes San Cristóbal y Cosigüina y la Reserva Natural Estero Padre Ramos.

Durante la década 1960, debido a un contexto social y político inestable (provocado por el malestar social hacia la dictadura de la familia Somoza) el sector turismo no tuvo el desarrollo en Nicaragua que sí tuvieron otros países de la Región, como Costa Rica o Guatemala (Vargas, 2006). Aunado a lo anterior, el crecimiento económico se concentró en Managua, por lo que departamentos alejados de la capital no tuvieron un desarrollo integral óptimo.

Paralelo a esta realidad, el departamento Chinandega sufrió diversas sequías, siendo la de 1965 - 1966 de muy fuerte intensidad, especialmente a finales de 1965. El gráfico de desarrollo del SPI de la estación Choluteca y sobretodo el mapa de interpolación espacial del SPI de diciembre de 1965, ratifican esta condición, presentando valores de SPI menores a -4.

Dagoberto Villegas, representante del INTUR para los departamentos León, Chinandega y Estelí, se refirió a dicho evento de esta forma:

“En la segunda época “somocista” (1956 - 1979), los servicios turísticos del departamento Chinandega no se modificaron. Por ejemplo, nunca existió una preocupación por mejorar la infraestructura de las reservas naturales del departamento, que se encontraban en muy mal estado. Cuando se dio la sequía a mediados de la década 1960 las fuentes de agua potable se agotaron y eso afectó directamente al turismo de la zona” (D. Villegas, comunicación vía Internet, 4 de julio de 2017).

Esta situación se verifica por medio de diversas noticias publicadas en el periódico La Prensa durante el período 1960 - 1985, las cuales denotan la necesidad de mejorar sustancialmente los servicios turísticos brindados, con el objetivo de obtener un mayor beneficio económico en comunidades a lo largo del país.

La escasez de agua es un efecto ambiental - social directo de la sequía y se relaciona con la vulnerabilidad social de una zona, al presentar obras de captación y almacenamiento de agua deficientes. En este caso en específico, al igual que muchos otros en América Central, estos fenómenos no permitieron al sector turismo desarrollarse y crecer de una manera integral, al limitar sus posibilidades de mejora.

4.2.3.- Evento 1972 - 1973. Provincia Guanacaste

La provincia Guanacaste se ubica en el Noroeste de Costa Rica; con 10.140 kilómetros cuadrados es la segunda provincia más grande del país. Al igual que el departamento Chinandega en Nicaragua, Guanacaste es parte del Corredor Seco Centroamericano y dentro de este, es una de las zonas más afectadas por sequías (FAO, 2012). A partir de estaciones meteorológicas de la base de datos Numerosa se tiene que su precipitación media anual es de

311 mm. Guanacaste está considerado como el destino turístico por excelencia de Costa Rica. En su territorio se encuentran tres áreas de conservación: Guanacaste, Tempisque y Arenal – Tempisque, que juntas reúnen 36 zonas protegidas sumamente diversas entre sí.

El evento 1972 – 1973 fue el más intenso entre los años 1970 y 2014 en Guanacaste (figura 18.A) con un valor mínimo de -2,5. En octubre de 1972 se declaró el Decreto de Emergencia 2576 – A – P, que establecía estado de emergencia provocado por la sequía en los cantones Carrillo, Santa Cruz y Nicoya (Esquivel et al, 2012).

Al igual que en el caso analizado anteriormente en el departamento Chinandega, esta disminución en las precipitaciones causó una condición crítica en los tres cantones debido a la escasez de agua que se presentó. Al secarse la mayoría de los ríos, consecuentemente bajó el nivel freático de los acuíferos Nimboyores y Huacas – Tamarindo, que son aún hoy en día, la principal fuente de agua potable de la zona (Patterson, 1992). Según Nelson Marín (director del Área de Conservación Tempisque) para el evento 1972 – 1973 el sector turismo se vio muy afectado:

“A principios de la década 1970, el ICT empezó a tener una visión de turismo masivo de sol y playa, existían diversos proyectos turísticos principalmente en Carrillo y Santa Cruz. Aunque la actividad turística no había tomado el boom que desarrolló a partir de la década 1990, ya el sector empezaba a desarrollarse con visitación nacional.

Cuando la sequía llegó, estos proyectos turísticos empezaron a invertir dinero para brindar el servicio de agua a sus clientes. Conforme pasó el tiempo, la inversión para comprar agua era mayor y al no poder mantener estos costos, muchas empresas de alojamiento recortaron empleos” (N. Marín, comunicación presencial, 22 de junio de 2017).

Esta situación permite identificar dos efectos provocados parcialmente por la sequía meteorológica en el sector turismo: Por un lado, se generan costos asociados que tienen como consecuencia el estancamiento del sector; por el otro, la pérdida de fuerza laboral genera un efecto similar, al disminuir el crecimiento natural del turismo, generando un impacto social considerable.

4.2.4.- Evento 1997 – 1998. Provincia Alajuela

Alajuela es la tercera provincia más extensa de Costa Rica, con 9.753 kilómetros cuadrados. En este análisis se hace referencia a su zona Norte, en específico a los cantones San Carlos, Los Chiles, Guatuso y Río Cuarto; que son más afectados por la sequía que el resto de la provincia. La Zona Norte tiene una oferta turística muy variada, siendo sus principales atractivos los Parques Nacionales Volcán Arenal y Volcán Tenorio, el Refugio Nacional de Vida Silvestre Caño

Negro y los múltiples ríos que cruzan esta llanura en dirección Sur – Norte, en los cuales se puede practicar turismo de aventura.

En febrero de 1998 se estableció el Decreto de Emergencia No. 26608 – MP – MOPT (Esquivel et al, 2012), bajo una realidad de sequía visible en la figura 20.C, correspondiente a diciembre de dicho año. El principal efecto que afectó al sector turismo para entonces fue la sequía hidrológica (deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas) que sufrieron muchos ríos de la zona. Algunas crónicas recuperadas de periódicos de la época recrean esta situación:

“Los otrora caudalosos afluentes hoy asemejan caminos polvorientos, cargados de piedras, reflejo de los efectos de la época seca. El nivel de las cuencas ha descendido hasta tres metros, según comprobó La Nación durante un recorrido.

Hay casos como el río San Lorenzo, que nace en el distrito Los Ángeles de San Ramón y está sin agua. Igual ocurre con los ríos La Balsa y Peñas Blancas” (Hernández, 1998).

Esta situación también se refleja en el Histórico de Desastres en Costa Rica, en el cual se habla del bajo caudal y el alto grado de sedimentación de los ríos Pocosol, San Carlos, Sucio y Sarapiquí para el primer semestre de 1998. En todos ellos también se señalan efectos negativos en la práctica de deportes acuáticos como el rafting y actividades como el avistamiento de aves y fauna ribereña. Estos efectos negativos también se dieron en espacios cercanos a la Zona Norte con características geomorfológicas similares, como el cantón Sarapiquí y el Parque Nacional Tortuguero.

Este estudio de caso ejemplifica otra afectación de la sequía meteorológica que afecta el sector turismo, por medio de la disminución de caudales en zonas donde estos sirven como atractivo turístico, ya sea de forma directa o indirecta.

4.2.5.- Evento 2002 – 2003. Provincia Bocas del Toro

Como provincia, Bocas del Toro se ubica en la frontera con Costa Rica y está bañada por las aguas del Mar Caribe. Posee un archipiélago homónimo con 10 islas principales, mientras que su extensión territorial es de 4.643 kilómetros cuadrados. Sus principales atractivos turísticos son el archipiélago Bocas del Toro (donde se encuentra el Parque Nacional Marino Isla Bastimentos), el Parque Internacional La Amistad y el Bosque Protector Palo Seco, entre otros. Según la Autoridad de Turismo de Panamá, esta provincia es uno de los tres principales polos turísticos del país.

La imagen 21.C muestra el estado del SPI12 en diciembre del 2003, en la cual se puede apreciar que la zona con el valor más bajo corresponde a Bocas del Toro. Según muestra la base de datos Numerosa, los valores de SPI12 en dicho mes bajaron a 5,1, lo cual se consideraba un record hasta el momento.

Durante el evento 2002 – 2003, la mayor afectación en esta provincia se presentó en la isla Colón, en la cual está emplazado el centro administrativo de la provincia. Según la bitácora de desastres del Sistema de Integración Centroamericana, el embalse que abastecía la planta potabilizadora del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales se secó en un 98%, dejando a 5.000 personas sin agua, incluyendo muchas opciones de alojamiento de turistas dentro de la isla (SICA, 2010).

Esta situación se agravó debido a las características geográficas de la isla, que no posee una red hídrica definida. Al igual que los casos de Chinandega en Nicaragua y Guanacaste en Costa Rica, la escasez de agua para consumo humano generó pérdidas económicas considerables en el sector turismo, sobre todo en una zona que depende de él.

4.3.- Análisis regional

Los estudios de caso presentados exponen una realidad en la cual la sequía meteorológica se combina con distintos factores, dando como resultado efectos que impactan al sector turismo. Por ejemplo, los casos de Guanacaste (evento 1972 – 1973) y Bocas del Toro (evento 2002 – 2002) presentaron un alto grado de vulnerabilidad asociada a la deficiente infraestructura existente, situación que agravo el contexto de sequía. De igual manera, la vulnerabilidad política existente en el caso de Chinandega (evento 1965 – 1966) fue determinante para que la sequía afectara el crecimiento turístico. Por otro lado, los efectos analizados en el departamento Petén para el evento 1957 – 1959 fueron potenciados por un elemento antrópico (quema “controlada” de matorral).

Para los cuatro ejemplos anteriores, se identifican una o más condiciones aparte de la sequía, las cuales fueron fundamentales para que el sector turismo se viera afectado. Por el contrario, para el caso analizado en la provincia Alajuela (evento 1997 – 1998) el déficit de precipitación fue el único elemento que provocó la disminución de caudales, que se define como uno de los pocos efectos directos de la sequía, tal como se explica en la sección 1.7.2 y en la tabla 2. Si bien estos estudios de caso representan una pequeña parte de la totalidad de sequías causadas por

el fenómeno El Niño, ejemplifican fielmente la naturaleza de la relación entre la sequía meteorológica y el sector turismo.

Tomando en cuenta los ejemplos anteriormente descritos, desde finales de la década 1990 América Central ha experimentado lo que Bosch llamó “la industrialización del turismo”. Ello debido a que en algunas zonas de la Región, sobre todo en la costa Pacífica, el mercado turístico ha crecido de manera desmedida, priorizando la rápida recuperación de capitales invertidos por encima de un desarrollo sostenible en el tiempo, teniendo como resultado el aumento de distintos tipos de vulnerabilidad y por ende, mayor posibilidad de afectaciones. La alternativa a este modelo, es la diversificación de los productos turísticos, que en el contexto centroamericano se facilita debido al diverso entorno físico.

Conclusiones

La metodología utilizada permitió análisis novedosos, por medio de la creación de un proceso automatizado para el cálculo y mapeo del SPI12 a partir de software de libre acceso. En relación con este proceso y a manera de recomendación, surge la posibilidad de desarrollar modelos de monitoreo de sequía. Una aplicación de este tipo en tiempo real permitiría mantener monitoreada la sequía meteorológica en la región América Central de manera actualizada y automatizada, de forma tal que pueda ser consultada de manera gratuita por diferentes organizaciones, y ser utilizada como fundamento para la toma de decisiones de diferentes sectores económicos; similar a lo que ya se desarrolla en regiones como América del Norte (*North American Drought Monitor* de NOAA o *United States Drought Monitor* de la Universidad de Nebraska) y América del Sur (Observatorio de Sequías para América Latina y el Caribe de UNESCO y PHI).

En cuanto a las bases de datos utilizadas, se pudo demostrar la importancia de combinar fuentes privadas (como la base de datos Numerosa) con fuentes de libre acceso (como el producto global), especialmente en una región con limitaciones y restricciones al acceso de la información climatológica. Ambas fuentes se complementan de muy buena manera y ejemplifican la necesidad de que dichas combinaciones se den para mantener un registro climático riguroso y al alcance de la población.

Con respecto al comportamiento que desarrolló la sequía en la zona y el período de estudio, las conclusiones claves de la presente investigación son:

1. En su mayoría, los eventos El Niño producen condiciones más secas en la vertiente del Pacífico y condiciones más húmedas en el Caribe, aunque no siempre.
2. Los eventos El Niño no siempre producen condiciones más secas, ya que el ciclo ENOS no es el único proceso climático que influye en el clima de América Central.
3. Especialmente, los déficits de lluvia se desarrollan a partir de un fenómeno localizado, lo que permite la posibilidad de una alerta temprana.
4. Los déficits de precipitación más severos pueden cubrir al mismo tiempo el Corredor Seco Centroamericano y la vertiente Caribe.
5. Hasta el 2014, hay evidencia local de tendencias con significancia estadística hacia condiciones más secas en Honduras, Nicaragua y Costa Rica; y más húmedas en Guatemala (no se detectaron tendencias en Panamá).

Tal como se determinó en el apartado sobre las Tendencias regionales, el comportamiento considerado como normal en eventos El Niño se presentó en el 50% de los casos analizados mientras que el otro 50% tuvo un comportamiento contrario o nulo. A partir de esta afirmación se concluye que El Niño no siempre tiene una relación directa con la sequía meteorológica en América Central, parece que hay factores más complejos que determinan los patrones de precipitación.

Por otro lado, al investigar el sector turismo y los posibles efectos que inciden en él, surge la necesidad académica de ahondar en la conexión entre la sequía y demás factores que inciden en dicho sector (ya sea algún grado de vulnerabilidad o elementos antrópicos) teniendo en cuenta que el objetivo final debe ser mejorar la adaptación ante futuras sequías. La tabla 8 y las figuras 15 y 16, que resumen la prueba de tendencia Mann - Kendall, muestran que las estaciones pertenecientes a la vertiente Caribe tienden a disminuir su valor de SPI12 y por ende ser más propensas a la aparición de sequías meteorológicas, contrario a lo que históricamente se ha pensado, por lo que la necesidad de adaptación se acrecienta en esta zona.

Bibliografía citada

- Aguilar, E. et al. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961 – 1732. *Journal of Geophysical Research* 10.
- Angrino, C.; Bastidas, J. (2014). *El concepto de ambiente y su influencia en la educación ambiental*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Atlas de Sequías de América Latina y El Caribe. (2015). Recuperado de <http://www.climatedatalibrary.cl/CAZALAC/maproom/Historical/>.
- Birkel, C. (2005). *Temporal and spatial variability of drought indices in Costa Rica*. Friburgo, Alemania: Institut für Hydrologie.
- Birkel, C. (2006). Sequía hidrológica en Costa Rica ¿Se han vuelto más severas y frecuentes en los últimos años? *Rev. Reflexiones* 85, pp. 107 – 116.
- Bonilla, A. (2014). Patrones de sequía en Centroamérica. Su impacto en la producción de maíz y frijol y uso del Índice Normalizado de Precipitación para los sistemas de alerta temprana. Tegucigalpa, Honduras: Global Water Partnership.
- Borton, E. (1994). *Sequía y hambruna*. Londres, Reino Unido: PNUD.
- Brenes, A. (2005). Vulnerabilidad de las comunidades rurales frente a la sequía en Centroamérica: Matagalpa, Nicaragua y Choluteca, Honduras. (Informe del Proyecto Final de Graduación de Maestría en Geografía). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Bosch, J. (2010). *El turismo como actividad económica*. Argentina, Neuquén: EDUCO
- CATIE. (2015). Proyecto conservación para el desarrollo sostenible en América Central. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Centro Centroamericano de Población. (2016). Recuperado de <http://ccp.ucr.ac.cr/>.
- CEPAL. (1998). La integración centroamericana y la institucionalidad regional. México D. F., México: CEPAL.
- CEPAL (2010). Cambio climático y retos para el sector turismo de Centroamérica. México D. F., México: CEPAL.
- CEPAL. (2015). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile: Naciones Unidas.
- CIGEFI. (2004). Base de datos Numerosa.
- Craveri, M. (2013). El calendario adivinatorio de 260 días en la sociedad maya contemporánea: Usos, funciones y estructura. *Apocalipsis* 2012.
- Dominguez, J. (2010). Revisión histórica de las sequías en México. *Tecnología y ciencias del agua* 5, pp. 77 – 93.
- Esquivel, L.; Hidalgo, M.; Vallejos, S. (2012). *Histórico de desastres en Costa Rica (Febrero 1723, Setiembre 2012)*. San José, Costa Rica: CEDO.

- FAO. (2012). De la teoría a la práctica: Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía. Guadalajara, México: CIMMYT.
- Gispert, C. (2009). *Atlas geográfico universal*. Barcelona, España: Editorial Océano.
- Gobierno de Costa Rica. (2014). Plan Nacional de Desarrollo 2015 – 2018, Capítulo 5: Propuestas Estratégicas Sectoriales. San José, Costa Rica.
- Granados, C. (1986). Geopolítica en Centroamérica. *Cuadernos Políticos* 46, pp. 74 – 89.
- Henández, C. (3 de abril de 1998). Sequía en el Caribe baja caudal de ríos en zona norte. La Nación. Recuperado de <http://www.nacion.com/>.
- Hernández, O. (2009). *Estadística elemental para Ciencias Sociales*. Montes de Oca, Costa Rica: Editorial UCR.
- Hidalgo, H.; Alfaro, E. (2013). Hydrological climate change projections for Central America. *Journal of Hydrology* 495, pp. 94 – 112.
- Hisdal, H. (2000). *Drought event definition*. Oslo, Noruega.
- International Disaster Database. (2015). Recuperado de <http://www.emdat.be/>.
- ICT. (2017). *Anuario Estadístico de Turismo 2016*. San José, Costa Rica: ICT.
- Inmann, C. (1999). Turismo en Centroamérica: El reto de la competitividad. Alajuela, Costa Rica: INCAE.
- IMN. (2016). Recuperado de <https://www.imn.ac.cr>.
- Lavell, A.; Brenes, A. (Compiladores) (2008). Variabilidad climática y el riesgo de desastre en las américas: Procesos, patrones, gestión. San José, Costa Rica: Oxfam, FLACSO, IAI.
- Maturana, J.; Bello, M.; Manley, M. (2004). Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. pp. 13 – 27.
- McKay, A. (2008). *Geografía de la región centroamericana*. San José, Costa Rica: CECC/SICA.
- Montealegre, J.; Pabon, J. (2004). La variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño – La Niña – Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorológica Colombiana* 2, pp. 7 – 21.
- Narváez, L.; Lavell, A.; Pérez, G. (2009). *La Gestión del Riesgo de Desastres. Un enfoque basado en procesos*. Lima, Perú: PREDECAN.
- NOAA. (2016). Impactos climáticos y perspectivas: Primavera 2016. Maryland, Estados Unidos: NOAA.
- OMT. (2007). Turismo y cambio climático: Hacer frente a los retos comunes. Madrid, España: OMT.
- OMM. (2016). Recuperado de http://www.wmo.int/pages/index_es.html.
- OMT. (2016). *Barómetro OMT del Turismo Mundial*. Madrid, España: OMT.

- OMT. (2017). Recuperado de <http://www2.unwto.org/es>.
- Parque Nacional Tikal, portal electrónico. (2017). Recuperado de <http://mcd.gob.gt/tikal/>.
- Patterson, O. (1992). Riesgo por sequías en Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central* 25 – 26, pp 385 – 411.
- Peak, A. (2008). *Drought on the Iguazú*. Asunción, Paraguay: Editora Planeta.
- Pohlert, T. (2017). The Pairwise Multiple Comparison of Mean Ranks Package. Vienna, Austria: R package.
- Prats, J. (2011). *Ciencias Sociales*. Barcelona, España: Océano Grupo Editorial.
- Programa Estado de la Nación. (2013). Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica.
- R Development Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- SICA. (2017). Recuperado de <https://www.sica.int/>.
- Solórzano, M. (1996). Análisis de sequías en la cuenca del río Tempisque. (Informe del Proyecto Final de Graduación de Licenciatura en Ingeniería Agrícola). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Suárez, M. (1985). Sequías meteorológicas en Costa Rica. (Informe del Proyecto Final de Graduación de Licenciatura en Meteorología). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Tallaksen, L.; Van Lanen, H. (2004). Hydrological drought. processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Oslo, Noruega: ELSEVIER.
- TropiSeca. (2019). Recuperado de <http://www.basin-info.net/es/education/tropiseca>.
- UNESCO. (1983). El desarrollo sostenible: Conceptos básicos, conceptos y criterios para su evaluación. Pinar del Río, Cuba: EUNESCO.
- Valiente, O. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas* 26, pp. 107 – 116.
- Van Lanen, J.; Wanders, N.; Tallaksen, L.; Van Loon, A. (2013). Hydrological drought across the world: Impact of climate and physical catchment structure. *Hydrology and Earth System Sciences* 17, pp. 1715 – 1732.
- Van Loon, A. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water* 2, pp. 359 – 392.
- Vargas, G. (2006). La actividad turística en América Central: Desarrollo y características. *Anuario de Estudios Centroamericanos* 32, pp. 9 – 35.
- Vargas, G. (2001). Las lluvias en América Central: Una climatología geográfica. *Anuario de Estudios Centroamericanos* 27, pp. 7 – 19.

Wilhite, D.; Glantz, M. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water Int.* 10, pp. 111 - 120.

Willmott, C.; Matsuura, K. (2001). Terrestrial Air Temperature and Precipitation: Monthly and Annual Time Series (1950 - 1999).