

## **Efecto de la condición ENSO en la frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia en la península de Baja California (1998-2012)\***

### **Effect of the ENSO condition in the frequency and intensity of rainfall events in the Baja California peninsula (1998-2012)**

**Víctor Manuel Rodríguez-Moreno<sup>1§</sup>, José Ariel Ruíz-Corral<sup>2</sup>, Guillermo Medina-García<sup>3</sup>, José Saúl Padilla-Ramírez<sup>1</sup> y Thomas Gunter Kretzschmar<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)- Campo Experimental Pabellón, km 32.5, carretera Aguascalientes-Zacatecas, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, C. P. 20660. Tel: +52 465 9580161. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Altos de Jalisco, km. 8, Carretera Libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, C. P. 47600. <sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Calera, km 24.5 carretera Zacatecas-Fresnillo, Calera de Victor Rosales, Zacatecas, C. P. 98500. <sup>4</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). División Ciencias de la Tierra, Departamento de Geología. Carretera Ensenada-Tijuana Núm. 3918, Zona Playitas, C. P. 22860, Ensenada, B.C. México. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: rodriguez.victor@inifap.gob.mx.

## **Resumen**

La influencia de la condición ENSO en la frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia en la provincia fisiográfica Península de Baja California, se analizó conforme una serie histórica de 15 años de registros diarios de lluvia TRMM. La base de datos fue estratificada en siete categorías a intervalos de 5 mm; se consideraron los eventos extremos como  $>30$  mm día<sup>-1</sup>. Se obtuvieron indicios de que la condición ENSO influye en la frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia. Se observó una cierta simetría entre las condiciones ENSO-Neutro y ENSO-La Niña Débil, y ENSO-El Niño Débil con ENSO-La Niña Moderada, que ocasionan un aumento en la frecuencia de los eventos de lluvia y una disminución en los mismos, respectivamente. En cuanto a la intensidad de la lluvia, otras relaciones simétricas fueron entre la condición ENSO-Neutro y ENSO-El Niño Débil y asimétricas entre las condiciones ENSO-La Niña Moderada y ENSO-La Niña Fuerte. La intensidad de las lluvias fue mayor durante las condiciones Neutro y El Niño Débil y menor durante las condiciones La Niña Moderada y La Niña Fuerte. Estos resultados son importantes debido a que los cambios en

## **Abstract**

The influence of the ENSO condition in the frequency and intensity of rainfall events in the physiographic province Baja California Peninsula was analysed as a historical series of 15 years of daily rainfall records TRMM. The database was stratified into seven categories at intervals of 5 mm; the extreme events considered as  $> 30$  mm day<sup>-1</sup>. We gathered evidence that, the ENSO condition influences the frequency and intensity of rainfall events. We also observed a certain symmetry between the conditions ENSO-neutral and ENSO-weak La Niña and ENSO-weak El Niño with ENSO-moderate La Niña, causing an increase in the frequency of rain events and a decrease, respectively. Regarding the intensity of the rain, other symmetrical relations were between the condition ENSO-neutral and ENSO-weak El Niño and asymmetrical between the conditions ENSO-moderate La Niña and ENSO-Strong La Niña. The rainfall intensity was higher during the conditions Neutral and Weak El Niño and lower during the conditions Moderate La Niña and Strong La Niña. These results are important because changes in the frequency

\* Recibido: mayo de 2014  
Aceptado: octubre de 2014

la frecuencia e intensidad de los eventos extremos son la consecuencia más dramática de la variabilidad climática y que afectan directamente la funcionalidad de los ecosistemas, su conformación paisajística y las fronteras espaciales del uso del suelo. La relación entre la frecuencia de ocurrencia y la intensidad de los eventos extremos, la condición ENSO y la presencia de huracanes está aún bajo investigación.

**Palabras clave:** ENSO, eventos extremos, provincia fisiográfica, TRMM.

## Introducción

La Península de Baja California en México es una región fisiográfica de interés científico por su riqueza florística y su posición geográfica, en la cual los ecosistemas terrestres marinos y acuáticos son influenciados por dos grandes masas de agua, el Océano Pacífico y el Golfo de California. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad en México (CONABIO), la describe como una angosta faja de tierra que corre paralela al litoral pacífico a lo largo de más de 1,400 km, con anchura promedio de 75 km. La costa este de la Península está bordeada por las aguas cálidas del Golfo de California y la costa occidental por las aguas frías de la Corriente California (Rodríguez-Moreno y Bullock (2014).

La Corriente California es una corriente oceánica que se origina en el Pacífico Norte y corre a lo largo de la Costa Oeste de los Estados Unidos de América, moviéndose en dirección sur hasta la parte Sur de la Península de Baja California. Cuando alcanza este punto, vira en dirección occidente hacia el Océano Pacífico. Por su origen geográfico, la corriente es muy fría, relativamente somera y aporta una carga importante de agua fría que promueve surgencias en su paso por la línea de costa; la surgencia es el movimiento vertical de las masas de agua de niveles profundos hacia la superficie. Bograd *et al.* (2009), reportaron una significativa variación interanual en las características de las surgencias en el periodo de 1967-2007, con periodos extendidos de altas (1970s, 1998-2004) y bajas (1980-1995) y una tendencia hacia una tardía y corta temporada en el CCLME (Ecosistema Marino de la Corriente California -California Current Large Marine Ecosystem). Reportan además que los años El Niño están caracterizados por un retraso y debilitamiento en las surgencias en este ecosistema.

and intensity of extreme events are the most dramatic consequence of climate variability, directly affecting the functioning of ecosystems, their landscape formation and spatial boundaries of the land use. The relationship between the frequency of occurrence and intensity of extreme events, the ENSO condition and the presence of hurricanes is still under investigation.

**Keywords:** ENSO, extreme events, physiographic province, TRMM.

## Introduction

The Baja California Peninsula in Mexico is a physiographic region of scientific interest for its floristic richness and its geographical position, in which the marine and aquatic terrestrial ecosystems are influenced by two bodies of water, the Pacific Ocean and the Gulf of California. The National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity in Mexico (CONABIO) described it as a narrow strip of land that runs parallel to the Pacific coast along more than 1 400 km, with an average width of 75 km. The east coast of the peninsula is bordered by the warm waters of the Gulf of California and the west coast by the cold waters of the California Current (Rodríguez-Moreno and Bullock (2014).

The California Current is an ocean flow that originates in the North Pacific and runs along the western United States Coast, moving south to the southern part of the Baja California Peninsula. When reaching this point, turns west towards the Pacific Ocean. Because of its geographical origin, the current is very cold, relatively shallow and provides a significant load of cold water promoting upwellings on its way through the waterfront; an upwelling is the vertical movement of water masses of deep levels to the surface. Bograd *et al.* (2009) reported a significant inter-annual variation in the characteristics of upwelling in the period 1967-2007, with extended periods of high (1970's, 1998-2004) and low (1980-1995) and a trend towards a late and short term in the CCLME (Marine Ecosystem of the California Current -California Current Large Marine Ecosystem). Also reporting that El Niño years are characterized by a delay and weakening of upwelling in this ecosystem.

El Niño (ENSO-The Niño Southern Oscillation) is a disruption of the ocean-atmosphere system the happens in the tropical Pacific and contributes to significant changes in the conditions

El Niño (ENSO -El Niño Southern Oscillation) es una disrupción del sistema océano-atmósfera que ocurre en el Pacífico Tropical y que contribuye a cambios significativos en las condiciones de meteorología y clima en el planeta. Este fenómeno presenta dos componentes: 1) oceánico, donde se contrastan las temperaturas superficiales del Pacífico Tropical y que da origen a la condición El Niño, que se presenta al tener anomalías cálidas y La Niña, que se presenta al tener anomalías frías; y 2) atmosférico (condición Walker), medido cuantitativamente por el Índice de Oscilación del Sur el cual es un reflejo del cambio relativo entre la presión atmosférica media mensual a nivel del mar entre los sectores occidental (alrededores de Darwin, norte de Australia) y la región central-oriental del Océano Pacífico (alrededores de la isla Tahití) en la Polinesia francesa. La duración de la condición El Niño es variable. Según McPhaden (1999), se presenta cada tres a siete años y dura entre 12 a 18 meses. La NOAA refiere que la condición tiende a ocurrir cada 3-5 años y dura por lo general entre 9-12 meses. Contrario a la condición El Niño, La Niña puede durar de 1-3 años.

Acerca de la condición ENSO se le ha documentado que afecta la frecuencia, intensidad y distribución espacial de la lluvia. La National Aeronautics and Space Administration (NASA) menciona que su influencia es principalmente en las zonas costeras del continente americano, desde el Hemisferio Norte en Alaska hasta la parte central de Chile en el Hemisferio Sur. En México, según Magaña *et al.* (1998) las lluvias de invierno en años El Niño aumentan su intensidad, como ocurrió durante los inviernos de 1982-1983, 1986-1987 y 1991-1992 y se debilitan en las temporadas de verano.

En inviernos Niño, la corriente en chorro de latitudes medias se desplaza hacia el sur provocando una mayor incidencia de frentes fríos y lluvias en las zonas norte y centro de México (Magaña *et al.*, 1998). Lo opuesto ocurre aproximadamente en años Niña. Su influencia en las lluvias de invierno no es siempre la misma, principalmente cuando se analizan los cambios a nivel regional. Regiones como Baja California o Sinaloa han experimentado algunas de las mayores inundaciones durante años Niño.

En caracterizar el clima a escala regional la mayor limitante es la nula o limitada disponibilidad de datos climáticos históricos. En este sentido, varios autores han documentado sobre el papel preponderante de los satélites en observar el dinamismo y los cambios en el sistema Tierra. El avance más significativo es la cobertura y caracterización del planeta a escala global a través de un aumento en la resoluciones

of weather and climate on the planet. This phenomenon has two components: 1) oceanic, where the Tropical Pacific temperatures surface are contrasted and create El Niño, which occurs when having warm anomalies and La Niña, which occurs when having cold anomalies; and 2) Weather (Walker condition), quantitatively measured by the Southern Oscillation Index which is a reflection of the relative change between the mean monthly atmospheric pressure at sea level between the western sectors (around Darwin, northern Australia) and the central-eastern Pacific Ocean (around Tahiti Island) in French Polynesia. The duration of El Niño is variable. According to McPhaden (1999) occurs every three to seven years and lasts 12 to 18 months. The NOAA reports that the condition tends to occur every 3-5 years and usually lasts between 9-12 months. Contrary to the condition of El Niño, La Niña can last 1-3 years.

Regarding the ENSO, it is documented that affects the frequency, intensity and spatial distribution of rainfall. The "National Aeronautics and Space Administration" (NASA) mentioned that its influence is mainly in the coastal areas of the Americas, the Northern Hemisphere from Alaska to central Chile in the Southern Hemisphere. In Mexico, according to Magaña *et al.* (1998) winter rainfall in El Niño years increase in intensity, as occurred during the winters of 1982-1983, 1986-1987 and 1991-1992 and become weaker in the summer.

During the Niño winters, the jet stream of midlatitudes moves towards the south causing an increased incidence of cold fronts and rain in the northern and central Mexico (Magaña *et al.*, 1998). The opposite occurs approximately in Niña years. The influence on winter rainfall is not always the same, especially when changes are analysed regionally. The regions of Baja California and Sinaloa have experienced some of the worst floods for years Niño.

Characterizing the climate at the regional level, the most limiting feature is the null or limited availability of historical climate data. In this sense, several authors have documented about the dominant role of satellites to observe the dynamics and changes in the Earth system. The most significant advance is the coverage and characterization of the planet on a global scale through increased spatial and temporal resolutions of satellite products, which would be impossible to obtain without this support (Dowell *et al.*, 2013), besides, obtaining regional specific response models improve the representativeness of the data to characterize ecosystems.

espacial y temporal de los productos satelitarios, lo cuál sería imposible de obtener sin este apoyo (Dowell *et al.* 2013), además, la obtención de modelos de respuesta específica regional mejoran la representatividad de los datos para caracterizar los ecosistemas.

En el presente manuscrito se explora la influencia de la condición ENSO en el número e intensidad de los eventos de lluvia en la región fisiográfica Península de Baja California. La serie histórica de datos de lluvia se obtuvo de los registros del satélite TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission), los cuáles estiman la lluvia diaria a escala global en píxeles de ~27 km. La división de la base de datos a intervalos de 5 mm permitió identificar los eventos extremos de lluvia como >30 mm. La relación entre los eventos extremos y los episodios ENSO no ha sido estudiada extensamente en la Península aunque algunos estudios de caso se han llevado a cabo.

## Materiales y métodos

### Descripción del área de estudio

Los límites espaciales de la provincia fisiográfica fueron trazados conforme la metodología del Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI) que considera el origen geológico, los paisajes, los tipos de rocas y las geoformas. En esta provincia se localizan tres discontinuidades fisiográficas: el Desierto de Vizcaíno, con amplios llanos y médanos que se interrumpen en dirección occidental; las planicies de Magdalena, región con bajos y bolsones que se inundan durante la época de lluvias y cuya costa arenosa se ve interrumpida por algunas lagunas (varias de ellas comunicadas al mar) y la Región del Cabo con serranías de granito (Figura 1). El sistema montañoso recorre la Península a todo lo largo de la costa oriental, las pendientes más abruptas descienden directamente al Golfo de California y las más suaves en la vertiente occidental, hacia el Océano Pacífico. La parte Norte de la provincia está dominada por rocas intrusivas mientras que en la planicie occidental se localizan manchones de sedimentos aluviales.

### Base de datos de lluvia

Se utilizaron los datos diarios de 192 píxel TRMM (Figura 1). Los píxel tienen una resolución espacial de 0.25° y un rango de resolución horizontal de 10 km. De acuerdo con la NASA (2011) el radar de precipitación (PR -precipitation radar) es

In this manuscript, the influence of ENSO is explored in the number and intensity of rainfall events in the physiographic region of the Baja California Peninsula. The time series of rainfall data was obtained from the records of the satellite "TRMM" (Tropical Rainfall Measurement Mission), estimating daily rainfall globally in pixels of ~ 27 km. Splitting the database at intervals of 5 mm identified the extreme rainfall events as >30 mm. The relationship between extreme events and ENSO episodes has not been studied extensively in the Peninsula although some case studies have been performed.

## Materials and methods

### Description of the study area

The spatial boundaries of the physiographic province were plotted according to the methodology of the National Research Institute of Statistics, Geography and Informatics (INEGI), which considers the geological origin, landscapes, rock types and geo-forms. In this province three physiographic discontinuities are located: the Vizcaino Desert, with wide plains and dunes that are disrupted in a westerly direction; Magdalena plains, a region with low and depressions that are flooded during the rainy season and whose sandy coast is interrupted for some lagoons (several of them connected to the sea) and the Cape Region with mountains of granite (Figure 1). The mountain system runs along the peninsula throughout the east coast, the steepest slopes descend directly to the Gulf of California and softer on the lesser slopes into the Pacific Ocean. The northern part of the province is dominated by intrusive rocks while in the western plain patches of alluvial sediments are located.

### Database rain

Daily data of 192 pixel TRMM (Figure 1) were used. The pixel has a spatial resolution of 0.25° and a range of horizontal resolution of 10 km. According to NASA (2011) the precipitation radar (PR) is one of the five instruments on board the satellite TRMM. It is an active radar of 13.8 GHz that records the energy reflected at fixed points in the atmosphere and the land surface. Making an electronic scan from right to left looking in the direction +x of the satellite every 0.6 s with a swath width of 215 km before August 7<sup>th</sup>, 2001 and 247 km after August 24<sup>th</sup>, 2001.

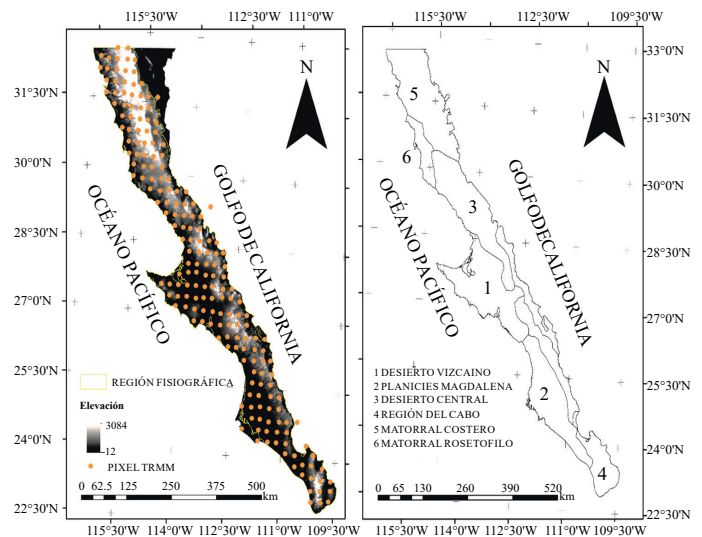
uno de los cinco instrumentos a bordo del satélite TRMM. Es un radar activo de 13.8 GHz que registra la energía reflejada en puntos fijos de la atmósfera y en la superficie continental. Realiza un escaneo electrónico de derecha a izquierda viendo en la dirección +x del satélite cada 0.6 s con un ancho de barrido de 215 km antes de agosto 7 de 2001 y de 247 km después de agosto 24 de 2001.

La base de datos incluyó el registro de 15 años de datos diarios, desde el 1° de enero de 1998 al 31 de diciembre de 2012; este periodo representa un volumen de datos de 1 051 968 registros de lluvia estimada (5 479 días de registros diarios de lluvia x 192 pixel TRMM). La base de datos fue convenientemente diseñada y estructurada para su análisis en ambiente Sistema de Información Geográfica (SIG). Adicional al dato de lluvia se agregaron los campos año, mes, condición ENSO y estrato de lluvia. Los datos de lluvia fueron estratificados a intervalos de 5 mm y resultaron en siete categorías: de 1 a < 5 mm; de 5 a < 10 mm; de 10 a < 15 mm; de 15 a < 20 mm; de 20 a < 25 mm; de 25 a < 30 mm; y > 30 mm; la categoría de más de 30 mm la declaramos como de eventos extremos.

### Condición ENSO

De acuerdo con la Oficina del Estado del Clima de la Universidad de Carolina del Norte (State Climate Office of North Carolina-2014) la condición ENSO fluctúa entre dos estados: más cálido que lo normal (El Niño) y más frío que lo normal (La Niña) en el Pacífico Ecuatorial Central y Oriental.

La condición El Niño se caracteriza por: un debilitamiento de los vientos atmosféricos a lo largo del ecuador; sus efectos se maximizan en el Hemisferio Norte invernal debido a que las temperaturas oceánicas alcanzan su valor máximo; durante la temporada de huracanes (junio a noviembre), la corriente de chorro (jet stream) se alinea de modo que el viento vertical se incrementa en el Caribe y en el Atlántico. Trasviña *et al.* (2004) mencionan que el impacto de El Niño en los mares mexicanos es más claro en el Pacífico donde resultan cambios en su estructura y dinámica que alteran el clima y las actividades pesqueras regionales. En la condición La Niña, ocurre lo opuesto, los vientos atmosféricos se fortalecen, decrece la convección en el Pacífico ecuatorial lo cual ocasiona menos lluvia, y durante la temporada de huracanes los vientos superiores son más ligeros generando condiciones que favorecen el desarrollo de fenómenos meteorológicos en el Caribe y en el Atlántico.



**Figura 1. Distribución espacial de los pixel TRMM (izq) y límites fisiográficos de la provincia Península de Baja California (der).** Proyección cónica conforme de Lambert.

**Figure 1. Spatial distribution of the pixel "TRMM" (left) and physiographic boundaries of the province Baja California (right).** Lambert's conformal conic projection.

The database included the registry 15 years of daily data from 1 January 1998 to 31 December 2012; this period represents a data volume of 1 051 968 estimated rainfall records (5479 days of daily rainfall records x 192 pixel "TRMM"). The database was properly designed and structured for its analysis in Geographic Information System (GIS) environment. In addition to the data layer of rain, the fields year, month, ENSO and rainfall strata. The rainfall data were stratified at intervals of 5 mm and resulted in seven categories: 1 to <5 mm; 5 to <10 mm; 10 to <15 mm; 15 to <20 mm; 20 to <25 mm; 25 to <30 mm; and >30 mm; the category of more than 30 mm was declared as extreme.

### ENSO

According to the State of Climate Office at the University of North Carolina (State Climate Office of North Carolina-2014) under ENSO condition, fluctuates between two states: Warmer than normal (El Niño) and colder than normal (La Niña) in the Central and Eastern Equatorial Pacific.

The El Niño is characterized by a weakening of atmospheric winds along the Ecuador; its effects are maximized in the Northern Hemisphere winter because the ocean temperatures reach their maximum value; during the hurricane season (June to November), the jet stream is aligned so that the vertical wind

La clasificación de la intensidad de la condición ENSO se realizó con base en el Índice Oceánico Niño; Oceanic Niño Index (ONI) propuesto por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). El ONI se ha convertido en la medida estándar de la NOAA a través del cual se identifican los años El Niño o La Niña en el Pacífico Tropical. Son corridas trimestrales de la temperatura superficial del mar para El Niño región 3.4 (5° N 5° S, 120°-170° W). La condición se declara como 5 meses consecutivos en o cerca de +0.5° de anomalía cálida para la condición El Niño y debajo de -0.5° de anomalía fría para eventos La Niña. El umbral se rompe a débil (con una anomalía de 0.5 a 0.9), moderado (1.0 a 1.4) y Fuerte ( $\geq 1.5$ ). Para que un evento sea declarado como débil, moderado o fuerte, el umbral debe mantenerse por al menos 3 meses.

Con base en el índice ONI, los años incluidos en el estudio fueron identificados como sigue: 1998, 2000, 2005, 2008 y 2011, La Niña Débil (NiD); 1999 y 2010 La Niña Fuerte (NiF); 2001, 2003 y 2012 Neutro (N); 2002 y 2009, El Niño Moderado (NM); 2004 y 2006, El Niño Débil (ND); y 2007, La Niña Moderada (NiM). En resumen, las categorías para la condición ENSO en los años del estudio fueron: cinco años La Niña Débil, dos años La Niña Fuerte, tres años neutro, dos años El Niño Moderado, dos años El Niño Débil, y un año La Niña Moderada.

### Análisis de datos

Con base en la extensión del área de estudio y debido a que se involucran variables categóricas y numéricas, se aplicaron técnicas de análisis multivariado lineales. El análisis de varianza multivariado (MANOVA) y la prueba post-hoc Bonferroni se utilizaron para identificar los componentes significativos del modelo lineal y para la comparación de grupos homogéneos, respectivamente. De acuerdo con Carey (1998), se utiliza MANOVA en vez del ANOVA tradicional u otras técnicas de análisis de regresión, debido a que permite incorporar múltiples variables independientes y dependientes en el mismo modelo de análisis, permitiendo una mayor complejidad.

### Resultados y discusión

En total se observaron 28 714 eventos de lluvia distribuidos en toda la provincia fisiográfica (un promedio de 1 914 eventos por año - Figura 2).

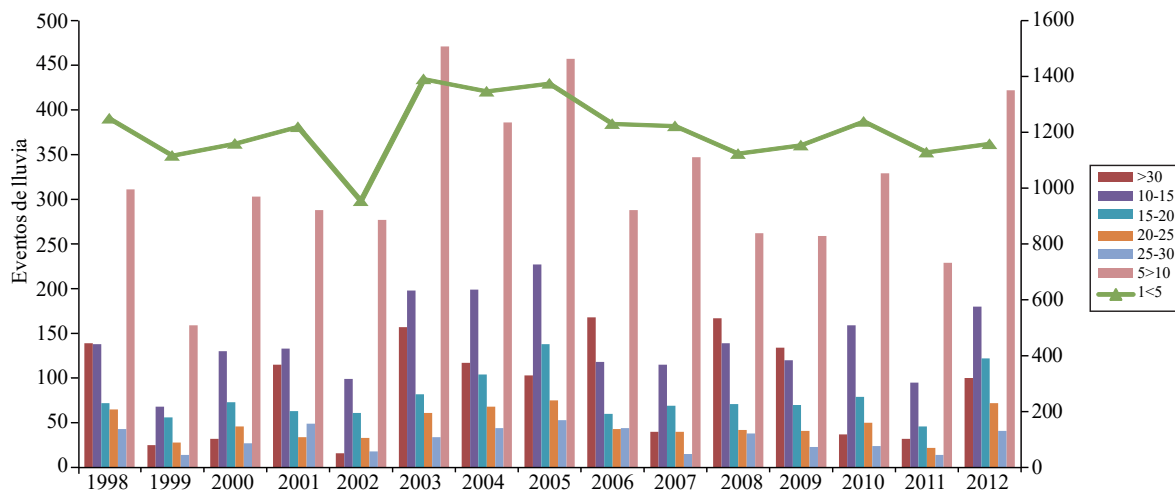
increases in the Caribbean and Atlantic. Trasviña *et al.* (2004) noted that the impact of El Niño in Mexican waters is clearer in the Pacific which are changes in structure and dynamics that alter the regional climate and fishing activities. In La Niña, the opposite occurs, the atmospheric winds are strengthened, decreases convection in the equatorial Pacific which causes less rain, and during the hurricane season the upper winds are lighter creating conditions that favour the development of meteorological phenomena in the Caribbean and Atlantic.

The classification of the intensity of ENSO is made based on the Oceanic Index Niño; Oceanic Niño Index (ONI) proposed by the "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA). The ONI has become the standard measure of NOAA through which identifies the years El Niño or La Niña in the tropical Pacific. They are quarterly runs of sea surface temperature for the El Niño, region 3.4 (5° N to 5° S, 120° -170° W). The condition is reported as 5 consecutive months at or near + 0.5° of warm anomaly for El Niño and below -0.5° cold anomaly for La Niña events. The threshold is divided in weak (with an anomaly of 0.5 to 0.9), moderate (1.0 to 1.4) and strong ( $\geq 1.5$ ). For an event to be declared as weak, moderate or strong, the threshold should be maintained for at least 3 months.

Based on the ONI index, the years included in the study were identified as follows: 1998, 2000, 2005, 2008 and 2011, Weak La Niña (NiD); 1999 and 2010 Strong La Niña (NiF); 2001, 2003 and 2012 Neutral (N); 2002 and 2009, Moderate El Niño (NM); 2004 and 2006, Weak El Niño (ND); and 2007, Moderate La Niña (NiM). In summary, the categories for ENSO in the years of the study were: five years Weak La Niña, Two years Strong La Niña, three years neutral, two years Moderate El Niño, two years Weak El Niño, and one year Moderate La Niña.

### Data analysis

Based on the extent of the study area and because categorical and numerical variables are involved, linear multivariate analysis techniques were applied. The multivariate analysis of variance (MANOVA) and "post-hoc" Bonferroni test were used to identify significant components of the linear model and to compare homogeneous groups, respectively. According to Carey (1998), MANOVA is used instead of the traditional ANOVA or other techniques of regression analysis, because it allows to incorporate multiple independent and dependent variables in the same model of analysis, allowing larger complexity.



**Figura 2. Eventos de lluvia observados en la serie de datos histórica. Los datos fueron estratificados conforme al monto de lluvia estimada.**

**Figure 2. Rain events observed in the historical data set. Data were stratified according to the amount of the estimated rain.**

Entre los eventos de lluvia, poco menos de 63% (18, 059) estuvieron en el rango de entre 1 y 5 mm de lluvia; 16.7% entre 5 y 10 mm (4 788); 7.3% (2 118) entre 10 y 15 mm; 4.8% (1 382) fueron eventos extremos de más de 30 mm; para el resto de las categorías el número de eventos fue de 1 166 (de 15 a 20 mm -4%), 720 (de 20 a 25 mm -2.5%) y 481 (de 25 a 30 mm -1.67%). Con respecto a los eventos extremos, los resultados fueron contrastantes e inesperados. La frecuencia más alta (471 eventos) se registró en el año 2002 (condición ENSO-NM) y el número más bajo (25) en 1999, en condición ENSO-NiF. Sin embargo, en otros años de condición ENSO, los resultados observados fueron contrastantes. En 2009 (ENSO-NM), se registraron 134 eventos extremos, poco menos de 30% de los registrados en 1999. En otro año NiF (2010), el número de eventos extremos fue de 37. Estos contrastes no dan una idea clara de la relación entre la condición ENSO y los eventos extremos, sino por el contrario, abre un abanico de posibilidades para ser abordadas en futuras investigaciones.

Del Cuadro 1, las cifras en negritas corresponden al valor máximo de la serie de datos; las cifras en negritas e inclinadas corresponden al valor mínimo de eventos en la serie histórica de datos; las cifras subrayadas corresponden a los datos extremos máximo y mínimo de toda la serie histórica de datos. Estos resultados evidencian que en la región de estudio, el número de eventos de lluvia aumenta durante episodios de La Niña Débil, ocasionando mayormente eventos de lluvia de intensidad menor a 5 mm. Adicionalmente, inferimos que este indicador es opuesto (asimétrico) con la condición ENSO- El Niño Débil. Una observación de interés para

## Results and discussion

In total, 28 714 rain events were observed distributed throughout the physiographic province, an average of 1914 events per year (Figure 2).

Among the rain events, just under 63% (18, 059) were in the range of between 1 and 5 mm of rain; 16.7% between 5 and 10 mm (4 788); 7.3% (2 118) between 10 and 15 mm; 4.8% (1 382) were extreme events over 30 mm; for other categories the number of events was 1 166 (15 to 20 mm -4%), 720 (20 to 25 mm -2.5%) and 481 (25 to 30 mm -1.67%). With respect to the extreme events, the results were contrasting and also unexpected. The highest frequency (471 events) was recorded in 2002 (ENSO-NM) and the lowest number (25) in 1999, in ENSO-NiF. However, in other years of ENSO, the observed results were contrasting. In 2009 (ENSO-NM), 134 extreme events were registered, just under 30% of those registered in 1999. In another NiF year (2010), the number of extreme events recorded was 37. These contrasts do not give a clear idea of the relationship between ENSO and extreme events, but rather opens up a range of possibilities to be addressed in future researches.

From Table 1, the numbers in bold correspond to the maximum value of the data set; figures in bold and inclined correspond to the minimum value of events in the time series data; underlined numbers correspond to the maximum and minimum of all the historical data series.

darle seguimiento en el análisis estadístico de los datos es la relación casi paralela para la frecuencia de eventos de lluvia entre las condiciones NiD y N. Con respecto a los eventos extremos, en la condición N se registró el máximo de la serie histórica (372 eventos) y en la NiF el mínimo (62).

These results show that in the region of study, the number of rainfall events increases during Weak La Niña, most of the rain events of lower intensity than 5 mm. Additionally we infer that this indicator is opposite (asymmetric) with ENSO-Weak El Niño. An observation of interest to follow

### Cuadro 1. Distribución de los eventos de lluvia por condición ENSO.

Table 1. Distribution of rainfall events by ENSO.

ENSO	De 1 a < 5	De 5 a < 10	De 10 a < 15	De 15 a < 20	De 20 a < 25	De 25 a < 30	> 30
ND	<b>2107</b>	536	<b>219</b>	<b>131</b>	<b>74</b>	41	150
NiM	2471	658	253	141	105	58	179
N	3767	1181	511	267	167	124	<b>372</b>
NiF	2354	<b>488</b>	227	135	78	<b>38</b>	<b>62</b>
NM	2576	674	317	164	111	88	285
NiD	<b>4784</b>	<b>1251</b>	<b>591</b>	<b>328</b>	<b>185</b>	<b>132</b>	334

La variación interestacional se realizó a través del análisis por mes calendario (Cuadro 2).

Del Cuadro 2, los números destacados en negritas corresponden a los máximos de la serie; los destacados en negritas e inclinados son los mínimos de la serie y los subrayados son los máximos y los mínimos de toda la serie de datos. En el Cuadro 2 se observa que es en septiembre cuando sucede el mayor número de eventos de lluvia, mientras que el menor número de eventos de lluvia se observó en diferentes meses y para diferentes estratos. Los < 5 mm en junio; los eventos entre 5 y 20 mm, en mayo; los > 20 mm/evento, en abril -incluye los eventos extremos. Para hacer notar que en los meses de mayo y junio no se registraron eventos de lluvia mayores a 15 mm.

up on the statistical analysis of the data is almost parallel relationship to the frequency of rain events between the conditions NiD and N. With respect to extreme events, in condition N was recorded the maximum historical series (372 events) and in the NIF the minimum (62).

The inter-seasonal variation was performed by analysing per calendar-monthly (Table 2).

From Table 2, the numbers highlighted in bold correspond to the maximum of the series; those highlighted in bold and inclined are the minimum series and underlined are the maximum and minimum of the entire data set. The Table 2 shows that it happens in September when the highest number

### Cuadro 2. Distribución de los eventos de lluvia estratificados por mes calendario.

Table 2. Distribution of rainfall events stratified by calendar-month.

Mes	De 1 a < 5	De 5 a < 10	De 10 a < 15	De 15 a < 20	De 20 a < 25	De 25 a < 30	> 30
Ene.	1 763	437	203	93	53	44	91
Feb.	1 739	627	321	215	131	78	153
Mar.	1 676	353	149	62	36	30	81
Abr.	1 115	156	43	<b>21</b>	<b>10</b>	7	<b>1</b>
May.	499	<b>17</b>	<b>1</b>				
Jun.	<b>432</b>	24	2				
Jul.	1 839	328	113	44	26	18	32
Ago.	2 204	754	316	196	105	76	248
Sep.	<b>2 209</b>	<b>770</b>	<b>383</b>	<b>229</b>	<b>180</b>	<b>129</b>	<b>498</b>
Oct.	1 419	459	250	123	77	61	209
Nov.	1 435	438	157	72	37	15	33
Dic.	1 729	425	180	110	65	23	36



El mayor número de eventos extremos se observó para los meses de septiembre y agosto. Esta circunstancia coincide con lo reportado por varios autores con respecto a la presencia de tormentas y ciclones tropicales que afectan la región occidental de México. De acuerdo con Dorst (2010) la temporada de huracanes va de julio a noviembre, con un pico de actividad a finales de agosto y principios de septiembre. Severas tormentas ocurrieron en Septiembre (Visher, 1992); los huracanes de mayor impacto en la península de Baja California Sur ocurrieron en agosto y septiembre (Vadillo-Romero, 2003); de acuerdo a los registros del Centro Nacional de Huracanes (NHC-National Hurricane Center), en su reporte al 2006, más de 150 tormentas tropicales han afectado la península de Baja California Sur.

Estos resultados sugieren ampliar el estudio incorporando nuevas variables a la base de datos como por ejemplo diferenciar la línea de costa del Pacífico con la del Golfo de California, separar virtualmente la península en la región norte y en la región sur dada la extensión latitudinal, en el conocimiento de que la zona sur de la Península sufre de la mayor presencia de huracanes, incluir datos del uso del suelo y mayormente incorporar los datos de los eventos atmosféricos extremos como los huracanes. Un aspecto de importancia y que sería complementario a los datos de lluvia, es la incorporación de los datos directos de las series históricas de estaciones meteorológicas en el área de estudio con el fin de detectar probables desviaciones con el dato estimado TRMM.

## Análisis estadístico

### Análisis por eventos de lluvia

En el modelo general de análisis se declaró al número de eventos como variable dependiente y como independientes tres variables categóricas: la condición ENSO, el mes calendario y el estrato de lluvias. Los resultados fueron significativos ( $p < 0.05$ ) para la condición ENSO, Mes y Estrato. No se observó co-linearidad entre las variables del modelo ( $0.28 > r^2 < 0.70$ ). Los resultados de la prueba de Bonferroni se muestran en la Cuadro 3.

La prueba Bonferroni para grupos homogéneos confirmó lo observado en la Cuadro 1, respecto a que las condiciones ENSON y ENSONiD son homogéneas para la frecuencia de eventos de lluvia. Adicionalmente, resultaron con la misma condición de homogeneidad las condiciones ENSO NiF y ENSO NM. Las condiciones ENSO-ND y ENSO-NiM resultaron en grupos diferentes; respectivamente, mayor y menor frecuencia promedio de eventos de lluvia.

of rainfall events appear, while the lowest number of rain events observed in different months and different strata. The  $<5$  mm in June; events between 5 and 20 mm, in May; the  $>20$  mm / event in April -includes extreme events. For marking that in the months of May and June there were no rain events higher than 15 mm.

The largest number of extreme events was observed for the months of September and August. This situation is consistent with those reported by several authors regarding the presence of storms and tropical cyclones affecting western Mexico. According to Dorst (2010), the hurricane season is from July to November, with peak activity in late August and early September. Severe storms occurred in September (Visher, 1992); Hurricanes greatly impact on the peninsula of Baja California Sur occurred in August and September (Vadillo-Romero, 2003); according to the records of the National Hurricane Center (NHC), in the report of 2006, more than 150 tropical storms have hit Baja California Sur.

These results suggest extending the study, adding new variables to the database such as differentiating the Pacific coastline with the Gulf of California, virtually separate the peninsula in the north and in the south due to the latitudinal extension, considering that the southern part of the Peninsula suffers from the increased presence of hurricanes, including data of land-use and incorporate data of most of the extreme weather events such as hurricanes. One aspect of significance and complementary to the rainfall data is the incorporation of direct data from historical series of meteorological stations in the study area in order to detect deviations from the estimated probable data TRMM.

## Statistical analysis

### Analysis of rainfall events

In the general analysis model was declared the number of events as the dependent variable and three independent categorical variables: the ENSO, the calendar month and the layer of rainfall. The results were significant ( $p < 0.05$ ) for ENSO, Month and Stratum condition. No co-linearity was observed between the variables of the model ( $0.28 > r^2 < 0.70$ ). The results of the Bonferroni test are shown in the Table 3.

The Bonferroni test for homogeneous groups confirmed the results in the Table 1, with respect that the ENSO N and ENSO NiD are homogeneous for the frequency of rain

**Cuadro 3. Prueba Bonferroni ( $\alpha=0.05$ ) para grupos homogéneos.** Toda la serie de datos.  
**Table 3. Bonferroni test ( $\alpha=0.05$ ) for homogeneous groups.** All data series.

Oni	Promedio	Grupo	Mes	Promedio	Grupo	Estrato	Promedio	Grupo
NiM	1.8	b	Mayo	1.19	e	de 25 a < 30	1.04	a
NiF	1.88	ab	Junio	1.33	e	de 20 a < 25	1.05	a
NM	1.9	ab	Octubre	1.63	af	de 15 a < 20	1.07	a
N	1.9	a	Noviembre	1.75	af	de 10 a < 15	1.14	a
NiD	1.94	a	Septiembre	1.78	a	> 30	1.19	ab
ND	2.07	c	Abril	1.83	ac	de 5 a > 10	1.28	b
			Julio	1.88	ac	de 1 a < 5	2.35	c
			Diciembre	1.98	cd			
			Febrero	2.07	bd			
			Enero	2.12	bd			
			Agosto	2.12	b			
			Marzo	2.2	b			

Con relación al mes calendario, sorprendentemente el mayor número de eventos de lluvia no se observó en septiembre sino de manera continua durante la temporada de lluvias invernales (enero, febrero y marzo) y en el verano intermedio (agosto). El menor número de eventos de lluvia en promedio se observó para los meses calurosos de mayo y junio.

Con respecto al estrato, diferencias entre grupos se observaron principalmente para el < 5 mm, donde se observó el promedio de eventos más alto (2.35), seguido por el de 5 a 10 mm (1.28) y el de eventos extremos (> a 30 mm, -1.19); no se observaron diferencias significativas entre los estratos de 10 mm a menos de 30 mm. Aunque no se encontraron antecedentes de un intervalo de análisis para dar seguimiento a los regímenes de precipitación en México, Grimm y Tedeschi (2008) sugieren utilizar un umbral de 10 mm día<sup>-1</sup> diarios para regiones con temporal lluvioso. El clima en la provincia fisiográfica Península de Baja California, es preponderantemente árido y semiárido, por lo cual consideramos que los estratos de análisis propuestos pueden considerarse adecuados.

### Análisis por lluvia estimada

Con relación al volumen de lluvia precipitada, el análisis MANOVA incluyó la lluvia estimada como variable dependiente y como independientes las variables categóricas condición ENSO y mes calendario. El análisis resultó en diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para la condición ENSO y el MES calendario [ $F(5, 19,887) = 91.241, p < 0.01$ ; y  $F(11, 19877) = 215.03, p < 0.01$ , respectivamente] (Figura 3).

events. Additionally, they were under the same condition of homogeneity conditions of ENSO NiF and ENSO NM. The ENSO-ND and ENSO-NiM resulted in different groups; respectively, higher and lower average frequency of rainfall events.

Regarding the calendar-month, surprisingly, the highest number of rain events was not observed in September, but continuously during the winter rain season (January, February and March) and in the middle summer (August). The lowest number of rain events on average was observed for the hot months of May and June.

Regarding the strata, the differences between groups were observed mainly for < 5 mm, observing the highest average events (2.35), followed by 5 to 10 mm (1.28) and extreme events (> 30 mm, -1.19); no significant differences among the groups of at least 10 mm 30 mm were observed. Although, no history of interval analysis was found to track rainfall patterns in Mexico, Grimm and Tedeschi (2008) suggested using a threshold of 10 mm day<sup>-1</sup> daily for regions with wet season. The climate in the physiographic province of Baja California Peninsula is predominantly arid and semi-arid, therefore we consider that the proposed analytical strata are considered appropriate.

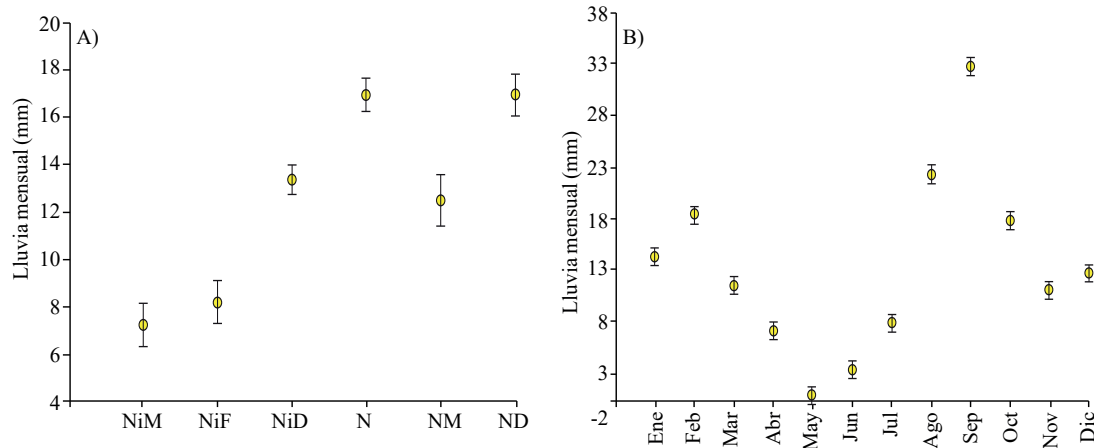
### Analysis of estimated rain

Regarding the volume of rain, the MANOVA analysis included the estimated dependent variable of rain and the categorical variables as independent, ENSO and calendar-month. The

Las más altas precipitaciones se observaron en los años N y ND (Figura 3a) mientras que las menores en la condición NiM y NiF, donde la lluvia promedio estimada fue la más baja. En la Figura 3b se observa un comportamiento bimodal en la distribución de la lluvia por mes calendario, siendo los meses de septiembre y agosto los meses más húmedos y la temporada de abril a junio la más seca. La prueba Bonferroni para homogeneidad de grupos se muestra en el Cuadro 4.

analysis resulted in significant differences ( $p < 0.05$ ) for the ENSO and calendar-month [ $F(5, 19\ 887) = 91\ 241, p < 0.01$ ; and  $F(11, 19\ 877) = 215.03, p < 0.01$ , respectively] (Figure 3).

The highest rainfall is observed in year N and ND (Figure 3a) while the lowest in the NiM and NIF condition, where the estimated average rainfall was the lowest. In the Figure 3b we observe a bimodal behaviour in the distribution of rainfall per calendar-month, with the months of August and September



**Figura 3. Lluvia estimada mensual por condición ENSO (A) y por mes calendario (B).** El valor corresponde al promedio mensual y las barras verticales al intervalo de confianza (0.95).

**Figure 3. Estimated monthly rain by ENSO (A) per calendar month and (B).** The value corresponds to the monthly average and the vertical bars to the confidence interval (0.95).

De acuerdo con la prueba Bonferroni las seis condiciones ENSO se pueden agrupar en tres grupos. La condición ENSO-NiM y ENSO-NiF con el estimado de lluvias más bajo; la ENSO-ND y la ENSO-N con el promedio de lluvias más alto; y la ENSO-NM y la ENSO-NiD con un promedio de lluvias intermedio. Con respecto al mes calendario, la variación interestacional corrobora a los meses más calurosos con el menor promedio de lluvia estimada (abril, mayo y junio) y a los meses de agosto, septiembre y octubre como los de mayor promedio de precipitación.

being the wettest months and the season from April to June is the driest. The Bonferroni test for homogeneity of this groups is shown in the Table 4.

**Cuadro 4. Prueba Bonferroni ( $\alpha = 0.05$ ) para grupos homogéneos.** Toda la serie de datos.

**Table 4. Bonferroni test ( $\alpha = 0.05$ ) for homogeneous groups.** All data series.

ENSO	Promedio	Grupo	Mes	Promedio	Grupo
NiM	9.79	A	Mayo	1.64	a
NiF	11.20	A	Junio	2.71	a
NM	15.11	B	Abril	5.99	ac
NiD	15.57	B	Julio	7.71	cd
ND	19.23	C	Noviembre	9.49	bd
N	19.97	C	Marzo	10.72	bd
			Diciembre	11.87	be
			Enero	14.36	e
			Febrero	18.16	f
			Octubre	18.76	f
			Agosto	22.34	g
			Septiembre	32.91	h

Estos resultados confirman lo descrito por la NOAA en el sentido de que la condición Niño influye en el desarrollo de huracanes en el Pacífico Este. Adicionalmente, podemos mencionar que los resultados obtenidos sugieren que la condición ENSO-N también podría causar el mismo efecto. Sin embargo, la naturaleza de nuestros datos solo permite inferir lo anterior pues sería necesario realizar un planteamiento de análisis específico para que en futuras investigaciones se incluyan en el análisis las fechas y las trayectorias de los eventos de huracanes y documentar su influencia en la paisajística del ecosistema.

En este contexto, los resultados parecen evidenciar que los eventos extremos de lluvia que se presentan durante la temporada de huracanes, influyen en aumentar el promedio estimado de lluvia mensual, especialmente durante la temporada de verano tardío y otoño, mientras que es durante la temporada invernal (diciembre, enero y febrero) cuando los eventos de lluvia son más constantes y de menor intensidad. De acuerdo con Grimm y Tedeschi (2008) además del aumento en la frecuencia de eventos extremos de lluvia, los episodios ENSO pueden también afectar su intensidad, lo cual es una información útil para afinar los modelos de predicción del clima y los esquemas de prevención de desastres hidrológicos.

## Discusión

Los resultados obtenidos en el presente manuscrito documentan la influencia que la condición ENSO tiene sobre el número de eventos de lluvia y su intensidad en la provincia fisiográfica Península de Baja California. De acuerdo con Grimm y Tedeschi (2008), el impacto de los eventos extremos se destaca por su persistencia y se definen con base a promedios de 3-días. La precipitación promedio de 3-días es calculada y los valores se refieren a los días centrales. Las distribuciones gama se fijan a estas medias (considerando sólo los valores arriba de 0.1 mm), una distribución para cada día del año. Los eventos extremos son entonces aquellos con una media de 3-días por arriba del percentil 90. La estratificación de los eventos de lluvia a intervalos de 5 mm y en específico el que se refiere a los eventos extremos (>30 mm), es una opción que no se ajusta estrictamente a lo propuesto por Grimm y Tedeschi (2008).

Sin embargo, dado el volumen de datos procesado y la ausencia de datos directos para calibrar localmente los datos TRMM, y tomando a consideración la naturaleza exploratoria y relativamente innovadora de la presente propuesta, los resultados obtenidos son suficientes para robustecer la teoría de la influencia que ejerce la condición ENSO en la frecuencia y distribución espacial de la lluvia en la región de estudio. Una necesidad importante con respecto al modelo de análisis de los datos de lluvia es que debe enriquecerse con la incorporación de otras variables de respuesta del ecosistema como índices de verdor y humedad en la vegetación y en el suelo, nubosidad e insolación, entre otros. Adicionalmente, podrían plantearse estudios dirigidos a explorar el efecto de costa en la respuesta de los ecosistemas marinos y terrestres.

According to the Bonferroni test, the six ENSO can be grouped into three groups. The ENSO-NiM and ENSO-NiF condition with the lowest estimated rainfall; ENSO-N and ENSO-ND with the highest average rainfall; and ENSO-NM and ENSO-NiD with average intermediate rainfall. Regarding the calendar-month, the inter-seasonal variation corroborates the hottest months with the lowest average estimated rainfall (April, May and June) and the months of August, September and October as the highest average precipitation.

These results confirm that described by NOAA in the sense that, the condition Niño influences the development of hurricanes in the Eastern Pacific. In addition, we mention that the results suggest that ENSO-N could also cause the same effect. However, the nature of our data allows us to infer the above only because it would be necessary to conduct a specific analysis approach for future researches including the analysis dates and paths of hurricane events and document their influence on the landscape of the ecosystem.

In this context, the results seem to indicate that, the extreme rainfall events that occur during hurricane season, influence by increasing the estimated average monthly rainfall, especially during the late summer and autumn, while during the winter season (December, January and February) is when the rainfall events are more constant and less intense. According to Grimm and Tedeschi (2008) in addition to the increased frequency of extreme rainfall events, the ENSO episodes can also affect its intensity, which is useful information to refine models of climate prediction and prevention schemes of hydrological disasters.

## Discussion

The results document the influence of ENSO on the number of rainfall events and their intensity in the physiographic province of Baja California Peninsula. According to Grimm and Tedeschi (2008), the impact of extreme events are noted for their persistence and defined based on 3-day averages. The average rainfall of 3-days is calculated and the values refer to the central days. The gamma distributions are fixed to these means (considering only values above 0.1 mm), a distribution for each day of the year. Extreme events are those with an average of 3-days above the 90th percentile of stratification in rainfall events at intervals of 5 mm and

Un efecto importante que no se abordó en la presente propuesta es la distribución espacial de la insolación. De acuerdo con Valdés-Barrón *et al.* (2013) la distribución de la insolación es predominantemente latitudinal. En el campo de las ciencias de la Tierra, el mapeo de la radiación solar es importante de abordar porque es un factor climático que puede usarse en el modelado y mapeo de elementos del clima tales como temperatura del aire, evapotranspiración Ninyerola *et al.* (2000); Fu and Rich (2002); Cristóbal *et al.* (2005) y porque es una variable que influye directamente en los procesos biológicos de las plantas.

De acuerdo con Pons y Ninyerola (2008) el mapeo de superficies continuas es muy interesante para integrar y analizar información espacial a partir de puntos irregularmente distribuidos (estaciones meteorológicas) cuando el objetivo es obtener valores de radiación solar por condición topográfica a escala regional. En la lógica funcional, las interrelaciones en un espacio geográfico tan extenso son tan variables que la tasa de insolación que alcanza su superficie es causal de biodiversidad y endemismo. Estas consideraciones deben ser incorporadas en futuras propuestas de investigación.

En general, la condición ENSO está relacionada con cambios en la intensidad y frecuencia de eventos extremos de precipitación Grimm y Tedeschi (2008) y en sequías periódicas e inundaciones Whelan *et al.* (2013). De acuerdo con McBride y Nicholls (1983) la región de Australia es particularmente sensible a la condición ENSO; las condiciones meteorológicas son secas durante las fases de El Niño, y con precipitación por arriba de la media durante las fases La Niña. Los resultados obtenidos en el presente manuscrito son evidencia que confirma cierta asimetría entre la disminución de los eventos de lluvia durante la condición El Niño Débil y La Niña Moderada y un aumento en frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia durante condiciones ENSO-Neutro y ENSO-La Niña Débil.

## Conclusiones

De acuerdo con el análisis de la base de datos histórica TRMM, en la provincia fisiográfica Península de Baja California, se observó cierta simetría entre las condiciones ENSO-Neutro y ENSO-La Niña Débil y ENSO-El Niño Débil con ENSO-La Niña Moderada. Se encontró que las condiciones Neutro y La Niña Débil ocasionan un aumento

in particular that relating to extreme events (>30 mm), is an option that does not conform strictly as proposed by Grimm and Tedeschi (2008).

However, given the volume of data processed and the absence of direct data to locally calibrate TRMM data, and taking account of the exploratory and relatively innovative nature of this proposal, the results are sufficient to strengthen the theory of influence of ENSO in the spatial frequency and distribution of rainfall in the study region. An important need relative to the model of analysis of rainfall data is that it must be enriched by the incorporation of other ecosystem response variables, such as indices of greenness and moisture in the vegetation and soil, cloudiness and sunshine, among others. Additionally, we might consider studies designed to explore the effect of coastline on the response of marine and terrestrial ecosystems.

An important effect that was not considered in this proposal is the spatial distribution of insolation. According to Valdés-Barrón *et al.* (2013), the distribution of the insolation is predominantly latitudinal. In the field of earth sciences, mapping of solar radiation is important to discuss, because it is a climatic factor that might be used in modelling and mapping of weather elements such as air temperature, evapotranspiration Ninyerola *et al.* (2000); Fu and Rich (2002); Cristóbal *et al.* (2005) and because it is a variable that directly influences the biological processes of the plants.

According to Pons and Ninyerola (2008), mapping of continuous surfaces is very interesting to integrate and analyse spatial information from irregular distributed points (weather stations) when the goal is to obtain values of solar radiation by topography of a regional scale. In functional logic, the interrelationships in a large geographic area are as variable as the rate of sunlight that reaches the surface is causal of biodiversity and endemism. These considerations should be incorporated into future research proposals.

In general, the ENSO is related to changes in the intensity and frequency of extreme precipitation events (Grimm and Tedeschi, 2008) and in periodic floods and droughts (Whelan *et al.*, 2013). According to McBride and Nicholls (1983), the region of Australia is particularly sensitive to the ENSO; weather conditions are dry during the phases of El Niño, and with precipitation above the means during La Niña phases. The results in this manuscript are evidence that confirms some asymmetry between declining rainfall events during Weak El Niño and

en la frecuencia de los eventos de lluvia y, en contraste, una disminución cuando prevalecen condiciones El Niño Débil y La Niña Moderada.

Con relación a la intensidad de la precipitación, se observaron relaciones asimétricas entre las condiciones ENSO-Neutro con ENSO-El Niño Débil, y entre ENSO-La Niña Moderada con ENSO-La Niña Fuerte. Durante las condiciones Neutro y EL Niño Débil, las precipitaciones fueron más intensas mientras que disminuyen durante las condiciones La Niña Moderada y La Niña Fuerte.

Las relaciones de simetría y asimetría entre los eventos de lluvia y la condición ENSO, son apenas el punto de partida para que futuras propuestas de investigación que aborden la temática consideren la incorporación al análisis de nuevas variables que dilucidan con mayor claridad lo observado en el presente manuscrito. En especial lo relacionado a los eventos extremos que afectan mayormente la región Sur de la provincia fisiográfica, la distribución espacial de los eventos de lluvia y como ésta afecta el desarrollo y funcionalidad de los ecosistemas, y el papel de la lluvia en definir las fronteras espaciales del uso del suelo.

## Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y los autores expresan su agradecimiento a la NASA y a la Agencia Espacial de Japón por permitir el acceso a la base de datos de lluvia TRMM. Adicionalmente, agradecer el apoyo del personal técnico de CICESE, Mario Salazar Ceseña, Jaime Luévano y Eulogio López.

## Literatura citada

- Rodríguez-Moreno, V. M. and Bullock, S. H. 2014. Vegetation response to rainfall pulses in the Sonoran Desert as modelled through remotley sensed imageries. *Int. J. Climat.* Bograd.
- Schroeder, S. J.; Sarkar, I.; Qiu, N.; Sydeman, X. and Schwing, W. J. F. 2009. Phenology of coastal upwelling in the California Current. *Geophysical Research Letters.* 36(1602):1-5
- McPhaden, M. J. 1999. Genesis and evolution of the 1997-1998 El Niño. *Science.* 283:950-954.
- Magaña-Rueda, V.; Pérez, J. L. y Conde, C. 1998. El fenómeno del El Niño y la oscilación del sur. Sus impactos en México. *Revista Ciencias de la UNAM.* 51:14-18.

Moderate La Niña and an increased frequency and intensity of rainfall events during the conditions ENSO-neutral and ENSO-week La Niña.

## Conclusions

According to the analysis of the historical database TRMM, in the physiographic province in Baja California, a certain symmetry was observed between the conditions ENSO-neutral and ENSO-Weak La Niña and ENSO-Weak El Niño with ENSO-Moderate La Niña. We found that, the conditions Neutral and Weak La Niña cause an increase in the frequency of rainfall events and, in contrast, a decrease when the conditions of Weak El Niño and Moderate La Niña prevail.

Regarding the intensity of precipitation, asymmetrical relations were observed between the conditions ENSO-neutral with ENSO- Weak El Niño and between ENSO-Moderate La Niña with ENSO-Strong La Niña. During the conditions Neutral and Weak El Niño, the rainfall was more intense while decreasing during the conditions Moderate La Niña and Strong La Niña.

The relations of symmetry and asymmetry between rain events and ENSO, are just the starting point for future research proposals that address the theme, considering the incorporation to the analysis of new variables that elucidate more clearly the information gathered in this manuscript. Especially the information related to extreme events affecting most of the southern region of the physiographic province, the spatial distribution of rainfall events and how it affects the development and function of ecosystems, and the role of rain by defining spatial boundaries of land-use.

*End of the English version*



- Dowell, M.; Lecomte, P.; Husband, R.; Schulz, J.; Mohr, T.; Tahara, Y.; Eckman, R.; Lindstrom, E.; Wooldridge, C.; Hilding, S.; Bates, J.; Ryan, B.; Lafeuille, J.; and Bojinski, S. 2013: Strategy towards an architecture for climate monitoring from space. This report is available from: [www.ceos.org](http://www.ceos.org); [www.wmo.int/sat](http://www.wmo.int/sat); <http://www.cgms-info.org/>. 39 p.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2011. Precipitation processing system tropical rainfall measuring mission. File specification for TRMM products version 7.00. <ftp://pps.gsfc.nasa.gov/pub/v7filespec/filespec.TRMM.V7.pdf>.

- Trasviña, A.; Lluch-Cota, D.; Filonov, A. E. y Gallegos, A. 2004. Oceanografía y El Niño. In: Magaña-Rueda, V. 2004. Los impactos del niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Secretaría de Gobernación (SEGOB). México, D. F., 229 p.
- Carey, J. 1998. Multivariate analysis of variance (MANOVA): I. Theory. <http://ibgwww.colorado.edu/~carey/p7291dir/handouts/manova1.pdf>.
- Dorst, N. 2010. Frequently asked questions: when is hurricane season? <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/G1.html>.
- Visher, S. 1992. Tropical cyclones in the northeast Pacific, between Hawaii and Mexico. *Monthly weather review* <http://docs.lib.noaa.gov/rescue/mwr/050/mwr-050-06-0295.pdf>.
- Vadillo-Romero, E. 2003. Modelación numérica de ondas de tormenta en la Bahía de La Paz y Cabo San Lucas, Baja California Sur. Tesis doctoral. Instituto Politécnico Nacional (IPN)-CICIMAR. 231 p.
- Grimm, A. and Tedeschi, R. G. 2008. ENSO and extreme rainfall events in South America. *J. Climate*. 22:1589-1609.
- Valdéz-Barrón, M.; Peláez-Chávez, J. C.; Bonifaz-Alfonzo, R.; Velasco-Herrera, V. and Estévez-Pérez, H. 2013. UVB solar radiation climatology for Mexico. *Geofísica Internacional*, 52(1):31-42.
- Ninyerola, M.; Pons, X. and Roure, J. M. 2000. A methodological approach of climatological modelling of temperature and precipitation through GIS techniques. *Int. J. Climatology*. 20:1823-1841.
- Fu, P and Rich, P. M. 2002. A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry. *Computers and Electronics in Agriculture*. 37:25-35.
- Cristóbal, J.; Pons, X. and Ninyerola, M. 2005. Modelling actual evapotranspiration in Catalonia (Spain) by means of remote sensing and geographical information systems. *Göttinger Geographische Abhandlungen*. 113:144-150.
- Pons, X. and Ninyerola, M. 2008. Mapping a topographic global solar radiation model implemented in a GIS and refined with ground data. *Int. J. Climatol*. 28:1821-1834.
- Whelan, J. A.; Frederiksen, J. S.; Frederiksen, C. S. and Osbrough, S. L. 2013. Synoptic and dynamical analyses of ENSO extreme events over Australia. 20<sup>th</sup> International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, Australia. 1-5 de diciembre de 2013.
- McBride, J. L. and Nicholls, N. 1983. Seasonal relationships between Australian rainfall and the Southern Oscillation. *Mon. Weather Rev.* 111:1998-2004.