



## Evaluación de la sequía meteorológica en locaciones agrícolas de Venezuela bajo proyecciones futuras de cambio climático

Assessment of meteorological drought in agricultural locations from Venezuela under future projections of climate change

Avaliação da seca meteorológica em locais agrícolas na Venezuela sob projeções futuras de mudanças climáticas

Miguel I. Silva Borges\* y Naghely M. Mendoza D.

Departamento e Instituto de Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Av. Universidad, Maracay-Aragua, Venezuela. Correo electrónico: (MS) [miguel.i.silva@ucv.ve](mailto:miguel.i.silva@ucv.ve), ; (NM) [naghely.mendoza@ucv.ve](mailto:naghely.mendoza@ucv.ve), 

### Resumen

La sequía es un fenómeno con devastadoras consecuencias para los ecosistemas naturales, agrícolas y humanos. Para conocer los efectos a futuro, que pudiera tener el cambio climático sobre este fenómeno en ocho localidades agrícolas de Venezuela, se evaluaron los cambios en magnitud y duración de eventos de sequía meteorológica, de series de referencia y de series futuras (periodo 2050s), proyectadas por los modelos climáticos: NCAR-CCSM4, GISS-E2-R, NIMR-HADGEM2-AO y MPI-ESM-LR, bajo los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5. Los eventos de sequía se estimaron mediante el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para la escala mensual, manteniendo los parámetros de forma y escala del periodo de referencia. Los resultados revelan una elevada variabilidad de los eventos de sequía entre estaciones, modelos y escenarios; pero con un aumento común de la magnitud y duración en los eventos de sequía para todos los modelos, principalmente bajo el escenario RCP 8.5. Para el modelo NCAR-CCSM4 habría el mayor aumento en las características analizadas, en contraste al modelo NIMR-HADGEM2-AO. Las localidades con sequías de mayor magnitud y duración serían, Barinitas y Pariaguán.

**Palabras claves:** sequía, cambio climático, modelos, periodo, clima.

Recibido el 11-06-2020 • Aceptado el 03-09-2020

\*Autor de correspondencia. Correo electrónico [miguel.i.silva@ucv.ve](mailto:miguel.i.silva@ucv.ve)

## Abstract

Drought is a phenomenon that is difficult to detect and predict, and with devastating consequences for natural, agricultural and human ecosystems. In order to know the future effects that climate change could have on this phenomenon in eight agricultural localities of Venezuela, the changes in the magnitude and duration of meteorological drought events were evaluated, for the reference series and for future series (period 2050s), projected by NCAR-CCSM4, GISS-E2-R, NIMR-HADGEM2-AO and MPI-ESM-LR models, for RCP 2.6 and RCP 8.5 scenarios. Drought events were estimated using the Standardized Precipitation Index (SPI) for the monthly scale and keeping the shape and scale parameters of the reference period. The results reveal a high variability of drought events among stations, models and scenarios; but with a common increase of the magnitude and duration of drought events for all models, mainly under the RCP 8.5 scenario. For the NCAR-CCSM4 model, there would be the greatest increase in the analyzed characteristics, in contrast to the NIMR-HADGEM2-AO model. The localities with droughts of greater magnitude and duration would be Barinitas and Pariaguán.

**Key words:** drought, climate change, models, period, climate.

## Resumo

A seca é um fenômeno com conseqüências devastadoras para os ecossistemas naturais, agrícolas e humanos. Para conhecer os efeitos futuros que a mudança climática poderia ter sobre este fenômeno em oito localidades agrícolas da Venezuela, foram avaliadas as mudanças de magnitude e duração dos eventos meteorológicos da seca, das séries de referência e das séries futuras (período 2050), projetadas pelos modelos climáticos: NCAR-CCSM4, GISS-E2-R, NIMR-HADGEM2-AO e MPI-ESM-LR, sob os cenários RCP 2.6 e RCP 8.5. Os eventos de seca foram estimados usando o Índice Padronizado de Precipitação (SPI) para a escala mensal, mantendo os parâmetros de forma e escala do período de referência. Os resultados revelam uma alta variabilidade de eventos de seca entre estações, modelos e cenários; mas com um aumento comum na magnitude e duração dos eventos de seca para todos os modelos, principalmente sob o cenário RCP 8.5. Para o modelo NCAR-CCSM4 haveria o maior aumento nas características analisadas, em contraste com o modelo NIMR-HADGEM2-AO. As localidades com secas de maior magnitude e duração seriam, Barinitas e Pariaguán.

**Palavras-chave:** seca, mudança climática, modelos, período, clima.

## Introducción

El cambio climático es un fenómeno a escala mundial, cuyas consecuencias se pueden presentar en cualquier rincón del planeta. Tiene diferentes orígenes y es difícil de identificar. Sin embargo, eventos de baja probabilidad de ocurrencia, como los eventos extremos, en especial los eventos de sequía, han aumentado su frecuencia, y serán más numerosos a medida que se intensifique el cambio climático (OMM, 2016). Para el IPCC (2014) es probable que la frecuencia e intensidad de las sequías haya aumentado en el Mediterráneo y África occidental, y que haya disminuido en el área central de América del Norte y el noroeste de Australia. Los cambios futuros proyectados para las trayectorias de concentración representativas (RCP por sus siglas en inglés) indican que, a principios del siglo XXI, podrían producirse cambios en la humedad del suelo y, al final del siglo, dentro del marco del escenario RCP 8.5, estos cambios intensificarán la sequía agrícola en las regiones actualmente secas, a escala regional y mundial (IPCC, 2014).

Las proyecciones publicadas por el IPCC se ven limitadas por el uso de una escala demasiado gruesa, lo que dificulta su aplicación en estudios regionales y locales. Así mismo, no reportan información sobre la sequía en América Latina, para las proyecciones de escenarios de cambio climático, aun cuando el impacto de la sequía en esta región, es cada vez más importante. Según la FAO (2018), para el período comprendido entre

## Introduction

Climate change is a global phenomenon which consequences can occur in any corner of the planet. It has different origins and is difficult to identify. However, events with a low probability of occurrence, such as extreme events, especially drought events, have increased its frequency, and will be more numerous as climate change intensifies (WMO, 2016). For the IPCC (2014) it's probably that the frequency and intensity of droughts have increased in the Mediterranean and West Africa, but have decreased in central North America and northwestern Australia. The projected future changes for the representative concentration pathway (RCPs) indicates that changes in the soil moisture could produce at the early 21st century and by the end of it, within the framework of the scenario RCP 8.5. These changes will intensify agricultural drought for currently dry regions in a regional and global scale (IPCC, 2014).

The published projections by the IPCC are limited by the use of a too thick scale, which makes difficult to apply them on regional and local studies. Likewise, they do not report information about Latin America drought for the projections climate change of scenarios. Even though, the impact of the drought in this region is increasingly important. According to FAO (2018), for the period between 2005 and 2015, droughts caused agricultural losses equivalent to 13,000 million dollars in this region.

2005 y 2015, las sequías causaron pérdidas agrícolas equivalentes a 13.000 millones de dólares en esta región.

A pesar de que, en Venezuela, la evaluación de la sequía meteorológica ha sido ampliamente abordada (Mendoza y Puche, 2007; Paredes *et al.*, 2014; Olivares *et al.*, 2016; Olivares *et al.*, 2017; Paredes-Trejo y Olivares, 2018), en estudios de cambio climático, sólo se ha aplicado el índice de días consecutivos con precipitación menor a 1 mm y el de anomalías de la humedad del suelo, bajo los escenarios SRES A2 y modelos del CMIP3, para los períodos 2046–2065 y 2081–2100, cuyos resultados de anomalías de humedad del suelo en Venezuela fueron extremos (Marengo *et al.*, 2014). Sin embargo, esta investigación es poco detallada, y no reporta información sobre las áreas agrícolas más importantes del país.

Por otro lado, la definición de la sequía debe establecerse para cada ubicación, debido a lo impráctico de universalizar su definición (Lloyd-Hughes, 2014). El concepto más extendido define la sequía como una deficiencia de precipitación en relación con lo que se espera, y que se extiende durante un período de tiempo suficientemente largo, resultando en la incapacidad de satisfacer las demandas de las actividades humanas y el ambiente (Hayes *et al.*, 2011). No obstante, esta definición es muy conceptual y es esencial referirse a lo que es normal en cada localidad, en términos del suministro de lluvia para el cual se han desarrollado actividades productivas y de consumo.

Despite of the evaluation of the meteorological drought has been widely approached in Venezuela, (Mendoza & Puche, 2007; Paredes *et al.*, 2014; Olivares *et al.*, 2016; Olivares *et al.*, 2017; Paredes-Trejo & Olivares, 2018). In the climate change studies, only have been applied the index of consecutive days with precipitation less than 1 mm and the soil moisture anomalies index under the SRES A2 scenarios and CMIP3 models for the periods 2046 –2065 and 2081–2100. These results for soil moisture anomalies in Venezuela were extreme (Marengo *et al.*, 2014). However, this research is not very detailed, and does not report information on the most important agricultural areas of the country.

On the other hand, drought definition must be established for each location for the impracticality of universalizing its definition (Lloyd-Hughes, 2014). The most extended concept defines drought as a precipitation deficiency in relation to what is expected, and that extends over a sufficiently long time period, resulting in the inability to satisfy as human activities demands as environmental demands (Hayes *et al.*, 2011). However, this definition is very conceptual. It is essential to refer to what is normal in each locality in terms of the rain supply, for which productive and consumption activities have been developed.

An important aspect to consider is the assessment drought scale. The time scale which the precipitation deficiency accumulates is important, and functionally separates the

Además de esto, un aspecto importante a tener en cuenta es la escala de la evaluación de la sequía. La escala de tiempo durante la cual se acumula la deficiencia de precipitación es importante y separa funcionalmente los diferentes tipos de sequía (Mckee *et al.*, 1993). Gracias a que el SPI mensual refleja deficiencias de lluvia a corto plazo, está relacionado con tipos meteorológicos de sequía junto con la humedad del suelo y el estrés de los cultivos, lo que lo hace adecuado para evaluaciones de sequías agrícolas (OMM, 2012).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar los eventos de sequía meteorológica, para la escala mensual, en localidades agrícolas de los llanos venezolanos empleando proyecciones futuras de cambio climático de acuerdo con 4 modelos de circulación general de la atmósfera regionalizados a 1 km<sup>2</sup> (Navarro-Racines *et al.*, 2020), que mejor se adaptan a la temperatura y precipitación de Venezuela (ACFIMAN-SACC, 2018), en comparación con los eventos de sequía calculados para un período de referencia (1950(69)-1998).

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El área de estudio corresponde a la región de los llanos o sabanas venezolanas, ubicadas geográficamente entre las coordenadas 6° y 10° de latitud norte, y 62° y 72° de longitud oeste. Se compone de las sabanas occidentales, centrales y orientales. Presenta un clima

different types of drought (Mckee *et al.*, 1993). Moreover, the monthly SPI reflects short-term rainfall deficiencies and it is related to meteorological types of drought as well with soil moisture and crop stress, making it suitable for agricultural drought assessments (WMO, 2012).

The objective of this research is evaluate the meteorological drought events, in agricultural localities of the Venezuelan plains by a monthly scale, using future projections of climate change according to 4 general circulation models of the atmosphere regionalized in 1 km<sup>2</sup> (Navarro-Racines *et al.*, 2020), which are better adapted to the temperature and precipitation of Venezuela (ACFIMAN-SACC, 2018), compared to the drought events calculated for a reference period (1950 (69) -1998).

## Materials and methods

### Study area

The study area corresponds to Venezuelan plains or savannas, located between the coordinates 6 ° and 10 ° north latitude, and a west longitude within 62° and 72 °. Composed for western, central and eastern savannas. This region presents a predominant climate, defined according to Köppen, in tropical rainy savanna and tropical rainy forest at the west of the plains, with average temperatures between 19 to 26 ° C besides an average annual rainfall between 600 to 2200 mm and mainly seasonal rains (MARN, 2005). The topography ranges are from 20 to 600 meters above sea level with orographic formations that oscillate in

predominante, definido según Köppen, en tropical lluvioso de sabana y tropical lluvioso de bosque más al oeste de los llanos con temperaturas medias entre 19 a 26 °C, precipitación media anual entre 600 a 2200 mm y lluvias principalmente estacionales (MARN, 2005). La topografía oscila entre los 20 a 600 msnm con formaciones orográficas que varían en galeras, bancos, mesas y esteros. La figura 1 muestra el área de estudio y diferencia la ubicación de las diferentes sabanas en la región.

### Datos de precipitación

Para el período de referencia, se utilizaron los registros de precipitación mensual de 8 estaciones ubicadas en los llanos venezolanos (cuadro 1), cuyo registro abarca desde 1969 a 1998 en las estaciones Elorza y Hato Urañón y desde 1950 a 1998 para el resto. Los registros utilizados en esta investigación fueron sometidas a los criterios de control de calidad, basados en longitud y datos faltantes (menos de 15 % de datos faltantes), durante el estudio de las precipitaciones en Venezuela y su relación con el sistema climático (Martelo, 2003). Estas estaciones se encuentran en áreas de importante producción agrícola. Elorza, Hato Urañón, Pao-Oficina y Tinaquillo se encuentran en áreas donde predomina especialmente: caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), leguminosas (*Phaseolus vulgaris*), algodón (*Gossypium* sp.) y ganadería extensiva, mientras que Barinitas y Agua Blanca se destacan por su producción de arroz (*Oryza sativa*). En Pariaguán y Bergantín, predominan los cultivos de maíz (*Zea mays*), soja

galleys, benches, tables and estuaries. figure 1. Shows the study area and differentiates the location of the diverse savannas in the region.

### Precipitation data

The monthly precipitation records of 8 stations located in the Venezuelan plains were used for the reference period (table 1), whose record ranges are from 1969 to 1998 at the Elorza and Hato Urañón stations, and from 1950 to 1998 for the rest. The records used in this research were subjected to quality control criteria, based on length and missing data too (less than 15% of missing data), through the study of rainfall in Venezuela and its relationship with the climate system (Martelo, 2003). These stations are located in areas of important agricultural production. Elorza, Hato Urañón, Pao-Oficina and Tinaquillo are found in areas where sugar cane (*Saccharum officinarum*), legumes (*Phaseolus vulgaris*), cotton (*Gossypium* sp.) and extensive livestock are predominant, while Barinitas and Agua Blanca stand out for its production of rice (*Oryza sativa*). In Pariaguán and Bergantín, corn (*Zea mays*), soybean (*Glycine max*) and cotton (*Gossypium* sp) crops predominate.

The modeled series were generated by applying exchanges rates to the monthly precipitation series of the reference period. For the change rates estimation, the sheets of monthly average precipitation were used and downloaded from the website at the Investigation Program in the Consultative Group for International Agricultural Research (CGIAR) on

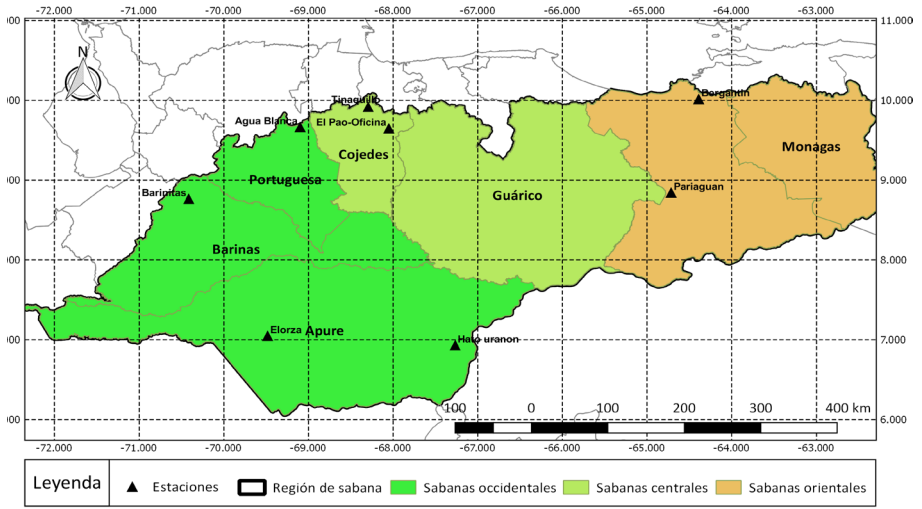


Figura 1. Diferenciación de las sabanas venezolanas y ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación.

Figure 1. Venezuelan savannas differentiation and geographical location of the meteorological stations used in this research.

Cuadro 1. Datos de las estaciones meteorológicas seleccionadas para la investigación.

Table 1. Data from the meteorological stations selected for this research.

Estación	Serial	Registro	Estado	Longitud	Latitud	Alt. (msnm)
El Pao-Oficina	2349	1950-98	Cojedes	-68,050	9,650	128
Pariaguán	3712	1950-98	Anzoátegui	-64,716	8,845	240
Elorza	4291	1969-98	Apure	-69,483	7,050	90
Barinitas	3126	1950-98	Barinas	-70,413	8,767	550
Agua blanca	2239	1950-98	Portuguesa	-69,098	9,666	175
Bergantín	1796	1950-98	Anzoátegui	-64,389	10,017	310
Hato Urañón	5408	1969-98	Apure	-67,266	6,933	78
Tinaquillo	2316	1950-98	Cojedes	-68,293	9,921	385

Fuente: Martelo (2003).

Source: Martelo (2003).

(*Glycine max*) y algodón (*Gossypium* sp.).

Las series modeladas se generaron aplicando tasas de cambio a las series de precipitación mensual del periodo de referencia. Para la estimación de las tasas de cambio se utilizaron las láminas de precipitación promedio mensual descargadas del portal del Programa de Investigación del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR por sus siglas en inglés) sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS) (<http://ccafs-climate.org/data/>) (Navarro-Racines *et al.*, 2020) de acuerdo con los modelos de Sistema Climático Comunitario (CCSM) del Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR): NCAR-CCSM4, el modelo de la NASA: GISS-E2-R, el modelo NIMR-HADGEM2-AO, y el modelo MPI-ESM-LR. Así mismo, se utilizó la base de datos del WorldClim v1.4 (<http://www.worldclim.org>) (Hijmans *et al.*, 2005), ya que fueron las bases de referencia que se emplearon para generar las superficies de alta resolución de los modelos de circulación general de la atmósfera para el proyecto del ccafs-climate (Navarro-Racines *et al.*, 2020).

Las tasas de cambio se extrajeron como el delta relativo entre las láminas de precipitación promedio mensual descargadas del ccafs-climate y de los valores de precipitación media mensual de los datos del WorldClim v1.4. Se seleccionó el período futuro 2050s, y dos escenarios, el RCP 2.6 y RCP 8.5. El delta relativo (DR) se calculó mediante la ecuación 1:

$$DR = \frac{VMCC - VMWC}{VMWC} \quad (1)$$

Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) (<http://ccafs-climate.org/data/>) (Navarro-Racines *et al.*, 2020) according to the following models of the Community Climate System Models (CCSM) of the National Center for Atmospheric Research (NCAR): NCAR-CCSM4, the NASA model: GISS-E2-R, the NIMR-HADGEM2-AO model, and the MPI-ESM-LR model. Likewise, WorldClim database v1.4 was used (<http://www.worldclim.org>) (Hijmans *et al.*, 2005), because was the reference selected to generate the high resolution surfaces of the atmosphere general circulation models for the ccafs-climate project (Navarro-Racines *et al.*, 2020). The change rates were extracted as the relative delta between the monthly average precipitation sheets downloaded from the ccafs-climate and the monthly average precipitation values from the WorldClim v1.4 data. The future period 2050s was selected, and the scenarios RCP 2.6 and RCP 8.5 were used. The relative delta (DR) was calculated through the equation 1:

$$DR = \frac{VMCC - VMWC}{VMWC} \quad (1)$$

Where DR is the relative delta, VMCC is the monthly ccafs-climate value and VMWC is the monthly WorldClim value. The deltas were applied to each months of the reference series equally, according to equation 2, to generate the modeled monthly precipitation:

$$PM = VMR + (DR * VMR) \quad (2)$$

Where PM is the modeled precipitation, VMR is the monthly value of the reference period and DR is



Donde DR es el delta relativo, VMCC es el valor mensual ccafs-climate y VMWC es el valor mensual WorldClim. Los deltas se aplicaron a cada uno de los meses de las series de referencia por igual según la ecuación 2, para generar la precipitación mensual modelada:

$$PM = VMR + (DR * VMR) \quad (2)$$

Donde PM es la precipitación modelada, VMR es el valor mensual del periodo de referencia y DR el delta relativo. Esta metodología es conocida como factor de cambio (Tabor y Williams, 2010), la cual, es una forma de corrección de sesgo que busca ajustar la media a largo plazo y la variabilidad de las simulaciones de los modelos de circulación general de la atmósfera.

Los RCP o en español, trayectorias de concentración representativas, son el último grupo de escenarios utilizados por el IPCC para la modelación climática futura (IPCC, 2014). Estos escenarios corresponden a trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) expresados en la cantidad de forzamiento radiativo total en vatios por metro cuadrado para el año 2100 y son el resultado de la colaboración entre modeladores de evaluación, modeladores climáticos y de ecosistemas terrestres y expertos en inventario de emisiones (van Vuuren *et al.*, 2011). Los RCP utilizados en esta investigación comprenden un escenario en el que los esfuerzos de mitigación conducen a un forzamiento de  $2,6 \text{ Wm}^{-2}$  (RCP 2.6) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI, que genera un forzamiento de  $8,5 \text{ Wm}^{-2}$  (RCP 8.5).

the relative delta. This methodology is known as a change factor (Tabor and Williams, 2010), which is a form of bias correction that seeks to adjust the long-term mean and the simulations variability of the atmosphere general circulation models.

The Representative Concentration Pathway are the last group of scenarios used by the IPCC for future climate modeling (IPCC, 2014). These scenarios correspond to greenhouse gas (GHG) emission trajectories, expressed in the amount of total radiative forcing in Watts per  $\text{m}^2$  by the year 2100 and are the result of collaboration between assessment modelers, climate modelers, terrestrial ecosystems as well as experts in emissions inventory (van Vuuren *et al.*, 2011). The RCP used in this research comprise a scenario in which mitigation efforts lead to a forcing of  $2.6 \text{ Wm}^{-2}$  (RCP 2.6) and a scenario with a very high level of GHG emission, hence generates a forcing of  $8.5 \text{ Wm}^{-2}$  (RCP 8.5).

### **Estimation of the Standardized Precipitation Index (SPI)**

The SPI was calculated for series of the reference period and modeled series using a monthly scale. This index is based on the fit of the data distribution to a Gamma probability distribution. The parameters of the Gamma, alpha and beta probability distribution were calculated for each station, scale and month. The resulting parameters were used to calculate the cumulative probability of a precipitation event. This cumulative probability is given by equation 3:

Estimación del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) se calculó para las series del periodo referencia y series modeladas utilizando una escala mensual. Este índice se basa en el ajuste de la distribución de datos a una distribución de probabilidad Gamma. Se calcularon los parámetros de la distribución de probabilidad Gamma, alfa y beta para cada estación, escala y mes. Los parámetros resultantes se usaron para calcular la probabilidad acumulativa de un evento de precipitación. Esta probabilidad acumulada está dada por la ecuación 3:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (3)$$

Debido a que la función gamma no está definida para  $x = 0$ , como es frecuente en los datos de precipitación, la probabilidad acumulada viene dada por la ecuación 4:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (4)$$

Donde:  $H(x)$  es la probabilidad de tener una lámina de precipitación menor o igual a un valor de  $x$ ,  $G(x)$  es la función Gamma Incompleta y  $q$  es la probabilidad de no tener precipitación. Para Edwards y McKee (1997), se dice que tiene lugar un evento de sequía siempre y cuando el SPI presente una secuencia de valores negativos, tales que éstos sean iguales o inferiores a -1, y llega su fin hasta que dicho índice vuelve a tomar un valor positivo o cero.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (3)$$

Since the gamma function is not defined for  $x = 0$ , as is common in precipitation data, the cumulative probability is given by equation 4:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (4)$$

Where:  $H(x)$  is the probability of having a precipitation sheet less than or equal to a value of  $x$ ;  $G(x)$  is the Incomplete Gamma function and  $q$  is the probability of not having precipitation. For Edwards and McKee (1997), a drought event occurs as long as the SPI presents a sequence of negative values, such that these are equal to or less than -1, and ends until the index returns to take a positive value or zero.

The preliminary results of the estimation of the SPI shown that there was no variation in the value of the SPI in the modeled series when is compared with the series of the reference period. Therefore, both results were in agreement because the projected changes in the precipitation series were assumed to be normal for the future. Thus it was decided to keep the same values of the parameters of shape ( $\alpha$ ) and scale ( $\beta$ ) of the reference series to compare the variations of the modeled series with respect to the reference series.

### Drought Assessment

Was carried out taking into account the magnitude and duration of the calculated events. The magnitude of a drought event, according to McKee (1993), refers to the sum of the absolute values of the SPI, during the months that the event lasted (equation 5):

Al observar en los resultados preliminares de la estimación del SPI se pudo constatar que no existía variación del valor del SPI en las series modeladas al compararlas con las series del periodo de referencia. Se dedujo que ambos resultados coincidían debido a que los cambios proyectados en las series de precipitación se asumían como la normalidad para el futuro. Por lo que, se decidió conservar los mismos valores de los parámetros de forma ( $\alpha$ ) y escala ( $\beta$ ) de la serie de referencia para comparar las variaciones de las series modeladas respecto a las series de referencia.

### Evaluación de la Sequía

La evaluación de la sequía se realizó a partir de la magnitud y la duración de los eventos calculados. La magnitud de un evento de sequía, según Mckee (1993), se refiere a la sumatoria de los valores absolutos del SPI durante los meses que duró el evento (ecuación 5):

$$MS = -\left(\sum_{j=1}^n SPI_j\right) \quad (5)$$

Donde:  $n$  es el número de meses de duración del evento de sequía y  $SPI_j$  es el valor del índice SPI para el “j-esimo” mes del evento.  $MS$  es un valor adimensional y da una idea de la intensidad de sequía que tiene el evento (Mckee, 1993). Por lo tanto, pueden considerarse eventos equivalentes aquellos que tengan la misma magnitud. Aunque, según McKee (1993) la magnitud de un evento puede interpretarse como la cantidad

$$MS = -\left(\sum_{j=1}^n SPI_j\right) \quad (5)$$

Where:

$n$ : Months number duration of the drought event.

$SPI_j$ : SPI index value for the “j-th” month of the event.

$MS$ : A dimensionless value.

The  $MS$  value gives an idea of the drought intensity that the event has (Mckee, 1993). Therefore, equivalent events can be considered those that have the same magnitude. Although, according to McKee (1993) the magnitude of an event can be interpreted as the number of months with SPI of -1. In this research, the magnitude and duration were studied separately, since it is considered that the impact generated by an event, with for example a 16 magnitude and a duration of two months, is different from the impact of an event with a duration of 16 months and a value of SPI -1. For each station, once the events were defined, their magnitude and duration were calculated. Due to the variability of the values of the magnitudes in the results, it was decided to classify them into eight categories. From the results, the maximum magnitudes and durations, besides the events number of a particular magnitude and duration, were extracted.

## Results and discussion

### Drought events

In relation to events total number (figure 2) all models present a greater events number compared to the reference period, under both RCP

de meses con SPI de -1, en este trabajo se estudiaron la magnitud y duración por separado, ya que se considera que el impacto que genera un evento, cuya magnitud sea por ejemplo 16, y dure dos meses, es diferente al impacto de un evento que dure 16 meses con un valor del SPI -1. Para cada estación, una vez definidos los eventos, se calculó su magnitud y duración. Debido a la variabilidad de los valores de las magnitudes en los resultados, se decidió clasificarlos en ocho categorías. De los resultados, se extrajeron las magnitudes y duraciones máximas, y el número de eventos de magnitud y duración particulares.

## Resultados y discusión

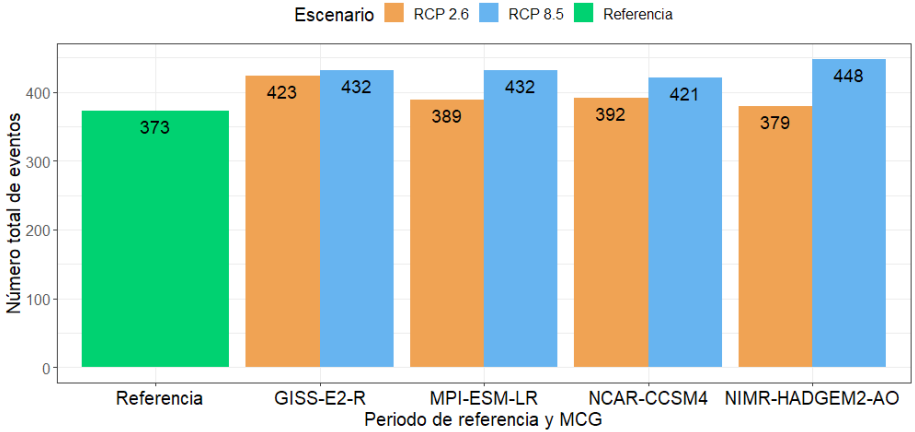
### Eventos de sequía

En relación con la cantidad total de eventos (figura 2), bajo ambos escenarios RCP, en todos los modelos presentan una mayor cantidad de eventos en comparación al periodo de referencia. Para el modelo NIMR-HADGEM2-AO y RCP 2.6, el número total de eventos sería muy similar al periodo de referencia; sin embargo, el RCP 8.5, bajo el mismo modelo, presentaría la mayor cantidad de eventos de todos los modelos y escenarios analizados. El modelo NIMR-HADGEM2-AO es el que presenta mayor diferencia en la cantidad de eventos de sequía previstos en los dos escenarios mientras que el modelo GISS-E2-R presenta la menor diferencia entre escenarios.

scenarios. For the NIMR-HADGEM2-AO and RCP 2.6 model, the events total number would be very similar to the reference period; However, the RCP 8.5, would show the highest events number of all the models and scenarios analyzed, under the same model. The NIMR-HADGEM2-AO model is the one that have the greatest difference in the drought events number predicted in the two scenarios, and the GISS-E2-R model presents the smallest difference between scenarios.

### Drought events magnitude

The figure 3 shows, that the drought events magnitude values distributions would vary in each locality in a differently under each model and scenario studied. Regarding the events maximum magnitudes, the most of the stations would present an increase compared to the reference period, for both RCP according to the four models, being the MPI-ESM-LR model the one that presents the smaller values events magnitude. When the events magnitudes distribution of the reference period, is compared with the events distribution of the MPI-ESM-LR model, great similarity is observed for almost all the stations, for both scenarios. The interquartile ranges are quite similar, with the exception of the Tinaquillo and Pariaguán stations, which indicate a large difference between the RCP 8.5 and the reference, presenting a 25% of events with magnitudes higher than those of the reference period. The GISS-E2-R, NCAR-CCSM4 and NIMR-HADGEM2-AO models have fairly similar distributions between



**Figura 2. Número total de eventos de sequía para el periodo de referencia (1950(69)-1998), modelos: GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 y NIMR-HADGEM2-AO, y escenarios: RCP 2.6 y RCP 8.5.**

**Figure 2. Events total number of drought for the reference period (1950 (69) -1998). Models: GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 and NIMR-HADGEM2-AO. Scenarios: RCP 2.6 and RCP 8.5.**

**Magnitud de los eventos de sequía**

Como puede observarse en la figura 3, las distribuciones de los valores de magnitud de los eventos de sequía variarían en cada localidad de forma distinta bajo cada modelo y escenario estudiado. Con relación a las magnitudes máximas de los eventos, la mayoría de las estaciones presentarían un aumento en comparación con el periodo de referencia, para ambos RCP de acuerdo con los cuatro modelos, siendo el modelo MPI-ESM-LR el que presenta los valores de magnitud de eventos más pequeños. Al comparar la distribución de las magnitudes de los eventos del período de referencia con la distribución de los eventos del modelo

them. The RCP 8.5 is the one with the highest maximum magnitudes for most models.

The maximum magnitudes would be showed for the GISS-E2-R model, under RCP 8.5 and in almost all stations, with the exception of Elorza and Bergantín. In the case of Elorza, the highest maximum magnitude would be presented for the NIR-HADGEM2-AO model, while Bergantín would had the highest maximum magnitude for the NCAR-CCSM4 model. The maximum magnitudes would range from 5.3 for the MPI-ESM-LR model (RCP 2.6 in Hato Urañón) and up to 16.8 for the GISS-E2-R model (RCP 8.5 in Agua Blanca). Regarding the events number,

MPI-ESM-LR, para ambos escenarios, se observa gran similitud para casi todas las estaciones, siendo los rangos intercuartiles bastantes similares, con la excepción de las estaciones Tinaquillo y Pariaguán, las cuales presentan una gran diferencia entre el RCP 8.5 y el de referencia, presentando un 25% de eventos con magnitudes superiores a las del periodo de referencia. Los modelos GISS-E2-R, NCAR-CCSM4 y NIMR-HADGEM2-AO presentan distribuciones bastante parecidas entre ellos. El RCP 8.5, es el que mayores magnitudes máximas presentaría para la mayoría de los modelos.

the figure 4 shows the total number of drought events for each magnitudes category according to each model studied. It can be seen, how when the magnitude increases, the number of recorded events decreases as for the reference period as for both scenarios. Three models showed great variability in the events number compared to the reference period. However, the MPI-ESM-LR model shows less variability in the events number with respect to the reference period, for each category and scenario.

In the case of events with magnitudes less than two (Mag <2),

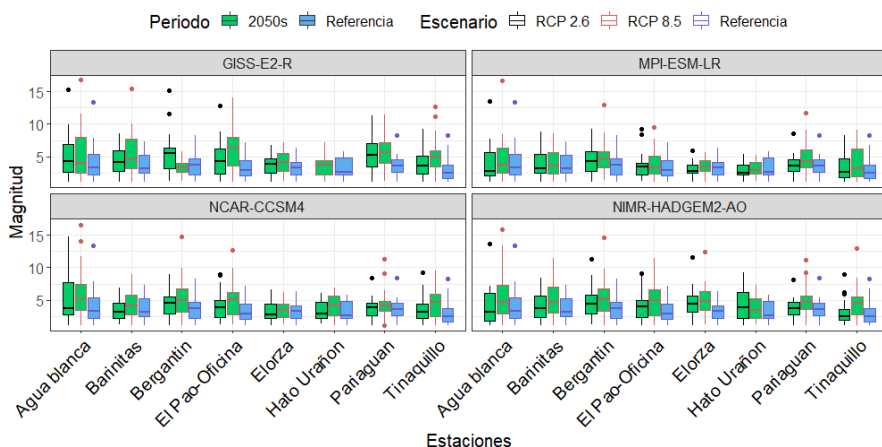


Figura 3. Distribución y valores máximos y mínimos de las magnitudes por cada estación meteorológica, periodos: referencia (1950-1998) y 2050s, modelos: GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 y NIMR-HADGEM2-AO, y escenarios: RCP 2.6 y RCP 8.5.

Figure 3. Distribution and maximum and minimum values of magnitudes for each meteorological station. Periods: Reference (1950-1998) and 2050s. Models: GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 and NIMR-HADGEM2-AO. Scenarios: RCP 2.6

Las magnitudes máximas se presentarían para el modelo GISS-E2-R bajo el RCP 8.5 y en casi todas las estaciones, a excepción de Elorza y Bergantín. Para el caso de Elorza, la mayor magnitud máxima se presentaría para el modelo NIR-HADGEM2-AO mientras que en Bergantín presentaría la mayor magnitud máxima para el modelo NCAR-CCSM4. Las magnitudes máximas oscilarían entre 5.3, para el modelo MPI-ESM-LR (RCP 2.6 en Hato Urañón) y hasta 16.8 para el modelo GISS-E2-R (RCP 8.5 en Agua Blanca). Con respecto al número de eventos, la figura 4 muestra el número total de eventos de sequía para cada categoría de magnitudes según cada modelo estudiado. Se puede ver que a medida que aumenta la magnitud del evento, el número de eventos registrados disminuye, tanto para el período de referencia como para ambos escenarios. Tres modelos mostraron una gran variabilidad en el número de eventos en comparación con el período de referencia. Sin embargo, el modelo MPI-ESM-LR muestra menos variabilidad en el número de eventos, para cada categoría y escenario, con respecto al período de referencia.

En el caso de eventos con magnitudes menores a dos ( $\text{Mag} < 2$ ), el periodo de referencia supera a ambos RCP, en todos los modelos estudiados, con un total de 148 eventos. El modelo MPI-ESM-LR es el que presenta una cantidad de eventos similar al periodo de referencia para el RCP 2.6, mientras que presenta 132 eventos para el RCP 8.5. Esta diferencia es mucho más grande en el resto de los

the reference period exceeds both RCP, with a total of 148 events, in all the models studied. The MPI-ESM-LR model is the one that shows a number of events similar to the reference period for RCP 2.6, while it presents 132 events for RCP 8.5. This difference is greater in the rest of the models, where only 82 events of this type were reached in the RCP 8.5 for the GISS-E2-R model. In this category ( $1 \leq \text{Mag} < 2$ ), a greater events number of these magnitudes, occur in RCP 2.6 compared to RCP 8.5 in all models. For events with magnitudes between two and three ( $2 \leq \text{Mag} < 3$ ), the reference period presents more events than those presented by the GISS-E2-R and NIMR-HADGEM2-AO models for both scenarios, while the models MPI-ESM-LR and NCAR-CCSM4 present a higher events number compared to the reference period, in RCP 8.5 and RCP 2.6 respectively. However, for the category ( $2 \leq \text{Mag} < 3$ ) there is very little variation between the reference period and the scenarios analyzed.

For magnitudes greater than three the events number is greater for both scenarios, than the events number in the reference period, in three of the four models. However, this is not the case in the MPI-ESM-LR model, where this period shows a greater events number of magnitudes between four and six (categories  $4 \leq \text{Mag} < 5$  and  $5 \leq \text{Mag} < 6$ ), than RCP 2.6. To compared RCP 2.6 with RCP 8.5 it can be observe that RCP 8.5 presents a greater events number than RCP 2.6, in all models, for categories with magnitudes greater than four. The largest differences, between scenarios,

modelos, llegando a presentarse solo 82 eventos de este tipo en el RCP 8.5 para el modelo GISS-E2-R. En esta categoría ( $1 \leq \text{Mag} < 2$ ), se presentan una mayor cantidad de eventos, de estas magnitudes, en el RCP 2.6 con respecto al RCP 8.5 en todos los modelos. En el caso de eventos con magnitudes entre dos y tres ( $2 \leq \text{Mag} < 3$ ) el período de referencia presenta más eventos que los presentados por los modelos GISS-E2-R y NIMR-HADGEM2-AO para ambos escenarios, mientras que los modelos MPI-ESM-LR y NCAR-CCSM4 presentan un mayor número de eventos, respecto al periodo de referencia, en el RCP 8.5 y RCP 2.6 respectivamente. No obstante, para la categoría ( $2 \leq \text{Mag} < 3$ ) hay muy poca variación entre el periodo de referencia y los escenarios analizados.

are presented in the NCAR-CCSM4 model and category  $5 \leq \text{Mag} < 6$ ; and in the NIMR-HADGEM2-AO model and category  $6 \leq \text{Mag} < 8$ .

**Drought events duration**

According to figure 5, the drought events durations show a marked variation between models and scenarios studied for different seasons. While, for the GISS-E2-R and NCAR-CCSM4 models there would be an increase in the maximum value and the IQR (Inter-Quartile Range), associated with the drought events durations, in almost all seasons for both RCP. In the case of MPI-ESM-LR and NIMR-HADGEM2-AO models, the changes in the maximum values and the IQR (Inter Quartile Range) in the durations compared to the reference period would be less

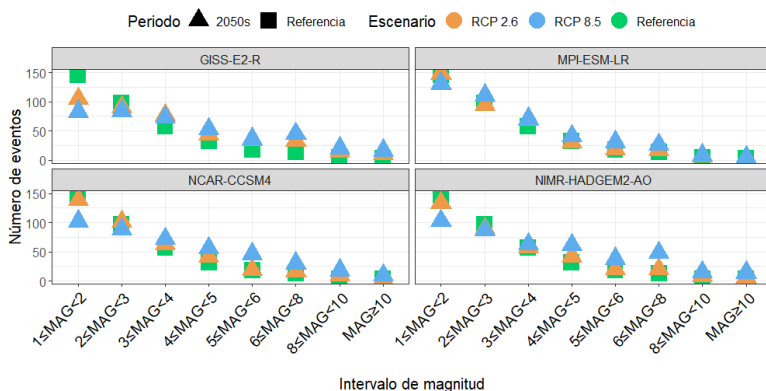


Figura 4. Número de eventos totales para todas las estaciones por cada intervalo de magnitudes, periodos: referencia (1950(69)-1998) y 2050s, modelos: GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 y NIMR-HADGEM2-AO, y escenarios: RCP 2.6 y RCP 8.5.

Figure 4. Events total number for all stations in each magnitude interval. Periods: Reference (1950 (69) -1998) and 2050s. Models: GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 and NIMR -HADGEM2-AO. Scenarios: RCP 2.6 and RCP 8.5.



Para magnitudes superiores a tres se tiene que, en tres de los cuatro modelos, el número de eventos es mayor, para ambos escenarios, que el número de eventos del periodo de referencia; esto no ocurre así en el modelo MPI-ESM-LR, donde este periodo muestra una mayor cantidad de eventos, de magnitudes entre cuatro y seis (categorías  $4 \leq \text{Mag} < 5$  y  $5 \leq \text{Mag} < 6$ ), que el RCP 2.6. Al comparar el RCP 2.6 con el RCP 8.5 se observa que el RCP 8.5 presenta, en todos los modelos, una mayor cantidad de eventos que el RCP 2.6 para las categorías con magnitudes mayores a cuatro. Las diferencias más grandes, entre escenarios, se presentan en el modelo NCAR-CCSM4 y categoría  $5 \leq \text{Mag} < 6$ ; y en el modelo NIMR-HADGEM2-AO y categoría  $6 \leq \text{Mag} < 8$ .

#### **Duración de los eventos de sequía**

De acuerdo con la figura 5, las duraciones de los eventos de sequía muestran una marcada variación entre los modelos y escenarios estudiados para las distintas estaciones. Mientras que para los modelos GISS-E2-R y NCAR-CCSM4 habría un incremento en el valor máximo y el IQR (Rango Inter Cuartil), asociados a las duraciones de los eventos de sequía, en casi todas las estaciones y para ambos RCP; para los modelos MPI-ESM-LR y NIMR-HADGEM2-AO, los cambios en los valores máximos y el IQR (Rango Inter Cuartil) en las duraciones en comparación al periodo de referencia serían menos evidentes, presentando estaciones en las que habría un aumento en los mismos, y otras estaciones presentan

evident, presenting stations in which there would be an increase in them, and other stations show a decrease. The Agua Blanca, Barinitas and Pao-Oficina stations are the only stations that show an increase both in the maximum duration of events and in the IQR for the four models studied.

The longest events would occur under the GISS-E2-R model, specifically in Hato Urañón and Agua Blanca. In Hato Urañón, an 18-month event would be presented under RCP 8.5, before a 16-month event in Agua Blanca under RCP 2.6.

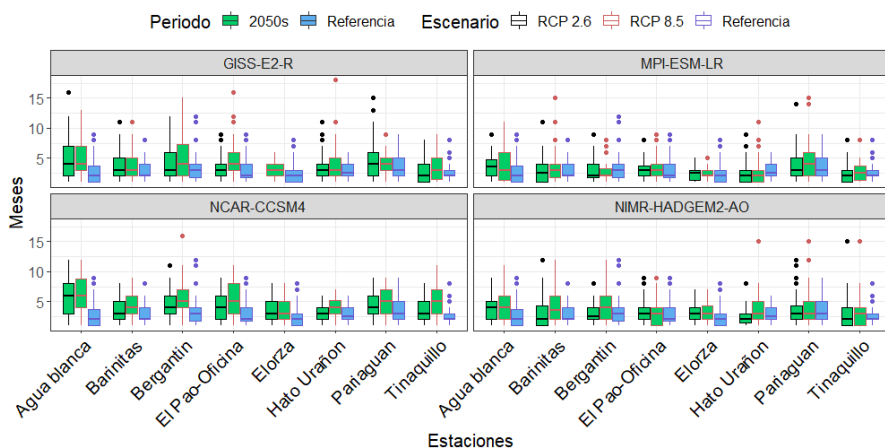
The NCAR-CCSM4 model presents maximum events durations shorter than those reported by the rest of the models. The most marked decrease in the durations of drought events would occur in the Hato Urañón and Bergantín stations, for the MPI-ESM-LR model in both scenarios, where 50% of the events durations would be less than the recorded durations in the reference period.

The events total number of drought as a function of the event duration, for each of the models and RCP, are shown in figure 6. It can be observing that, for all the models, there would be a decrease in the events number when increasing their duration, as well as it was registered in the reference period. Likewise, the largest events number would be concentrated in durations less than 6 months in all models and scenarios. The model that would experience the least changes in the distribution of events, depending on their duration, would be the MPI-ESM-LR.

una disminución. Las estaciones Agua Blanca, Barinitas y Pao-Oficina son las únicas estaciones que presentan un aumento tanto en la duración máxima de los eventos como en el IQR para los cuatro modelos estudiados.

Los eventos de mayor duración ocurrirían bajo el modelo GISS-E2-R, específicamente en Hato Urañón y Agua blanca. En Hato Urañón se presentaría un evento de 18 meses bajo el RCP 8.5, por delante de un evento de 16 meses en Agua blanca bajo el RCP 2.6.

Under RCP 2.6 there would be fewer changes in the events number of a particular duration compared to the reference period; On the other hand, for RCP 8.5 a decrease is observed in the events number lasting one or two months, with respect to the reference period and RCP 2.6. Additionally, for RCP 8.5, a significant increase is shown in the extreme events number, lasting longer than twelve months. On the other hand, figure 7 shows the stations that would present the most extreme events (those events of



**Figura 5. Distribución y valores máximos y mínimos de las duraciones de los eventos de sequía para los periodos: referencia (1950(69)-1998) y 2050s, modelos: GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 y NIMR-HADGEM2-AO, y escenarios: RCP 2.6 y RCP 8.5.**

**Figure 5. Distribution and maximum and minimum values of the drought events durations for the periods: Reference (1950 (69) -1998) and 2050s. Models: GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 and NIMR-HADGEM2-AO. Scenarios: RCP 2.6 and RCP 8.5.**

El modelo NCAR-CCSM4 presenta unas duraciones máximas de los eventos que son menores a las

greater magnitude and duration) for each model and scenario. In the four models, events with durations starting

reportadas por el resto de los modelos. La disminución más marcada en las duraciones de los eventos de sequía se presentaría en las estaciones Hato Urañón y Bergantín, para el modelo MPI-ESM-LR en ambos escenarios, donde el 50 % de las duraciones de los eventos serían menores a las duraciones registradas en el periodo de referencia.

El número total de eventos de sequía en función de la duración del evento, para cada uno de los modelos y RCP, se muestran en la figura 6. Puede observarse que, para todos los modelos, habría una disminución en la cantidad de eventos al aumentar la duración de los mismos, tal como se registró en el periodo de referencia. Así mismo, la mayor cantidad de eventos se concentrarían en las duraciones menores a 6 meses en todos los modelos y escenarios. El modelo que menos cambios experimentaría en la distribución de los eventos, en función de su duración, sería el MPI-ESM-LR.

Bajo el RCP 2.6 se registrarían menos cambios en el número de eventos, de una duración particular, en comparación al periodo de referencia; por otra parte, para el RCP 8.5, se observa una disminución en el número de eventos de uno o dos meses de duración, respecto al periodo de referencia y del RCP 2.6. Adicionalmente, para el RCP 8.5, se observa un aumento importante en el número de eventos extremos, con duraciones superiores a los doce meses.

Por otro lado, la figura 7 muestra las estaciones que presentarían los eventos más extremos (aquellos

at 9 months and with a magnitude greater than nine ( $> 9$ ) would be recorded. The GISS-E2-R, MPI-ESM-LR and NIMR-HADGEM2-AO models would agree that the Barinitas station could present an event with a magnitude greater than 13 ( $> 13$ ) and over a duration of 9 months. For the MPI-ESM-LR model, this event could last up to 15 months and present a magnitude of 16.5. Moreover, Hato Urañón would register the event with the longest duration, 18 months, and magnitude 12.8 under the GISS-E2-R model.

The increase in the drought events number presented by the four models, compared to the reference period, has already been occurring in this region of the country, as reported in other investigations (Olivares & Zingaretti, 2019). Since 2000, a large part of the Venezuelan territory has been affected by increasingly long-lasting and periodic droughts (Blunden & Arndt, 2015; Parra *et al.*, 2018); As well as, an increase in the occurrence frequency of very extreme dry periods (Paredes *et al.*, 2014; Olivares *et al.*, 2016). For both RCP, this pattern could become intensified.

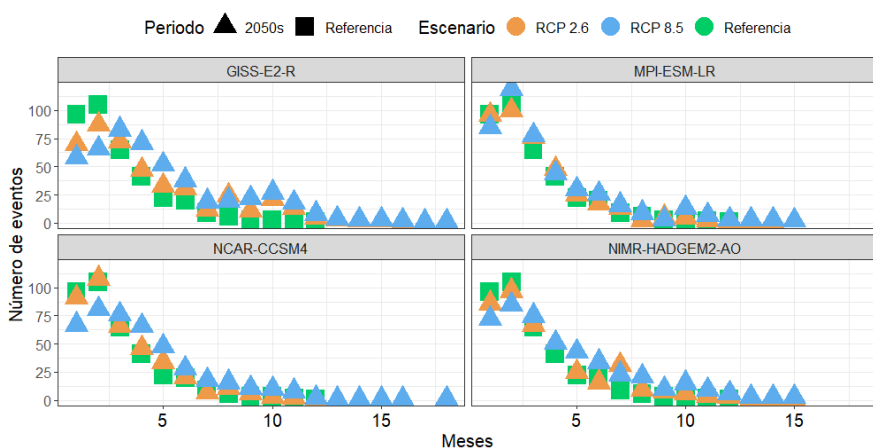
In relation to the magnitudes results, according to Hernández (2008), a magnitude greater than five is considered extremely strong; However, this criterion compared to the results of this research, they could be considered unfavorable for most of the stations analyzed on almost all models. Moreover, it is necessary to clarify that the criteria to define the effect of a magnitude depends on the consequences that

eventos de mayor magnitud y duración) para cada modelo y escenario. En los cuatro modelos, se registrarían eventos con duraciones a partir de los 9 meses y de magnitud superiores a nueve (>9). Los modelos GISS-E2-R, MPI-ESM-LR y NIMR-HADGEM2-AO coincidirían en que la estación Barinitas podría presentar un evento de magnitud mayor a 13 (>13) y por encima de 9 meses de duración. Para el modelo MPI-ESM-LR dicho evento pudiera durar hasta 15 meses y presentar una magnitud de 16.5. Por otro lado, Hato Urañón registraría el evento de mayor duración, 18 meses, y magnitud 12.8 bajo el modelo GISS-E2-R.

they generate in the environment where they are identified, since it is possible that in regions where environmental conditions are normally dry, a magnitude  $\geq 5$  possibly not generate, the same consequences as in normally humid regions.

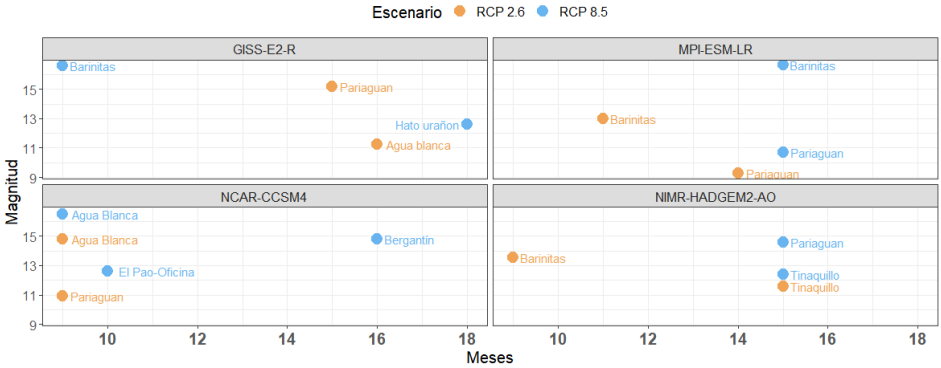
These results are similar to the results published in the first national communication on climate change for Venezuela, where an increase in the drought events occurrence was projected under the SRES scenarios (from the Special Report on Emission Scenarios) (MARN, 2005). The RCP scenarios showed similar behavior.

In general, drought has



**Figura 6.** Número total de eventos de sequía para todas las estaciones, por cada duración, periodos: referencia (1950(69)-1998) y 2050s, modelos: GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 y NIMR-HADGEM2-AO, y escenarios: RCP 2.6 y RCP 8.5.

**Figure 6.** Events total number of drought to all seasons and for each duration. Periods: Reference (1950 (69) -1998) and 2050s. Models: GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 and NIMR-HADGEM2-AO. Scenarios: RCP 2.6 and RCP 8.5.



**Figura 7. Estaciones con los eventos de mayor magnitud y duración de acuerdo a los modelos: GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 y NIMR-HADGEM2-AO, y escenarios: RCP 2.6 y RCP 8.5.**

**Figure 7. Stations with the highest magnitude and duration events according to the models: GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 and NIMR-HADGEM2-AO, and Scenarios: RCP 2.6 and RCP 8.5.**

El incremento en la cantidad de eventos de sequía presentado por los cuatro modelos, en comparación con el periodo de referencia, ya se viene presentando en esta región del país, tal y como se reporta en otras investigaciones (Olivares y Zingaretti, 2019). Desde el año 2000, gran parte del territorio venezolano ha sido afectado por sequías cada vez más duraderas y periódicas (Blunden y Arndt, 2015; Parra *et al.*, 2018); así como un aumento en la frecuencia de ocurrencia de periodos secos muy extremos (Paredes *et al.*, 2014; Olivares *et al.*, 2016). Para ambos RCP, este patrón podría llegar a intensificarse.

En relación con los resultados de las magnitudes, según Hernández (2008), una magnitud superior a cinco se considera extremadamente fuerte, por lo que, al contrastar este

the peculiar characteristic of deteriorating agricultural production components for longer periods of time, compared to the effects generated by storms, earthquakes and floods. In Venezuela, there are many activities that are affected by the water deficit that occurs during a period of drought, having as a consequence, food insecurity (Olivares *et al.*, 2016), the health deterioration of the population and repercussions on the main economy sectors (Olivares *et al.*, 2018). Therefore, in any model and scenario, this meteorological phenomenon would have an important impact on water resources (Paredes-Trejo *et al.*, 2018), as well as on the agricultural production of the stations analyzed in the future, following the same trend observed in other investigations in various parts

criterio con los resultados de esta investigación, podrían considerarse desfavorables para la mayoría de las estaciones analizadas en casi todos los modelos. Sin embargo, es necesario aclarar que el criterio para definir el efecto de una magnitud depende de las consecuencias que generan en el ambiente donde se identifican, ya que es posible que en regiones donde las condiciones ambientales son normalmente secas, una magnitud  $\geq 5$  posiblemente no genere las mismas consecuencias que en las regiones normalmente húmedas.

Estos resultados se asemejan a los resultados publicados en la primera comunicación nacional sobre cambio climático para Venezuela, donde se proyectó bajo los escenarios SRES (del Informe Especial sobre Escenarios de Emisión) un aumento en la ocurrencia de eventos de sequía (MARN, 2005). Los escenarios RCP mostraron un comportamiento similar.

En general, la sequía tiene la característica peculiar de deteriorar componentes agroproductivos por períodos más prolongados, en comparación a los efectos generados por las tormentas, sismos e inundaciones. En Venezuela, son muchas las actividades que son afectadas por el déficit hídrico que se presenta durante un periodo de sequía, teniendo como consecuencias la inseguridad alimentaria (Olivares *et al.*, 2016), el deterioro de la salud de la población y repercusiones en los sectores principales de la economía (Olivares *et al.*, 2018). Por lo tanto, en cualquier modelo y escenario, este fenómeno meteorológico tendría un impacto importante en los recursos hídricos

of the world (Bartholy *et al.*, 2013; Nam *et al.*, 2015).

The results obtained in this research are consistent with the projections made by the IPCC for the 21st century around the world. The most important agricultural regions of the country are likely to be compromised in the future by this type of extreme weather event, so it is essential to adopt appropriate adaptation strategies. In general, a drier future is evidenced, the plains agricultural areas being clearly distinguishable. This could cause a reduction in the aptitude of the land for these crops (Olivares *et al.*, 2020), besides the alteration of phenological phases, reduction of yields, affectation of agronomic work (time and method for preparing soil; sowing season; fertilization) and harvest impact. On the other hands, the RCP 2.6 scenario, it is seen as the only viable scenario for development and climate policies that guarantees the sustainability of resources for future generations.

## Conclusions

The drought would be marked by a different behavior for the analyzed stations, due to the rainfalls variability. For the monthly scale used, Barinitas station and Pariaguán station, showed the greatest risks resulting from droughts, presenting events with a greater magnitude and duration. From the proposed climate change scenarios, it can be expected that the RCP 8.5 scenario would bring a significant increase, as for the number

(Paredes-Trejo *et al.*, 2018), así como en la producción agrícola de las estaciones analizadas en el futuro, siguiendo la misma tendencia observada en otras investigaciones en varias partes del mundo (Bartholy *et al.*, 2013; Nam *et al.*, 2015).

Los resultados obtenidos son consistentes con las proyecciones hechas por el IPCC para el siglo XXI en todo el mundo. Es probable que las regiones agrícolas más importantes del país se vean comprometidas en el futuro por este tipo de fenómeno meteorológico extremo, por lo que es esencial adoptar estrategias de adaptación apropiadas. Se evidencia, en general, un futuro más seco, siendo claramente distinguibles las zonas agrícolas llaneras. Esto podría provocar una reducción de la aptitud de las tierras para estos cultivos (Olivares *et al.*, 2020), además de la alteración de las fases fenológicas, reducción de los rendimientos, afectación de las labores agronómicas (época y método para la preparación del suelo; época de siembra; fertilización) y afectación de cosecha. En cuanto al escenario RCP 2.6, es visto como el único escenario viable de desarrollo y políticas climáticas que garantiza la sostenibilidad de los recursos para las generaciones futuras.

## Conclusiones

La sequía estaría marcada por un comportamiento diferente para las estaciones analizadas, debido a la misma variabilidad de las precipitaciones. Para la escala mensual utilizada, la estación Barinitas y la estación Pariaguán mostrarían los mayores riesgos resultantes de las sequías,

of drought events in the study area as the duration and magnitude of these events, significantly affecting the agricultural development of the Venezuelan savannas. However, a climate change scenario, such as, the one presented in RCP 2.6, would have a lesser impact on the development of the region.

The use of the GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 and NIMR-HADGEM2-AO models allowed to have a broader vision for future rainfall scenarios in Venezuelan savannas besides the use of SPI for the drought estimation in climate change scenarios. This investigation opens a line of research in relation to the possibility to evaluate the impacts that could originate from a greater events occurrence in certain magnitudes and durations, where mitigation measures and strategic investment plans could be developed, in order to reduce the vulnerability of population in the localities, where future projections, were evaluated.

---

### *End of English Version*

---

presentando los eventos de mayor magnitud y duración. De los escenarios de cambio climático propuestos se puede prever que el escenario RCP 8.5 traería un incremento importante, no solo en la cantidad de eventos de sequía en la zona de estudio sino también en la duración y la magnitud de dichos eventos, afectando de manera importante el desarrollo agrícola de las sabanas venezolanas. No obstante, un escenario de cambio climático, como el presentado en el RCP 2.6, tendría un menor impacto en el desarrollo de la región.

El uso los modelos GISS-E2-R, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4 y NIMR-HADGEM2-AO permitió tener una visión más amplia para los escenarios futuros de las precipitaciones en las sabanas venezolanas y el uso del SPI para la estimación de la sequía en escenarios de cambio climático. Este trabajo abre una línea de investigación en relación a la posibilidad de evaluar los impactos que podrían originarse por la mayor ocurrencia de eventos de determinadas magnitudes y duraciones, donde podrían desarrollarse medidas de mitigación y elaboración de planificaciones estratégicas en inversión con la finalidad de reducir la vulnerabilidad de la población de las localidades donde se evaluaron las proyecciones futuras

## Literatura citada

- ACFIMAN-SACC., 2018. First Academic Report on Climate Change 2018: Contribution of Working Groups I, II and III to the First Academic Report on Climate Change (PRACC) of the Academic Secretariat on Climate Change (SACC) of the Academy of Physical, Mathematical and Natural Sciences of Venezuela. [Villamizar, A., E. Buroz Castillo, R. Lairret Centeno, J. A. Gómez]. ACFIMAN EDITIONS – CITECI. 488 p.
- Bartholy, J., R. Pongrácz and B. Hollosi. 2013. Analysis of projected drought hazards for Hungary. *Adv. Geo.* 35: 61–66.
- Blunden, J. and D. S. Arndt. 2015. State of the Climate in 2014. *Bulletin of the American Meteorological Society.* 96(7): ES1-ES32.
- Edwards, D. C. and T. B. McKee. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple. *Climatology Report.* 2-97.
- FAO. 2018. The Impact of disasters and crises on agriculture and Food Security 2017. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 168 p.
- Hayes, M., M. Svoboda, N. Wall and M. Widhalm. 2011. The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* (92), 485–488.
- Hernández, R. 2008. Caracterización de la sequía meteorológica en los climas árido, semiárido y subhúmedo seco en los llanos centro orientales de Venezuela, para el manejo de los recursos hídricos. Trabajo de Grado de Magister en Gerencia Ambiental UNEFA-CIP.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25: 1965-1978.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri, L.A. Meyer]. Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Lloyd-Hughes, B. 2014. The impracticality of a universal drought definition. *Theor. Appl. Climatol.* 117 (3-4): 607–611.
- Marengo, J.A., S.C. Chou, R.R. Torres, A. Giarolla, L.M. Alves and A. Lyra. 2014. Climate Change in Central and South America: Recent Trends, Future Projections, and Impacts on Regional Agriculture. CCAFS Working Paper no. 73. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen, Denmark.
- Martelo, M. 2003. La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático. Caracas: Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN). 72 p.
- McKee, T., N. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17



- to 22 from American Meteorological Society. 179-184.
- Mendoza, N. M. Puche. 2007. Evaluación de la ocurrencia de sequía en localidades de Venezuela. *Rev. Fac. Agr. (LUZ)*. 24 (4): 661-678.
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN). 2005. Primera Comunicación en Cambio Climático de Venezuela. Caracas: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, 164 p.
- Nam, W., M. Svoboda, M. Hayes and T. Tadesse. 2015. Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea. *Agricultural Water Management*. 160: 106-117.
- Navarro-Racines, C., J. Tarapues, P. Thornton, A. Jarvis and J. Ramirez-Villegas. 2020. High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessments. *Sci Data*. 7(7): 1-14.
- Olivares, B., A. Cortez, D. Lobo, M. Parra, J. Rey y M. Rodríguez. 2016. Estudio de la Sequía Meteorológica en localidades de los llanos de Venezuela mediante el Índice de Precipitación Estandarizado. *Acta Nova*. 7(3): 266-283.
- Olivares, B., A. Cortez, R. Parra, D. Lobo, M.F. Rodríguez y J.C. Rey. 2017. Evaluation of agricultural vulnerability to drought weather in different locations of Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 34 (1): 103-129.
- Olivares, B., R. Hernández, R. Coelho, J.C. Molina, y Y. Pereira. 2018. Análisis espacial del índice hídrico: un avance en la adopción de decisiones sostenibles en territorios agrícolas de Carabobo, Venezuela. *Rev. eogr. A m . Cent.* 60 (1): 277-299.
- Olivares, B. and M.L. Zingaretti. 2019. Aplicación de métodos multivariados para la caracterización de periodos de sequía meteorológica en Venezuela. *Rev. Luna Azul*. 48(2): 172-192.
- Olivares, B., M. Araya-Alman, C. Acevedo-Opazo, J.C. Rey, P. Cañete-Salinas, F. Giannini, M. Balzarini, D. Lobo, J. A. Navas-Cortés, B. Landa and J. A. Gómez. 2020. Relationship Between Soil Properties and Banana Productivity in the Two Main Cultivation Areas in Venezuela. *J. Soil Sci Plant Nutr.* (2):1-13.
- OMM. 2012. OMM-Nº 1090 Guía de Usuario: Índice Normalizado de Precipitación. Ginebra, Suiza: OMM, 23 p.
- OMM. 2016. "Climate extremes, growing costs and loss: are we ready?". Disponible en: <https://public.wmo.int/en/events/events-of-interest/cop22>. Fecha de consulta: enero 2019.
- Paredes, F., F. La Cruz y E. Guevara. 2014. Análisis de las frecuencias de las sequías meteorológicas en la principal región cerealera de Venezuela. *Bioagro*. 26(1): 21-28.
- Paredes-Trejo, F., H. Barbosa, M. Moreno-Pizani y A. Fariás-Ramírez. 2018. Influencia de las sequías sobre el régimen hídrico de los ríos en Venezuela. Capítulo 9 (pp: 171-184). En: Rodríguez-Olarte, D. (Editor). Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 2. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara, Venezuela.
- Paredes-Trejo, F y B. Olivares. 2018. El desafío de la sequía en Venezuela. En: Núñez Cobo, J. y Verbist, K. (Eds.). Atlas de Sequía de América Latina y el Caribe. (pp.127-136). Francia: UNESCO.
- Parra, R., B. Olivares, A. Cortez, D. Lobo, M. F. Rodríguez y J. C. Rey. 2018. Características de la sequía meteorológica (1980-2014) en dos localidades agrícolas de los andes venezolanos *Revista de Investigación*. 42(95):38-55.
- Tabor, K. and J.W. Williams. 2010. Globally downscaled climate projections for assessing the conservation impacts of climate change. *Eco. Appli.* 20(2): 554-565.
- van Vuuren, D.P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G.C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.-F. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S.J. Smith and S. K. Rose. 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109(1):5-31.