



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”, CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

AGRO – 015

Paredes1 Franklin y Guevara 2 Edilberto
1GICHRI-UNELLEZ 2CIHAM-UC
franklinparedes75@gmail.com

Recibido: 15-10-2013

Aceptado: 16-12-2013

Resumen

La principal región productora de cereales se localiza en los llanos occidentales, centrales y orientales de Venezuela. Estos rubros se cultivan en secano, por lo que su rendimiento depende de la ocurrencia de lluvias. Los llanos son impactados por sequías recurrentes, generando pérdidas económicas e incrementando la importación de cereales. Con el objeto de identificar las zonas más vulnerables a la ocurrencia de sequías, se realizó un análisis regional de frecuencia con datos climáticos de los estados Anzoátegui, Cojedes, Portuguesa y Guárico, definidos en este estudio como la Unidad de Estudio (UE); según las siguientes fases: 1.- identificación de las regiones homogéneas de acuerdo a la distribución de frecuencia de la precipitación anual en la UE (método L-momentos); 2.- determinación de la curva de crecimiento regional en las regiones homogéneas según la distribución de frecuencia de la precipitación anual en la UE. Entre los resultados destacaron: 1.- La UE presenta seis regiones homogéneas según la distribución de la precipitación media anual; 2.- La Función de Distribución de Probabilidad que mejor ajusta a los registros de precipitación anual en la UE es la Generalizada Normal, seguida por la Pearson Tipo III; 3.- Las cuencas de los ríos Unare, Neverí, Manzanare, Aragua (norte de Anzoátegui), San Juan – Guanipa (noreste de Anzoátegui), Manapire (Guárico) y la Mesa de Morichal Largo (sur de Anzoátegui) tienen un alto riesgo de ocurrencia de años secos. Se recomienda usar las curvas de crecimiento regional generadas en esta investigación como un insumo en la planificación agrícola.

Palabras clave: planificación agrícola, agricultura de secano, zona de convergencia intertropical, Venezuela.



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3",
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

ANALYSIS OF DRY YEAR FREQUENCIES, USING THE SCRIPT RSARFLM PROCESSOR V.3 ", WITH CLIMATIC DATA FROM THE LLANOS DE VENEZUELA

Abstract

The main cereal producing region is located in the western, central and eastern plains of Venezuela. These crops are grown in dry land, so their yield depends on the occurrence of rainfall. The plains are affected by recurrent droughts, generating economic losses and increasing the importation of cereals. In order to identify the areas most vulnerable to the occurrence of droughts, a regional frequency analysis was carried out with climatic data from the Anzoátegui, Cojedes, Portuguesa and Guárico states, defined in this study as the Study Unit (UE); according to the following phases: 1.- identification of homogeneous regions according to the frequency distribution of annual precipitation in the EU (L-moment method); 2.- determination of the regional growth curve in homogeneous regions according to the frequency distribution of annual precipitation in the EU. Among the results, the following stood out: 1.- The EU presents six homogeneous regions according to the distribution of average annual rainfall; 2.- The Probability Distribution Function that best fits the records of annual precipitation in the EU is the Generalized Normal, followed by the Pearson Type III; 3.- The basins of the Unare, Neverí, Manzanare, Aragua (northern Anzoátegui), San Juan -Ganipa (northeast of Anzoátegui), Manapire (Guárico) and Mesa de Morichal Largo (southern Anzoátegui) rivers are at high risk of occurrence of dry years. It is recommended to use the regional growth curves generated in this research as an input in agricultural planning.

Key words: agricultural planning, rainfed agriculture, intertropical convergence zone, Venezuela

Introducción

En el territorio venezolano las sequías son un fenómeno recurrente. Entre 1997 y 1998 una sequía redujo cerca del 55% el caudal de aporte a la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar (antiguamente, Guri). En 2001, 2002, 2003 y 2007 se sucedieron temporadas secas extremas y persistentes que



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

menguaron las reservas hídricas de los principales embalses de Los Llanos y la región Centro Costera, afectando severamente la dinámica hidrológica, la producción agrícola y la generación-distribución de la energía hidroeléctrica. En 2010, la sequía fue tal magnitud, que el Gobierno Nacional implementó un racionamiento eléctrico a escala nacional. Los impactos de estos eventos dan cuenta de la vulnerabilidad de los sistemas ambientales, socio-productivos y económicos la ocurrencia de sequías meteorológicas.

En efecto, las sequías causan estragos muy particulares en el sector agrícola, en especial sobre los rubros que dependen de la ocurrencia de lluvias. Los cultivos dependientes de las lluvias se denominan cultivos de secano. Los cereales (arroz [*Oryza sativa*], maíz [*Zea mays L.*] y sorgo [*Sorghum sp.*]), son cultivos de secano, los cuales ocupan extensas tierras en los llanos venezolanos, en especial en Anzoátegui, Cojedes, Portuguesa y Guárico. El sector agroindustrial usa los cereales para producir una amplia variedad de alimentos de consumo masivo como harina de maíz, arroz blanco y otros derivados.

De acuerdo con estadísticas de la Federación de Productores del Agro (FEDEAGRO) refirió que la producción de maíz, arroz y sorgo en 2011, a consecuencia de la sequía, fue 50% menor a la del año 2007. Esta federación sostuvo que el decrecimiento se debe, parcialmente, a que los últimos años han sido atípicos: un año seco seguido de dos años con periodos lluviosos prolongados (El Universal, 2012). Por otro lado, la Federación Venezolana de Productores de Arroz (FEVEARROZ) advirtió que la disminución de las lluvias afecta directamente el mercado arrocero.

En general, la ocurrencia de uno o varios años secos en los llanos venezolanos es una de las causas principales para que los embalses que surten a los sistema de riego, Río Guárico y Las Majaguas, no operen durante el ciclo de verano, quedando así unas 35 mil hectáreas sin sembrar (Kasen, 2009). Por otro lado, los históricos pluviométricos en Venezuela suelen tener una corta longitud de registro y un alto porcentaje de discontinuidad, por tanto los métodos de análisis tradicionales no brindan información confiable sobre la recurrencia de eventos extremos. Esta limitación se resuelve subsanando



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

la carencia de información mediante la utilización de registros climatológicos que tengan una adecuada amplitud temporal y extensa distribución espacial [Álvarez *et al.*, (1999)].

En ese sentido, el Análisis Regional de Frecuencia basado en L-momentos (ARF-LM), desarrollado por Hosking y Wallis (1993) aprovecha la abundancia de información climática con amplia cobertura espacial pero escasa amplitud temporal. El ARF-LM tiene gran robustez estadística y es poco afectado por registros anómalos [outliers]; en general, en el ARF-LM se evalúa el grado de ajuste de los registros disponibles a una amplia variedad de Funciones de Distribución de Probabilidades (FDP) teóricas; luego se selecciona la FDP que mejor representa los registros de un conglomerado de estaciones (región homogénea). Ciertamente, la metodología ARF-LM se aplicó en la elaboración del Atlas de sequías de EEUU [Guttman, (1993); Guttman *et al.*, (1993), el análisis de sequías meteorológicas en el noroeste de México (Hallack- Alegria y Watkins, 2007), Turquía (Yurekli y Anli, 2008), entre otras locaciones.

Además, El ARF-LM se ha contrastado con otras alternativas para regionalizar las sequías en varias ciudades de Europa (Tallaksen y Hisdal, 1997; 1999) y usado en el análisis de eventos de sequías condicionados por el fenómeno El Niño- Oscilación del Sur en el noroeste de Baja California, México [Hallack-Alegria *et al.*, (2011)]. En Sudamérica, el ARF-LM ha sido escasamente empleado. La contribución más significativa corresponde a Núñez *et al.*, (2011) quienes incorporaron el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para mapear diversos eventos de sequías, derivados de la aplicación del ARF-LM en una región árida del nor-centro de Chile.

Cabe destacar que el Programa Hidrológico Internacional de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2010) publicó una guía metodológica para la aplicación del ARF-LM. En Venezuela, no existen publicaciones recientes que indiquen el uso del ARF-LM en el análisis de sequías meteorológicas.



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

El objetivo de esta investigación, es generar información mediante el ARF-LM en los estados Anzoátegui, Cojedes, Portuguesa y Guárico a los fines de contribuir en la toma de decisiones por parte de los productores agrícolas, en particular con los cultivadores de cereales.

Materiales y Métodos

Unidad de estudio

Se entiende por Unidad de Estudio (UE) a la región geográfica cubierta por los estados Anzoátegui, Cojedes, Guárico y Portuguesa, denominados llanos centro – orientales. La UE cubre una superficie e 138.286 km².

Las fases de la investigación fueron las siguientes:

Fase I

Análisis preliminar de las series disponibles

Consistió en los pasos siguientes: 1.- La información pluviométrica así como la meta-data de las estaciones usadas en esta investigación fue suministrada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), seleccionándose 152 que estuvieran localizadas dentro de la UE, particularmente aquellas con registros anuales completos, no menores a 15 años de registro. Se elaboraron dos archivos en formato *.csv, denominados Base de Datos Estaciones (BDE) y Base de Datos Registros (BDR). Los archivos BDE y BDR se procesaron con el Script RSARFLM V.3, desarrollado por Núñez (2011). 2.- En cada estación incluida en la BDR y BDE (en lo sucesivo se denomina, la muestra) se calculó para la variable precipitación anual, la media, coeficiente de variación, valores mínimo y máximo, media, mediana, moda, asimetría y curtosis. Se exploró la ocurrencia de patrones espaciales en estas variables, haciendo uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG). 3.- En la muestra, se elaboró un gráfico del tipo caja-bigote (box plot), indicando el



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

rango inter-cuartiles (Q2 y Q4) y los valores atípicos. Se observó la simetría de distribución de frecuencia e identificó los registros atípicos. 4.- En la muestra se realizó un análisis de temporalidad a la variable precipitación anual, a fin de identificar tendencias durante el periodo de análisis; se aplicó una prueba t a la pendiente de la recta. El script RSARFLM V.3 brindó el valor de probabilidad de la prueba (p-value, por el acrónimo en inglés). Un p-value < 0.01 indicó, con un nivel de confianza del 99%, que la serie presentaba una tendencia temporal. 5.- En la muestra, se aplicó un análisis de autocorrelación serial, para detectar años autocorrelacionados; se utilizó la prueba de Durbin-Watson (Helsel y Hirsch, 2002). El script RSARFLM V.3, un p-value < 0.01 indicó, con un nivel de confianza del 99%, que una serie presenta autocorrelación serial. 6.- En la muestra se realizó un análisis de homogeneidad, para identificar series con años no homogéneos atribuibles a factores no naturales. Se utilizó la prueba de homogeneidad de Easterling *et al.*, (1996), incluida en el software comercial AnClim 5.025 TM de Stepanek (2003). Las series con valores atípicos inexplicables, tendencia, autocorrelación serial y/o años no homogéneos, se descartaron.

Fase II

Identificación de regiones homogéneas

Incluyó la metódica siguiente: 1.- Con el script RSARFLM V.3 se determinó la heterogeneidad de la súper-región (las estaciones seleccionadas en la Fase anterior) con la estadística H1 (ecuación 3) y calculo la medida de discordancia (Di) de cada estación, con relación a la súper-región, es decir:

$$t^R = \frac{\sum_{i=1}^N \eta_i t^{(i)}}{\sum_{i=1}^N \eta_i} \dots\dots\dots(1)$$

$$V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \eta_i (t^{(i)} - t^R)^2}{\sum_{i=1}^N \eta_i}} \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{(V - u_v)}{\sigma_v} \dots\dots\dots(3)$$



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

Donde: **H1** medida de heterogeneidad, adimensional; **N** es el número de estaciones incluidas en la región *i*; **ni** longitud de registros de la estación *i* en años; **t(i)** L-momento ratio de la estación *i*, adimensional; **tR** L-momento ratio de la región, adimensional; μv media de **N** simulaciones, en mm; σv desviación estándar de **N** simulaciones, en mm. La variable de interés fue la lluvia total anual, en mm/año. 2.- Se aplicó un análisis clúster jerárquico a las estaciones de la súper-región, empleando el algoritmo de Ward (enlace por mínima varianza) y la distancia euclidiana como parámetro de similitud (Pérez, 2004). Las variables de agrupamiento fueron: latitud (en grados decimales), longitud (en grados decimales), altitud (en msnm), discordancia (determinada en el paso anterior) y la precipitación media anual de la estación, en mm/año. Debido a que las unidades de medidas de las variables eran diferentes, se estandarizaron antes del análisis clúster. Para seleccionar el número de clúster definitivo se usó el dendograma. En esta etapa, se empleó el software estadístico comercial Minitab 16™. 3.- Cada estación de la súper-región se asoció a un clúster. Se analizaron todas las estaciones de la súper-región, agrupadas según el clúster de pertenencia con el script RSARFLM V.3, determinando así la heterogeneidad de cada región (clúster) con el estadístico **H1** y la medida de discordancia **Di** de las estaciones con relación a los L-momentos regionales. La variable de interés fue la lluvia total anual, en mm/año. El proceso anterior fue iterativo, por tanto, en cada corrida del script, las estaciones discordantes fueron movidas a las regiones contiguas o eliminadas si fuese necesario. Las iteraciones se detuvieron cuando no se observaron estaciones discordantes en cada región y el valor de **H1** de todas las regiones fue ≤ 3.00 [Wallis *et al.*, (2007)]. 4.- Usando un SIG se representaron las estaciones que forman parte de las regiones homogéneas.

Fase III

Selección de la Función de Distribución de Probabilidades (FDP) con el mejor ajuste.

Abarcó la siguiente secuencia de pasos: 1.- Se calculó el estadístico **ZDIST** (ecuación 4) en cada región homogénea con el script RSARFLM V.3, así se determinó la bondad de ajuste de las FDP teóricas: Generalizada Logística (GLO), Generalizada de Valor Extremo (GEV), Generalizada Normal (GNO), Pearson Tipo III (PE3) y Pareto Generalizada (GPO). Cuando $|\mathbf{ZDIST}| < 1.64$, se aceptó la hipótesis de



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

buen ajuste de los registros a la distribución, en caso contrario, se rechazó (el grado de significación estadística es igual a 90%); esto es:

$$Z_{\tau_4} = \frac{\tau_4^{DIST} - \bar{\tau}_4}{\sigma_4} \pm \beta_4 \dots\dots\dots(4)$$

Donde: τ_4^{DIST} es el valor teórico de L-kurtosis de la FDP que se evalúa (obtenido de los diagramas L-kurtosis vs L-skewnees); $\bar{\tau}_4$ es el promedio regional de L-kurtosis; β_4 es el sesgo del promedio regional de τ_4 ; σ_4 es la desviación estándar de τ_4 . 2.- Se seleccionó la FDP teórica que mejor se ajustó a los registros de las regiones homogéneas. Luego, se calcularon los parámetros de la FDP: μ = parámetro de posición; α = parámetro de escala y k = parámetro de forma, usando las relaciones de Hosking y Wallis, (1997).

Fase IV

Estimación de cuantiles y generación de curva de crecimiento regional

Haciendo uso de la FDP seleccionada en la fase anterior, se generó la Curva de Crecimiento Regional (CCR). La CCR es una gráfica que tiene por el eje de ordenadas, la relación entre la precipitación media local / precipitación media regional y por el eje de abscisas, la probabilidad de no excedencia anual. La CCR en cada región homogénea se generó con el script RSARFLM V.3

Resultados y Discusión

Regiones homogéneas identificadas

La súper-región (contiene todas las estaciones de la muestra), presentó un **H1** de 11.86 y valores de discordancias que varían entre 0.065 y 14.147. Solo 5% de las estaciones mostraron discordancia superior a 3. Ninguna de las Funciones de Distribución de Probabilidad evaluadas (Generalizada



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

Logística, GLO; Generalizada de Valor Extremo, GEV; Generalizada Normal, GNO; Pearson Tipo III, PE3 y Pareto Generalizada, GPO), ajustó adecuadamente la variable precipitación anual en la súper-región, no obstante, la GNO brindó la mejor aproximación ($|ZDIST| = 1.80$). El análisis clúster jerárquico basado en el algoritmo Ward, indicó que la agrupación de 6 clúster presenta grupos con estaciones altamente intercorrelacionadas e incorrelacionadas con la de otros grupos. Las estaciones discordantes se movieron iterativamente a regiones vecinas o fueron eliminadas. En cada iteración se determinó **H1** y el valor de discordancia.

El proceso finalizó cuando en todas las regiones: $H1 \leq 3.00$. estaciones se sitúan en la vertiente sur de la Cordillera de la Costa y están orientadas paralelamente a la dirección predominante de los vientos Alisios (este y noreste). La región 4 es la más húmeda, tiende a concentrarse en la subcuenca alta del río Bocono en Portuguesa. La región 5 se extiende a lo largo del altiplano y las zonas bajas de la cuenca del río Portuguesa, en estado Portuguesa y la subcuenca del río Tiznado, en Guárico; los llanos del estado Cojedes se extienden entre ambas subcuencas. La región 6 abarca las planicies y desembocaduras de los ríos Guariquito, Manapire, Zuata, Pao y Caris al sur de Guárico y Anzoátegui.

En general: 1) las zonas con climas semiárido, tienen una alta heterogeneidad regional con relación a las zonas de clima húmedo; 2) el L-CV regional tiende a aumentar en la medida que la Precipitación Media Anual (PMA) disminuye; 3) el L-skewness y L-kurtosis regionales no presentan una clara relación con la PMA. Las inferencias anteriores, indicadas como 1 y 2, son análogas a las reportados por Nuñez et al. (2011) en la región del Coquimbo en Chile y, Hallack-Alegría y Hernández, en Sonora y Baja California, en México (Hallack-Alegría y Watkins, 2007), lo que hace suponer que estas interrelaciones son generalizables a las regiones áridas y semiáridas.



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

Selección de la Función de Distribución de Probabilidades (FDP) con mejor ajuste en las regiones homogéneas

La Tabla 1 muestra el ZDIST de cada región homogénea. En general, la FDP que mejor ajusta a los registros de PMA es la GNO (Generalizada Normal), seguida por la Pearson Tipo III (PE3). Esta última, es ligeramente deficiente a la GNO en la región 4.

En total, 13 estaciones (8.55%) que formaban parte de la súper-región, se eliminaron por ser discordantes. La región 1 es la más árida y se sitúa en la parte baja de la depresión del río Unare, a lo largo de la zona costera del estado Anzoátegui. La región 2, con la mayor extensión superficial, cubre la zona central de Anzoátegui (Mesa de Guanipa) y Guárico.

La región 3 es geográficamente discontinua y forma pequeños conglomerados al noreste de Anzoátegui y norte de Guárico y Cojedes; casi la totalidad de las estaciones se sitúan en la vertiente sur de la Cordillera de la Costa y están orientadas paralelamente a la dirección predominante de los vientos Alisios (este y noreste). La región 4 es la más húmeda, tiende a concentrarse en la subcuenca alta del río Bocono en Portuguesa. La región 5 se extiende a lo largo del altiplano y las zonas bajas de la cuenca del río Portuguesa, en estado Portuguesa y la subcuenca del río Tiznado, en Guárico; los llanos del estado Cojedes se extienden entre ambas subcuencas. La región 6 abarca las planicies y desembocaduras de los ríos Guariquito, Manapire, Zuata, Pao y Caris al sur de Guárico y Anzoátegui.

En general: 1) las zonas con climas semiárido, tienen una alta heterogeneidad regional con relación a las zonas de clima húmedo; 2) el L-CV regional tiende a aumentar en la medida que la Precipitación Media Anual (PMA) disminuye; 3) el L-skewness y L-kurtosis regionales no presentan una clara relación con la PMA. Las inferencias anteriores, indicadas como 1 y 2, son análogas a las reportados



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

por Nuñez et al. (2011) en la región del Coquimbo en Chile y, Hallack-Alegría y Hernández, en Sonora y Baja California, en México (Hallack-Alegría y Watkins, 2007), lo que hace suponer que estas interrelaciones son generalizables a las regiones áridas y semiáridas

Selección de la Función de Distribución de Probabilidades (FDP) con mejor ajuste en las regiones homogéneas

La Tabla 1 muestra el Z^{DIST} de cada región homogénea. En general, la FDP que mejor ajusta a los registros de PMA es la GNO (Generalizada Normal), seguida por la Pearson Tipo III (PE3). Esta última, es ligeramente deficiente a la GNO en la región 4.

Tabla 1.- Valor absoluto del estadístico Z^{DIST} en las regiones homogéneas en la UE.

FDP	Reg. N° 1	Reg. N° 2	Reg. N° 3	Reg. N° 4	Reg. N° 5	Reg. N° 6
GLO	3.23	4.09	2.72	0.36	4.45	2.29
GEV	1.18	1.00	0.05	1.64	1.67	0.59
GNO	0.04	0.39	0.25	1.59	0.56	0.28
PE3	0.04	0.71	0.05	1.90	0.69	0.48
GPA	9.14	11.05	5.56	5.78	13.32	6.31

Nota: Generalizada Logística (GLO), Generalizada de Valor Extremo (GEV), Generalizada Normal (GNO), Pearson Tipo III (PE3) y Pareto Generalizada (GPO); Cuando $|Z^{DIST}| < 1.64$, se acepta la hipótesis de buen ajuste de la distribución, caso contrario, se rechaza (el grado de significación estadística de este criterio, 90%)

Curvas de crecimiento regional en las regiones homogéneas identificadas en los estados Anzoátegui, Cojedes, Portuguesa y Guárico

Las Figuras 1 a 6 son las curvas de crecimiento regionales, obtenidas a partir de FDP Pearson Tipo III. A manera ilustrativa se presenta un ejemplo del uso de las curvas regionales. Supóngase que en la Mesa de Guanipa (estado Anzoátegui), se desea estimar el periodo de retorno de un año cuya precipitación sea del 80% la precipitación media anual. Los pasos a seguir serían: 1.- se identifica la región

ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

homogénea donde está la locación bajo estudio: la Mesa de Guanipa está en la región homogénea 2; 2.- se determina la relación P_i/P_{media} : en el caso que nos ocupa, la relación es 0.80; 3.- se selecciona la Figura 2, por estar asociada a la región homogénea 2; 4.- se cruza la relación P_i/P_{media} con la curva y luego, se lee el periodo de retorno; 5.- la curva regional indica que este evento tiene un periodo de recurrencia de 4.70 años; 6.- finalmente, se concluye que en la Mesa de Guanipa (estado Anzoátegui), el periodo de retorno de un año cuya precipitación sea del 80% la PMA es de 4.70 años.

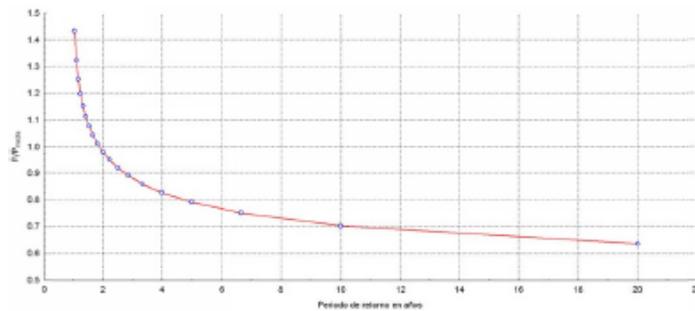


Figura 2.- Curva de crecimiento regional de la región homogénea N° 2. $P_{media} = 935.96$ mm/año

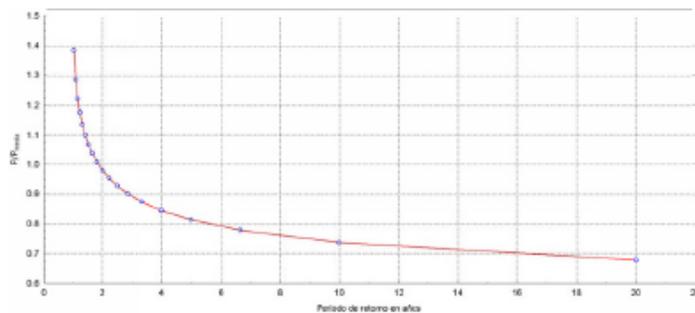


Figura 3.- Curva de crecimiento regional de la región homogénea N° 3. $P_{media} = 1135.14$ mm/año

ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

OC Vol. 2 - N° 3

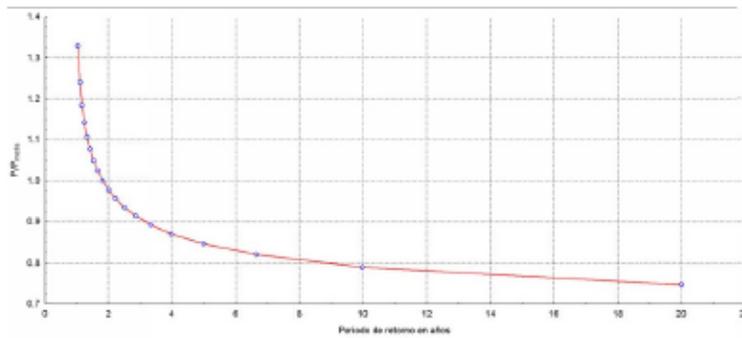


Figura 4.- Curva de crecimiento regional de la región homogénea N° 4. $P_{media} = 2201.48 \text{ mm/año}$

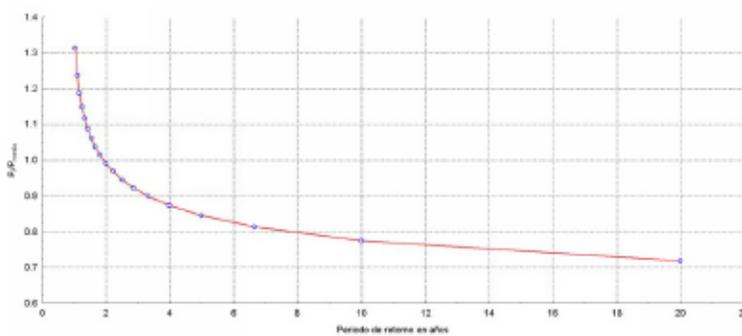


Figura 5.- Curva de crecimiento regional de la región homogénea N° 5. $P_{media} = 1472.14 \text{ mm/año}$

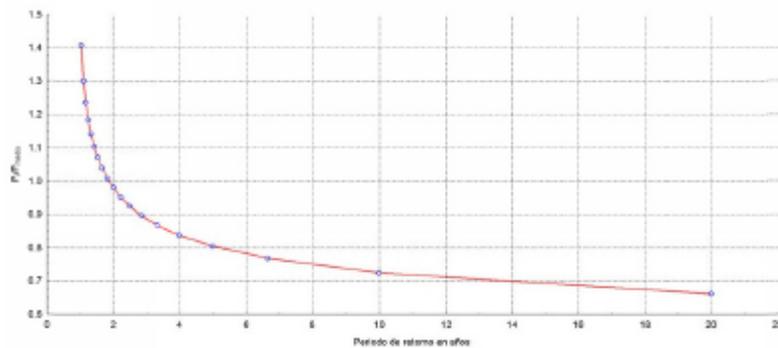


Figura 6.- Curva de crecimiento regional de la región homogénea N° 6. $P_{media} = 1154.81 \text{ mm/año}$



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

Conclusiones

Las cuencas de los ríos Unare, Neverí, Manzanares, Aragua (norte de Anzoátegui), San Juan – Guanipa (noreste de Anzoátegui), Manapire (Guárico) y la Mesa de Morichal Largo (sur de Anzoátegui) son las zonas con mayor riesgo de ocurrencia de años secos.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se sugiere al sector productor de cereales en estas zonas, evaluar el uso de fuentes subterráneas, optimización del manejo del agua en la cuenca y/o siembra de variedades que puedan adaptarse a las sequías. Se recomienda actualizar este estudio a medida que se disponga de nuevos registros pluviométricos.

Agradecimiento

Los autores agradecen el apoyo del programa RALCEA-EUROCLIMA de la Comisión Europea para América Latina y a Jorge Núñez del Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (Serena- Chile). Esta investigación es un producto del proyecto PEI-2011001251, financiado por FONACIT.

Referencias Bibliográficas

Álvarez, M.; Puertas, J.; Soto, B.; Díaz- Fierros, F. (1999). Análisis regional de las precipitaciones máximas en Galicia mediante el método del índice de avenida. *Ingeniería del Agua*. 6(4): 283-290.

Easterling, R.; Peterson, C.; Karl, T. (1996). On the development and use of homogenized climate data sets. *Journal of Climate* (9): 1429-1434.

El Universal. (2012). Venezuela: producción de cereales está a 50% de lo registrado en 2007.

Guttman, N. (1993). The use of L-Moments in the determination of regional precipitation climates. *Journal of Climate*. 6(12): 2309-2325.



ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE AÑOS SECOS, UTILIZANDO EL PROCESADOR SCRIPT RSARFLM V.3”,
CON DATOS CLIMÁTICOS DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

Guttman, N.; Hosking, J.; Wallis, J. (1993). Regional precipitation quantile values for the continental United States computed from L-Moments. *Journal of Climate*. 6(12): 2326-2340.

Hallack-Alegria, M.; Ramirez- Hernandez, J.; Watkins, D. (2011). ENSO-conditioned rainfall drought frequency analysis in northwest Baja California, Mexico. *International Journal of Climatology*. Published online in Wiley Online Library

Hallack-Alegria, M.; Watkins, D. (2007). Annual and warm season drought intensity-duration-frequency analysis for Sonora, Mexico. *Journal of Climate*. 20 (9): 1897–1909.

Helsel, D.; Hirsch, R. (2002). *Statistical methods in water resources*. USGS, Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation, Chapter 3. 250 pp.

Hosking, J.; Wallis, J. (1997). *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. 224 pp.

Hosking, J.; Wallis, J. (1993). Some statistics useful in regional frequency analysis. *Water Resources Research*. 29(2): 271-281

Kassen, F. (2009). *El arroz en Venezuela. Memorias*, [CD-ROM] Primer Foro Arroceros Venezuela 2009. Acarigua, Venezuela

Núñez, J.; Verbist, K.; Wallis, J.; Schaefer, M.; Morales, L.; Cornelis, W. (2011). Regional frequency analysis for mapping drought events in north-central Chile. *Journal of Hydrology*. (405) 3–4: 352–366.

Núñez, J. (2011). *RSARFLM v.3. Regional Frequency Analysis L-moments R Script*. Water Center for Arid and Semiarid Zones of Latin America and the Caribbean. CAZALAC. La Serena, Chile

Pérez, C. (2004). *Técnicas de análisis multivariante de datos: aplicaciones con SPSS*. Pearson Prentice Hall, Madrid. 672 pp.

Štěpánek, P. (2003). *AnClim - software for time series analysis*. Department of Geography, Faculty of Natural Sciences, MU, Brno. 1.47 MB.



Tallaksen, L.; Hisdal, H. (1997). Regional analysis of extreme streamflow drought duration and deficit volume. In: Gustard, A., Blazkova, S., Brilly, M., Demuth, S., Dixon, J., Van Lanen, H., Llasat, C., Mkhandi, S., Servat, E. (Eds.), FRIEND'97- Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management, Ed. IAHS Publication 246:141–150.

Tallaksen, L.; Hisdal, H. (1999). Classification of methods of regional drought streamflow series: the EOF method and L-moments. Technic Report No. 2, [en línea]. Recuperado el 18 de Julio de 2009, de <http://www.hydrology.uni-freiburg.de/forsch/aride/navigation/publications/publications.htm>.

UNESCO. (2010). Guía metodológica para la aplicación del análisis regional de frecuencia de sequías basado en l-momentos y resultados de aplicación en América Latina. Documento N° 27 publicado por el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Montevideo, Uruguay. 87 pp.

Wallis, J.; Schaefer, M.; Barker, B.; Taylor, G. (2007). Regional precipitation-frequency analysis and spatial mapping for 24-hour and 2-hour durations for Washington States. *Hydrology Earth System Science*. 11(1): 415-442.

Yurekli, K.; Anli, A. (2008). Analyzing drought based on annual total rainfalls over Tokat province. *International Journal Natural Engineering Science*. 2(2): 21–26.

