



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL
VALENCIA-VENEZUELA**

**SISTEMA PARA LA ALERTA TEMPRANA DE SEQUÍAS
METEOROLÓGICAS EN VENEZUELA**

Autor: MSc. Franklin Paredes

Tutor: Dr. Edilberto Guevara

Bárbula, Enero 2012



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL
VALENCIA-VENEZUELA**

**SISTEMA PARA LA ALERTA TEMPRANA DE SEQUÍAS
METEOROLÓGICAS EN VENEZUELA**

Autor: MSc. Franklin Paredes

Tesis Doctoral presentada ante
el Área de Estudios de
Postgrado de la Universidad de
Carabobo para optar al título
de Doctor en Ingeniería
Ambiental

Esta investigación se realizó en el marco de las líneas de investigación del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC)

Bárbula, Enero 2012

“La época de dilatarse, de medidas parciales, de recursos calmantes e inesperados, de retrasos, está terminando. En su lugar estamos entrando en un período de consecuencias”

Winston Churchill...citado por Albert Gore en el film An Inconvenient Truth

ACTA DE DISCUSIÓN DE TESIS DOCTORAL



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
SECCIÓN DE GRADO



ACTA DE DISCUSIÓN DE TESIS DOCTORAL

En atención a lo dispuesto en los Artículos 147, 148 y 149 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo, quienes suscribimos como Jurado designado por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a lo previsto en el Artículo 146 del citado Reglamento, para estudiar la Tesis Doctoral titulada:

“SISTEMA PARA LA ALERTA TEMPRANA DE SEQUÍAS METEOROLÓGICAS EN VENEZUELA”

Presentada para optar al grado de **DOCTOR EN INGENIERÍA** por el aspirante:

FRANKLIN PAREDES TREJO
V.- 12.200.786

Habiendo leído el contenido y escuchada la exposición, decidimos que la Tesis cumple con la rigurosidad académica y científica, por lo que se da por **APROBADA CON MENCIÓN HONORÍFICA, MOTIVO A SU ALTA APLICACIÓN SOCIAL YA QUE EL TRABAJO PUEDE GENERAR UNA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.**

En Valencia, a los quince (15) días del mes de Noviembre del año dos mil once.

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION DE POSTGRADO

Prof. Cristóbal Vega
C.I.: 5.264.970

Prof. Demetrio Rey Lago
C.I.: 7.127.552

db.-15-11-2011



Prof. Herve Jegat
C.I.: 14.700.287

UNIVERSIDAD DE CARABOBO / DIRECCIÓN DE POSTGRADO

FACULTAD DE INGENIERIA NAGUANAGUA SECTOR BARBULA • Teléfonos Directo: (0241) 8672829 / 8674268-8678885 EXT 102. FAX - (0241) 8671655 <http://postgrado.ing.uc.edu.ve>

ACTA DE VERIFICACIÓN DE CORRECCIONES DE LA TESIS DOCTORAL

Nosotros, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a lo previsto en el Artículo 146 del citado Reglamento, para estudiar la Tesis Doctoral titulada:

“SISTEMA PARA LA ALERTA TEMPRANA DE SEQUÍAS METEOROLÓGICAS EN VENEZUELA”

Presentada para optar al grado de **DOCTOR EN INGENIERÍA** por el aspirante

FRANKLIN PAREDESTREJO

V.-12.200.786

Hemos verificado que las correcciones sugeridas durante la discusión de Tesis Doctoral fueron realizadas por el aspirante.

En Valencia, a los veintiuno (21) días del mes de noviembre del año dos mil once.

Dr. Cristóbal Vega

C.I.: 5.264.970

Dr. Demetrio Rey Lago

C.I.: 7.127.552

Dr. Herve Jegat

C.I.: 14.700.287

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme firmeza, sabiduría y guía en el desarrollo de esta meta.

A Joanna Rodríguez, Sofía Paredes, Luisana Paredes, Marina Trejo, Ana Trejo y Auriana Trejo por el tiempo que no pude compartir con ustedes.

Al Dr. Edilberto Guevara por brindarme una sólida formación académica, cristalizada hoy día, en el grado de Doctor.

AGRADECIMIENTOS

Estetrabajo se llevó a cabo en el marco de las líneas de investigación del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC), Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.

Se agradece el apoyo de las siguientes instituciones:

Centro de Simulación y Modelación de la Universidad de Los Andes.

Centro del Agua para Zonas Áridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC).

Centro Modelado Científico de la Universidad del Zulia.

Departamento de Agroclimatología de la Universidad Central de Venezuela.

Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

European Joint Research Centre (JRC).

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria.

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
ACTA DE DISCUSIÓN DE TESIS DOCTORAL	v
ACTA DE VERIFICACIÓN DE CORRECCIONES DE LA TESIS DOCTORAL	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
LISTA DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA	1
1.1.- Planteamiento del problema	1
1.2.- Justificación de la investigación	4
1.3.- Alcances y limitaciones de la investigación	4
1.4.- Objetivos de la investigación	4
1.4.1.- Objetivo general de la investigación	4
1.4.2.- Objetivos específicos de la investigación	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1.- Antecedentes de la investigación	6
2.1.1.-Ámbito internacional	6
2.1.2.- Ámbito nacional	14
2.2.- Fundamentación teórica	18
2.2.1.- Circulación general de la atmósfera	18
2.2.2.- Definición general y tipos de sequía	21
2.2.2.- Definiciones de la sequía meteorológica	24
2.2.3.- Caracterización de la sequía meteorológica	26
2.2.4.- Principales índices usados en el monitoreo de sequías meteorológicas	28
2.2.4.1.- Porcentaje de la precipitación media	28
2.2.4.2.- Cuantiles (quintiles, deciles y percentiles)	29
2.2.4.3.- Índice de precipitación estandarizado	30
2.2.5.- Definición conceptual y operacional de la sequía meteorológica.	33

2.2.6.- Técnicas de predicción local	34
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	39
3.1.- Tipo de investigación	39
3.2.- Unidad de estudio.....	39
3.3.- Fases de la investigación.....	40
CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	53
4.1.- Regionalización de las anomalías pluviométricas en Venezuela	53
4.2.- Caracterización del coeficiente de correlación de Pearson desfasado entre el índice SPI en las Estaciones de Referencia y las anomalías de las Variables Macroclimáticas.....	61
4.3.- Estructuración y validación de los modelos de predicción por subregión homogénea.....	70
4.3.1- Modelo de la SR7	70
4.3.2- Modelo de la SR16.....	72
4.3.3.- Modelo de la SR25.....	74
4.3.4.- Modelo de la SR1	76
4.3.5.- Modelo de la SR8.....	78
4.3.6.- Modelo de la SR5.....	80
4.3.7.- Modelo de la SR3.....	83
4.3.8.- Modelo de la SR4.....	85
4.3.9.- Modelo de la SR19.....	88
4.3.10.- Modelo de la SR15.....	90
4.3.11.- Modelo de la SR2.....	92
4.3.12.- Modelo de la SR35.....	94
4.3.13.- Modelo de la SR9.....	96
4.3.14.- Modelo de la SR24.....	99
4.3.15.- Modelo de la SR12.....	101
4.3.16.- Modelo de la SR28.....	103
4.3.17.- Modelo de la SR22.....	106
4.3.18.- Modelo de la SRS2.....	108
4.3.19.- Modelo de la SR6.....	111
4.3.20.- Modelo de la SR20.....	113
4.3.21.- Modelo de la SRS3.....	115
4.3.22.- Modelo de la SRS1.....	117
4.3.23.- Modelo de la SRS4.....	120
4.4.- Validación parcial de los modelos asociados a las ER.....	122
4.5.- Organización general del sistema de pronóstico para su implementación operativa.....	124
4.6.- Aportación social de la Tesis Doctoral	128

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	130
REFERENCIAS	132
ANEXOS	144
Anexo 1. Estaciones que forman parte de las Subregiones Homogéneas.	
Anexo 2. Estaciones pluviométricas de la FAV preseleccionadas para la validar los modelos de las ER.	
Anexo 3. Mapa de localización geográfica de la Subregiones Homogéneas.	

LISTA DETABLAS

	Páginas
Tabla 2.1.- Escala de interpretación del índice porcentaje de la precipitación media.....	28
Tabla 2.2.- Escala de interpretación del índice de los deciles	29
Tabla 2.3.- Escala de interpretación del índice de los quintiles.....	29
Tabla 2.4.- Escala de interpretación del índice SPI.	31
Tabla 3.1.- Subregiones del Océano Pacífico.	39
Tabla 3.2.- Subregiones del Océano Atlántico.	39
Tabla 3.3.- Poligonal de la subregión sobre el Mar Caribe	40
Tabla 3.4.- Descripción de las series temporales utilizadas como variables macroclimáticas en la investigación.....	43
Tabla 3.5.- Series temporales de anomalías usadas en la investigación.....	44
Tabla 3.6.- ER con Series SPI con 10 o más años en común con las series de VM.....	45
Tabla 3.7.- Correlación de Pearson máxima entre las series SPI en cada ER y las anomalías VM	47
Tabla 3.8.- Estructura categórica de las cuatro VM con mayor fuerza correlacional en una ER.	49
Tabla 3.9.- Estaciones pluviométricas de la FAV usadas para validar los modelos de las ER	52
Tabla 4.1.- Estaciones incluidas en cada Subregión Homogénea	53
Tabla 4.2.- Características de las Subregiones Homogéneas con el menor número de estaciones.	59
Tabla 4.3.- Estación de Referencia en cada Subregión Homogénea	60
Tabla 4.4.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR7 entre Jun-1980 y Dic-2000	70
Tabla 4.5.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR7. Período Jun-1980 a Dic-2000	70
Tabla 4.6.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR16 entre Jun-1980 y Dic-2000	72
Tabla 4.7.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR16. Período Oct-1980 a Dic-1996.....	73
Tabla 4.8.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR25 entre Sep-1980 y Dic-1988.....	74
Tabla 4.9.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR25. Período Sep-1980 a Dic-1988.....	74
Tabla 4.10.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR1 entre Dec-1980 y Dic-2001.....	76
Tabla 4.11.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR1. Período Dic-1980 a Dic-2001.....	76
Tabla 4.12.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR8 entre Jun-1980 y Dic-2001	78
Tabla 4.13.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR8. Período Jun-1980 a Dic-2001	79
Tabla 4.14.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR5 entre Sep-1980 y Dic-2001	81
Tabla 4.15.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR5. Período Sep-1980 a Dic-2001.....	81

Tabla 4.16.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR3 entre Dic-1980 y Dic-2001	83
Tabla 4.17.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR3. Período Dic-1980 a Dic-2001	83
Tabla 4.18.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR4 entre Sep-1980 y Dic-1996	86
Tabla 4.19.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR4. Período Sep-1980 a Dic-1996	86
Tabla 4.20.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR19 entre Ago-1980 y Dic-2001	88
Tabla 4.21.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR19. Período Ago-1980 a Dic-2001	88
Tabla 4.22.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR15 entre Ago-1980 y Dic-1991	91
Tabla 4.23.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR15. Período Ago-1980 a Dic-1991	91
Tabla 4.24.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR2 entre Nov-1980 y Dic-2001	93
Tabla 4.25.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR2. Período Nov-1980 a Dic-2001	93
Tabla 4.26.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR35 entre Ene-1981 y Dic-2001	94
Tabla 4.27.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR35. Período Ene-1981 a Dic-2001	95
Tabla 4.28.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR9 entre May-1980 y Dic-1999	97
Tabla 4.29.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR9. Período May-1980 a Dic-1999	97
Tabla 4.30.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR24 entre Dic-1980 y Dic-1991	99
Tabla 4.31.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR24. Período Dic-1980 a Dic-1991	99
Tabla 4.32.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR12 entre Sep-1980 y Dic-1997	101
Tabla 4.33.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR12. Período Sep-1980 a Dic-1997	102
Tabla 4.34.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR28 entre Sep-1980 y Dic-1996	104
Tabla 4.35.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR28. Período Sep-1980 a Dic-1996	104
Tabla 4.36.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR22 entre Jan-1981 y Dic-1996	106
Tabla 4.37.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR22. Período Jan-1981 a Dic-1996	106
Tabla 4.38.- Cuartiles de las variables predictoras en la SRS2 entre Nov-1980 y Dic-2001	108
Tabla 4.39.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SRS2. Período Nov-1980 a Dic-2001	109
Tabla 4.40.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR6 entre Dic-1980 y Dic-1996	111
Tabla 4.41.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR6. Período Dic-1980 a Dic-1996	111
Tabla 4.42.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR20 entre Ene-1981 y Dic-1995	113

Tabla 4.43.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR20. Período Ene-1981 a Dic-1995	114
Tabla 4.44.- Cuartiles de las variables predictoras en la SRS3 entre Sep-1980 y Dic-2001.....	115
Tabla 4.45.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SRS3. Período Sep-1980 a Dic-2001	115
Tabla 4.46.- Cuartiles de las variables predictoras en la SRS1 entre Oct-1980 y Dic-1997	118
Tabla 4.47.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SRS1. Período Oct-1980 a Dic-1997	118
Tabla 4.48.- Cuartiles de las variables predictoras en la SRS4 entre Dic-1980 y Dic-1994	120
Tabla 4.49.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SRS4. Período Dic-1980 a Dic-1994.....	120
Tabla 4.50.- Resumen de la validación de las siete Subregiones Homogéneas evaluadas.....	123
Tabla 4.51.- Cuartiles de las variables predictoras en la SRS3	125

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Fig. 2.1. - Modelo simplificado de circulación general de la atmosfera.	18
Fig. 2.2. - Presión y vientos de superficie promedio entre 1959 y 1997 durante el mes de julio. .	20
Fig. 2.3. - Modelo simplificado de las corrientes de chorro subtropical y polar.....	21
Fig. 2.4. - Secuencia de tipos de sequía y sus efectos asociados.	23
Fig. 2.5. - Relación entre las sequías meteorológicas, agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas.	24
Fig. 2.6. - Componentes conceptuales empleados en la caracterización de un evento seco.	27
Fig. 2.7. - Relación entre la probabilidad de ocurrencia de un evento en una distribución gamma ajustada y el valor Z equivalente en una distribución normal estandarizada.	33
Fig. 3.1. - Regiones oceánicas que forman parte de la Unidad de Estudio.	40
Fig. 4.1. - Subregiones Homogéneas según la ocurrencia de anomalías pluviométricas.....	53
Fig. 4.2. - Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice NI12 en las ERs.....	62
Fig. 4.3. - Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice NI4 en las ERs.....	63
Fig. 4.4. - Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice NI34 en las ERs.....	64
Fig. 4.5. - Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice NI3 en las ERs.....	65
Fig. 4.6. - Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice ATLN en las ERs	65
Fig. 4.7. - Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice ATLS en las ERs.....	66
Fig. 4.8. - Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice ACAR en las ERs.....	67
Fig. 4.9. - Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice SOI en las ERs	68
Fig. 4.10. - Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice QBO50 en las ERs	69
Fig. 4.11. - Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice ZON200 en las ERs.....	69
Fig. 4.12. - Diagrama de flujo simplificado sobre la organización del sistema de pronóstico estacional de sequías meteorológicas, basado en el uso de los modelos probabilísticos asociados a las ERs.	127

Fig. 4.13.- Diagrama de flujo simplificado de la subrutina de validación y calibración del sistema de pronóstico estacional de sequías meteorológicas, basado en el uso de los modelos probabilísticos asociados a las ERs. 128

RESUMEN

SISTEMA PARA LA ALERTA TEMPRANA DE SEQUÍAS METEOROLÓGICAS EN VENEZUELA

Autor: MSc. Franklin Paredes

Tutor: Dr. Edilberto Guevara

Fecha: Junio 2011

Las sequías ocurren cuando las lluvias disminuyen o cesan durante varios días, meses o años. En el último quinquenio, sucedieron en Venezuela, varias sequías meteorológicas que impactaron negativamente los sectores hidrológico, hidroeléctrico y agrícola. Con el objeto de proveer a las instituciones que administran los recursos hídricos, una herramienta que alerte tempranamente este fenómeno climático y así confrontar sus impactos, se desarrolló y validó un modelo probabilístico condicional que advierte anticipadamente su ocurrencia en el país. Se usaron las series temporales pluviométricas de 632 estaciones administradas por entes públicos y privados. El Índice de Precipitación Estandarizado, SPI (por sus siglas en inglés: Standardized Precipitation Index) de McKee *et al.* (1993), se usó en la identificación de los eventos secos. Un Análisis de Componentes Principales junto a un Sistema de Información Geográfica (SIG) se usaron para delimitar Subregiones Homogéneas (SH) geográficamente continuas, según el SPI. En cada SH se seleccionó una estación representativa (Estación de Referencia, ER). Se aplicó un análisis de correlación cruzada a las series de SPI en las ER y las series temporales de ciertas anomalías; esta última, representada por 10 índices asociada a igual número de Variables Macroclimáticas (VM). Así, se identificó el desfase para el cual ocurre la mayor correlación lineal entre dichas series. Las 4 VM desfasadas, con mayor correlación lineal en cada ER, se organizaron en tres categorías (-1, 0 y +1), usando los cuartiles Q_2 y Q_4 como valores de truncamiento; las series SPI se catalogaron en cuatro clases: No Seca (NS), Moderadamente Seca (MS), Severamente Seca (SS) o Extremadamente Seca (ES) definidas por McKee *et al.* (1993). Se determinó la probabilidad condicional de ocurrencia (reglas de Bayes) de las cuatro clases del SPI mencionadas, según cada una de las 81 combinaciones que pueden presentar las 4 VM desfasadas. Los modelos generados en cada ER, se validaron con las series de SPI provenientes de 20 estaciones pluviométricas del Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Venezolana (no usadas anteriormente). Los resultados indican que los modelos tienen un porcentaje de acierto, promedio, del 83%. En general, el porcentaje de acierto de los eventos ES, tiende a ser directamente proporcional a la longitud de los registros considerados en el desarrollo del modelo. Por tanto, los modelos deben ser recalibrados en la medida que se cuente con nuevas mediciones, mejorando así, la asociación entre la estructura que presentan las señales de las VMs y la probabilidad de ocurrencia de los posibles estados del sistema (NS, MS, SS y ES).

Palabras claves: sequías, alerta temprana de sequías, Venezuela, índice SPI, pluviometría.

INTRODUCCIÓN

El último decenio se ha caracterizado por un aumento alarmante en la frecuencia y severidad de los desastres naturales. Bass *et al.* (2008), indican que 240 millones de personas, en promedio, han sido afectadas por desastres naturales en todo el mundo, cada año, entre los años 2000 y 2005. La sequía es una de las amenazas naturales que puede desencadenar un desastre; es el resultado de una disminución significativa de las precipitaciones en una localidad determinada, respecto a lo considerado “normal”, de modo que, cuando se extiende durante un largo período, afecta negativamente la oferta hídrica y genera un déficit que suele comprometer el abastecimiento urbano y del ambiente en general (Wilhite y Buchanan-Smith, 2005; Seth, 2003).

Las sequías han sido clasificadas como uno de los peligros individuales y naturales más grande en el planeta (Patrick, 2003; Askew y Rodda, 1996). Below *et al.* (2007), refieren que entre 1900 y 2004, las sequías causaron más del 50% de las muertes asociadas a desastres naturales; 35% de la población afectada por desastres y 7% de las pérdidas económicas; cifras, solo superada por las inundaciones y los terremotos. El impacto económico de las sequías probablemente sea mayor, pues existen impactos indirectos más difíciles de evaluar que los impactos directos (Ponvert-Deslisles *et al.*, 2007). A diferencia de otros eventos climáticos, como las inundaciones, las heladas, los huracanes o los tornados, que suelen afectar en un momento y lugar definido, las sequías poseen patrones difíciles de determinar respecto a su duración o área de influencia; esta última, suele ser mucho mayor que en los eventos mencionados (Seth, 2003).

El territorio venezolano ha sido afectado por sequías en varias ocasiones. Entre 1997 y 1998, ocurrió una sequía que redujo 55% el caudal de aporte a la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar (antiguamente, Gurí); en 2001, 2002, 2003 y 2007 sucedieron temporadas secas muy extremas que redujeron las reservas hídricas en los principales embalses situados en Los Llanos y la región Centro Costera, afectando severamente los sectores agrícola, hidrológico e hidroeléctrico. En el año 2010, sobrevino una sequía que obligó al Gobierno Nacional a racionar el consumo eléctrico en la mayor parte de la nación. Lo anterior, revela el alto grado de vulnerabilidad del país frente a este fenómeno climático.

El análisis de las sequías está sometido a un limitante común: la incertidumbre en la predicción de su ocurrencia. A pesar de ello, existen numerosas aproximaciones tendientes a comprender la dinámica de este fenómeno, desde indicadores de diversa resolución espacial y temporal

hasta complejos modelos de simulación que complementan los sistemas de alerta temprana. La mayoría de estas herramientas están en fase experimental, por tanto, su uso no se ha generalizado en Sudamérica (Heim, 2002; Loukas y Vasiliades, 2004; Sánchez, 2011; Paredes y Guevara, 2010). En Venezuela, la necesidad de desarrollar un sistema de alerta temprana contra la sequía y otros eventos meteorológicos extremos fue planteada, en principio, en el Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y Mitigación de la Sequía de la República Bolivariana de Venezuela (MARN, 2004); a la fecha, no existe un sistema nacional para la alerta temprana de sequías.

El análisis espacial y temporal de las sequías requiere de una red de estaciones pluviométricas bien distribuidas desde el punto de vista espacial, así como series temporales continuas y de larga duración (Kalma y Franks, 2003; Nuñez y Verbist, 2010). En el territorio venezolano, los registros pluviométricos continuos y de larga duración, son escasos. Gran parte de las estaciones climáticas están fuera de servicio, por tanto, amplias regiones del país carecen de información pluviométrica. En Venezuela, las precipitaciones varían temporal y espacialmente, debido en parte, a la influencia de factores climáticos sinópticos como, El Niño-Oscilación del Sur. Para superar estas limitaciones, se consideró conveniente usar estaciones de referencia localizadas en subregiones pluviométricamente homogéneas. En cada estación de referencia, se desarrolla un modelo probabilístico de tipo bayesiano, que genera un pronóstico sobre las condiciones prevalecientes en el tiempo meteorológico durante un mes en particular. La validación parcial de estos modelos, indica que son una alternativa para evaluar, estimar y mapear la probabilidad de ocurrencia de eventos secos a escala mensual.

El presente documento constituye el informe de los resultados, el mismo se ha estructurado de la siguiente manera: el Capítulo 1 se centra en el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos de la investigación; el Capítulo 2 trata de los antecedentes de la investigación, fundamentos teóricos relacionados con el monitoreo y seguimiento de sequías, entre otros elementos conceptuales; el Capítulo 3 detalla los aspectos metodológicos; el Capítulo 4 se expone y analizan los resultados. Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA

1.1.- Planteamiento del problema

El clima como una manifestación media de los elementos meteorológicos, es variable. Esta variabilidad es de mayor o menor magnitud según la ocurrencia de procesos naturales (variabilidad interna) o el forzamiento antropógeno (variabilidad externa). El elemento más variable del clima es la precipitación; con sus dos extremos, alta pluviosidad y sequía. La sequía es un estado relativo y transitorio que ocurre en cualquier régimen climático (regiones muy húmedas o muy áridas). Cuando la magnitud de los registros pluviométricos, en un lugar determinado, es persistentemente inferior al promedio histórico durante un tiempo prolongado, se establece una sequía meteorológica (ONU, 1994). En líneas generales, la sequía meteorológica es consecuencia de una anomalía a escala sinóptica en los patrones de circulación atmosférica (Escalante, 2003; Sene, 2010).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en idioma inglés), en el cuarto informe, publicado en 2007, indica que la superficie afectada por las sequías, a nivel mundial, aumentó desde la década del 70. El IPCC pronostica que en el corto y mediano plazo, el Calentamiento Global hará que las áreas afectadas por sequías aumenten en extensión, repercutiendo negativamente en múltiples sectores: agricultura, suministro hídrico, producción de energía y salud (IPCC, 2007).

Sudamérica como región, fue afectada en el último decenio por la ocurrencia de varias sequías extremas. Entre 1997 y 1998, ocurrió en Venezuela, una sequía que redujo un 55% el caudal aportante a la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar (antiguamente, Gurí); en 2010, ocurrió una sequía tan severa, que el Gobierno Nacional implantó un racionamiento eléctrico en la mayor parte del país; en 2001, 2002, 2003 y 2007 se sucedieron temporadas secas muy extremas que mermaron las reservas hídricas en los principales embalses situados en Los Llanos y la región Centro Costera. En 2005, el suroeste de la Amazonia estuvo expuesto a la sequía más extrema de los últimos 40 años; los ríos se secaron totalmente (Marengo *et al.*, 2008). En 2009, una persistente sequía en Colombia generó múltiples incendios forestales que destruyeron unas 13 000 hectáreas de bosques y cultivos. A finales del 2010, Uruguay y Argentina declararon un estado de emergencia nacional debido a una severa sequía que afectó a ambas naciones, al mismo tiempo, en Bolivia (Chuquisaca) ocurrió una sequía que impactó directamente el sector bovino.

Los extremos pluviométricos (sequías e inundaciones) se han relacionado con la ocurrencia de una de las fases, muy cálida o muy fría, del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Se conjetura que las anomalías más extremas en los subsistemas océano y atmósfera, influyen la distribución de las lluvias, tanto espacial como temporalmente. En el territorio venezolano, esta relación de causalidad es referida por varios autores (Cárdenas *et al.*, 2002; Paredes *et al.*, 2007; Mendoza y Puche, 2005); algunos, sugieren que las variables macroclimáticas, expresadas como anomalías estandarizadas, pueden ser usadas para pronosticar la ocurrencia de sequías meteorológicas (Martelo, 2005; Paredes y Guevara, 2008; Guevara y Paredes, 2007).

Venezuela, es un país que posee abundantes recursos hidráulicos, pero su explotación es limitada; por la desigual distribución de las lluvias en el país. Al sur del río Orinoco (Macizo de Guayana), la oferta hídrica supera ampliamente la demanda, por lo que los aprovechamientos se realizan sin comprometer la demanda futura ni ocasionar conflictos entre los diferentes usuarios; en esta región la precipitación anual oscila entre 2400 y 4400 mm. Por el contrario, el litoral costero y el sistema montañoso de la costa poseen tal grado de desarrollo, que la disponibilidad no satisface la ingente demanda hídrica; en esta región la precipitación anual no supera los 2000 mm. Al norte del río Orinoco se concentran casi el 95% de los embalses del país, los cuales se localizan en cuencas donde prevalecen climas áridos o semi-áridos, por lo que son muy vulnerables a la ocurrencia de sequías. Los Llanos (el 25% de la superficie del país) son especialmente vulnerables a la ocurrencia de sequías, debido a que allí están las mayores unidades de producción de cereales (maíz, arroz y sorgo) del país. El sector agroindustrial se surte de esta materia prima para producir una amplia variedad de alimentos de consumo masivo, como harina de maíz, arroz blanco y sus derivados. Los cereales son cultivos de secano, por ello al disminuir o cesar las lluvias durante varios días o meses, se afecta la producción, el mercado de los cereales y sus subproductos. Ante este escenario, el Instituto Nacional de Desarrollo Rural [INDER], propició la construcción y rehabilitación de los sistemas de riego en Los Llanos a fin de asegurar la producción de cereales. No obstante, gran parte de las pequeñas unidades de producción no tienen acceso a los sistemas de riego, por lo que cultivan bajo secano; sus rendimientos dependen de la variabilidad climática (MAT, 2008). De acuerdo con Ovalles *et al.* (2007), solo 5.7% del aprovechamiento agrícola de las tierras venezolanas se realiza bajo riego; en consecuencia, la producción es altamente vulnerable a la ocurrencia de sequías extremas.

El Estado venezolano, en 1998 se adhirió a la convención de la Organización de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación y mitigación de la sequía, adquiriendo el compromiso de presentar un programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y mitigación de la sequía. En 2002, el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA, anteriormente MARN) creó el Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y Mitigación de la Sequía de la República Bolivariana de Venezuela (MARN, 2004), donde se plantea, entre otros aspectos, la necesidad de desarrollar un sistema de alerta temprana contra la sequía y otros eventos meteorológicos extremos. En el año 2001, ningún ente gubernamental había creado o implementado un sistema oficial de alerta temprana de sequías con ámbito nacional, sin embargo, el inameh (SEMETAVIA) en conjunto con el Observatorio Nacional de Eventos Extremos (ONEE) de la Universidad del Zulia usan, de forma experimental, la herramienta Climate Predictability Tool (CPT) desarrollado por el Instituto Internacional de Investigación para la Predicción Climática y Sociedad (IRI), para elaborar un pronóstico estacional trimestral de la precipitación y la temperatura de Venezuela. El CPT se fundamenta en tres métodos estadísticos: análisis de correlación canónica, regresión por componentes principales y, regresión lineal múltiple. La variable predictora es la temperatura de la superficie del mar en la región Niño 3 del Pacífico, Atlántico Norte y Sur y, Mar Caribe del mes anterior al trimestre que se pronostica; extraída de la librería del IRI y disponible en su portal web (CIFEN, 2010). El SEMETAVIA genera mensualmente, un mapa temático con isoregiones de probabilidad de precipitación para el trimestre evaluado. El CPT no considera ninguna variable predictora asociada al subsistema atmósfera.

Por las consideraciones expuestas y con la finalidad de confrontar el fenómeno de las sequías meteorológicas en Venezuela, surge la necesidad de desarrollar una herramienta que pueda integrarse a un Sistema para la Alerta Temprana de Sequías Meteorológicas (SATSM). El SATSM permitirá identificar con antelación las zonas más susceptibles a la ocurrencia de sequías extremas, en consecuencia permitirá establecerse las medidas de contingencia necesarias en aras de mitigar las pérdidas económicas, el desabastecimiento, las perturbaciones en el circuito agroalimentario y prevenir la falla de los sistemas de abastecimiento hídrico poblacional y de generación hidroeléctrica.

1.2.- Justificación de la investigación

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), en el Artículo 305, establece que la producción de alimentos es de interés nacional y fundamental para el desarrollo económico y social de la Nación. Esta producción depende de la disponibilidad de agua pluvial, la cual permite la recarga de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos, de donde se abastecen los sistemas de riego.

La crisis eléctrica del 2010, se debió en parte, a una persistente sequía meteorológica en la cuenca del río Caroní, que afectó la generación hidroeléctrica del país, al tiempo que incidió en la reducción de los niveles en los embalses que surten los acueductos de las principales ciudades de Venezuela. Este evento reveló que el agua pluvial es estratégica para los sectores hidroeléctricos, agrícolas e hidrológicos. Las sequías recurrentes, también acelera el proceso de desertificación, especialmente en zonas áridas y semiáridas. En el 2004, el Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y Mitigación de la Sequía de Venezuela, indica que un 11% del territorio nacional presenta tierras degradadas como consecuencia de este proceso (MARN, 2004); la desertificación conduce a la pérdida de la capacidad de producción de la tierra.

Por lo expuesto, las investigaciones que conducen al desarrollo de modelos como lo que se presentan en este trabajo, se justifican plenamente.

1.3.- Alcances y limitaciones de la investigación

La investigación abarca todo el territorio nacional. El alcance temporal está condicionado por la longitud de los registros pluviométricos disponible.

1.4.- Objetivos de la investigación

1.4.1.- Objetivo general de la investigación

Desarrollar un modelo probabilístico para la predicción estacional de sequías meteorológicas en Venezuela.

1.4.2.- Objetivos específicos de la investigación

1. Regionalizar las anomalías pluviométricas en Venezuela.
2. Caracterizar la correlación entre las anomalías pluviométricas en Venezuela y las anomalías en los subsistemas océano-atmósfera a escala sinóptica.

3. Desarrollar los modelos probabilístico de predicción estacional.
4. Validar los modelos probabilístico de predicción estacional.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1.- Antecedentes de la investigación

2.1.1.-Ámbito internacional

Las sequías han afectado la humanidad a lo largo de la historia, no obstante su estudio sistemático se remonta a la década de 1960. Uno de los pioneros en este campo fue Palmer (1965), quien consideró la sequía un fenómeno estrictamente meteorológico, caracterizado por anomalías climáticas que crean deficiencias de humedad, anormalmente prolongadas. Palmer, desarrolló un método para evaluar dichas anomalías, con un índice al que denominó Palmer Drought Severity Index (PSDI). El PSDI se basa en un balance mensual de humedad serial usando los registros de precipitación, temperatura y la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo. En un principio, Palmer aplicó el PSDI a la caracterización de las sequías en el oeste de Kansas, región central de Iowa y noroeste de Dakota del Norte (Estados Unidos). El PSDI es usado por el Centro Nacional de Datos Climáticos (National Climate Data Center) de Estados Unidos como insumo para generar mapas temáticos de uso público, monitoreando y alertando sobre la ocurrencia de sequías.

Palmer (1968), formuló el índice CMI (Crop Moisture Index) para estimar semanalmente las condiciones de humedad en regiones de cultivos. El CMI emplea la precipitación y la temperatura media. El CMI permite caracterizar los eventos secos de rápida ocurrencia. El PSDI y el CMI se establecieron como los índices más importantes para monitorear y alertar la ocurrencia de sequías agrícolas. No obstante, Alley (1984), cuestionó el uso del PSDI por hacer uso de reglas arbitrarias en el cálculo de la intensidad e identificación del inicio y fin de las sequías agrícolas, sin embargo admitió que en tanto no se superaran sus deficiencias, era idóneo para evaluar este tipo de sequías; cabe destacar que cuando la precipitación y la temperatura poseen anomalías (magnitudes) parecidas, el PSDI generaba conclusiones ambiguas en torno a las variaciones climáticas (Hu y Willson, 2000). A pesar de sus limitaciones, el PSDI se considera el mejor índice para valorar el impacto de las sequías meteorológicas sobre las condiciones de humedad del suelo (Wilhite, 1999).

A finales de la década del 60, surgió un enfoque novedoso para caracterizar la ocurrencia de períodos secos en los ríos (sequía hidrológica). Un período seco se define como una racha o secuencia ininterrumpida de observaciones menores o iguales que un valor de referencia,

precedida y seguida por, al menos, una observación mayor que el nivel de truncamiento. Esterasgo se usó para modelar la duración de las rachas con modelos probabilísticos teóricos. Yevjevich (1967), como precursor de esa técnica, analizó los períodos secos y no secos de series de caudales anuales, ajustando la serie de rachas generadas a una distribución geométrica, estimando los parámetros de la distribución e incorporando técnicas propias del análisis de series temporales (modelos autoregresivos) para predecir la ocurrencia de sequías hidrológicas (Saldariaga y Yevjevich, 1970).

La teoría de rachas fue adaptada a sequías meteorológicas por Moyé *et al.* (1988), quienes aplicaron los aportes de Yevjevich y ecuaciones en diferencias a series anuales de precipitación (Texas, Estados Unidos). Desarrollaron una distribución de probabilidad que estimaba el número esperado de eventos secos con un período de tiempo y duración determinados. Esta técnica caracterizaba la duración de los episodios secos, pero no daba información sobre el déficit e intensidad de la sequía. Esa limitante fue resuelta parcialmente por Griffiths (1990), quien propuso un modelo que ajustaba las rachas secas de una serie de precipitación mensual (Nueva Zelanda), al tiempo que caracterizaba el déficit asociado a las rachas con una distribución Gamma. Su formulación permitió estimar las propiedades de la racha de mayor longitud y el máximo déficit esperado para un período de tiempo determinado.

En investigaciones subsecuentes sobre sequías meteorológicas e hidrológicas, se utilizó la teoría de rachas y diversos modelos probabilísticos teóricos, siguiendo dos vertientes: 1) métodos de excesos sobre umbrales; asume que la ocurrencia de un fenómeno extremo se ajusta a la distribución Poisson (Madsen *et al.*, 1994; Madsen y Rosbjerg, 1998); 2) modelos de renovación alternante; caracterizan simultáneamente los períodos secos y no secos (Kendall y Dracup, 1992). A principios de siglo, el análisis de sequías (en especial la hidrológica), se ha centrado en la estimación de su período de recurrencia (Shin y Salas, 2000; Shiao y Shen, 2001), incorporando métodos numéricos de gran complejidad, tal como parámetros univariados y multivariados (Kim *et al.* 2003), probabilidad bivariada (González y Valdés, 2003), redes neuronales con transformación de onda bivalente (Shin y Salas, 2000; Kim y Valdés, 2003), modelos ARIMA y de Markov en estado oculto (Rasmussen y Akintug, 2004), modelo estocástico de corta duración (Salas *et al.*, 2005), modelos no-lineales multivariado basado en redes neuronales perceptrón multicapa (Rivera, 2006).

Finalizando la década de 1960, surgieron índices alternativos a los ya estandarizados PDSI y CMI. Gibbs y Maher (1967), crearon un índice basado en cuantiles, así el valor de una serie pluviométrica que es menor que un porcentaje f de los valores de la serie y , mayor que un porcentaje $(100 - f)$ de dichos valores, constituye el cuantil f de la serie; por ejemplo, el primer decil es la lámina de precipitación por debajo de la cual se encuentran el 10% de los casos, el segundo decil es el valor de precipitación por debajo del cual se encuentra el 20% y así sucesivamente hasta el décimo decil, por debajo del cual se encuentra el 90% de los registros. Los deciles obtenidos de esta manera se agrupaban en cinco clases que permitían clasificar el evento desde muy por debajo de lo normal a muy por encima de lo normal. Steila (1972), formuló un índice de sequía para Arizona (Estados Unidos), basado en un balance de humedad del suelo que incluyó la precipitación, la evapotranspiración, el cambio y el exceso de humedad. La evapotranspiración real se relacionó con la evapotranspiración potencial; esta última se calculó con el método de Thornthwaite. En líneas generales, el índice monitorea la diferencia de almacenamiento de humedad del suelo (en un momento dado) respecto al promedio del almacenamiento de la humedad del suelo durante ese mes. McKee *et al.* (1993), desarrollaron el índice SPI (Standardized Precipitation Index), que se basa en agrupar los registros de precipitación mensual en trimestres, semestres o años, ajustar la serie generada a una función de distribución de probabilidad Gamma Incompleta y seguidamente normalizarla con una función normal inversa (denominada Gaussiana); el valor así obtenido es el SPI, que luego se contrasta con una escala de siete niveles para valorar la intensidad del evento (desde extremadamente húmedo a extremadamente seco). Wilhite (1999) introdujo el concepto de Precipitación Efectiva (PE) en la creación de un índice alternativo para cuantificar en forma objetiva la severidad y duración de las sequías. La PE resultaba de la sumatoria de la precipitación diaria afectada por una función de reducción dependiente del tiempo. Wilhite emplea la PE en los altiplanos de Estados Unidos, concluyendo que era más preciso que los índices tradicionales en la determinación de la duración de la sequía y en el monitoreo de sequías prolongadas. Las mejoras en la resolución espacial y temporal de los sensores satelitales introducidas en la década del 2000 han permitido usar los cambios y distribución espacial de la vegetación como índice del impacto de las sequías sobre el medio biológico. El índice con mayor uso fue el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index); destacan los aportes de Bounoua *et al.* (2000), Melesse *et al.* (2001), García (2004), Vicente-Serrano (2007), Erasmi *et al.* (2009) y Karnieli *et al.* (2010).

Posteriormente surgieron índices de mayor complejidad para monitorear la ocurrencia de sequías; sin embargo, la frecuencia del uso de estos índices depende de la disponibilidad de series larga de precipitación, debido a que es la única variable hidrológica disponible y confiable en algunos países, como por ejemplo, Turquía (Komuscu, 1999), Irán (Raziei *et al.*, 2009), España (Vicente-Serrano, 2006), o en general, Sudamérica (Minetti *et al.*, 2010).

Un problema que limitó el análisis espacio-temporal de las sequías fue la deficiente distribución espacial de las estaciones climáticas en algunos países. En principio, Guttman (1993) plantea el uso de la técnica estadística L-momentos para identificar la ocurrencia de regiones homogéneas según la distribución de frecuencia de la precipitación anual; en zonas áridas o montañosas no se obtiene una eficiente regionalización. La técnica de L-momentos fue perfeccionada e implementada como método de regionalización por Guttman *et al.* (1993), Dewar y Wallis (1999) y Nuñez y Verbist (2010). Burke y Rao (2000), crearon regiones homogéneas a partir de los registros mensuales de PSDI, precipitación y temperatura de Illinois, Indiana y Ohio (Estados Unidos), empleando un análisis de componentes principales rotados y no rotados. Ambas contribuciones son herramientas eficientes para regionalizar los eventos de sequías (Gutiérrez *et al.*, 2004; Modarres, 2010).

Durante la década del 90, se evidenció una causalidad entre las sequías más severas y la ocurrencia de ciertos fenómenos a escala sinóptica. Cook *et al.* (1997) reportaron que las sequías extremas al oeste de Estados Unidos seguían un patrón cuasi-cíclico de unos 20 años, vinculado a la actividad solar y reforzada por la influencia lunar sobre las mareas. Rajagopalan *et al.* (2000) evaluaron las sequías de verano en Estados Unidos durante el siglo XX con relación a las fases de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y la Temperatura Superficial de los Océanos (SST). Las sequías, el ENSO y la SST presentan una relación no lineal y no estacionaria. En las tres primeras décadas del siglo XX, las sequías de verano varían con la SST, y esta última, con las fases de ENSO (El Niño/La Niña); especialmente en el suroeste de Texas y centro-oeste de Estados Unidos. Entre 1930 y 1950, la señal se extendió hasta el suroeste de Arizona. En las tres décadas finales, la influencia disminuyó en el suroeste de Texas y Arizona, al tiempo que la señal de la SST del Pacífico se invirtió en el oeste de Estados Unidos y suroeste de California. El año siguiente, Barlow *et al.* (2001) refirieron que la Oscilación Decadal del Pacífico se asocia a la ocurrencia de sequías en Estados Unidos y las anomalías en los patrones de presión sobre el Golfo de México. King *et al.* (2009) encontraron que el ENSO en Estados Unidos, ejerce su

mayor impacto en el suroeste, las Grandes Planicies y la cuenca baja del río Colorado, la fase fría del ENOS favorecía la ocurrencia de sequías. En la costa este y el sureste, el impacto de ENOS es pequeño porque las respuestas de la precipitación ante los eventos ENSO son de signo opuesto durante el invierno y el verano. En estas zonas, un ENSO prolongado no necesariamente generaba sequías o períodos húmedos. Estos autores señalaron que la Oscilación Multidecadal del Atlántico modulaba el impacto de ENOS sobre la sequía; la influencia era notablemente significativa cuando la temperatura superficial del Pacífico tropical y Atlántico Norte tienen fases opuestas. La influencia del ENSO sobre la ocurrencia de sequías, es tal, que Nazemosadat y Ghasemi (2004) evidenciaron su efecto sobre la ocurrencia e intensidad de los períodos secos y húmedos en Irán durante el otoño e invierno boreal. Por otro lado, Cancelliere *et al.* (2007) encontraron para las últimas décadas, en Sicilia (Italia), una correlación negativa significativa entre índice de Oscilación del Atlántico Norte [NAO] y el SPI. Esta relación de causalidad se denominó, en el campo de las ciencias atmosféricas, teleconexiones, y explicaron el origen de algunas sequías hidrológicas extremas (Ponce *et al.*, 2000; Anderson *et al.*, 2000; Tootle y Piechota, 2003).

En la región sudamericana, existen algunas teleconexiones estadísticamente significativas, entre el SPI y ciertos índices oceánico y atmosféricos, por ejemplo, el NINO3.4 (anomalía térmica superficial del Pacífico en la región Niño 3.4) se asocia negativamente con el SPI al norte del continente y positivamente al sur (Giddings y Soto, 2006). Recientemente, Mo y Berbery (2011), refieren que las sequías extremas incrementan su recurrencia al noreste de Brasil, las Guayanas, la costa occidental de Colombia, Ecuador y Perú. En base a los resultados del modelo NCAR CAM3.5, sugieren que la fase fría (o caliente) del ENSO favorece la ocurrencia de abundantes lluvias (o estaciones muy secas) en Venezuela, Colombia y el noreste de Brasil, mientras que en el sudeste de territorio sudamericano y el sur de la República Argentina favorece la ocurrencia de períodos muy secos (o muy húmedos). Las anomalías térmicas superficiales del Atlántico Norte (SST-NTA) solo ejercen una influencia de importancia, al norte de la región sudamericana, entre marzo y mayo. El impacto (bajo la forma de sequía o temporadas muy húmedas) es más intenso cuando el ENSO y la SST-NTA están en fases opuestas; durante la fase fría (o caliente) del Pacífico y cálida (o fría) del Atlántico Norte, las sequías son muy severas (o muy húmedas) en el sureste de América del Sur, mientras que al norte, ocurren abundantes

lluvias (o sequías). En general, los cambios en los patrones pluviométricos son localizados y suelen ser de leves a moderados cuando ambos océanos están cálidos (o fríos).

El impacto que ocasiona las sequías recurrentes a la sociedad, ha obligado a las instituciones estatales y privadas, a dedicar importantes esfuerzos monetarios e intelectuales con el objeto de realizar su adecuado monitoreo y pronóstico. Así, por ejemplo, Australia, desde 1965, cuenta con un sistema de vigilancia de las sequías administrado por la Oficina Meteorológica, basado en el uso de deciles sobre la lluvia acumulada durante meses sucesivos para identificar las regiones con déficit o exceso de lluvia; en 2005, estableció el Sistema Nacional de Vigilancia Agrícola bajo la dirección de la Oficina Australiana de Ciencias Rurales, en colaboración con la Oficina Australiana de Meteorología y la Organización de Investigaciones Científicas e Industriales de la Commonwealth.

El Centro sobre el Clima de Beijing (CCB) desde 1995 viene usando el índice SPI para alertar la aparición y monitorear el desarrollo de sequías en China a intervalos de 10 días; entre 1995 y 1999, desarrolla un nuevo sistema de vigilancia y alerta temprana de la sequía con periodicidad diaria, basado en un denominado “índice completo” formulado por el CCB, en función del índice SPI (agrupado en 30 y 90 días) y la evapotranspiración potencial. El referido índice se complementó con el monitoreo de la humedad de los suelos (medida con una red de estaciones de meteorología agrícola) y la teledetección (a cargo del Centro Satelital de la Administración Meteorológica de China).

En EE.UU. mediados de 1999, el Departamento de Agricultura, el Centro de Predicción Climática del Servicio Nacional de Meteorología y el Centro Nacional de Mitigación de la Sequía de la Universidad de Nebraska (National Drought Mitigation Center; NDMC) crean un sistema de monitoreo denominado, “Vigilancia de Sequías” (U.S. Drought Monitor o simplemente USDM por sus siglas en inglés). El USDM engloba indicadores meteorológicos (PSDI o CMI y porcentaje de la precipitación media), edafológicos (humedad en el suelo), hidrológico (percentil del caudal diario) y biológico (índice satelital de salud de la vegetación). El NDMC publica en su portal web, mapas temáticos a diferentes escalas temporales que indican el impacto de las sequías sobre la agricultura, el medio ambiente, los incendios forestales, los reservorios hidroeléctricos y de abastecimiento urbano, entre otros. El USDM es uno de los sistemas más amplios, pues considera la totalidad de EE.UU. continental y sus territorios en el Pacífico y Puerto Rico; sin embargo,

Svoboda (2000), señala que la mayor limitante del USDM radica en su escala de trabajo (muy grande), por lo que si se requiere hacer inferencia de zonas particulares, deben emplearse los indicadores tradicionales en tales zonas.

En el año 2002, EEUU, México y Canadá establecen un programa conjunto que engloba el Centro Nacional de Datos Climáticos de la NOAA, Centro Nacional de Mitigación de Sequías y Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América; Comisión Nacional del Agua de México; Ministerio del Medio Ambiente y, Agricultura y Agroalimentación de Canadá. Los productos del programa tienen una periodicidad mensual y opera como un sistema de vigilancia de sequías en América del Norte (NADM por sus siglas en inglés).

En 2003, Nairobi (África) implementó el Centro de Predicción y de Aplicaciones Climáticas de la Autoridad Intergubernamental sobre el Desarrollo (ICPAC), con la participación de Burundi, Djibouti, Etiopía, Eritrea, Kenya, Rwanda, Somalia, Sudán, República Unida de Tanzania y Uganda. El ICPAC es responsable de la vigilancia y predicción del clima, de las alertas tempranas y otras aplicaciones orientadas a reducir los riesgos vinculados al clima en esa región. Al igual que el USDM de EEUU, el ICPAC elabora boletines sobre el clima cada 10 días, mensual y estacionalmente, también provee información oportuna para la emisión de alertas tempranas sobre la evolución de los valores climáticos extremos y sus efectos.

Otros países han avanzado en el desarrollo de sistemas de alerta temprana de la sequía (SATS), por ejemplo, en Sudáfrica, el servicio meteorológico cuenta con una oficina de vigilancia de la sequía, que utiliza el índice SPI para la generación de diversos productos temáticos y diagramáticos. Portugal, por medio del Instituto de Meteorología, monitorea sus sequías con índice PDSI; adaptado y calibrado a las condiciones climáticas del país.

En Sudamérica y el Caribe existen avances importantes en materia de SATS. Cuba posee un sistema de monitoreo nacional de sequía basado en una serie de índices, entre los que destacan, SPI, percentiles, rachas y déficit-exceso. A partir de estos índices, generan mapas temáticos que difunden en boletines, páginas web, entre otros medios a los usuarios potenciales. El SATS cubano se ha implementado experimentalmente en Uruguay, Dominica y Ucayali (Perú).

El Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), con sede en Guayaquil (Ecuador), genera un pronóstico estacional para el oeste de Sudamérica en conjunto con los servicios meteorológicos e hidrológicos de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia,

Chile y Argentina. En líneas generales, el procedimiento que usa el CIIFEN comprende las siguientes etapas: 1) cada país genera el pronóstico probabilístico con la Herramienta de Predicción Climática, CPT (por sus siglas en inglés); 2) los resultados de los análisis (terciles) son enviados a CIIFEN a partir del día 10 de cada mes; 3) la información es recopilada, organizada y procesada mediante modelos estadísticos, dando como resultado un maparegional con el pronóstico estacional; 4) se envía el boletín a los países involucrados para su discusión; 5) se busca un consenso y por ultimo; 6) se procede a la publicación del boletín.

Adicional a la integración regional promovida por el CIIFEN, cada país ha adaptado y perfeccionado nuevas herramientas para el pronóstico estacional de las sequías. En el año 2000, el Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) de Argentina, desarrolla un sistema experimental de monitoreo de las sequías utilizando redes neuronales; el monitoreo se inicia en la pradera pampeana y desde del 2010 se extiende al resto del país. El Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC) de Chile, adaptó una metodología para elaborar mapas temáticos de sequías meteorológicas según su período de recurrencia en regiones áridas y semiáridas, basado en el método de L-momentos. El CAZALAC ha transferido su conocimiento a otros países de la región en el marco del proyecto Euroclima auspiciado por la Joint Research Center de la Unión Europea. Por otro lado, el Instituto de Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) publica periódicamente un informe que muestra una predicción de la intensidad y recurrencia de las precipitaciones. El IDEAM lleva a cabo modelamiento dinámico (modelo global CAM y modelos regionales CWRF y CMM5) y modelamiento estadístico (modelo correlación canónica con la herramienta CPT). El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) publica en su portal web, un boletín mensual de ocurrencia de eventos extremos (sequías y heladas) en las principales cuencas hidrográficas del país. Este informe contiene mapas temáticos con la distribución espacial de un índice de humedad que relaciona la precipitación, la evapotranspiración referencial y la disponibilidad de humedad en el suelo. Recientemente, las universidades nacionales, Pedro Ruíz Gallo y Mayor de San Marcos, desarrollan un sistema experimental de detección temprana de sequía en la costa norte de Perú, usando como predictores la temperatura, la salinidad del suelo y el índice NDVI. En el nordeste de Brasil, se están validando algunos modelos de previsión de sequías basados en diagramas de probabilidad condicional y, otros fundamentados en el uso de redes neuronales.

Los Modelos de Circulación General Acoplados Atmósfera–Océano (MCGAAO) constituyen una herramienta computacional que ha permitido dar un gran avance en el pronóstico de sequías meteorológicas. Las primeras aportaciones en esta área se inician en la década del 90. Nagai *et al.* (1992) desarrollan un modelo de circulación general que acopla los sub-sistemas océano y atmósfera y, modela el fenómeno ENSO en sus fases fría (La Niña) y cálida (El Niño). El componente atmosférico del modelo cuenta con 5 niveles verticales y una grilla de $4^\circ \times 5^\circ$ (latitud-longitud) en el nivel horizontal. El componente oceánico se localiza sobre el Pacífico ecuatorial, contiene 19 niveles verticales y grillas de $1^\circ \times 2.5^\circ$ en la horizontal. Este MCGAAO, modela la variación interanual de la radiación solar como agente forzador de ENSO. Los MCGAAO sucesivos incrementan su complejidad al incorporar nuevos procesos físicos en los subsistemas océano, atmósfera y las teleconexiones (DeWitt, 2005; Jianjun y Stouffer, 2007). El uso de los MCGAAO es muy limitado porque requieren de una enorme plataforma computacional, disponible sólo en algunos centros de investigación climática, tales como: el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR en Boulder, Colorado, EE.UU.), el Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos (GFDL, en Princeton, Nueva Jersey, EE.UU.), el Centro Hadley para la Predicción del Clima y la Investigación (en Exeter, Reino Unido), el Instituto Max Planck de Meteorología en Hamburgo, Alemania, por citar algunos. Según Prudhomme *et al.* (2002), la precisión y fiabilidad de los modelos MCGAAO decrece con el incremento de la escala (incremento de la resolución); si bien su validez es razonable en áreas homogéneas y extensas, no captan los matices espaciales de las escalas regionales y locales. Este problema se agrava en regiones áridas o semiáridas, con lluvias estacionales y gran variabilidad espacial y temporal (Wilby y Wigley, 2000)

2.1.2.-Ámbito nacional

En Venezuela no hay muchos estudios detallados sobre la ocurrencia y dinámica de las sequías meteorológica, agrícola e hidrológica. En cuanto a sequías hidrológicas; Ojeda y Espinoza (1985) desarrollan una técnica para caracterizar sequías hidrológicas en base al análisis estadístico de los caudales mínimos. Usan las series de gastos (mínimo anual, semestral y diario) de algunos ríos situados al sur del río Orinoco. Evalúan la independencia, aleatoriedad, homogeneidad y la tendencia de las series, seguidamente contrastan su ajuste a varias Funciones de Distribución de Probabilidad Teórica (FDPT). El mejor ajuste se logra con la FDPT Gumbel Tipo III, dada su asimetría positiva; seguida por la Log-Normal y la Pearson Tipo III. Guevara (1992) describe la

formulación teórica del análisis de sequías hidrológicas, bajo dos enfoques: 1) eventos extremos, donde asume que el gasto mínimo es una variable aleatoria independiente y la ajusta a las FDPT Log-Normal y Weibull; 2) procesos estocásticos de variable aleatoria dependiente, donde los períodos secos de diferentes duraciones, se ajustan a series geométricas y logarítmicas. Paredes *et al.* (2006) caracterizan las sequías hidrológicas del río Tirgua ajustando las rachas secas a una función dependiente de la duración del evento y su período de recurrencia.

En cuanto a las sequías agrícolas, Mendoza *et al.* (2007) evalúan la influencia de la capacidad de almacenamiento del suelo en la mitigación de los efectos que ocasionan los eventos de sequía agrícola, determinada esta última con el índice PDSI; concluyen que los suelos de la serie Chaguaramas I, tiene una mayor probabilidad de tener PDSI divergentes, durante la ocurrencia de un evento seco.

A propósito de las sequías meteorológicas, Ibarra y Mendoza (2004) evalúan las sequías meteorológicas en la cuenca alta del río Guárico, calculando el índice PDSI en las estaciones Camatagua (período 1971-1997), San Sebastián (período 1970-1997) y San Juan (período 1970-1985); identifican la ocurrencia de un evento extremo entre junio de 1971 y diciembre de 1977. Mendoza y Puche (2007) caracterizan las sequías meteorológicas en varias localidades de Venezuela, según la intensidad, la magnitud y la duración, utilizando los índices deciles y SPI agrupados en períodos mensual, trimestral y anual. Usan 64 estaciones al norte del río Orinoco (período 1950-1998) y 18 al sur (período 1969-1998). Para cada índice y período de agrupación determinan el porcentaje de estaciones con sequía (PE) y para los años de gran PE, elaboran mapas para describir el patrón espacial de las áreas afectadas por sequía. En general, concluyen que en el año 1973 ocurrió un gran PE en todos los períodos de agrupación de ambos índices, sin embargo, no identifican un patrón en el PE a lo largo del año. Maracara y Mendoza (2007) describen la interrelación entre la sequía meteorológica y el caudal medio del río Tuy durante el período 1951-1975, con el índice SPI en agrupación mensual, bimensual, trimestral, semestral y anual.

La influencia de los fenómenos climáticos sinópticos sobre las precipitaciones en el territorio venezolano ha sido estudiada en diversos trabajos. Hastenrath (1990) y Pulwarty y Díaz (1993) refieren que las condiciones secas extremas ocurren durante un inusual desplazamiento de la Alta Presión del Atlántico Norte hacia el Ecuador; en consecuencia, el centro de convección de la

Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ, por sus siglas en inglés) se desvía hacia el suroeste de su posición normal; este mecanismo fue sugerido por Hastenrath (1976) y Aceituno (1988). Cárdenas *et al.* (1999), en la cuenca de los ríos Caroní y Paragua (Macizo Guayanés), indica que el fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) es modulado por la Oscilación Cuasi Bienal (QBO), pues esta última, invierte el signo de las anomalías pluviométricas durante la fase fría o caliente de ENSO. Velásquez (2002), analiza la variabilidad interanual de la precipitación y las temperaturas extremas en Venezuela y su correlación con los eventos cálidos y fríos en los océanos Pacífico y Atlántico; al usar un Análisis Factorial de Componentes Principales, identifica 8 regiones homogéneas.

Martelo (2005), encuentra diferentes grados de correlación entre las anomalías pluviométricas del país y las anomalías de nueve Variables Macroclimáticas (VM). Oceánicas: Atlántico Tropical Norte (ATNOR), Atlántico Tropical Sur (ATSUR), Pacífico Ecuatorial en la región Niño 3 (NI3) y Pacífico Ecuatorial en la región Niño 3-4 (NI34); Campos de viento: Oscilación Cuasi Bienal a 50 mb (QBO50) e Índice Zonal a 200 mb (ZON200); Campo de presión: Índice de Oscilación del Sur (SOI); Balance energético: Radiación Saliente de Onda Larga (OLR) y Manchas Solares (WOLF). A manera de conclusión, Martelo, indica que las regiones donde más influyen las VM son las fachadas Occidental, Oriental y Sur, no obstante, en el Centro-Norte y Llanos hay una gran variabilidad espacial; el coeficiente de correlación de Pearson no supera el valor 0.35 (sin desfase). En síntesis, un ATNOR caliente implica más lluvia; ATSUR y Pacífico caliente (NI3, NI34), menos lluvia. Las VM atmosféricas (QBO50, ZON200 y OLR), presentan correlación positiva; el reforzamiento de los vientos del Oeste produce más lluvia. Las VM varían su incidencia a lo largo del año. ATNOR concentra su efecto entre Mayo y Agosto (señal +), ATSUR entre Diciembre y Junio (señal -), invirtiéndose en Agosto y Septiembre (señal +). NI3 y NI34 influyen entre Agosto y Marzo (señal -), al tiempo que el SOI presenta una continua correlación positiva (señal +). Las VM atmosféricas (QBO50, ZON200 y OLR) son menos estables que las VM oceánicas, sus efectos varían intermensualmente, en especial la OLR. En ocasiones, la QBO50 y OLR modulan otros procesos.

Guevara y Paredes (2007) encuentran que en la fachada norte y noreste del estado Cojedes, durante el período 1961 a 1993, se presenta un incremento en la ocurrencia de años con eventos moderadamente secos a extremadamente secos. Sugieren que esta situación guarda relación con la

ocurrencia de anomalías extremas en las aguas superficiales de los océanos Atlántico Norte y Sur y, Pacífico en la región Niño 1 +2.

Paredes *et al.* (2008) refieren que los eventos secos extremos en los Llanos venezolanos, entre 1961 y 1996, aumentan su frecuencia a partir de 1975. Durante el trienio 1974-1976, observan la sequía con mayor cobertura espacial del período evaluado, la cual coincide con una persistente fase fría de ENSO (La Niña), un enfriamiento de las aguas superficiales del Océano Atlántico Norte y la ocurrencia de una atípica alta presión en la parte baja de la troposfera.

En la elaboración de la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela se usan dos Modelos de Circulación General Acoplados Atmósfera–Océano desarrollados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, Hulme *et al.*, 2000), denominados, por sus siglas en inglés, UKTR (británico) y CCC–EQ (canadiense). Ambos, estiman valores promedios de precipitación y temperatura a intervalos de 30 años, con una resolución espacial de 5° x 5°. Los años que se pronostican son 2020, 2040 y 2060 según tres escenarios climáticos: Optimista (SRES–B1), Intermedio (SRES–A2) y Pesimista (SRES–A2) (MPPA, 2005). Martelo (2007), describe los resultados de estos modelos: el UKTR muestra un futuro más seco, el CCC–EQ más lluvioso. El trimestre marzo–mayo es el más divergente, UKTR lo simula lluvioso y CCC–EQ, seco. Ambos, muestran un futuro más seco desde junio hasta febrero en la franja central del país, de los Andes al Delta y al sur del estado Bolívar. En el noroccidente, coinciden en la ocurrencia de temporadas más secas durante los trimestres jun–ago y dic–feb.

Los elevados requerimientos computacionales de los Modelos de Circulación General Acoplados Atmósfera–Océano, su compleja programación numérica y la escasa información hidroclimática con que cuenta Venezuela, obligan a la formulación, en principio, de modelos de pronóstico más sencillos. En este sentido, Paredes y Guevara (2010) desarrollan y evalúan un modelo para predecir tempranamente las sequías meteorológicas en Los Llanos venezolanos, considerando las VM evaluadas por Martelo (2005), como variables predictoras. Luego de identificar, 13 regiones homogéneas según la severidad del período seco anual, encuentran que el índice SPI3 en cada región homogénea, categorizado en tres clases: normal, seco o muy seco, puede ser pronosticado con las VM: ATNOR, ATSUR, SOI, NI4 y WOLF, con una anticipación que varía de uno a 23 meses; el porcentaje de aciertos se encuentra entre 59.60% y 45.20%.

2.2.-Fundamentación teórica

2.2.1.- Circulación general de la atmósfera

La circulación general de la atmósfera se refiere al movimiento del aire a gran escala, producto del calentamiento desigual de la Tierra. En líneas generales, el aire sobre la región ecuatorial (30° N a 30° S) es más caliente que en el resto del planeta, por lo que asciende a través de la troposfera y se desvía en altura hacia los polos. En el trayecto, se enfría y desciende cerca de 30° N y 30° S. Al descender, se calienta y divide en la superficie. Una parte va al Ecuador (Trade Wind) y otra a los polos (Westerlies); estos últimos, convergen a unos 60° N y 60° S, con los vientos fríos de superficie del Este (Polar Easterlies), siendo forzados a ascender. Esta corriente ascendente va en altura hacia los polos, desciende y se desplaza en superficie a la baja subpolar como viento polar del Este (Polar Easterlies). La desviación de los vientos de superficie hacia la derecha en el Hemisferio Norte (Westerlies) e izquierda en el Hemisferio Sur (Easterlies) se debe a la rotación terrestre (Efecto Coriolis); no obstante, los vientos en altura (sobre los 3 km), en todas las latitudes, son de W-E (Guevara, 2004; Fig. 2.1).

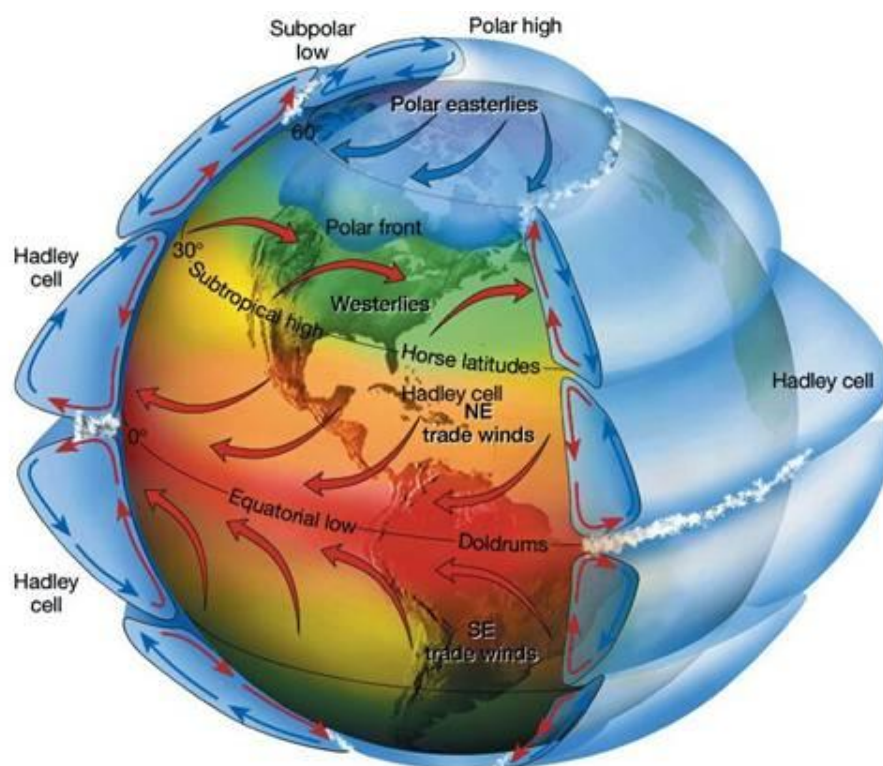


Fig. 2.1.-Modelo simplificado de circulación general de la atmósfera.

Fuente: sitio web, dgeo.udec.cl (2011)

Sobre la franja ecuatorial la presión superficial es baja, uniforme y ocurren lluvias frecuentes. Los vientos son suaves y soplan con gran variabilidad. La franja no es estática, tiende a seguir el movimiento aparente del Sol (20° N a 20° S); se denomina Vaguada Ecuatorial o Zona de Convergencia Intertropical (Doldrums). A 30° N y 30° S, están los cinturones de alta presión subtropicales (Horse Latitudes), allí los vientos de superficie son suaves, variables y muy secos (subsistencia). Se originan los vientos Alisios del NE y SE con dirección al Ecuador y los vientos del Oeste que llegan en superficie a la baja subpolar, alrededor de los 60° N y 60° S, donde encuentran los vientos polares del Este proveniente de estrechos anticiclones polares; la zona de encuentro se denomina Frente Polar (Polar Front) y presenta significativas precipitaciones. Esta distribución de presión y viento genera tres celdas verticales en cada hemisferio, una sobre los trópicos (Hadley Cell), una en latitudes medias (celda de Ferrel) y otra en los polos, que explican la ocurrencia de vientos ascendente en las zonas de baja presión y descendente en las de alta presión. La distribución asimétrica e irregular de los continentes y océanos, modifica el patrón de circulación. El cinturón de alta presión en 30° N y 30° S, se fragmenta en celdas de alta presión semipermanentes sobre el Pacífico y Atlántico (anticiclones). En el Hemisferio Norte, el cinturón subpolar (60° N) se rompe en dos celdas semipermanentes de baja presión localizadas sobre las islas Aleutianas e Islandia (celda ciclónica); en el Hemisferio Sur, dada la predominancia superficial del océano sobre los continentes, subsiste el cinturón de baja presión. Durante un año, los cinturones y celdas de presión varían su posición según las isothermas, ocasionando cambios climáticos estacionales. En el invierno astronómico (22 de diciembre a 21 de marzo en el Hemisferio Norte), la masa continental (fría) genera centros de alta presión mientras que en los océanos (caliente) se dan celdas de baja presión: Alta Presión en centro y norte de Asia, centro de Norteamérica (Alta Canadiense); Baja Presión sobre los océanos en las Aleutianas e Islandia. Durante el verano astronómico (22 de junio a 23 de septiembre en el Hemisferio Norte), la masa continental (caliente) genera centros de baja presión mientras que los océanos (frío) crean celdas de baja presión: Baja Presión en Asia concentrada en Afganistán; Alta Presión sobre los océanos en las Azores (Bermudas) y Hawái. Las celdas de alta y baja presión, modifican la dirección de los vientos de superficie, como se aprecia en la Fig. 2.2 (Ayllón, 2003; Casas y Alarcón, 1999).

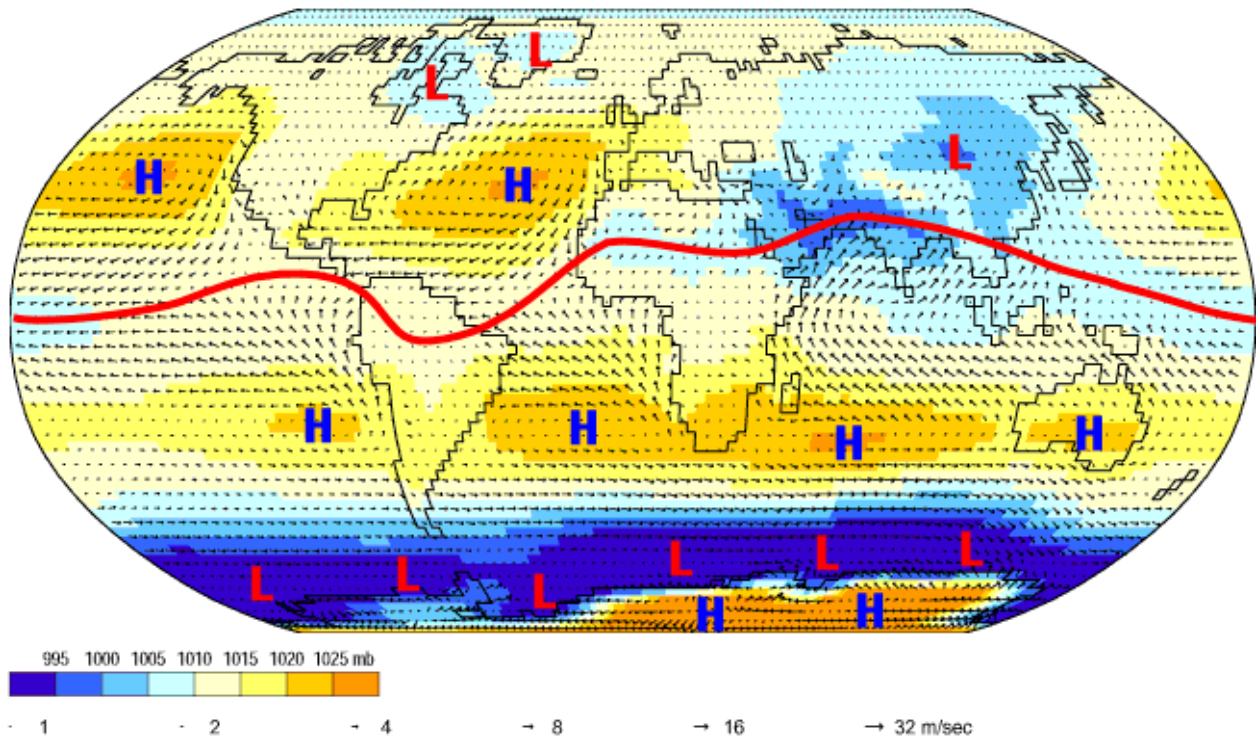


Fig. 2.2.- Presión y vientos de superficie promedio entre 1959 y 1997 durante el mes de julio.

Fuente: sitio web, oarval.org (2011)

Los vientos que en la altura soplan desde el cinturón de altas subtropicales (30° N y 30° S) hacia los polos, se desvían a la derecha por el Efecto Coriolis hasta soplar en dirección W-E formando así, los vientos del Oeste en la altura; en el Hemisferio Sur se desvían a la izquierda generando los vientos del Oeste. Cerca de la baja polar (60° N y 60° S), los vientos del Oeste cubren la alta troposfera, pero se ven perturbado por la penetración de aire frío en la zona de contacto del Frente Polar, originando amplias ondulaciones denominadas Ondas de Rossby, acompañadas de mal tiempo. Asociadas con las Ondas de Rossby, se localiza una franja de viento de alta velocidad denominada Corrientes de Chorro (Jet Stream) que se forman en la zona de contacto del aire frío y caliente en altura. La corriente principal de la Corrientes de Chorro va de W-E, pero pueden generar corrientes serpenteantes individuales (Ondas de Rossby). Hay varias Corrientes de Chorro. Corriente de Chorro Polar, se forma en la tropopausa, cerca de la baja polar (60° N y 60° S), circunda el Frente Polar y suele alcanzar unos 300 km/h en enero. Corriente de Chorro Subtropical, localizada a unos 30° N y 30° S, en la tropopausa, separa el aire cálido en altura de la celda de Hadley del más frío proveniente de otras latitudes, tiene velocidades de entre 300 y 400 km/h. La última Corriente en Chorro se forma al Norte del Ecuador, a unos 14 km de altura,

únicamente en el verano astronómico (22 de junio a 23 de septiembre), en sentido E-W (opuesta a las anteriores) alcanzando velocidades de 180 km/h (Sendiña y Pérez, 2006; Fig. 2.3)

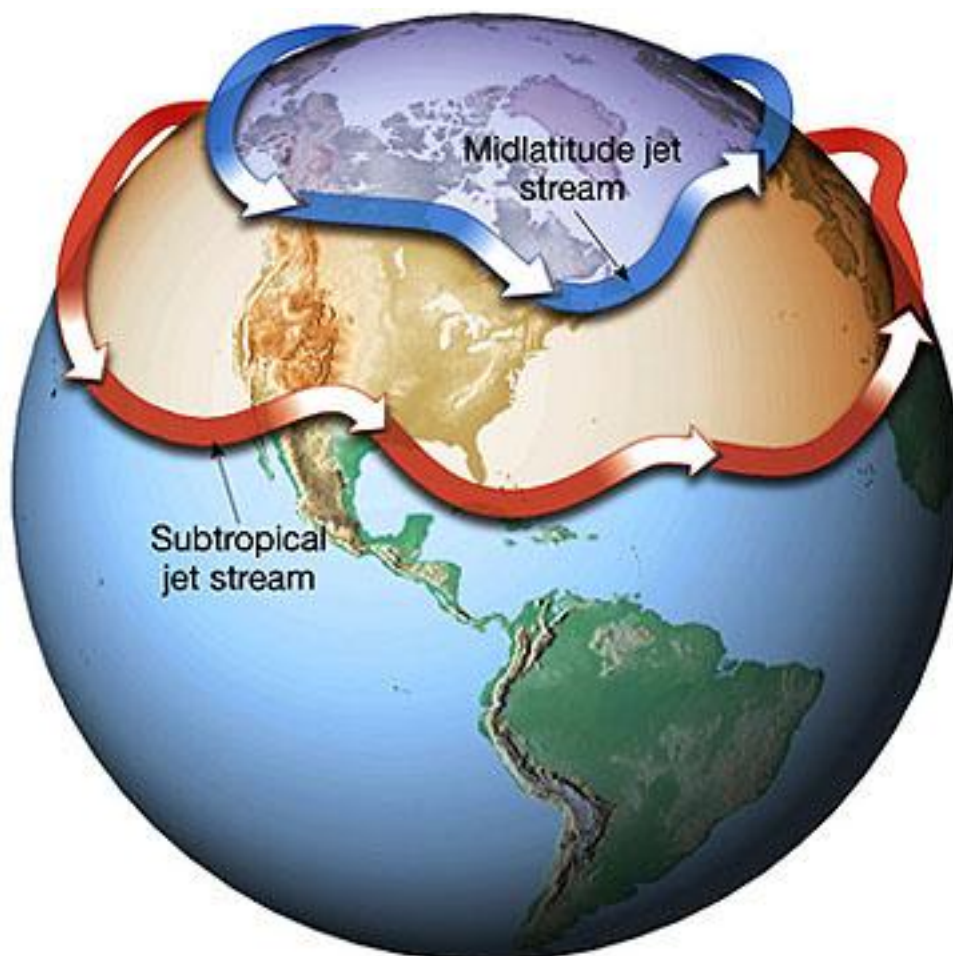


Fig. 2.3.- Modelo simplificado de las corrientes de chorro subtropical y polar.

Fuente: sitio web, tradiciondepapel.blogspot.com (2011)

2.2.2.-Definición general y tipos de sequía

La sequía, a diferencia de otros fenómenos naturales peligrosos, no tiene una definición precisa y universalmente aceptada. Hay muchas definiciones que crean confusión sobre la ocurrencia o no de una sequía y su gravedad. Subrahmanyam (1967) considera que su definición varía según la ocurrencia de uno de seis tipos de sequías: meteorológica, climática, atmosférica, agrícola, hidrológica o de gestión hídrica. Por su parte, Guerrero-Salazar y Yevjevich (1975) simplifican la conceptualización operacional, definiendo la sequía como cualquier deficiencia en el suministro de agua durante un tiempo determinado, tal que, la demanda hídrica de ciertas actividades

humanas no pueda ser satisfecha; Linsley *et al.* (1982) coinciden con el mencionado enfoque y adaptan la definición a las sequías hidrológicas, describiéndolas como cualquier período durante el cual un cauce superficial sufre inadecuadamente a una comunidad. Wilhite y Glantz (1985) agrupan las definiciones en cuatro clases, de acuerdo a la disciplina científica que analiza el fenómeno: sequía meteorológica, sequía hidrológica, sequía agrícola y sequía socioeconómica. Salas (1986) considera que la sequía puede definirse según uno de tres enfoques: a) la sequía se asocia a una cantidad absoluta de humedad (lluvia, escorrentía o humedad del suelo) por debajo de un umbral (por ejemplo, 20 días consecutivos sin llover); 2) la sequía ocurre cuando la humedad se desvía un porcentaje específico respecto a un valor medio, (por ejemplo, escorrentía menor al 60% de la media); 3) la sequía ocurre cuando la humedad es insuficiente para satisfacer las necesidades humanas.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM), considera la sequía como un período de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico (OMM, 1992). La Organización de las Naciones Unidas considera la sequía un fenómeno natural, donde las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras (ONU, 1994). La Superintendencia para el Desarrollo del Nordeste de Brasil, prescinde de la sequía meteorológica y sólo considera de interés las sequías hidrológicas, agrícolas y efectivas (estas últimas equivalente a la sequía socioeconómica) (SUDENE, 1999). La OMM (2006), considera que la sequía es una desviación acumulativa respecto de las condiciones normales o previstas de precipitación, es decir, respecto de una media estadística o de un promedio a largo plazo. Adicionalmente, señala que tal déficit de precipitación puede sobrevenir en poco tiempo o tardar meses en manifestarse como una disminución del caudal de los ríos, niveles de los embalses o profundización de las aguas subterráneas (Fig. 2.4). Lapinel y Báez (2007) indican que la sequía debe evaluarse desde dos puntos de vista; según las causas climáticas (patrones de circulación atmosférica, precipitación, temperatura, evaporación y radiación solar) o por sus consecuencias agrícolas, hidrológicas o económicas.

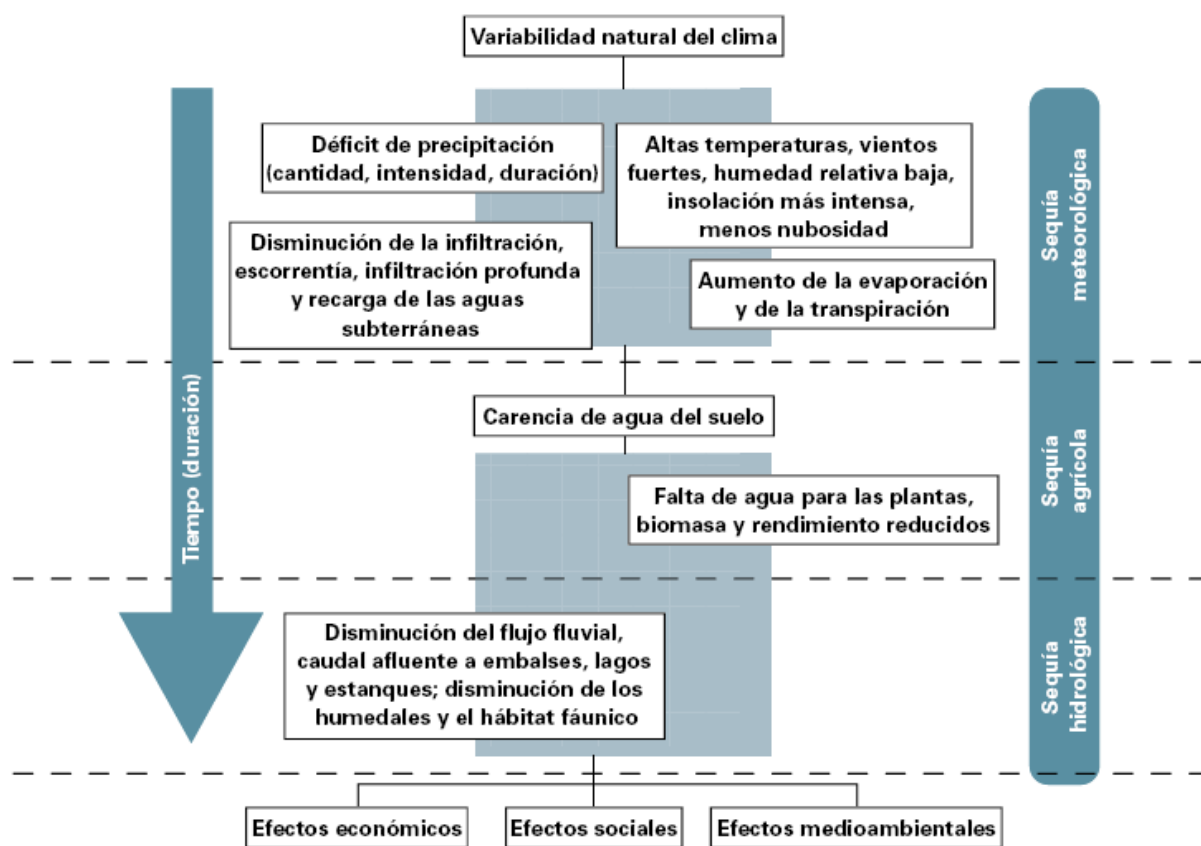


Fig. 2.4.-Secuencia de tipos de sequía y sus efectos asociados.

Fuente:OMM (2006)

La OMM clasifica las sequías en meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica. La sequía meteorológica se define de acuerdo a un umbral de déficit de precipitación, que se alcanza durante un período de tiempo previamente determinado. El umbral escogido y su duración varían según el lugar y las necesidades de los usuarios y actividades que estos realicen. La sequía agrícola ocurre de acuerdo a la disponibilidad hídrica en los suelos para el sostenimiento de cultivos y el crecimiento de especies forrajeras. La sequía hidrológica se define según la desviación de las pautas de aflujo de agua en la superficie y en el subsuelo, tomando como referencia los valores promedios en distintas fechas cronológicas. La sequía socioeconómica refleja la relación entre la oferta y la demanda de mercancías básicas, como el agua, los forrajes o la energía hidroeléctrica, que dependen de las precipitaciones. La oferta varía anualmente en función de la precipitación o la disponibilidad de agua. La demanda fluctúa también y suele tender al alza debido, entre otros factores, al aumento poblacional o al desarrollo. La sequía meteorológica es un fenómeno natural que responde a diversas causas regionales, los demás

tipos, se caracterizan en mayor medida por sus facetas humanas o sociales y su definición refleja la interacción entre las características naturales de las sequías meteorológicas y las actividades humanas, que dependen de la precipitación para proporcionar un abastecimiento de agua que permita cubrir las demandas de la sociedad y el medio ambiente (OMM, 2006; Fig. 2.5).

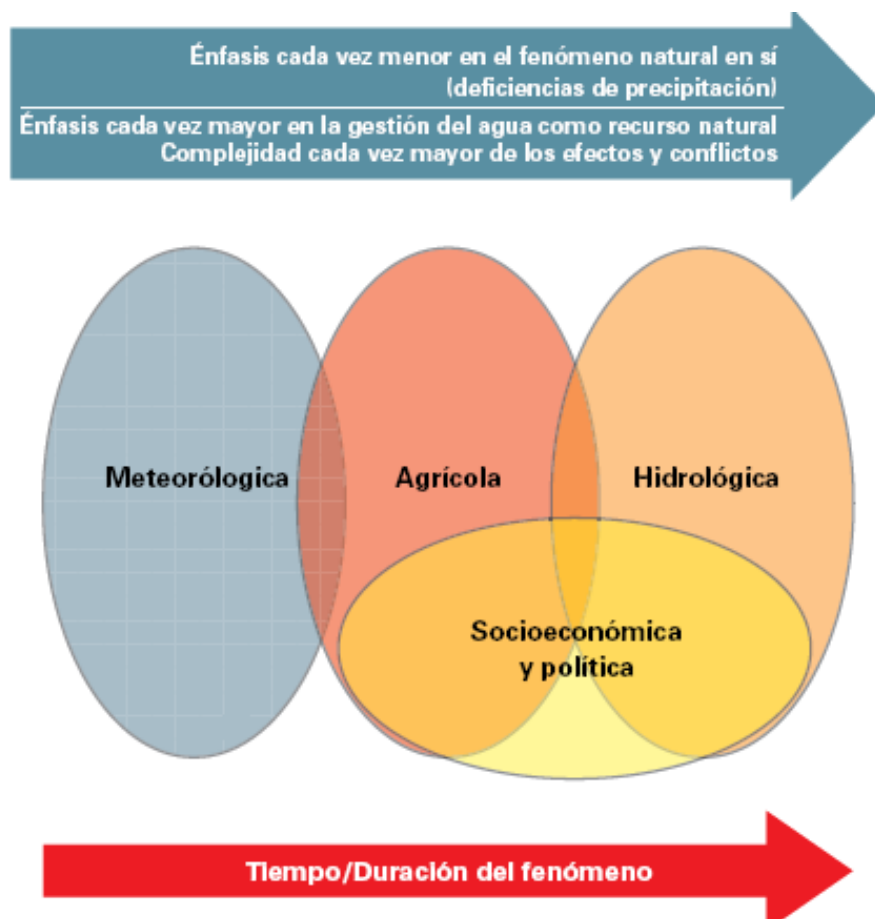


Fig. 2.5.- Relación entre las sequías meteorológicas, agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas.

Fuente:OMM (2006)

2.2.2.-Definiciones de la sequía meteorológica.

La ocurrencia de una sequía meteorológica depende de la desviación de la magnitud pluviométrica respecto a un umbral, durante un período de tiempo definido. El umbral o valor de truncamiento, que indica el inicio o término de un déficit pluviométrico, varía según las condiciones climáticas prevalecientes en la zona bajo estudio. Algunas definiciones no especifican un umbral fijo, por ejemplo, Palmer (1965) define la sequía meteorológica como el intervalo de tiempo, con una duración del orden de meses o años, durante el cual el aporte de humedad en un

determinado lugar disminuye progresivamente por debajo de lo climatológicamente esperado o del aporte de humedad climatológicamente apropiado. Russell *et al.* (1970) definen la sequía meteorológica, como la falta prolongada de precipitación, inferior a la media. Wilhite y Glantz (1985) la asocian al grado de desviación de la precipitación con relación a un valor normal, este último calculado a partir de una serie de tiempo preestablecida suficientemente larga. La conceptualización operacional de la sequía meteorológica requiere la previa caracterización de las pautas climáticas a escala regional o local. Por lo tanto, resulta imposible extrapolar una definición de una región a otra, salvo que ambas muestren pautas climáticas análogas. Como ejemplo, se listan algunas definiciones operacionales, en función del área geográfica:

- Indonesia (Bali): período de seis días sin lluvias (Hudson y Hazen, 1964).
- España: en las cuencas hidrográficas españolas pueden considerarse años secos aquellos cuya precipitación experimenta la siguiente reducción respecto a la media anual: Cantábrico, Duero y Ebro, 15-25%; Guadalquivir 20-25%; Guadiana/Tajo, 30%; Levante y Sureste, 40-50% (Olcina, 1994).
- Gran Bretaña: período de al menos quince días consecutivos con precipitación diaria inferior a 0.25 mm (Goudie, 1985).
- India: situación en la que la precipitación estacional anual es deficiente en, al menos, dos veces la desviación típica (Ramdas, 1960).
- India: la precipitación es inferior al 80 % de los niveles normales (Dhar *et al.*, 1979).
- Libia: precipitación anual inferior a 180 mm (Hudson y Hazen, 1964).
- Nordeste de Brasil: precipitación mensual durante la temporada lluviosa inferior a 100 mm o al 80% de la media a lo largo de 90 días, durante los cuales se producen intervalos superiores a 10 días con valores inferiores a 10 mm (SUDENE, 1981).
- URSS: período de 10 días con una lluvia total que no excede 5 mm (Krishnan, 1979).
- Venezuela: un mes con sequía es aquel cuya precipitación acumulada mensual sea inferior a 25 mm, lo cual corresponde al período mensual de lluvia que separa los climas áridos de los semiáridos en la clasificación de Köppen (Carrillo, 1999).
- México: El Fondo Nacional de Desastres Naturales de México, considera la ocurrencia de

sequía en la actividad pecuaria, cuando la precipitación media mensual de mayo a noviembre en una cuenca hidrológica, durante dos meses consecutivos, es menor al 50% de la media mensual. En la agricultura, cuando los efectos de las bajas precipitaciones afectan los cultivos de ciclo corto, dependiendo de la etapa fenológica en que se encuentren, por lo que la disminución en la cantidad de lluvia, con respecto a su media histórica, puede ocurrir en un mes o menos (Pichardo, 2006).

Algunas definiciones, además de la precipitación, incorporan la evapotranspiración (ETP). Así, Rind *et al.* (1990) definen la sequía meteorológica como la condición resultante de un exceso de demanda atmosférica de humedad respecto a su aporte, en otras palabras, $ETP > P$.

2.2.3.-Caracterización de la sequía meteorológica

Burton *et al.* (1978) definen siete parámetros para caracterizar la ocurrencia de sequías meteorológicas; uno independiente (magnitud), cuatro relacionados al componente temporal (duración, frecuencia, velocidad de implantación y espaciamiento temporal), y dos que describen su cobertura espacial (extensión y dispersión espacial). Para cuantificarlos parámetros, se requiere establecer en qué medida ha habido déficit pluviométrico y cuáles son los límites temporales del episodio seco. En este orden de ideas, Martín-Vide (1998), señala que la sequía meteorológica o hidrológica, puede monitorearse como se indica a continuación (ver Fig. 2.6):

Magnitud: es el déficit medio de precipitación o caudal durante el lapso de ocurrencia del evento seco, M_L . Puede expresarse como anomalía (en porcentaje) o diferencia (en valor absoluto) del monto de precipitación o caudal, con relación al valor promedio, χ_o , durante el período evaluado.

Duración: es el período (número total de días, meses o años consecutivos) en el cual la precipitación o los caudales totales registrados son inferiores a la precipitación o el caudal medio de ese mismo período (valor de truncamiento), D_h .

Frecuencia: es el número de eventos secos en un período determinado. La probabilidad de que la precipitación o el caudal sea inferior a un valor de truncamiento (media del período) o, el período de recurrencia de los eventos secos (intervalo de tiempo promedio, en el que puede ocurrir una sequía de determinada magnitud), son indicadores que pueden complementar este parámetro.

Velocidad de implantación: es el tiempo transcurrido entre el inicio del déficit de precipitación o caudal y el momento en que dicho déficit alcanza su valor máximo.

Espaciamiento temporal: es el tiempo promedio que transcurre entre los períodos secos. Este valor da cuenta de la regularidad o aleatoriedad del fenómeno; es una primera aproximación a la previsibilidad de la sequía.

Extensión: es la superficie total en la que se registra el déficit hídrico.

Dispersión espacial: se refiere al grado de difusión o concentración de la anomalía de caudal o de precipitaciones.

Dracup *et al.* (1980), proponen que además de la magnitud, puede calcularse la severidad de la sequía a partir del déficit acumulado de caudal o precipitación durante el período en que se presenta el evento seco, S_L . Relacionan la magnitud, la severidad y la duración, como se muestra en la ecuación 2.1

$$\text{Magnitud} = \text{Severidad} \times \text{Duración} \quad (2.1)$$

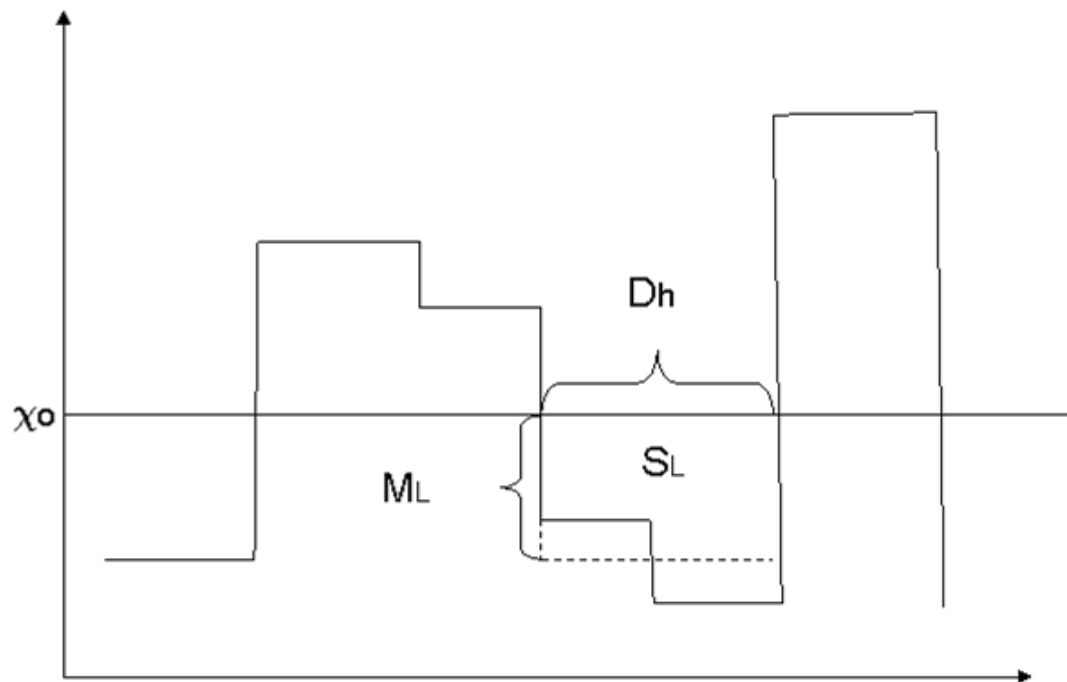


Fig. 2.6.-Componentes conceptuales empleados en la caracterización de un evento seco.

Nota: χ_0 , valor de truncamiento; M_L , Magnitud del evento; D_h , duración del evento; S_L , severidad del evento.

La OMM, a propósito de la caracterización de las sequías, da significativa importancia a su intensidad, duración y extensión. Este organismo, destaca algunos aspectos relevantes con relación a este fenómeno: 1) su intensidad, muestra el déficit de precipitación y la gravedad de los efectos asociados a ese déficit. 2) la magnitud, puede expresarse en términos de la desviación

respecto de las pautas normales de parámetros climáticos como, la precipitación o el nivel de los embalses, o por medio de índices como el índice SPI (Índice de Precipitación Estandarizada en español); 3) estos eventos pueden sobrevenir rápidamente en algunos regímenes climáticos pero, lo habitual, es que tarden, como mínimo, dos o tres meses en hacerse patentes y extenderse durante meses o años; 4) la magnitud de los efectos de una sequía está estrechamente relacionada con el momento en que comienza la escasez de precipitación, su intensidad y duración; 5) las sequías difieren en sus características espaciales. Las áreas afectadas por sequías graves evolucionan de manera gradual y las regiones de máxima intensidad, como los epicentros, cambiando de una estación a otra y de año en año cuando las sequías persisten lo suficiente (OMM, 2006).

2.2.4.- Principales índices usados en el monitoreo de sequías meteorológicas

Existe una amplia variedad de índices para caracterizar la ocurrencia de eventos secos, según su magnitud (o severidad) y duración, entre otros parámetros. Las bondades y limitaciones de estos índices se detallan en Bowles *et al.* (1980), Alley (1984), Karl (1986), Soule (1992), Guevara (1992), Meyer y Hubbard (1995), National Drought Mitigation Center [NDMC] (1996, 1999), Meshcherskaya y Blazhevich (1997), Byun y Wilhite (1999), Keyantash y Dracup (2002) y Salas *et al.* (2005). Seguidamente, se describe brevemente, las características más relevantes de los tres índices de mayor uso en el monitoreo y seguimiento de sequías meteorológicas.

2.2.4.1.- Porcentaje de la precipitación media

Este índice es el cociente de la precipitación total registrada en un período determinado (mes, trimestre, estación, semestre o año) y la precipitación media del mismo período de referencia, expresado en porcentaje (Tabla 2.1). Pese a su simplicidad, este índice es susceptible a errores de interpretación, debido a que la precipitación media no es necesariamente igual a la mediana. Cuando se aplica este índice es difícil establecer los límites a partir de los cuáles se considera la existencia de un evento seco. La severidad del evento resulta subjetiva, pues el porcentaje de desviación escogido para un lugar o región no es aplicable a otra. Pese a sus carencias, es uno de los índices más utilizados, debido a que puede aplicarse en regiones donde sólo se dispone de series pluviométricas. Bhalme y Mooley (1980) refieren este índice como índice BMDI (Bhalme and Mooley Drought Index); sin embargo, ya se usaba desde mucho antes.

Tabla 2.1.- Escala de interpretación del índice porcentaje de la precipitación media

Categoría de la sequía	Rango de valores porcentuales
Ligera	-20.0% a -30.0%
Moderada	-30.1% a -40.0%
Fuerte	-40.1% a -49.0%
Aguda	-49.1% a -59.0%
Intensa	<-59.0%

2.2.4.2.- Cuantiles (quintiles, deciles y percentiles)

Gibbs (1987) observa que en muchas regiones geográficas, las series de precipitación no se ajustan a una distribución de probabilidad Gaussiana, por tanto, normalizar los registros con la media aritmética y desviación estándar, es inapropiado; sugiere el uso de los cuantiles. Gibbs y Maher (1967) usan los deciles como índice de sequía en Australia. En líneas generales, los cuantiles dividen la serie pluviométrica de un período largo [la referencia OMM (1990), recomienda la norma 1961-2000], en intervalos de 20% (quintil), 10% (decil) o 1% (percentil). Su uso no depende de la distribución de frecuencia que tenga la serie evaluada.

Tabla 2.2.- Escala de interpretación del índice de los deciles

Categoría del evento	Porcentaje	Rango decil
Muy por encima de la norma	> 90	10
Bastante por encima de la norma	80-90	9
Por encima de la norma	70-80	8
En la norma	30-70	4-7
Por debajo de la norma	20-30	3
Bastante por debajo de la norma	10-20	2
Muy por debajo de la norma	< 10	1

Valiente (2001) indica que el método de los cuantiles genera resultados fiables cuando la serie pluviométrica usada en el cálculo es larga; como mínimo treinta años y de ser posible, más de cincuenta. Los límites de referencia más utilizados son los de los quintiles. En este caso, un período es Muy Seco, cuando el valor de precipitación total se sitúa entre el 20% de los valores más bajos; Seco, cuando se encuentra en el siguiente 20%; Normal, cuando se ubica en el segmento del 20% de valores intermedios; Húmedo, en el siguiente segmento de 20% y; Muy Húmedo, en el intervalo del 20% de los valores más elevados de la serie (Tabla 2.3).

Tabla 2.3.- Escala de interpretación del índice de los quintiles.

Categoría del evento	Rango quintil
Muy abajo de lo normal	0-1
Abajo de lo normal	1-2
Cercano a lo normal	2-3
Arriba de lo normal	3-4
Muy arriba de la normal	4-5

El cuantil a utilizar depende de la precisión. Puede prescindirse de los quintiles y recurrir a los deciles o percentiles para incrementar el número de intervalos y la precisión. Por ejemplo, la escala de deciles arroja diez intervalos para la serie que se evalúa, cada uno de los cuales agrupa 10% de los registros, como sigue: sequía muy fuerte (extrema), sequía fuerte (severa), sequía moderada, sequía leve, sequía incipiente, humedad incipiente, humedad leve, humedad moderada, humedad fuerte (severa) y humedad muy fuerte (extrema) (Mendoza y Puche, 2005)

El método de los deciles es utilizado oficialmente por el Servicio de Vigilancia de Sequías de Australia en el monitoreo de sequías meteorológicas. Forma parte de un sistema integral que permite la toma de decisión sobre la puesta en marcha de planes de intervención (OMM, 2006).

2.2.4.3.- Índice de precipitación estandarizado

El índice de precipitación estandarizado o SPI (Standardized Precipitation Index en inglés) usa solamente la precipitación. Fue formulado por McKee *et al.* (1993), en general, mide en cuánto se desvía la precipitación de un período determinado (día, mes o año) con relación al promedio histórico (norma pluviométrica). En principio, los registros de la serie son ajustados a una distribución de probabilidad Gamma, luego se determina el valor que tendría la misma probabilidad en una distribución normal con media y varianza iguales a cero y uno, respectivamente (Mendoza y Puche, 2007). Un SPI negativo indica una condición de sequedad, mientras que uno positivo, se asocia a una condición húmeda (Tabla 2.4). El SPI se destaca por su flexibilidad para medir sequías en distintas escalas temporales. Para calcular el SPI inicialmente se decide el nivel de agrupación de los registros: mensual, trimestral, semestral o anual, en cada caso el SPI se representa como SPI1, SPI3, SPI6, SPI12 o SPI24, respectivamente. Lapinez y Báez (2007), a propósito de los niveles de agrupamiento, indican que el SPI1 refleja la condición de sequía inmediata, por lo que es un indicativo de la humedad en el suelo y el stress vegetativo; el SPI3 da cuenta de las condiciones de humedad en el corto y mediano plazo; el SPI6 es un

indicador de la precipitación estacional a lo largo del año; el SPI12 permite la detección de una tendencia interanual de la sequía.

Tabla 2.4.-Escala de interpretación del índice SPI.

Categoría de la sequía	Rango del SPI
Extremadamente húmedo (NS)	2.00 o más
Muy húmedo (NS)	1.50 a 1.99
Moderadamente húmedo (NS)	1.00 a 1.49
Casi normal (NS)	-0.99 a 0.99
Moderadamente seco (MS)	-1.00 a -1.49
Severamente seco (SS)	-1.50 a -1.99
Extremadamente seco (ES)	-2.00 o menos

Nota: No Seco (NS), Moderadamente Seco (MS), Severamente Seco (SS) y Extremadamente Seco (ES)

Paredes y Guevara (2010) definen el cálculo del SPI, como sigue. Una serie pluviométrica tiene 12 subseries mensuales (una por mes). En principio, se usa la Distribución de Probabilidad Teórica Gamma (DPTG) para estimar la probabilidad de que la precipitación acumulada de un mes cualquiera, en una subserie, sea menor o igual a la magnitud del registro existente, $F(\mathbf{x})$. La DPTG tiene una función de densidad de probabilidad dada por:

$$f(\mathbf{x}; \alpha; \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \mathbf{x}^{\alpha-1} e^{-\frac{\mathbf{x}}{\beta}} \quad (2.2)$$

Donde $\mathbf{x}$ es el registro pluviométrico mensual expresado en mm; α y β son los parámetros característicos de la distribución.

$F(\mathbf{x})$ resulta de la integración de la ecuación (2.2), como sigue:

$$F(\mathbf{x}) = \int_0^{\mathbf{x}} f(\mathbf{x}; \alpha; \beta).d\mathbf{x} \quad (2.3)$$

Para estimar los parámetros α y β de la ecuación (2.2), se usa la propuesta metodológica de Campos (2005):

- Se calcula para cada subserie mensual, una variable auxiliar, A, definida de la siguiente manera:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^{n'} \ln(x_i)}{n'} \quad (2.4)$$

Donde **A** es una variable auxiliar adimensional; $\ln(x_i)$ representa el logaritmo neperiano del registro mensual; n' es el número de registros no nulos; $\bar{x}$ es la media aritmética de la subserie mensual expresada en mm

- Del paso anterior se obtienen 12 variables auxiliares, **A**. Para estimar los parámetros α y β de cada subserie se emplea las ecuaciones (2.5) y (2.6):

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}}{4A} \quad (2.5)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (2.6)$$

Si existieran registros nulos (ceros) en las subseries mensuales, no se podría calcular la variable auxiliar **A** (el logaritmo neperiano de cero es matemáticamente indeterminado), por esta razón, Thom (1971) propuso una Función Gamma Mixta (FGM) de la siguiente manera:

$$H(X) = q + p.F(x) \quad (2.7)$$

Donde **q** es la probabilidad de que se presente un valor nulo en la subserie; **p** es la probabilidad de que no se presente un valor nulo en la subserie [$p = 1 - q$]; **H(x)** es la probabilidad de no excedencia del registro.

Una vez determinado **H(x)** para cada registro, en cada subserie mensual, se estima el valor **Z** correspondiente, asumiendo que la probabilidad de no excedencia, **H(x)** proviene de una distribución normal con media cero y desviación estándar igual a uno (Fig. 2.7). El valor **Z** así estimado es el índice SPI3 (Edwards y Mckee, 1997)

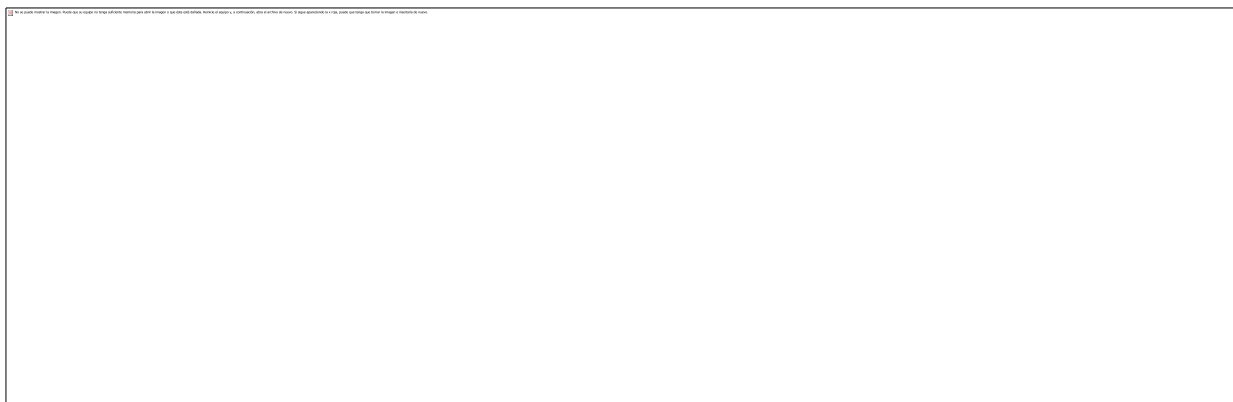


Fig. 2.7.-Relación entre la probabilidad de ocurrencia de un evento en una distribución gamma ajustada y el valor Z equivalente en una distribución normal estandarizada.

Fuente: Mendoza y Puche (2007)

Las ventajas del SPI sobre otros índices de sequía son su rapidez de cálculo, simplicidad y requerimiento mínimo de datos. En comparación con el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer, el SPI es más fácil de interpretar, independientemente de la escala de agrupación que se emplee (Guttman, 1998b). Por otro lado, el SPI responde rápidamente a la ocurrencia de períodos de humedad o sequía (Komuscu, 1999; Keyantash y Dracup, 2002).

Por las consideraciones discutidas, el índice SPI es uno de los más usados en la caracterización de las sequías. Se utilizó exitosamente en Turquía (Türkes, 1996), Argentina (Zanvettor, 2000), Estados Unidos (Ji y Peters, 2002), Venezuela (Mendoza, 2006; Mendoza y Puche, 2007; Paredes y Guevara, 2007; Paredes y Guevara, 2010), por nombrar algunos casos. También forma parte de los índices utilizados por el Drought Monitor en el seguimiento de las sequías en los Estados Unidos (OMM, 2006).

2.2.5.-Definición conceptual y operacional de la sequía meteorológica.

Sequía meteorológica: la sequía meteorológica es una desviación acumulativa respecto de las condiciones normales o previstas de precipitación, es decir, respecto al promedio de largo plazo (definición conceptual: OMM, 2006). Desde el punto de vista operacional, la ocurrencia de un evento seco se detecta con el índice SPI. Estos eventos tienen varios niveles, según el valor y signo del SPI, como se muestra en la Tabla 2.4 (definición operacional).

2.2.6.-Técnicas de predicción local

Los servicios meteorológicos utilizan modelos atmosféricos operativos que simulan con suficiente precisión la dinámica de la atmósfera a gran escala, sobre mallas de una resolución aproximada de 50 a 100 km. Estos modelos predicen el comportamiento sinóptico de la atmósfera en el corto plazo (hasta tres días de antelación). Sin embargo, están sujetos a ciertas limitaciones para predecir variables, como la precipitación, que dependen de procesos físicos complejos donde intervienen la formación de nubes, evaporación, orografía, turbulencia, entre otros, con una escala menor que los modelos (o incluso carecen de una escala característica) y cuyo proceso físico no es fácil de resolver. Las limitaciones indicadas se pueden obviar incluyendo estos procesos en los modelos mediante parametrizaciones, que aproximen los efectos de estos fenómenos a la escala de la malla empleada. Por tanto, la predicción a corto plazo de fenómenos como la precipitación, niebla, tormenta, entre otros, es un problema a resolver con enorme interés científico, social y económico. Se han propuesto diferentes métodos para abordar este problema desde distintas perspectivas, conjugando las predicciones de los modelos numéricos y las series temporales de observaciones disponibles en la región o localidad de interés. Según Cofiño (2003), estos métodos se clasifican en tres grupos:

Predicción estadística: es un procedimiento aplicado a las series temporales, que se basa solo en la información procedente de las observaciones históricas de los meteoros en las localidades o puntos geográficos donde se desea realizar la predicción. Con esta información se pueden desarrollar modelos estadísticos de predicción, los cuales pueden ser utilizados para predecir futuros valores y tendencias. Estos métodos no utilizan las salidas numéricas de los modelos de circulación atmosférica.

Downscaling dinámico: tienen por objeto aumentar la resolución de los modelos atmosféricos globales, incluyendo en ellos un modelo atmosférico regional o mesoescalar limitado a la zona de interés. Se usan los campos del modelo global como condiciones de contorno para el modelo regional o mesoescalar de mayor resolución, incluyendo parametrizaciones adaptadas a la zona. Por tanto, la predicción local se limita a los valores de algunas variables que proporciona el modelo (temperatura, precipitación, entre otros) en los puntos de rejilla sobre la superficie. Estos métodos son esencialmente numéricos (basados en la integración de modelos de circulación atmosférica), aunque en ocasiones se utilizan técnicas estadísticas, como los filtros de Kalman

(Bergman y Delleur, 1985), para eliminar la influencia de los errores sistemáticos del modelo global. En Venezuela, dos de los modelos numéricos de mayor uso, para simular las condiciones atmosféricas son el Weather Research Forecast y el MM5 (Gutiérrez, 2006).

Métodos de downscaling estadístico: son técnicas híbridas que combinan las salidas de los modelos numéricos con la información estadística de las observaciones. Estas técnicas se basan en la relación que existe entre los campos atmosféricos previstos por un modelo numérico del tiempo y los meteoros observados localmente. Dicha relación se analiza estadísticamente usando los registros históricos de las observaciones disponibles (en una región o punto de interés) y los correspondientes campos atmosféricos simulados por algún proyecto de re-análisis. También pueden considerarse técnicas de interpolación avanzadas, para estimar el valor de una variable en un punto a partir de los valores en una rejilla que lo contiene.

En el campo de la predicción estadística, los eventos de sequías se consideran un proceso estocástico, pues una sucesión de observaciones en una localidad o región de interés cuenta con un número finito de observaciones clasificadas, por ejemplo, como eventos No Seco (NS), Moderadamente Seco (MS), Severamente Seco (SS) y Extremadamente Seco (ES) [ver Tabla 2.4]. Así, la probabilidad de ocurrencia de un evento ES, en una localidad de interés, que cuente con una serie larga y confiable del índice SPI, está dada por:

$$P(ES) = \frac{n(ES)}{n(S)} \quad (2.8)$$

Donde: **P(ES)** es la probabilidad de ocurrencia de un evento ES; **n(ES)** es el número de eventos ES observados; **n(S)** es el espacio muestral u observaciones en la serie SPI disponible.

2.2.7.- Aportación de la Tesis Doctoral

Las referencias Hastenrath (1990), Pulwarty y Díaz (1993), Cárdenas *et al.* (1999), Velásquez (2002), Martelo (2005) y Paredes *et al.* (2008) indican que las anomalías pluviométricas en el territorio venezolano guardan relación con la ocurrencia de valores extremos en ciertas anomalías macroclimáticas, oceánicas y atmosféricas. Las anomalías pluviométricas varían espacialmente en magnitud y señal (Paredes y Guevara, 2008), por tanto, el análisis probabilístico de los eventos NS, MS, SS y ES [ver Tabla 2.4], requiere la segmentación del territorio nacional en regiones geográficas (no necesariamente continuas), estadísticamente homogéneas. Bajo este enfoque, una región homogénea agrupa un conjunto de estaciones pluviométricas, cuyas

observaciones históricas conforman el espacio muestral o $n(S)$ de la ecuación (2.8); desde el punto vista físico, el mecanismo que genera los eventos de sequías meteorológicas en una región homogénea es común a todas las estaciones incluidas en la región (Nuñez y Verbist, 2010). La regionalización requiere la definición de, al menos, una variable de clasificación. En el caso de las sequías meteorológicas la variable clasificatoria pudiese ser el índice SPI, la precipitación mensual o cualquier índice derivado del análisis de los registros pluviométricos (Paredes y Guevara, 2008). Existe diversas técnicas estadísticas y algoritmos matemáticos para clasificar series temporales cuantitativas, por ejemplo, análisis clúster, análisis factorial, análisis de componente principales entre otros (Izenman, 2008). El análisis de componente principales, genera grupos homogéneos cuyos elementos están altamente intercorrelacionados y escasamente correlacionados con los elementos de otros grupos, por tanto, es una técnica de regionalización muy robusta (Pérez, 2004).

Las señales en los subsistemas oceánicos y atmosférico (expresadas como anomalías) generan una respuesta temporalmente desfasada en la pluviometría del territorio venezolano (Martelo, 2005), debido en parte a la inercia de estos subsistemas y su compleja interrelación física con los mecanismos inhibidores de las precipitaciones (Pulwarty y Díaz, 1993; Pulwarty *et al.*, 1992). Por esta razón, la ocurrencia de una anomalía extrema, en uno o ambos subsistemas, simultáneas o no, ocasiona un cambio, rezagado temporalmente, en la pluviometría de algunas zonas del país.

Lo anterior, sugiere que la predicción estadística de los eventos de sequías en una zona de interés del territorio venezolano, requiere de lo siguiente, en orden secuencial: 1) definir regiones geográficas homogéneas en cuanto a la ocurrencia de anomalías pluviométricas; 2) identificar las variables macroclimáticas más influyente sobre la pluviometría de tales regiones homogéneas y; 3) determinar el desfase temporal entre el instante en que el subsistema océano o atmósfera emite la señal y el momento en que se observa la respuesta pluviométrica en la región homogénea bajo estudio.

Una región homogénea suele ser afectada por diferentes variables macroclimáticas y a diferentes rezagos temporales (Paredes y Guevara, 2010), por tanto, la predicción probabilística de este fenómeno climático, requiere considerar la sucesión de eventos secos, como un proceso estocástico condicional, en consecuencia, las variables predictoras (variables macroclimáticas) y las predichas (por ejemplo, índice SPI) deben discretizarse, para luego usar el teorema de Bayes

bajo la forma del diagrama de árbol rotulado (Cofiño *et al.*, 2002; Evans, 2005). A manera de ejemplo, imagine un modelo probabilístico donde intervienen dos variables macroclimáticas predictoras de tres niveles (-1, 0 y +1) y una variable respuesta de dos niveles (ENS, Evento No Seco; ES, Evento Seco), como se muestra en la Fig. 2.8

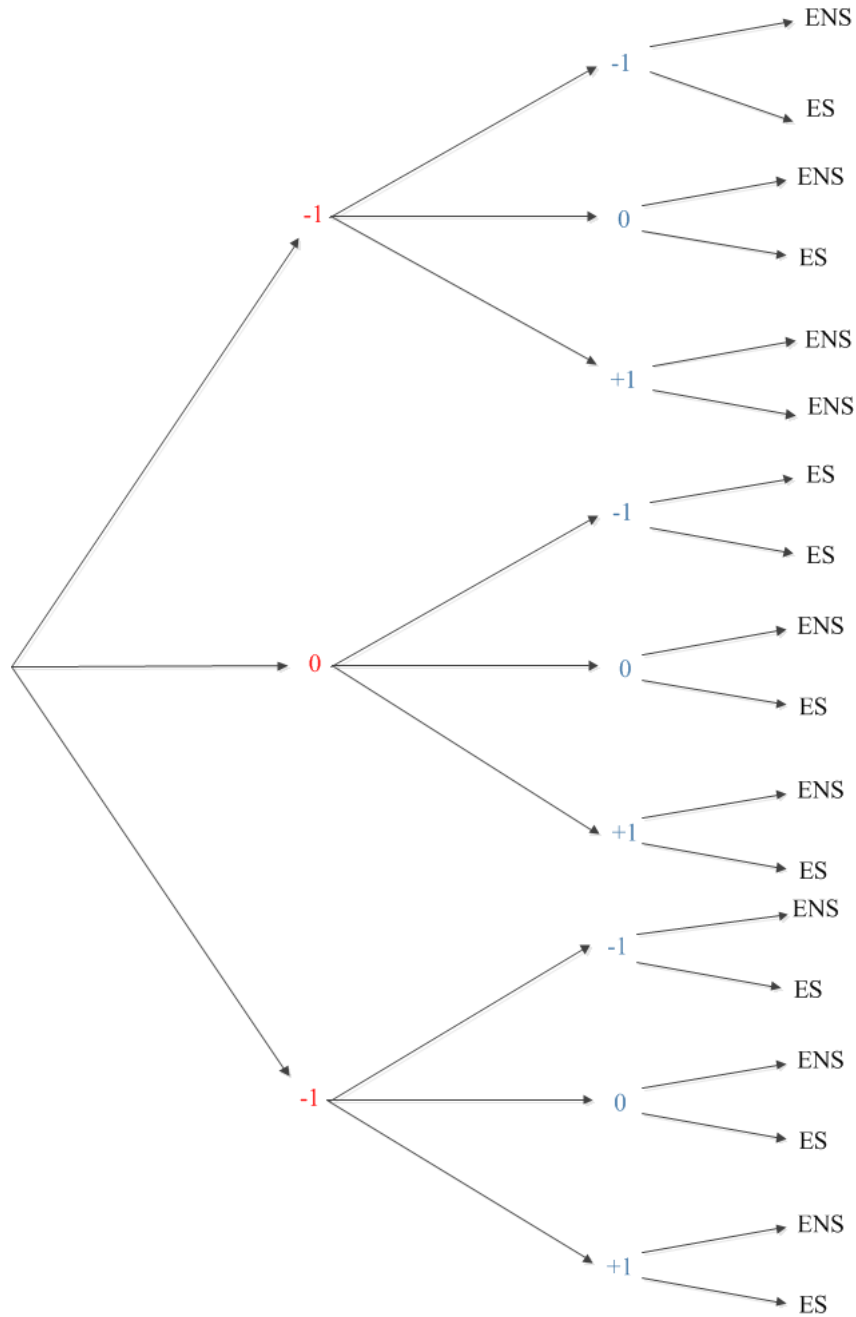


Fig. 2.8.-Diagrama de árbol rotulado de un proceso estocástico finito con dos variables predictoras de tres niveles (-1, 0, +1) y una variable respuesta de dos niveles (ES y ENS).

El proceso estocástico de la Fig. 2.8 tiene 9 combinaciones posibles, cada una de estas, genera un espacio muestral. Así, la probabilidad de ocurrencia de un Evento Seco (ES) dado que la VM_1 muestre una señal +1 y la VM_2 muestre una señal -1, se calcula como sigue:

$$P(ES / VM_1 = +1 \cap VM_2 = -1) = \frac{n_{18}}{S_9} \quad (2.8)$$

Donde: $P(ES/VM_1 = +1 \cap VM_2 = -1)$ es la probabilidad de ocurrencia de un evento ES dado que VM_1 presenta una señal +1 y VM_2 una señal -1; n_{18} número de eventos secos observados cuando VM_1 presenta una señal +1 y VM_2 una señal -1; S_9 número total de eventos observados cuando VM_1 presenta una señal +1 y VM_2 una señal -1.

Tabla 2.5.-Estructura discreta del modelo de la Fig. 2.8

VM_1	VM_2	ENS	ES	TOTAL
0	0	n_1	n_{10}	S_1
0	+1	n_2	n_{11}	S_2
0	-1	n_3	n_{12}	S_3
-1	0	n_4	n_{13}	S_4
-1	+1	n_5	n_{14}	S_5
-1	-1	n_6	n_{15}	S_6
+1	0	n_7	n_{16}	S_7
+1	+1	n_8	n_{17}	S_8
+1	-1	n_9	n_{18}	S_9

Nota: Evento No Seco (ENS) y Evento Seco (ES)

En esta Tesis Doctoral, cuyos resultados se presentan en este documento, se desarrolla un sistema de predicción probabilística, discreto y condicional, basado en el uso de series temporales del índice SPI, generadas en ciertas estaciones pluviométricas y algunos índices oceánicos y atmosféricos macroclimáticos, desfasados con relación al índice SPI.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1.- Tipo de investigación

Se trata de una investigación de campo, enmarcada dentro de los Estudios Correlacionales; se evalúan las relaciones entre un grupo de variables dependientes e independientes, a fin de determinar su dependencia y sobre esta base, desarrollar modelos de predicción discretizados y condicionales (Hernández *et al.*, 2003; Cegarra, 2004).

3.2.- Unidad de estudio

La Unidad de Estudio (UE) considerada se extiende a toda la República Bolivariana de Venezuela, ubicada al norte de América del Sur, entre los paralelos 0°38'53'' y 12°11'46'' de latitud norte y los meridianos 58°10'00'' y los 73°25'00'' de longitud oeste. El país se divide en veintitrés unidades administrativas: Anzoátegui, Aragua, Barinas, Carabobo, Cojedes, Distrito Federal, Falcón, Guárico, Lara, Mérida, Miranda, Monagas, Nueva Esparta, Portuguesa, Sucre, Táchira, Trujillo, Yaracuy, Zulia, Amazonas, Apure, Bolívar, Vargas y Delta Amacuro. La UE incluye cuatros subregiones oceánicas en el Pacífico, dos en el Atlántico y una en el Mar Caribe como se indica en las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3 (Fig. 3.1)

Tabla 3.1.-Subregiones del Océano Pacífico.

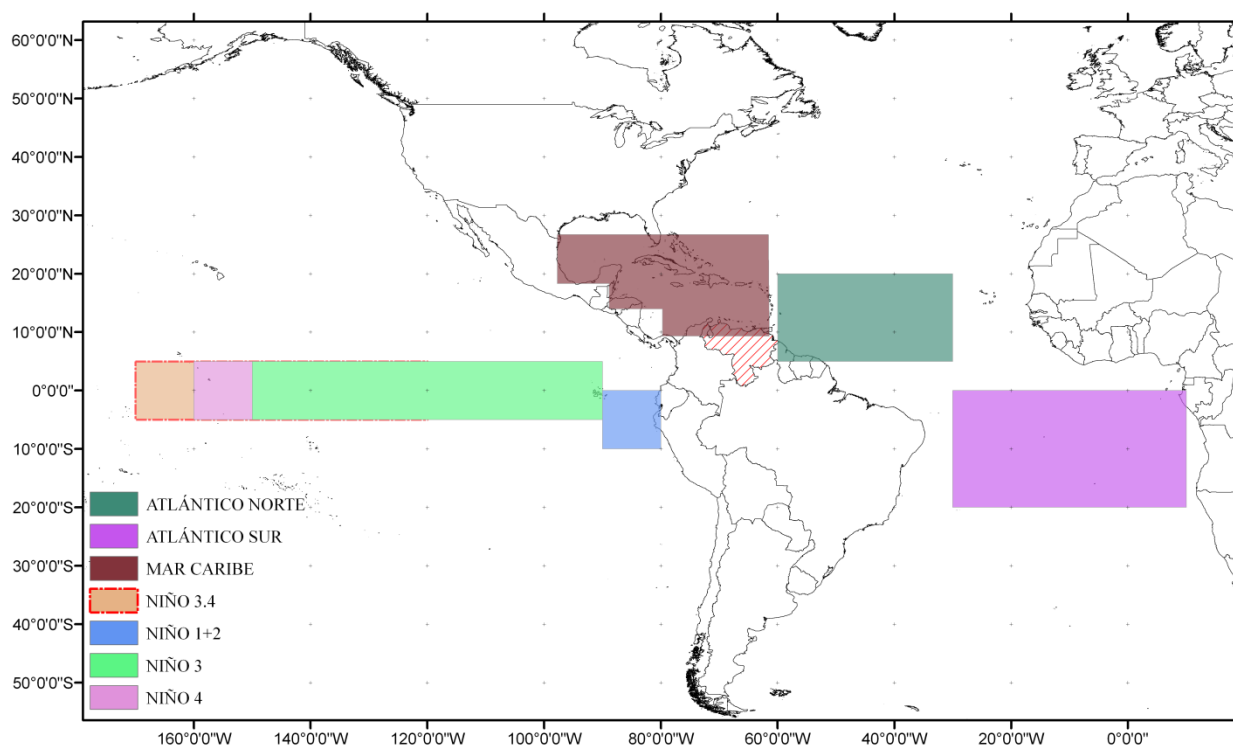
Sub-región	Latitud	Longitud
Niño 1+2	0° a 10° S	80° a 90° W
Niño 3	5° N a 5° S	90° a 150° W
Niño 4	5° N a 5° S	120° a 170° W
Niño 3.4	5° N a 5° S	160° a 150° W

Tabla 3.2.-Subregiones del Océano Atlántico.

Sub-región	Latitud	Longitud
Atlántico Norte	5° a 20° N	60° a 30° W
Atlántico Sur	0° a 20° S	30° W a 10° E

Tabla 3.3.- Poligonal de la subregión sobre el Mar Caribe.

Vértice	Latitud N	Longitud W
V ₁	26°43'3.36''	61°34'54.12''
V ₂	26°43'3.36''	97°44'30.12''
V ₃	18°17'25.08''	97°44'30.12''
V ₄	18°17'25.08''	88°51'52.56''
V ₅	13°57'3.96''	88°51'52.56''
V ₆	13°57'3.96''	79°42'44.28''
V ₇	9°18'49.68''	79°42'44.28''
V ₈	9°18'49.68''	61°25'23.88''

**Fig. 3.1.-** Regiones oceánicas que forman parte de la Unidad de Estudio.

3.3.-Fases de la investigación

Fase I. Regionalización de las anomalías pluviométricas

En esta fase se realizaron las siguientes actividades, en orden secuencial:

1.- Se elaboró una Base de Datos Preliminar (BDP) con la información de las estaciones que tienen registros pluviométricos, administradas por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA), Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Electrificación del

Caroní, C.A. (EDELCA), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y el Servicio de Hidrología y Navegación de Venezuela. Los campos de información de la BDP fueron: Longitud, Latitud, Serial, Nombre, Tipo (C2, PR, PE, SB, C1, PC, A1, C3, SP y SM), Estado donde se encuentra, Organismo que la administra, período disponible (año de inicio – año final). La BDP está constituida por 632 estaciones.

2.- De la BDP se seleccionaron las estaciones cuyas series pluviométricas, cumplieron con las dos condiciones siguientes: a) 20 o más años de registros continuos (sin datos faltantes); y b) serie de precipitación anual homogénea. Esta última condición fueron verificada aplicando el test de Easterling *et al.* (1996); se empleó el software AnClim desarrollado por Štěpánek (2005). Las series elegidas se denominan en lo sucesivo, Series Muestra (SM). No se usaron las Normas Climáticas propuestas por la OMM (1990) y discutidas por Guttman (1998a) debido a la diversidad en las fechas de inicio y fin de las series pluviométricas disponibles en el país, así como el alto porcentaje de datos faltantes (Norma Climática; 01-01-1961 a 31-12-2000). Debido a que las SM poseen diferente longitud de registros, se dividieron en dos grupos: a) SM de la Fachada Norte constituida por 234 estaciones con un período de registro común, 1993 – 1983, ubicadas al Norte de los ríos Apure y Orinoco. b) SM de la Fachada Sur, constituida por 23 estaciones, con el período de registro común, 1971 – 1991; localizadas en los estados Delta Amacuro, Bolívar, Apure y Amazonas.

3.- Se calculó el índice SPI en las estaciones de ambas fachadas utilizando el método descrito en la sección 2.2.4.3. A las series de SPI obtenidas, en lo sucesivo se denominan SM-Norte y SM-Sur.

4.- Se verificó la normalidad de la distribución de frecuencia de las SM-Norte y SM-Sur, usando el test W de Shapiro-Wilk (De La Fuente, 2005). Un total de 247 estaciones tienen SM con una distribución de frecuencia normal ($p < 0.01$); el resto de las SM se descartaron. La prueba se realizó con el software estadístico STATISTICA 7 TM.

5.- A las SM-Norte y SM-Sur con una distribución de frecuencia normal (según el test W de Shapiro-Wilk), se aplicó, por separado, un Análisis de Componentes Principales (ACP) con un método de rotación Normalización Varimax con Kaiser (Pérez, 2004). El ACP se realizó con el software estadístico SPSS 10 TM; los resultados son como sigue:

SM-Norte: la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin fue de 0.697 (índice KMO). El test de esfericidad de Bartlett resultó significativo ($\chi^2 = 62268.174$; $p < 0.01$). Se retuvo 42 factores con autovalores mayores a uno, explicando 78.69% de la varianza total. La matriz de correlación reproducida presentó 154 residuos no redundantes, con valores absolutos mayores a 0.05 (<1%).

SM-Sur: la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin fue de 0.924 (índice KMO). El test de esfericidad de Bartlett resultó significativa ($\chi^2 = 2939.16$; $p < 0.01$). Se retuvo 4 factores con autovalores mayores a uno, explicando 60.18% de la varianza total. La matriz de correlación reproducida presentó 81 residuos no redundantes, con valores absolutos mayores a 0.05 (32%).

6.- Utilizando las matrices de componentes rotados generadas en la etapa anterior, se clasificaron las SM-Norte y SM-Sur según el factor que el ACP indicaba que pertenecía (32 grupos de estaciones en la Fachada Norte y 4 en la Fachada Sur).

5.- Se creó un Sistema de Información Geográfico (SIG) vectorial, con el software comercial ArcMap™ 9.2 de la Environmental System Research Institute (ESRI). Se representó en el SIG, las estaciones clasificadas de acuerdo al criterio detallado en la etapa anterior, indicando el factor al cual pertenecían según el ACP aplicado. Luego, se agruparon las estaciones que pertenecían a un mismo factor por medio de polígonos. Así, se generó 31 polígonos con 230 estaciones; el resto de las estaciones se descartaron por no formar un polígono geográficamente definido (ver Anexo 1). Cada polígono se denomina en lo sucesivo, Subregión Homogénea (SH). Las estaciones agrupadas en cada SH se caracterizaron según su cobertura espacial, altitud referida al nivel del mar, precipitación media anual y ocurrencia de la fase seca. Esta última variable, se identificó con el coeficiente pluviométrico; descrito por Carrillo (1999).

6.- En cada SH se seleccionó una estación representativa sobre la base de los siguientes criterios: 1) la SM está entre las de mayor amplitud de registro y más reciente; 2) la estación está en la categoría de temporada seca con mayor porcentaje de ocurrencia; 3) la estación está en la categoría de altitud con mayor porcentaje de ocurrencia (se usaron cuatro categorías); 4) la estación está en la categoría de precipitación media anual con mayor porcentaje de ocurrencia (se usaron cuatro categorías). Se seleccionó la estación que cumplía con los cuatro criterios, la cual en lo sucesivo se denomina Estación de Referencia (ER). Así, se generó 29 ER.

Fase II. Análisis de correlación cruzada

En esta fase se realizó las siguientes actividades, en orden secuencial:

1.- Se consideró las variables macroclimática listadas en la Tabla 3.4

Tabla 3.4.- Descripción de las series temporales utilizadas como variables macroclimáticas en la investigación.

Nombre	Región delectura
Temperatura superficial del Pacífico Oriental Extremo	Región Niño 1+2 0°-10° S; 90°-80° W
Temperatura superficial del Pacífico Central	Región Niño 4 5°N-5°S; 160°E-150°W
Temperatura superficial del Pacífico Este-Central	Región Niño 3.4 5°N-5°S; 170°E-120°W
Temperatura superficial del Pacífico Oriental	Región Niño 3 5°N-5°S; 150°E-90°W
Temperatura superficial del Atlántico Norte	Ver Tabla 3.2
Temperatura superficial del Atlántico Sur	Ver Tabla 3.2
Anomalía en la temperatura superficial del Mar Caribe	Ver Tabla 3.3
Oscilación del Sur	Tahití (Polinesia francesa): 17° 39' 9.50'' S; -149° 26' 57.37'' W Darwin (Norte de Australia): 12° 27' 52.50'' S; -130° 51' 4.48'' W
Oscilación Cuasi-Bianual	Singapur (Asia). 1° 21' 31.39'' N; 103° 48' 1.30 E Estratosfera, zona de 50 mb
Índice Zonal de vientos ecuatorial a 200 mb	Ecuador. 165° W a 110° W. Tropopausa

3.- Para el análisis se utilizan las anomalías de las variable macroclimáticas extraídas de las fuentes que se dan en la Tabla 3.5

Tabla 3.5.- Series temporales de anomalías usadas en la investigación.

Nombre de la anomalía	Acrónimo	Fuente
Anomalía Estandarizada de la Temperatura superficial del Extremo Pacífico Oriental	NI12	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices
Anomalía Estandarizada de la Temperatura superficial del Pacífico Central	NI4	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices
Anomalía Estandarizada de la Temperatura superficial del Pacífico Este-Central	NI34	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices
Anomalía Estandarizada de la Temperatura superficial del Pacífico Oriental	NI3	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices
Anomalía Estandarizada de la Temperatura superficial del Atlántico Norte	ATLN	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.atl.indices
Anomalía Estandarizada de Temperatura superficial del Atlántico Sur	ATLS	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.atl.indices
Anomalía en la temperatura superficial del Mar Caribe*	ACAR	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/CAR.data
Anomalía Estandarizada de Oscilación del Sur	SOI	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi
Anomalía Estandarizada de Oscilación Cuasi-Bianual	QBO50	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/qbo.u50.index
Anomalía Estandarizada de Índice Zonal de vientos ecuatorial a 200 mb	ZON200	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/zwnd200

Nota: * se emplea sin estandarizar.

4.- Las Variables Macroclimáticas (VM, Tabla 3.5) y las series pluviométricas continuas de las ER (sin datos faltantes), tenían diferentes longitudes de registros, no obstante el mescomún de iniciode todas las series fue Jun-1979. De las ER se seleccionaron 23 estaciones, con 10 o más años en común de registros mensuales con las VM (Tabla 3.6) (se descartó 8 estaciones)

Tabla 3.6.-ER con Series SPI con 10 o más años en común con las series de VM

Serial	Nombre	Subregión Homogénea	Período común con las VM
1177	Estación Altagracia	SR1	1979-2000
2266	Estación Ospino	SR2	1979-2001
1487	Estación Tiara	SR3	1979-1997
1857	Estación Amanita	SR4	1979-1996
1268	Estación Duaca	SR5	1979-2000
4018	Estación Los Laureles	SR6	1979-1997
795	Estación San Francisco Macan	SR7	1979-2000
1265	Estación Bobare	SR8	1979-2000
2364	Estación Las Vegas-Charcote	SR9	1979-1999
2713	Estación Curataquiche	SR12	1979-1997
2149	Estación Cenizo Canal Principal	SR15	1979-1991
1032	Estación El Diluvio	SR16	1979-1996
2124	Estación Las Cuatro	SR19	1979-2000
4057	Estación Doradas	SR20	1979-1995
3025	Estación Caracolí	SR22	1979-1996
2608	Estación Clarines	SR24	1979-1991
1090	Estación Medellín	SR25	1979-1988
2980	Estación El Silencio	SR28	1979-1996
2331	Estación San Rafael De Onoto	SR35	1979-2001
4660	Estación Santa Rosalía	SRS1	1979-1997
3906	Estación Boca de Araguaíto	SRS2	1979-1999
4404	Estación San Fernando de Apure-Aeropuerto	SRS3	1979-1992
9408	Estación Yekuana	SRS4	1979-1997

5.- Se calculó el SPI en las ER listadas en la Tabla 3.6, durante el período común (cuarta columna de Tabla 3.6).

6.- Se aplicó un análisis de correlación cruzada entre las series SPI en cada ER (Tabla 3.6) y las anomalías VM (Tabla 3.5); las anomalías VM se desfazaron de 1 a 24 meses con respecto a las serie SPI. Así, se identificó el desfase para el cual el valor absoluto del coeficiente de Pearson es máximo y la significancia estadística de dicho desfase (Tabla 3.7). Las ERs que no tuvieron, al menos, 10 años comunes con las VM se descartaron (estaciones Guarero, Paracotos, Miranda La Trinidad, El Tigre, Cerro Sabino y Bramón Escuela); considerando que la longitud de registros es insuficiente para medir la fuerza correlacional.

Fase III. Estructuración y validación de modelos de predicción

1.- En cada ER se identificaron las cuatro VM con mayor fuerza correlacional y el desfase asociado (variables predictoras). Luego, se construyó una base de datos en la cual, cada VM se desfazó con relación a la serie SPI tantos meses como lo señaló el análisis de correlación cruzada (Tabla 3.7)

2.- Para minimizar el efecto de los registros extremos en la distribución de frecuencia de las series VMs (Tabla 3.5), se discretizaron según el valor de los cuartiles Q_2 , Q_3 y Q_4 (valores de truncamiento), asignando los siguientes rangos para los niveles:

- ✓ -1 si $VM \leq Q_2$; señal negativa
- ✓ 0 si $Q_4 \geq VM \geq Q_2$; señal neutral
- ✓ +1 si $VM \geq Q_4$; señal positiva

Las series SPI se categorizaron como sigue (ver Tabla 2.4):

- ✓ $SPI \leq -2.00$; mes con una condición Extremadamente Seca;
- ✓ $-2.00 < SPI \leq -1.50$ mes con una condición Severamente Seca;
- ✓ $-1.50 < SPI \leq -1.00$ mes con una condición Moderadamente Seca;
- ✓ $-1.00 \leq SPI$ mes con una condición No Seca.

3.- Por lo anterior, cada ER, tiene 81 combinaciones entre las series, VM predictoras (cuatro) y la SPI; categorizadas según la Tabla 3.8. Luego, se calculó la probabilidad de ocurrencia de una condición No Seca, Moderadamente Seca, Severamente Seca o Extremadamente Seca en cada combinación (Probabilidad Total de Bayes; Cofiño, 2002; Evans, 2005).

Tabla 3.7.-Correlación de Pearson máxima entre las series SPI en cada ER y las anomalías VM

SH	NI12	NI4	NI34	NI3	ATLN	ATLS	ACAR	SOI	QBO50	ZON200
SR1	-0.177* -2	-0.117 -1	-0.134 -1	-0.160 -2	0.143 -4	0.171* -2	-0.171* -23	0.135 -1	0.033 -5	0.145 -1
SR2	-0.147 -18	-0.117 -17	-0.125 -18	-0.148 -18	-0.144 -22	-0.125 -14	-0.104 -17	0.101 -16	-0.077 -18	0.162* -15
SR3	0.068 -8	0.222* -7	0.199* -7	0.154* -7	-0.165* -22	-0.194* -13	-0.201* -23	-0.224* -6	-0.125* -11	-0.166* -4
SR4	-0.263* -3	-0.141 -5	-0.197* -2	-0.249* -2	0.177 -10	0.178 -20	0.222* -12	0.203* -1	0.117 -7	0.226* -1
SR5	0.177* -16	0.147* -13	0.169* -12	0.184* -12	-0.113 -14	-0.150* -20	0.075 -12	-0.154* -11	-0.141* -16	-0.153* -10
SR6	-0.135 -4	-0.177 -5	-0.166 -5	-0.168 -5	-0.126 -5	0.142 -6	0.155 -23	0.148 -4	0.080 -8	0.161 -1
SR7	-0.227* -2	-0.248* -8	-0.277* -1	-0.286* -1	0.142 -15	0.198* -9	0.201* -14	0.239* -1	0.123 -17	0.249* -1
SR8	-0.157 -5	-0.096 -17	-0.081 -5	-0.136 -5	-0.060 -12	0.151 -16	0.083 -10	0.090 -7	-0.141 -15	0.096 -6
SR9	0.064 -1	0.079 -11	0.082 -11	0.094 -12	0.151 -16	-0.096 -1	0.116 -12	-0.110 -5	0.083 -13	-0.110 -4
SR12	-0.201* -1	0.163 -20	0.189* -19	-0.205* -1	0.159 -15	-0.119 -16	0.147 -13	-0.211* -17	0.155* -9	-0.188 -19
SR15	-0.142 -7	-0.031 -4	-0.074 -13	-0.078 -2	0.130 -1	0.103 -19	-0.171 -18	0.030 -15	-0.105 -14	0.128 -10
SR16	-0.154 -3	-0.189* -1	-0.236* -1	-0.248* -2	0.156 -1	0.160 -21	0.117 -13	0.193* -1	-0.190* -16	0.287* -1
SR19	-0.152 -4	-0.116 -17	-0.117 -5	-0.114 -5	0.114 -9	0.088 -15	0.094 -15	0.115 -4	-0.105 -19	0.095 -7
SR20	-0.126 -18	-0.108 -18	-0.101 -22	-0.143 -24	0.120 -1	-0.171 -1	0.101 -23	0.112 -23	0.058 -7	-0.131 -5
SR22	0.223* -24	-0.178 -3	0.177 -24	0.196* -24	0.210* -17	-0.131 -24	0.188* -20	0.186* -9	0.084 -6	-0.210* -20
SR24	0.104 -16	-0.119 -17	-0.142 -1	-0.133 -2	0.209 -1	-0.115 -23	-0.123 -17	0.138 -18	-0.206 -11	0.147 -3

Tabla 3.7.-Continuación

SH	NI12	NI4	NI34	NI3	ATLN	ATLS	ACAR	SOI	QBO50	ZON200
SR25	0.161 -13	0.276* -20	0.257* -19	0.213 -19	0.297* -12	-0.251 -10	0.342* -9	0.252 -1	0.198 -5	0.220 -1
SR28	-0.188* -3	-0.166 -3	-0.174 -2	-0.192* -2	0.095 -8	0.093 -7	0.126 -9	0.120 -7	-0.234* -20	0.160 -3
SR35	-0.150 -24	0.176* -7	0.194* -8	0.190* -11	-0.133 -24	-0.195* -14	-0.115 -16	-0.201* -7	-0.121 -17	-0.207* -4
SRS1	-0.132 -2	-0.127 -2	-0.146 -1	-0.148 -1	0.134 -15	0.174 -7	0.196* -21	0.078 -3	-0.096 -1	0.135 -12
SRS2	-0.202* -2	-0.246* -3	-0.248* -2	-0.252* -2	0.186* -16	-0.210* -20	0.216* -19	0.158 -3	-0.257* -22	0.213* -3
SRS3	0.121 -20	0.107 -14	0.098 -20	0.111 -20	0.125 -10	0.154 -3	0.195* -12	-0.116 -4	-0.129 -15	-0.186* -4
SRS4	-0.103 -19	-0.129 -21	-0.128 -21	-0.102 -21	0.148 -1	-0.101 -2	0.241* -23	-0.146 -11	-0.189 -11	-0.112 -9

Nota: * $p < 0.01$ (significativo a un nivel de significancia del 99%); la línea superior es el coeficiente de correlación de Pearson máximo, la línea inferior muestra el desfase en meses donde se da el máximo coeficiente de correlación de Pearson (línea superior). SH, Subregión Homogénea

Tabla 3.8.-Estructuracategórica de las cuatro VM con mayor fuerza correlacional en una ER

VM ₁	VM ₂	VM ₃	VM ₄
-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	0
-1	-1	-1	1
-1	-1	0	-1
-1	-1	0	0
-1	-1	0	1
-1	-1	1	-1
-1	-1	1	0
-1	-1	1	1
-1	0	-1	-1
-1	0	-1	0
-1	0	-1	1
-1	0	0	-1
-1	0	0	0
-1	0	0	1
-1	0	1	-1
-1	0	1	0
-1	0	1	1
-1	1	-1	-1
-1	1	-1	0
-1	1	-1	1
-1	1	0	-1
-1	1	0	0
-1	1	0	1
-1	1	1	-1
-1	1	1	0
-1	1	1	1

Tabla 3.8.- Continuación

VM₁	VM₂	VM₃	VM₄
0	-1	-1	-1
0	-1	-1	0
0	-1	-1	1
0	-1	0	-1
0	-1	0	0
0	-1	0	1
0	-1	1	-1
0	-1	1	0
0	-1	1	1
0	0	-1	-1
0	0	-1	0
0	0	-1	1
0	0	0	-1
0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	1	-1
0	0	1	0
0	0	1	1
0	1	-1	-1
0	1	-1	0
0	1	-1	1
0	1	0	-1
0	1	0	0
0	1	0	1
0	1	1	-1
0	1	1	0
0	1	1	1
1	-1	-1	-1
1	-1	-1	0
1	-1	-1	1
1	-1	0	-1
1	-1	0	0
1	-1	0	1
1	-1	1	-1

Tabla 3.8.- Continuación

VM ₁	VM ₂	VM ₃	VM ₄
1	-1	1	0
1	-1	1	1
1	0	-1	-1
1	0	-1	0
1	0	-1	1
1	0	0	-1
1	0	0	0
1	0	0	1
1	0	1	-1
1	0	1	0
1	0	1	1
1	1	-1	-1
1	1	-1	0
1	1	-1	1
1	1	0	-1
1	1	0	0
1	1	0	1
1	1	1	-1
1	1	1	0
1	1	1	1

Nota: VM es la anomalía de la variable macroclimática (Tabla 3.5) categorizada según los cuartiles y desfasada con relación a la serie de SPI un número de meses indicado en la Tabla 3.7

4.- Para validar los modelos asociados a cada ER, se usaron 20 estaciones pluviométricas con series continuas operadas por la FAV y listadas en el Anexo 2 (no utilizadas anteriormente). Las estaciones se plotearon en el SIG y se seleccionaron aquellas ubicadas dentro de cada Subregión Homogénea (estaciones de validación); descartándose aquellas ubicadas fuera las Subregiones Homogéneas.

5.- Se verificó la homogeneidad de las series seleccionadas con el test de Easterling *et al.* (1996); se empleó el software AnClim desarrollado por Štěpánek (2005); cabe destacar que Pineda *et al.* (2006), reportan que estas estaciones tienen series pluviométricas homogéneas según el Índice de

Homogeneidad Múltiple. Después de generar la serie SPI de cada una de las estaciones (Tabla 3.9), se categorizaron los valores en cuatro escenario, utilizando los siguientes rangos:

- ✓ $SPI \leq -2.00$; mes con una condición Extremadamente Seca;
- ✓ $-2.00 < SPI \leq -1.50$ mes con una condición Severamente Seca;
- ✓ $-1.50 < SPI \leq -1.00$ mes con una condición Moderadamente Seca;
- ✓ $-1.00 \leq SPI$ mes con una condición No Seca.

Tabla 3.9.-Estaciones pluviométricas de la FAV usadas para validar los modelos de las ER

Longitud	Latitud	Serial	Nombre	SH que valida	Período
-63.9667	10.9167	871	Porlamar	SR1	1977-2005
-69.7333	9.0833	2299	Guanare	SR2	1977-2005
-66.8833	10.5000	544	Caracas-La Carlota	SR3	1977-2006
-62.3000	10.5833	4099	Guiría	SR4	1977-2006
-69.3167	10.2333	1282	Barquisimeto	SR8	1977-2006
-67.4167	7.6833	4404	San Fernando de Apure	SRS3	1995-2005
-67.5000	5.6000	6524	Puerto Ayacucho	SRS4	1977-2002

Nota: FAV, Servicio de Meteorología de la Aviación Militar Bolivariana.

6.- Se determinó el porcentaje de aciertos de los modelos asociados a cada ER (Tabla 3.7). Se considera un acierto cuando el modelo predice un escenario (Extremadamente Seco; Severamente Seco; Moderadamente Seco; No Seco) sin importar el porcentaje de ocurrencia que le asocie; en caso contrario, se clasifica como una falsa alarma.

CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.-Regionalización de las anomalías pluviométricas en Venezuela

Las anomalías pluviométricas muestran una notable heterogeneidad espacial. Al norte de los ríos Apure y Orinoco, existen 32 Subregiones Homogéneas (SH) que agrupan 208 estaciones pluviométricas. En los estados Apure, Bolívar, Amazonas y Delta Amacuro se identifican cuatro SHs con 22 estaciones pluviométricas (Fig. 4.1; Tabla 4.1).

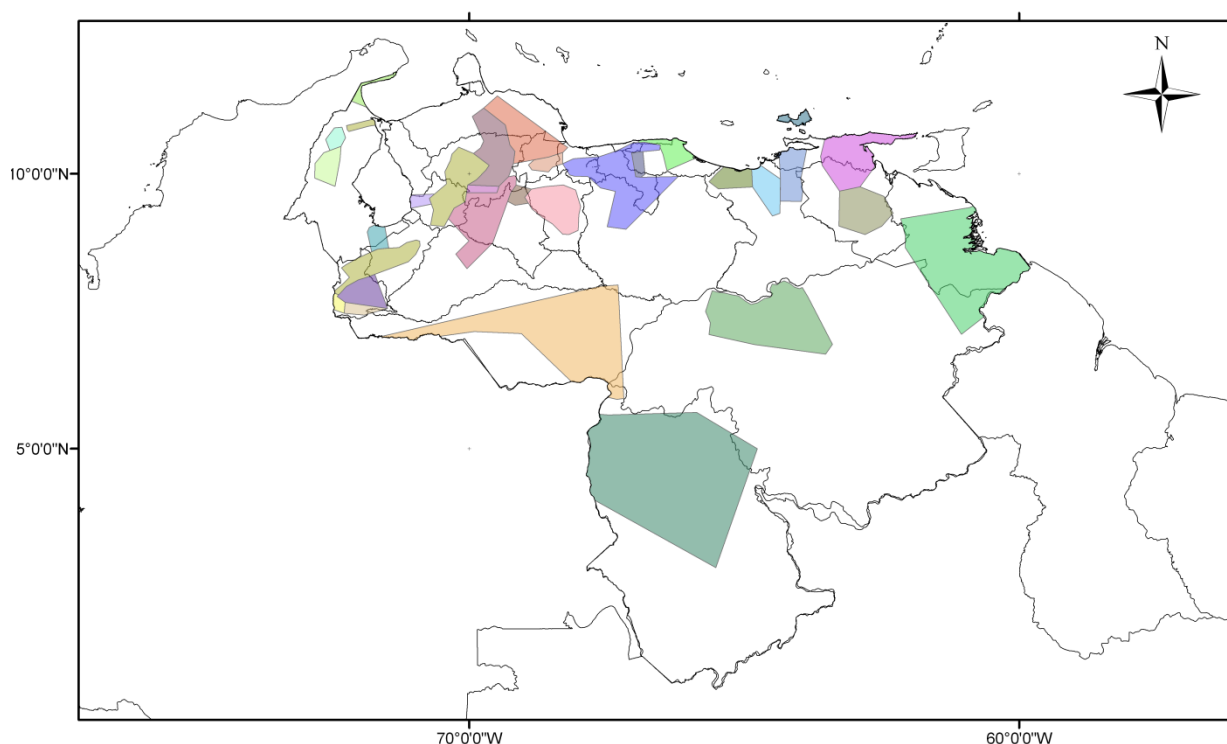


Fig. 4.1.- Subregiones Homogéneas según la ocurrencia de anomalías pluviométricas.

Tabla 4.1.- Estaciones incluidas en cada Subregión Homogénea.

Subregión	Seriales de estaciones agrupadas en la subregión
SR1	1007, 1019, 1031, 1147, 1176, 1177, 1186, 1187, 1199, 1261, 1271, 1273, 2106, 2108, 2110, 2118, 2119, 2126, 2129, 2132, 2133, 2141, 2144, 2148, 2162, 2167, 2185, 2186, 2195, 2201, 3024, 3035, 3038, 3042, 3047, 3061, 3070, 3073, 3080, 3083, 3085, 4003, 4022 y 8052
SR2	2139, 2168, 2170, 2171, 2173, 2176, 2187, 2208, 2228, 2251, 2252, 2260, 2266, 2282, 3155, 3156, 3158, 3183, 3213, 3214, 3216, 3217 y 3222
SR3	452, 460, 463, 466, 468, 487, 495, 531, 548, 590, 1358, 1368, 1387, 1397, 1435, 1444, 1451, 1457, 1472, 1483, 1487, 1492, 1494, 2404, 2409, 2417, 2423, 2424, 2427, 2430, 2448, 2471, 2493, 2495, 2511, 2519 y 2551

Tabla 4.1.-Continuación

Subregión	Seriales de estaciones agrupadas en la subregión
SR4	1820, 1823, 1824, 1825, 1828, 1838, 1839, 1840, 1841, 1844, 1845, 1855, 1857, 1886, 1889, 1928 y 2827
SR5	263, 1216, 1268, 1321, 1322, 1334, 1336, 1342 y 1343
SR6	2335, 3097, 4014, 4018, 4024, 4026, 4027, 4028, 4038, 4040 y 4051
SR7	795, 897, 1718 y 1812
SR8	283, 1204, 1233, 1265, 1272, 1274, 1282, 2204 y 2215
SR9	2333, 2336, 2340, 2348, 2362, 2364, 2365, 2378 y 3309
SR10	51 y 52
SR11	508, 1508, 1515, 1516, 1546 y 1662
SR12	2713, 2715, 2722 y 2764
SR13	560, 570 y 585
SR15	2149, 2150 y 2152
SR16	1032 y 1033
SR18	1709, 1749 y 2755
SR19	2124, 2234 y 2235
SR20	4055, 4057 y 4059

Tabla 4.1.-Continuación

Subregión	Series de estaciones agrupadas en la subregión
SR22	2095, 3025
SR24	2605, 2608
SR25	1073, 1090 y 1092
SR33	1380, 1381 y 1385
SR35	2239 y 2331
SRS1	3751, 4660, 4661, 4662, 4663, 4664, 4665, 4667, 4711 y 5884
SRS2	2911, 2914, 3905, 3906 y 4974
SRS3	4175, 4194, 4404 y 9423
SRS4	9402, 9404 y 9408

Nota: los detalles de las subregiones se muestran en el Anexo 1

La Subregión Homogénea SR1 agrupa 19.13% de las estaciones; en cuanto a estaciones agrupadas, es la de mayor tamaño. Un 68.18% de las estaciones tienen una precipitación media anual entre 510 y 1055 mm. Cerca del 80% de las estaciones, se localizan en altitudes desde 5 a 1502 metros sobre el nivel del mar (msnm). La temporada seca es predominantemente bimodal (95.45% de las estaciones presentan dos períodos secos); en 54.55% de las estaciones el período seco ocurre entre Dic-Mar y Jun-Ago, 6.81% de Ene-Mar y Jun-Ago, 6.81% de Dic-Mar y Jul-Ago, las otras categorías agrupan, individualmente, menos del 6%. Las estaciones se distribuyen en los Estados Lara (34.09%), Trujillo (27.27%) y Mérida (15.90%), concentradas en los ejes La Grita (Táchira) – Mucuchíes (Mérida) y Valera (Trujillo) – Río Tocuyo (Lara); vertiente oeste de

la Cordillera de Los Andes y parte de la Depresión Larense. Un pequeño conglomerado (6.81% del grupo) está al oeste de la Bahía El Tablazo (estado Zulia).

La Subregión Homogénea SR3 agrupa 16.08% de las estaciones. En el 91.90% del grupo, la precipitación media anual varía entre 790 y 1313 mm. Cerca del 92% de las estaciones se ubica entre las cotas 100 y 768 msnm. El régimen pluviométrico de la temporada seca es unimodal; en el 86.49% de los casos, dicha temporada ocurre entre Nov-Abr; en 5.41%, entre Nov-Mar; en 5.41%, entre Dic-Abr; y 2.70%, entre Dic-Mar. El 48.65 % de las estaciones se encuentran en el Estado Aragua; en Guárico el 27.03%; en Carabobo 18.92%; en Miranda el 2.70%; y en el Distrito Federal, 2.70%. Las estaciones se ubican en el eje, La Victoria (Aragua) – San Juan de Los Morros (Guárico) – El Sombrero (Guárico) y el área de influencia engloba la vertiente sur de la Fila de Naguayá, las cuencas del Lago de Valencia y el río Guárico hasta el embalse Guárico (Calabozo); en la vertiente norte, existen algunas estaciones emplazadas en la cuenca alta de los ríos Tuy, Capaya y Guapo.

La Subregión Homogénea SR2 agrupa 10.00% de las estaciones. En el 82.61% del grupo, la precipitación media anual varía entre 845 a 2025 mm. Cerca del 70% se localizan entre las cotas, 100 y 789 msnm. La temporada seca es predominantemente unimodal; en el 52.17% de los casos ocurre entre Nov-Mar; 21.74%, en Nov-Abr; 13.04%, en Dic-Mar; 8.70%, en Nov-Mar y Ago-Sep; y 4.35%, en Oct-Mar. Las estaciones se distribuyen entre los estados Portuguesa (43.48%), Lara (21.74%), Barinas (21.74%) y Trujillo (13.04%), siguiendo un eje geográfico que contiene, entre otros poblados, Torunos (Barinas), Guanare (Portuguesa) y Biscucuy (Trujillo). La SR2 forma parte de la vertiente oriental de la Cordillera de Los Andes e incluye las nacientes de los ríos Portuguesa, Bocono y Guanare.

La Subregión Homogénea SR4 agrupa 7.39% de las estaciones. En el 64.71% del grupo, la precipitación media anual varía entre 870 y 1505 mm. Alrededor del 77% está a una elevación comprendida entre 13 y 250 msnm. La temporada seca es predominantemente unimodal (70.59% de las estaciones); en el 35.29% ocurre entre Dic-May, 29.41% de Dic-Abr, 11.76% de Dic-May y Oct, las otras categorías agrupan, individualmente, menos del 6%. Las estaciones se distribuyen entre los estados Sucre (82.35%) y Monagas (17.65%); abarca la parte baja de las cuencas de los ríos San Juan-Guanipa y Paria-Araya.

La Subregión Homogénea SR6 agrupa 4.78% de las estaciones. En el 90.91% del grupo, la precipitación media anual varía de 686 a 1565 mm. Cerca del 73% está en una elevación de entre 880 y 1600 msnm. La temporada seca es predominantemente unimodal (72.72% de las estaciones); en el 45.45% ocurre entre Dic-Mar, 27.27% de Nov-Mar, las otras categorías son bimodales y agrupan, individualmente, menos del 10%. Las estaciones se distribuyen entre Táchira (90.91%) y Cojedes (9.09%). La SR4 se extiende a lo largo de Bailadores, La Grita, Lobatera, Táriba y San Cristóbal; parte de la vertiente oriental de la Cordillera de Los Andes, en la cuenca alta del río Uribante-Sarare.

La Subregión Homogénea SRS1 agrupa 4.35% de las estaciones. En el 60.00% del grupo, la precipitación media anual varía entre 1610 y 2148 mm. Alrededor del 50% de las estaciones está a una elevación de entre 25 y 128 msnm. La temporada seca es unimodal; 50.00%, entre Oct-Abr; 40.00%, de Nov-Abr; 10.00%, de Oct-May. Las estaciones están circunscritas al estado Bolívar (100%). Se extiende a lo largo de Maripa, Esmeralda y Campo Alegre; desde el punto de vista fisiográfico, al norte del Macizo Guayanés, en la cuenca baja de los ríos Caura y Aro.

La Subregión Homogénea SR5 agrupa 3.91% de las estaciones. En el 66.66% del grupo, la precipitación media anual varía entre 777 a 1256 mm. Cerca del 75% se localizan entre 19 y 440 msnm. La temporada seca es predominantemente unimodal; en el 33.33% ocurre entre Dic-Mar, 22.00% en Nov-Abr, las otras categorías agrupan, individualmente, menos del 12%. Las estaciones están distribuidas entre los estados Yaracuy (55.56%), Falcón (22.22%), Lara (11.11%) y Carabobo (11.11%). Las estaciones tienden a concentrarse a lo largo del eje Cabure (Falcón) – Montalbán (Yaracuy); al norte de las depresiones larense y yaracuyana, hasta la cuenca baja de los ríos Bicoa-Hueque, Tocuyo y Aroa-Yaracuy.

La Subregión Homogénea SR8 agrupa 3.91% de las estaciones. En el 66.66% del grupo, la precipitación media anual va de 387 a 519 mm. Alrededor del 78% se localizan entre 270 y 684 msnm. La temporada seca es predominantemente bimodal (88.89% de las estaciones); 55.56% ocurre entre Dic-Mar y Ago-Sep, las otras categorías agrupan, individualmente, menos del 12%. Las estaciones se distribuyen entre los estados Lara (88.89%) y Falcón (11.11%), ocupando principalmente el eje geográfico Cabudare (Lara) – Bobare (Lara) – San Luís (Falcón); desde el

punto de vista fisiográfico abarca gran parte de la depresión yaracuyana y la cuenca alta de los ríos Tocuyo y Cojedes.

La Subregión Homogénea SR9 agrupa 3.91% de las estaciones. El 55.55% del grupo, tiene una precipitación media anual que varía entre 1255 a 1390 mm. Cerca del 67% se localizan entre 102 y 146 msnm. La temporada seca es unimodal; 55.56% ocurre entre Nov-Abr y 44.44% entre Oct-Abr. Las estaciones están circunscritas al estado Cojedes y agrupadas en los poblados Cojeditos, El Pao y El Baúl; cubren gran parte de la cuenca media del río San Carlos.

La Subregión Homogénea SR11 agrupa 2.61% de las estaciones. El 66.67% del grupo, tiene una precipitación media anual que oscila entre 1288 a 1941 mm. Cerca del 67% se localizan entre los 8 y 49 msnm. La temporada seca es tanto unimodal como bimodal (igual proporción); 50.00% ocurre entre Ene-May, las otras categorías agrupan las estaciones con un régimen bimodal, las cuales agrupan menos del 17% de forma individual. Las estaciones se distribuyen entre los estados Miranda (83.33%) y Distrito Federal (16.67%). Se concentran a lo largo de Santa Teresa (Miranda), Higuerote (Distrito Federal) y La Guaira (Miranda); bordeando la Fila de Naiguatá y la Cordillera de la Costa.

La Subregión Homogénea SRS2 agrupa 2.17% de las estaciones. Un 60.00% del grupo tiene una precipitación media anual que va de 1308 a 1522 mm. Cerca del 80% se localizan entre los 2 y 47 msnm. La temporada seca es predominantemente bimodal (80% de las estaciones); 40.00% ocurre entre Ene-Abr y Sep-Oct, las otras categorías agrupan, individualmente, 20%. Las estaciones están localizadas en los estados Delta Amacuro (80.00%) y Bolívar (20.00%). La SRS2 ocupa gran parte del delta del Orinoco (al sur de los poblados Araguabís y Horqueta, en Delta Amacuro) y la Sierra de Imataca (Bolívar). Las características más relevantes de las Subregiones Homogéneas (SH) restantes, se muestran en la Tabla 4.2. La Tabla 4.3 lista la Estación de Referencia, seleccionada en cada SH.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) en conjunción con el agrupamiento geoespacial de las estaciones según su pertenencia a un factor o componente, tiende a generar Subregiones Homogéneas (SH) diferenciadas, fundamentalmente, por el monto pluviométrico anual y en menor grado, por la variabilidad interanual de la precipitación, altitud, proximidad y orientación con relación a las grandes cadenas montañosas (Anexo 3). El patrón de distribución espacial de las SH es similar a las regiones pluviométricas definidas por Velásquez (2000). En Venezuela, la

distribución anual de la precipitación está determinada en gran medida por la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (Poveda y Meza, 1997), sin embargo los resultados sugieren que las barreras orográficas como la Cordillera de Los Andes, son un factor de control que incide en la dinámica de las anomalías pluviométricas, representada en este caso por el índice SPI.

Tabla 4.2.- Características de las Subregiones Homogéneas con el menor número de estaciones.

Subregión	Prec. Media (mm)*	Temporada Seca*	Zona Geográfica
SR7	448-531 (50%)	Mar-Jun; Sep-Oct (50%)	Isla de Margarita
SR10	662-704 (100%)	Dic-Ago (100%)	Paraguaipoa (Zulia)
SR12	837-913 (50%)	Nov-May (75%)	Puerto La Cruz-Anaco (Anzoátegui)
SR13	1090-1510 (100%)	Nov-Abr (100%)	Los Teques-San Casimiro (Miranda)
SR15	1015-1070 (100%)	Dic-Mar; Jul-Ago (100%)	Agua Santa (Trujillo)
SR16	1352-1534 (100%)	Dic-Mar (100%)	Curazao (Zulia)
SR18	381-635 (100%)	Dic-May (66.67%)	Cumanacoa (Sucre)
SR19	799-1162 (100%)	Dic-Mar; Ago-Sep (100%)	El Tocuyo (Lara)
SR20	2281-2842 (100%)	Dic-Abr (66.67%)	Rubio (Táchira)
SR22	1393-1862 (100%)	Ene-Mar; Jul-Oct (50%)	Caño Muerto (Zulia)
SR24	753-944 (100%)	Nov-May (100%)	Clarines (Anzoátegui)
SR25	1497-1745 (100%)	Dic-Mar y Jul (66.67%)	Machiques (Zulia)
SR27	1349-2244 (100%)	Dic-Mar (50%)	San Ant. del Táchira (Táchira)
SR28	1055-1230 (100%)	Dic-May; Oct (100%)	Maturín-Temblador (Anzoátegui)
SR33	958-1385 (100%)	Nov-Mar (66.67%)	Montalbán (Yaracuy)
SR35	1487-1548 (100%)	Oct-Abr (50%)	Acarigua-Araure (Portuguesa)
SRS3	1354-1921 (50%)	Oct-Abr (50%)	El Amparo-Pto. Páez-San. Fern. de Apure
SRS4	2526-3303 (100%)	Oct-Mar (66.67%)	Pto. Ayacucho-Pta. Piaroa (Amazonas)

Nota: * entre paréntesis se indica la frecuencia porcentual de la categoría.

Tabla 4.3.-Estación de Referencia en cada Subregión Homogénea

Subregión Homogénea	Serial	Período continuo*
SR1	1177	1951-2000
SR2	2266	1953-2001
SR3	1487	1953-1997
SR4	1857	1962-1996
SR5	1268	1951-2000
SR6	4018	1959-1997
SR7	795	1954-2000
SR8	1265	1951-2000
SR9	2364	1960-1999
SR10	51	1962-1987
SR11	1546	1963-1983
SR12	2713	1949-1997
SR13	560	1961-1983
SR15	2149	1961-1991
SR16	1032	1963-1996
SR18	1749	1962-1983
SR19	2124	1962-2000
SR20	4057	1959-1995
SR22	3025	1963-1996
SR24	2608	1960-1991
SR25	1090	1963-1988
SR27	4041	1939-1985
SR28	2980	1963-1996
SR33	1385	1941-1985
SR35	2331	1955-2001
SRS1	4660	1969-1997
SRS2	3906	1970-1999

SRS3	4404	1921-1992
SRS4	9408	1970-1994

Nota: * la serie de SPI es continua a lo largo de este período (sin datos faltantes)

A juzgar por el área que cubren las SHs, se deduce que las sequías tienen mayor impacto en la fachada sur; su ocurrencia puede afectar grandes extensiones geográficas; las SHs al sur superan en tamaño a las SHs del norte. La distribución espacial de las SHs al norte de Los Llanos podría ser un indicativo de que la orografía contribuye a concentrar el impacto de los eventos secos en zonas de poca extensión superficial, generalmente flanqueadas por unidades de montaña de gran altura y alineadas en sotavento con relación a la dirección prevaleciente de los vientos Alisios (vientos de superficie).

Comparando los tipos climáticos (clasificación de Koeppen) con la distribución de las SHs se observa algunas semejanzas entre ambos patrones, especialmente en las zonas geográficas con climas secos. Las áreas con climas **BShi** o **BWi** coinciden con ciertas SHs; por ejemplo, Isla de Margarita con SR7; la bahía de El Tablazo con SR1; la depresión larense con SR8, entre otras. Por el contrario, en regiones con clima lluvioso cálido (**Afi**, **Ami** o **Aw**), como la Sierra de Maigualida, Penillanura del brazo de Casiquiare o el cuadrante suroeste del Macizo de Guayana, no resulta clara una asociación entre el clima y las SHs. En esta región, la SRS4 engloba ambientes heterogéneos, según la distribución anual de las lluvias y la magnitud pluviométrica. Esta diferenciación probablemente se deba a que los mecanismos físicos generadores de sequías meteorológicas (anomalías pluviométricas en general) son más complejos en regiones húmedas que en aquellas donde predomina un climaseco o árido; estas últimas regiones, no son afectadas significativamente por el doble paso de la Convergencia Intertropical (Goldbrunner, 1984; Pulwarty *et al.*, 1992).

4.2.- Caracterización del coeficiente de correlación cruzada entre el índice SPI en las Estaciones de Referencia y las anomalías de las Variables Macroclimáticas.

El coeficiente de correlación lineal de Pearson desfasado entre el índice SPI en las Estaciones de Referencias (ERs) y las anomalías de las Variables Macroclimáticas varía de -0.286 a +0.342. Los valores de mayor magnitud se dan en las Subregiones Homogéneas SR7, SR16, SR25, SR4, SRS2 y SRS4. Los desfases donde ocurre el máximo coeficiente lineal de Pearson varían de uno a 24 meses (Tabla 3.7).

El índice NI12 muestra el mayor grado de correlación en la SR22 (+0.223), SR12 (-0.201), SR4 (-0.263) y SRS2 (-0.202). La relación del NI12 con el SPI es inversamente proporcional en el noreste del país (una señal positiva del NI12 y gran magnitud, se relaciona con la ocurrencia de sequías meteorológicas) y directamente proporcional al sur del Lago de Maracaibo (una fuerte señal negativa del NI12 se asocia a la ocurrencia de sequías) (Fig. 4.2)

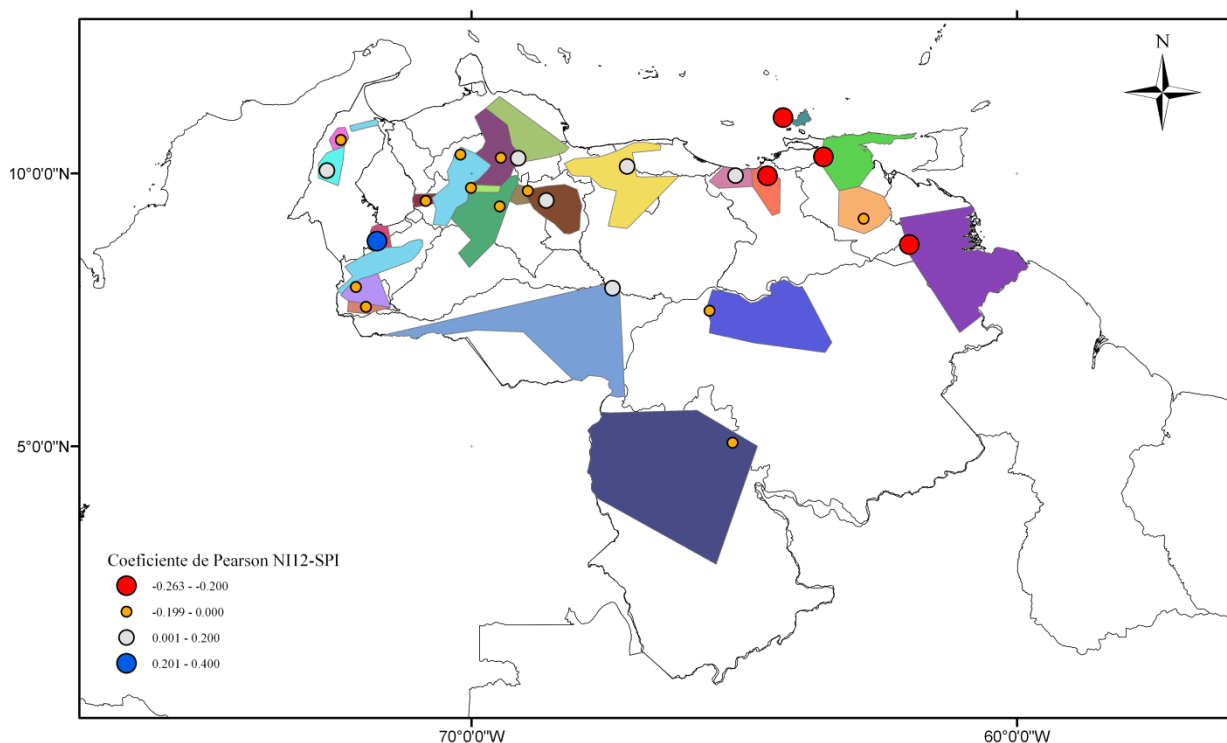


Fig. 4.2.- Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice NI12 en las ERs

El índice NI4 muestra la mayor fuerza correlacional en la SR25 (+0.276), SR3 (+0.222), SR7 (-0.248) y SRS2 (-0.246). Es inversamente proporcional al SPI en la Isla de Margarita y la región deltaica del río Orinoco (una fuerte señal positiva del NI4 se asocia a la ocurrencia de sequías), pero directamente proporcional en Machiques (Zulia) y el eje Valencia-San Juan de Los Morros-El Sombrero (una fuerte señal negativa del NI4 se asocia a la ocurrencia de sequías) (Fig. 4.3)

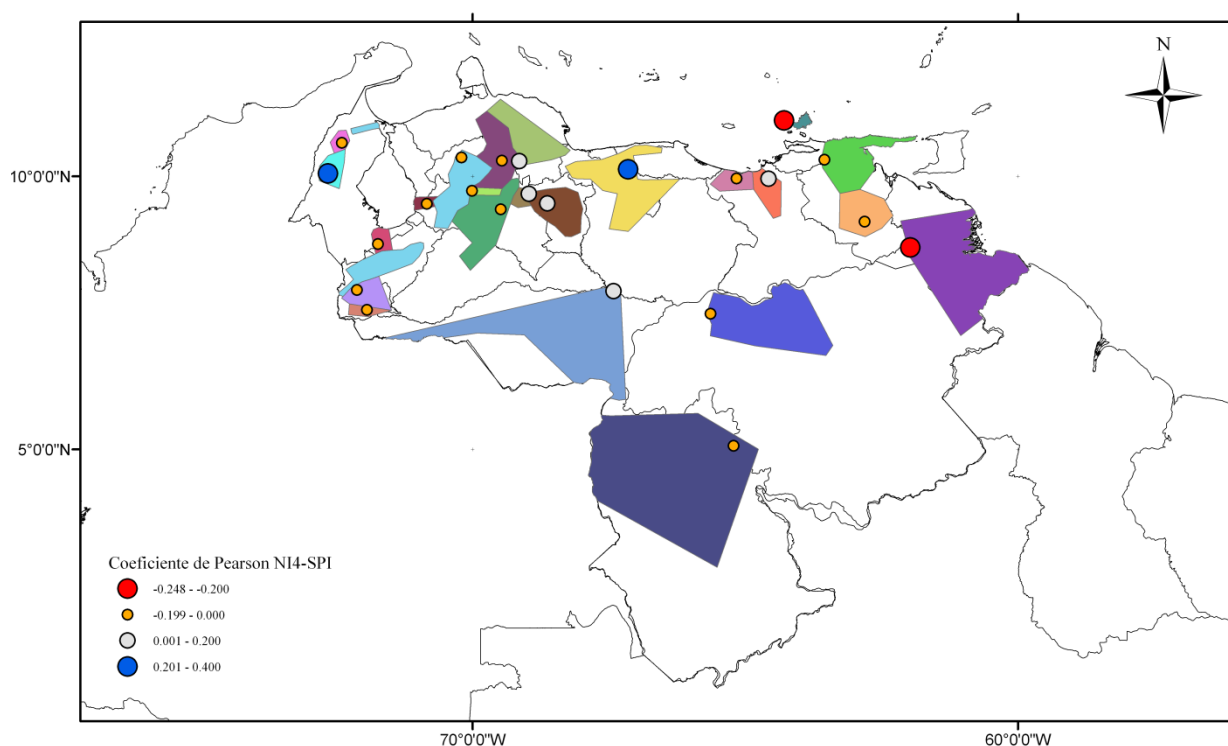


Fig. 4.3.- Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice NI4 en las ERs

El índice NI34 muestra el mayor grado de correlación en la SR25 (+0.257), SRS2 (-0.248) y SR7 (-0.277). Es inversamente proporcional al SPI en la Isla de Margarita, el delta del río Orinoco y Curazao del Zulia (una fuerte señal positiva del NI34 se asocia a la ocurrencia de sequías) y directamente proporcional en Machiques (Zulia) (una fuerte señal negativa del NI34 se asocia a la ocurrencia de sequías) (Fig. 4.4). En cuanto al NI3, tiene la mayor fuerza correlacional en la SR25 (+0.213), SRS2 (-0.252) y SR7 (-0.286). Es inversamente proporcional al SPI en la Isla de Margarita, delta del río Orinoco, estado Sucre y la ciudad de Puerto La Cruz (una fuerte señal positiva del NI34 se vincula con sequías) y directamente proporcional en Machiques (Zulia) (una fuerte señal negativa del NI34 va acompañada de sequías) (Fig. 4.5). Aunque la asociación correlacional entre los índices oceánicos del Pacífico (NI12, NI4, NI34 y NI3) con el SPI ocurre en desfases diferentes (Tabla 3.7), su efecto sobre las Estaciones de Referencias es análogo (ver Fig. 4.2 a 4.5). En general, el grado de asociación de estos índices con la ocurrencia de sequías meteorológicas, es significativa en el flanco noreste del país y en menor grado, al oeste del estado Zulia.

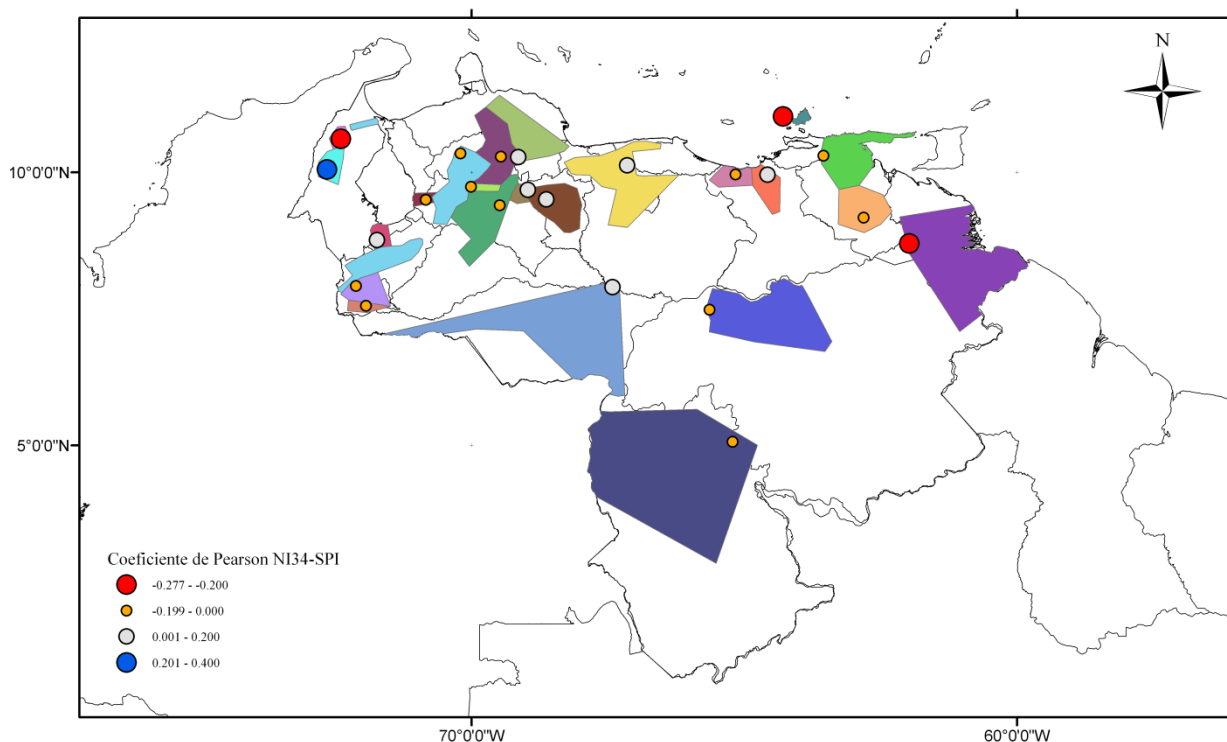


Fig. 4.4.- Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice NI34 en las ERs

El índice ATLN muestra la mayor fuerza correlacional en la SR25 (+0.297), SR22 (+0.210) y SR24 (+0.209). Es directamente proporcional al SPI en Machiques (Zulia), sur del Lago de Maracaibo y Clarines (Anzoátegui) (una fuerte señal negativa del ATLN se asocia a la ocurrencia de sequías) (Fig. 4.6). En cuanto al índice ATLS, su mayor fuerza correlacional se da en la SRS2 (-0.210) y SR25 (+0.251). Siendo inversamente proporcional al SPI en el delta del río Orinoco y Machiques (una fuerte señal positiva del ATLS se asocia a la ocurrencia de sequías) (Fig. 4.7).

A juzgar por las Fig. 4.2 a 4.7, las anomalías térmicas superficiales de mayor magnitud en los Océanos Pacífico y Atlántico afectan, en sinergia, algunas Subregiones Homogéneas, como por ejemplo, la SR25. Allí, existe una correlación lineal simultánea entre el SPI, las anomalías térmicas oceánicas en las regiones Niño (Tabla 3.1) y Atlántico Norte y Sur (Tabla 3.2). Estos resultados sugieren que las señales individuales de las anomalías pueden amplificarse, mitigarse o cancelarse entre sí; el monitoreo desfasado de un único índice oceánico en las regiones Niño o Atlántico (Norte o Sur) no permite emitir pronósticos estacionales robustos, debido a la compleja interrelación entre los subsistemas océano y atmósfera.

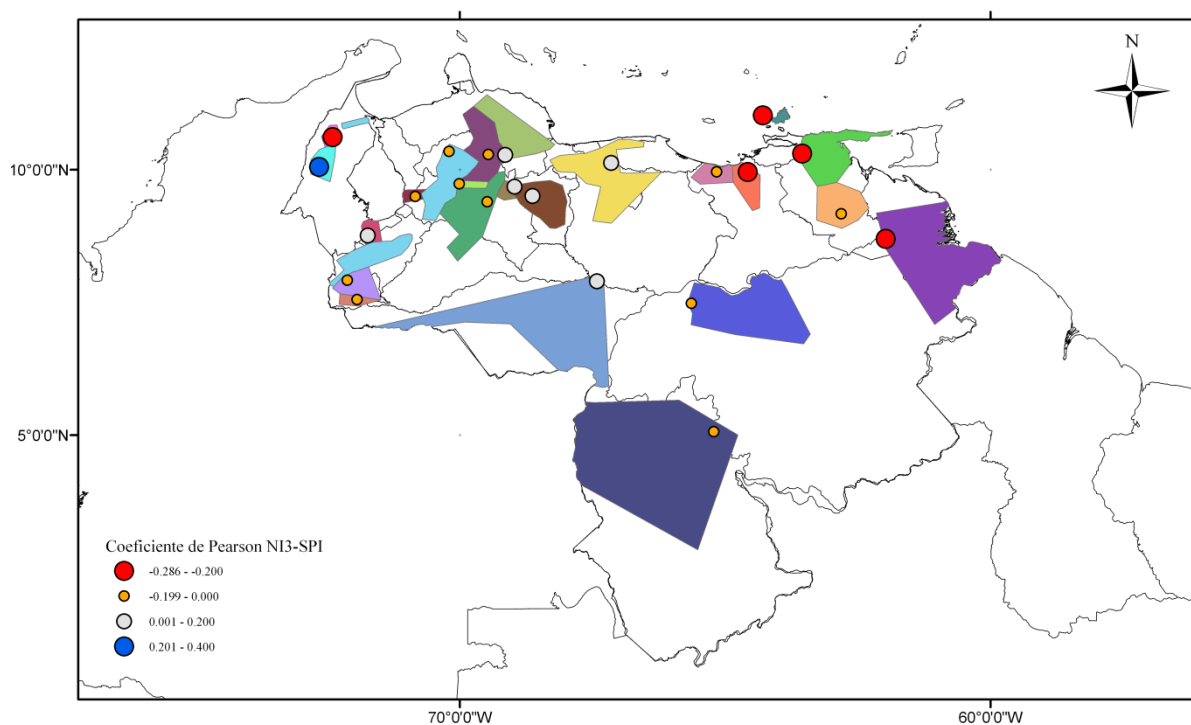


Fig. 4.5.- Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice NI3 en las ERs

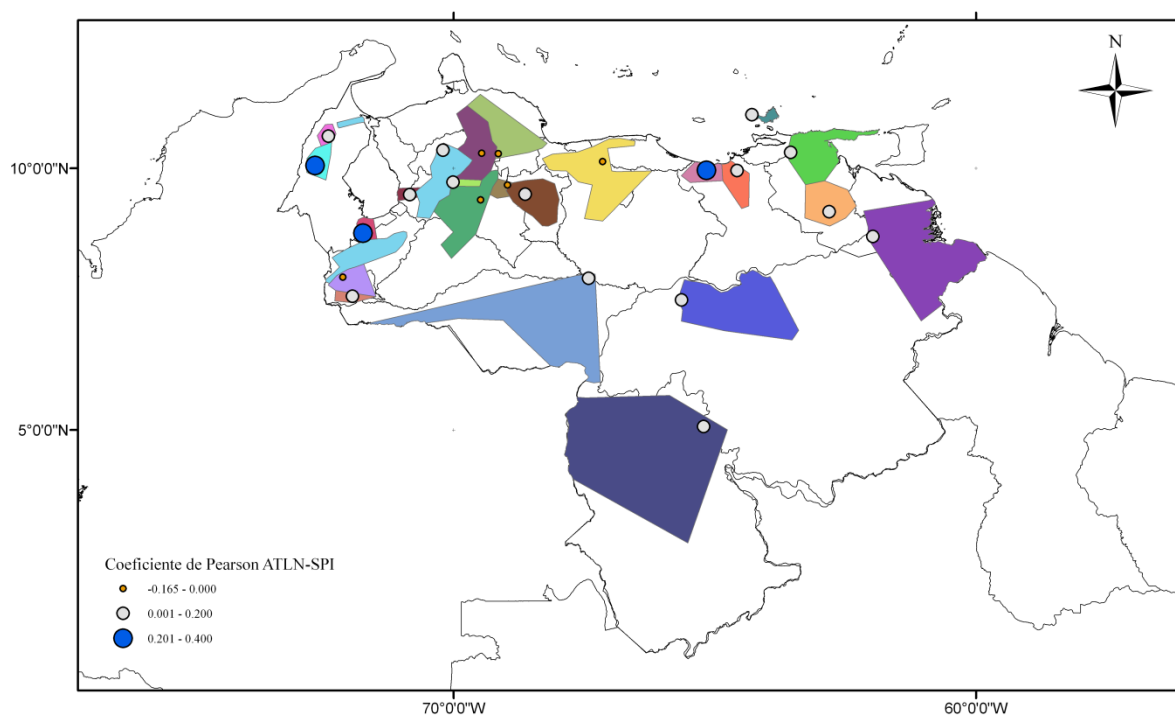


Fig. 4.6.- Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice ATLN en las ERs

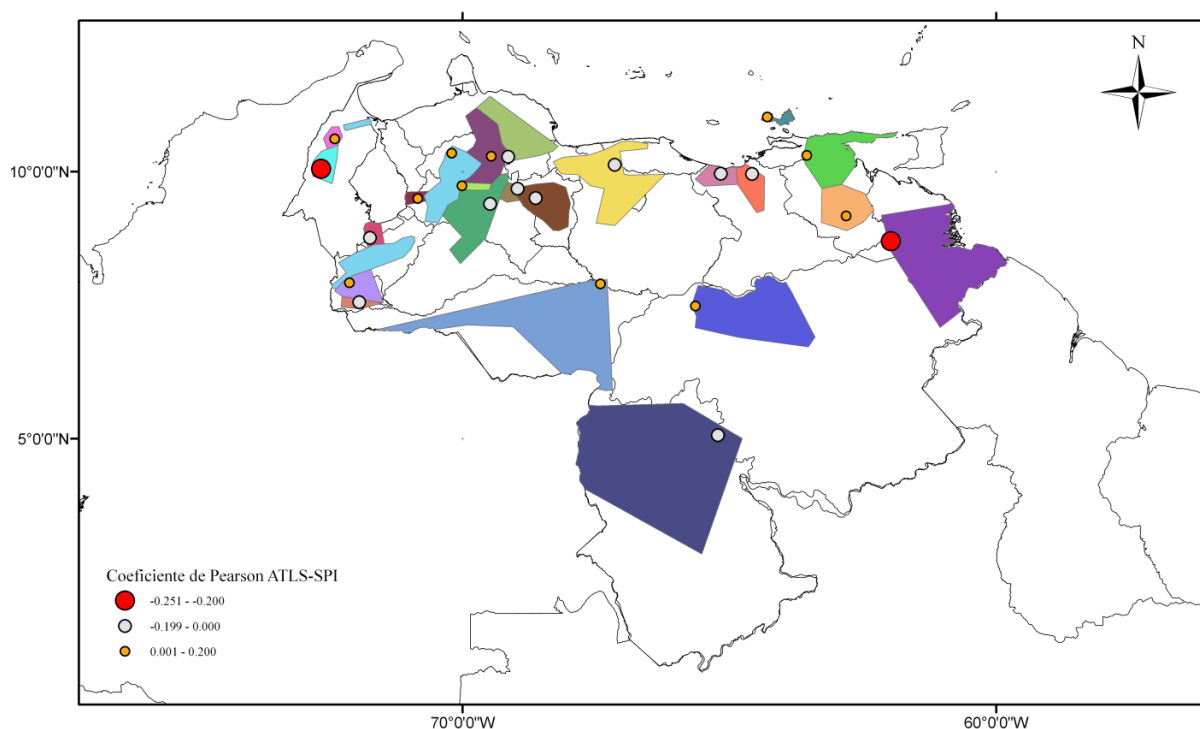


Fig. 4.7.- Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice ATLS en las ERs

El índice ACAR muestra la mayor fuerza correlacional en la SR25 (+0.342), SRS4 (+0.241) y SR4 (+0.222). Es directamente proporcional al SPI en Machiques (Zulia), norte del estado Amazonas, el eje Caripito-Cariaco-Tunapuy (Monagas-Sucre), Isla de Margarita y delta del río Orinoco (una fuerte señal negativa del ACAR se asocia a la ocurrencia de sequías) (Fig. 4.8)

El índice SOI muestra la mayor fuerza correlacional en la SR25 (+0.252), SR7 (+0.239), SR12 (-0.211) y SR3 (-0.224). Es directamente proporcional al SPI en Machiques (Zulia) y la Isla de Margarita (una fuerte señal negativa del SOI se asocia a la ocurrencia de sequías) e inversamente proporcional en los ejes Puerto La Cruz-Anaco y La Victoria-Villa de Cura-El Sombrero (una fuerte señal positiva del SOI se asocia a la ocurrencia de sequías) (Fig. 4.9).

El efecto de las anomalías oceánicas en las regiones Niño (Tabla 3.1; NI12, NI4, NI34 y NI3) sobre el SPI de las Estaciones de Referencias difiere moderadamente del ocasionado por el SOI (Fig. 4.9). Cabe destacar que los subsistemas Océano y Atmósfera, están acoplados entre sí; sin embargo, poseen diferentes escalas temporales para procesos que tienen un inicio común. Es decir, mientras la circulación general de la atmósfera toma algunas semanas, la circulación oceánica

puede demorar milenios (Deza *et al.* 2003; Bobba y Minetti, 2010). Bajo este enfoque, el SOI se perfila como el mejor predictor de las anomalías pluviométricas en las Estaciones de Referencias; por lo que se usa como indicador de la dinámica océano-atmosférica en las regiones Niño del Pacífico.

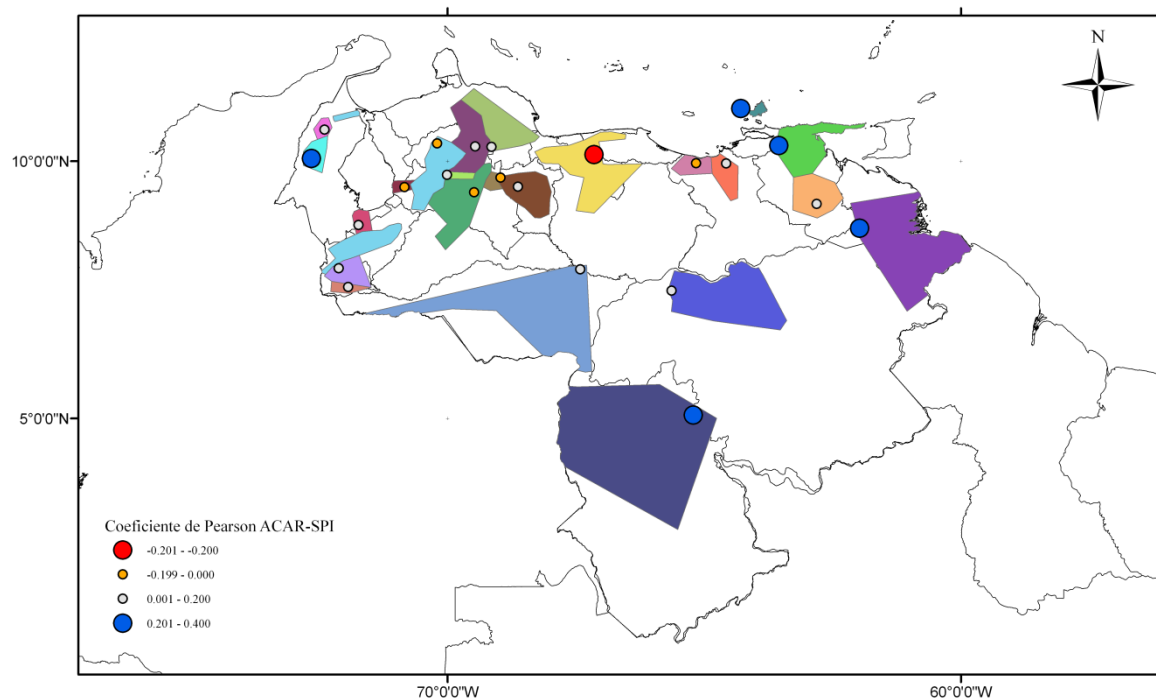


Fig. 4.8.- Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice ACAR en las ERs

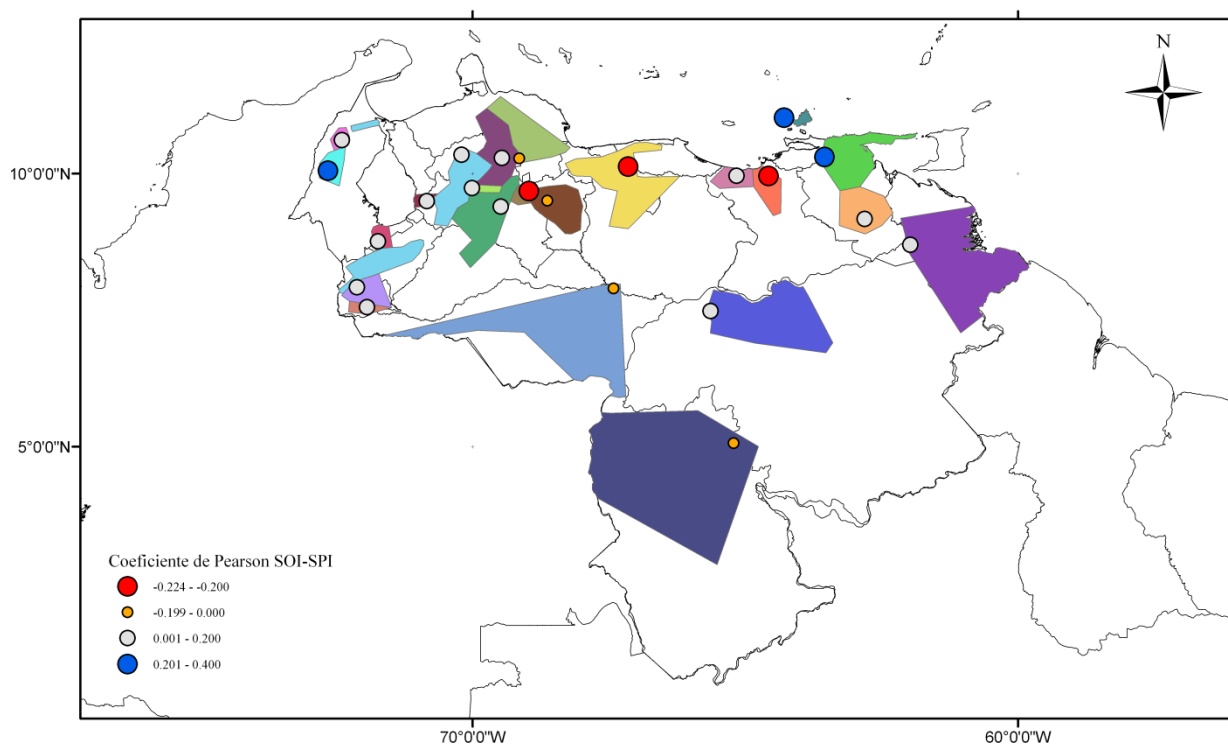


Fig. 4.9.- Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice SOI en las ERs

El índice QBO50 muestra la mayor fuerza correlacional en la SRS2 (-0.257), SR28 (-0.234) y SR24 (-0.206). Es inversamente proporcional al SPI en el delta del río Orinoco, región central de Monagas y Clarines (una fuerte señal positiva del QBO50 se asocia a la ocurrencia de sequías), mientras que resulta directamente proporcional en la Isla de Margarita, norte de Monagas y Sucre y Machiques en Zulia (una fuerte señal negativa del QBO50 se asocia a la ocurrencia de sequías) (Fig. 4.10).

El índice ZON200 muestra la mayor fuerza correlacional en la SR16 (+0.287), SR7 (+0.249), SR4 (+0.226) y SR25 (+0.220). Es directamente proporcional al SPI en Curazao y Machiques del estado Zulia, Isla de Margarita, Caripito y zona costera del Golfo de Paria (una fuerte señal negativa del ZON200 se asocia a la ocurrencia de sequías) (Fig. 4.11).

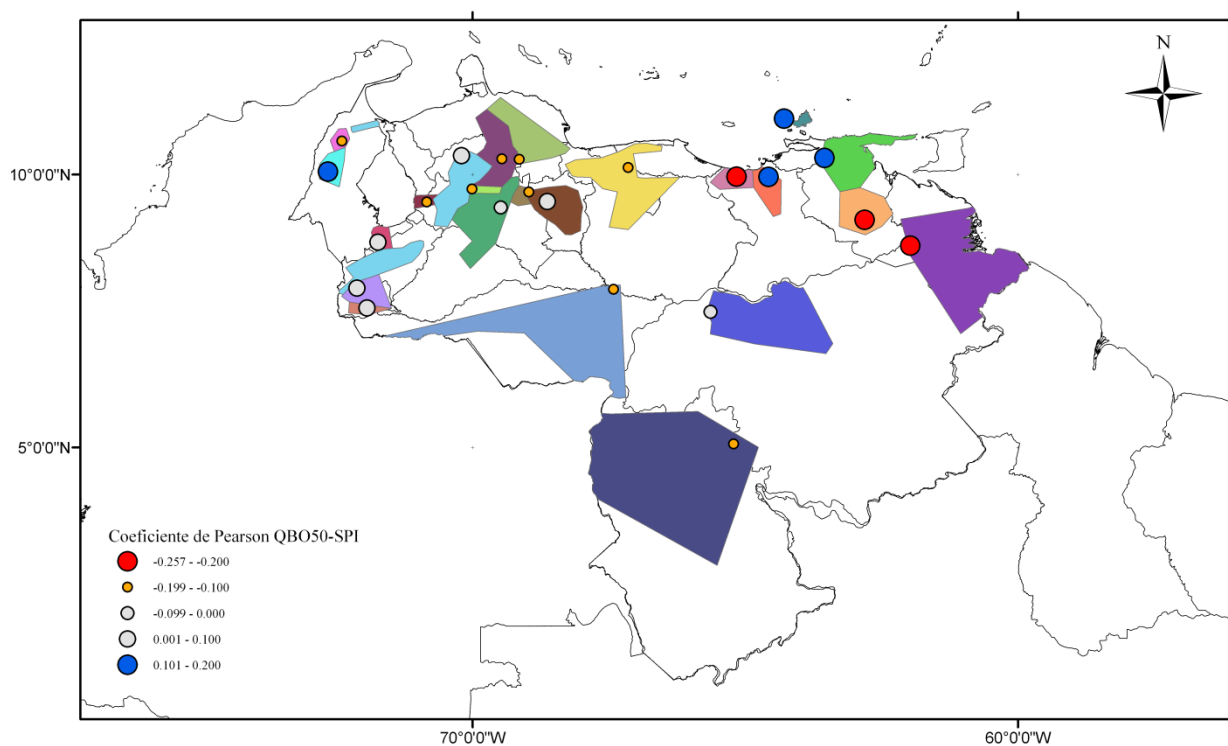


Fig. 4.10.- Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice QBO50 en las ERs

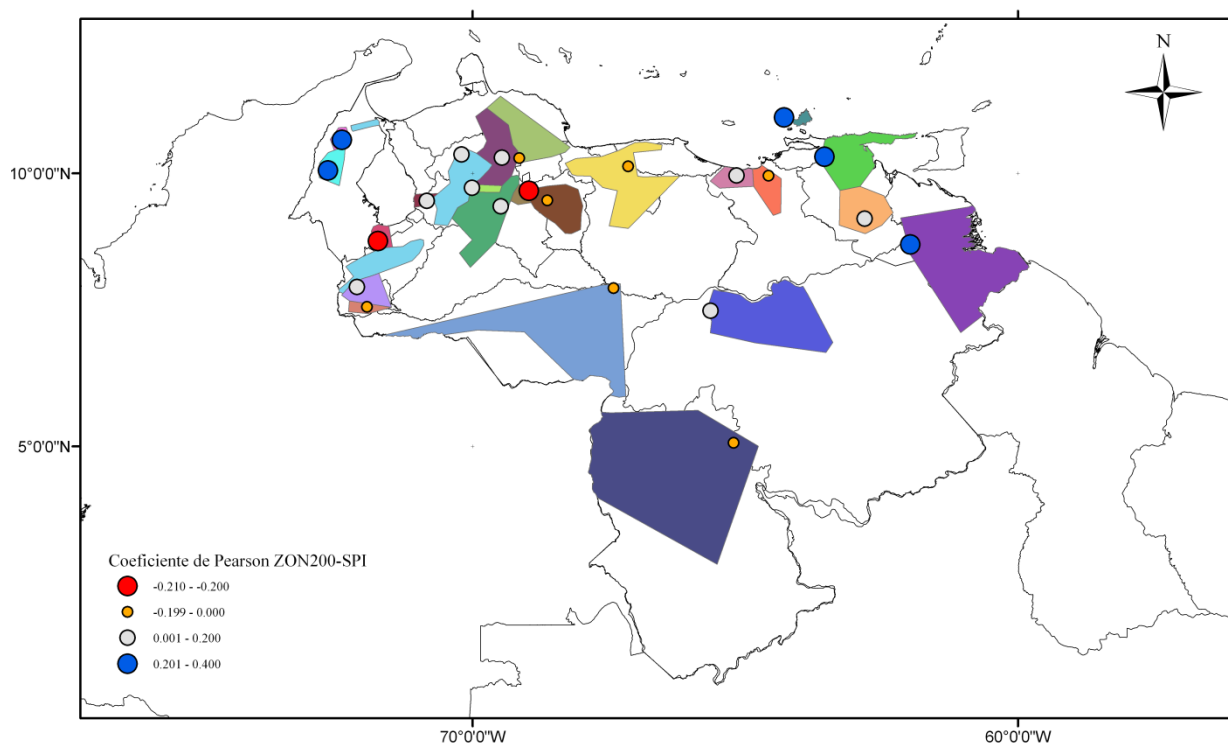


Fig. 4.11.- Distribución espacial del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las series SPI y el índice ZON200 en las ERs

4.3.- Estructuración y validación de los modelos de predicción por subregión homogénea.

4.3.1- Modelo de la SR7

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la Estación de Referencia (ER) asociada a la SR7 son ACAR (+0.201), SOI (+0.239), ZON200 (+0.249) y ATLS (+0.198) con desfases de -14, -1, -1 y -9 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Jun-1980 a Dic-2000; 247 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.4 muestra los cuartiles de las variables predictoras; umbral para identificar el signo de la señal (-1, 0 o -1). El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR7, con un mes de anticipación (menor desfase de las variables predictoras). En la Tabla 4.5 se resumen las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, para cada combinación, de que prevalezca un tiempo No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.4.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR7 entre Jun-1980 y Dic-2000.

Índice	Q ₂	Q ₄
ACAR	-0.08	0.16
SOI	-1.10	0.50
ZON200	-0.60	0.60
ATLS	-0.16	0.32

Tabla 4.5.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR7. Período Jun-1980 a Dic-2000.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	SOI	ZON200	ATLS	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	0	0	88.00	4.00	8.00	0.00
0	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	1	75.00	0.00	25.00	0.00
0	0	-1	0	80.00	0.00	10.00	10.00
0	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.5.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	SOI	ZON200	ATLS	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	-1	0	0	83.33	0.00	16.67	0.00
0	-1	0	-1	33.33	66.67	0.00	0.00
0	-1	0	1	66.67	33.33	0.00	0.00
0	-1	-1	0	85.71	0.00	0.00	14.29
0	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	90.91	9.09	0.00	0.00
-1	0	0	-1	83.33	16.67	0.00	0.00
-1	0	0	1	83.33	16.67	0.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	0.00	100.00	0.00	0.00
-1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	1	0.00	100.00	0.00	0.00
-1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	0	83.33	16.67	0.00	0.00
-1	-1	-1	-1	80.00	0.00	20.00	0.00
-1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	80.00	20.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	80.00	20.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.5.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	SOI	ZON200	ATLS	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	0	66.67	0.00	33.33	0.00
1	1	0	0	85.71	0.00	0.00	14.29
1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (ver Tabla 3.8), se muestra sololas observadas durante el período evaluado.

4.3.2- Modelo de la SR16

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR16 son ZON200 (+0.287), SOI (+0.193), QBO50 (-0.190) y ACAR (+0.117) con desfases de -1, -1, -16 y -13 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Oct-1980 a Dic-1996, para un total de 195 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.6 muestra los cuartiles de las variables predictoras; umbral para identificar el signo de la señal (-1, 0 o -1). El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, en la SR7, con un mes de anticipación. En la Tabla 4.7 se resumen las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, para cada combinación, de que prevalezca un tiempo No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.6.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR16 entre Jun-1980 y Dic-2000.

Índice	Q ₂	Q ₄
ZON200	-0.60	0.60
SOI	-1.20	0.20
QBO50	-0.89	0.78
ACAR	-0.082	0.124

Tabla 4.7.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR16. Período Oct-1980 a Dic-1996.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ZON200	SOI	QBO50	ACAR	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	0	-1	86.67	13.33	0.00	0.00
0	0	0	0	95.24	0.00	0.00	4.76
0	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	-1	60.00	40.00	0.00	0.00
0	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	1	33.33	66.67	0.00	0.00
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	84.62	7.69	0.00	7.69
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	83.33	16.67	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	0	80.00	0.00	20.00	0.00
-1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	1	66.67	33.33	0.00	0.00
-1	1	-1	-1	50.00	0.00	50.00	0.00
-1	1	-1	0	75.00	25.00	0.00	0.00
-1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	75.00	0.00	0.00	25.00
1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	60.00	30.00	10.00	0.00
1	0	1	1	83.33	16.67	0.00	0.00
1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	50.00	25.00	25.00	0.00
1	-1	1	-1	71.43	14.29	14.29	0.00
1	-1	1	0	77.78	22.22	0.00	0.00
1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.7.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ZON200	SOI	QBO50	ACAR	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	33.33	0.00	33.33	33.33

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas.

4.3.3.- Modelo de la SR25

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR25 son ACAR (+0.342), ATLN (+0.297), SOI (+0.252) y ATLS (-0.251), desfasados -9, -12, -1 y -10 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Oct-1980 a Dic-1988; 100 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.8 muestra los cuartiles de las variables predictoras; umbral para identificar el signo de la señal (-1, 0 o 1). El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR25, con un mes de anticipación. La Tabla 4.9 lista las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común junto a la probabilidad de ocurrencia de un tiempo No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.8.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR25 entre Sep-1980 y Dic-1988.

Índice	Q ₂	Q ₄
ACAR	-0.07	0.15
ATLN	-0.29	0.29
SOI	-0.90	0.20
ATLS	-0.22	0.29

Tabla 4.9.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR25. Período Sep-1980 a Dic-1988.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	ATLN	SOI	ATLS	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	0	0	85.71	0.00	14.29	0.00
0	0	0	-1	83.33	16.67	0.00	0.00
0	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.9.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	ATLN	SOI	ATLS	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	-1	50.00	50.00	0.00	0.00
0	0	-1	1	50.00	0.00	0.00	50.00
0	0	1	0	0.00	100.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	50.00	50.00	0.00	0.00
0	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	0	66.67	33.33	0.00	0.00
0	-1	-1	0	83.33	16.67	0.00	0.00
0	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	-1	33.33	66.67	0.00	0.00
1	1	0	1	0.00	100.00	0.00	0.00
1	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	1	66.67	33.33	0.00	0.00
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	1	0.00	0.00	0.00	100.00
-1	0	1	0	66.67	33.33	0.00	0.00
-1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	1	50.00	0.00	33.33	16.67
-1	-1	-1	1	50.00	50.00	0.00	0.00
-1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas.

4.3.4.- Modelo de la SR1

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR1 son ZON200 (+0.145), ATLN (+0.143), ATLS (+0.171) y ACAR (-0.171), desfasados -1, -4, -2 y -23 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Dic-1980 a Dic-2001; 253 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.10 muestra los cuartiles de las variables predictoras; umbral para identificar el signo de la señal (-1, 0 o -1). El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, en la SR1, con un mes de anticipación. La Tabla 4.11 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que prevalezca un tiempo No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.10.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR1 entre Dec-1980 y Dic-2001.

Índice	Q ₂	Q ₄
ZON200	-0.60	0.60
ATLN	-0.19	0.30
ATLS	-0.12	0.32
ACAR	-0.077	0.148

Tabla 4.11.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR1. Período Dic-1980 a Dic-2001.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ZON200	ATLN	ATLS	ACAR	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	1	-1	0	60.00	20.00	20.00	0.00
0	1	-1	1	0.00	100.00	0.00	0.00
0	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	-1	75.00	25.00	0.00	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	88.89	11.11	0.00	0.00
0	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	1	63.64	9.09	27.27	0.00
0	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.11.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ZON200	ATLN	ATLS	ACAR	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	1	77.78	11.11	0.00	11.11
0	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	1	50.00	50.00	0.00	0.00
0	-1	-1	0	75.00	0.00	25.00	0.00
0	-1	0	0	77.78	11.11	0.00	11.11
0	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	1	80.00	0.00	20.00	0.00
0	-1	1	0	66.67	33.33	0.00	0.00
0	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	0	50.00	0.00	25.00	25.00
1	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	0	83.33	0.00	16.67	0.00
1	0	-1	1	66.67	33.33	0.00	0.00
1	0	0	0	90.00	0.00	10.00	0.00
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	1	85.71	14.29	0.00	0.00
1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.11.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ZON200	ATLN	ATLS	ACAR	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
-1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	0	81.82	9.09	9.09	0.00
-1	0	-1	1	83.33	16.67	0.00	0.00
-1	0	0	0	83.33	16.67	0.00	0.00
-1	0	0	-1	75.00	0.00	0.00	25.00
-1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	0	66.67	33.33	0.00	0.00
-1	-1	0	0	80.00	20.00	0.00	0.00
-1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas.

4.3.5.- Modelo de la SR8

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR8 son ATLS (+0.151), QBO50 (-0.141), ZON200 (+0.096) y ACAR (+0.083), desfasados -16, -15, -6 y -10 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Jun-1980 a Dic-2001; 259 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.12 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, en la SR1, con 6 meses de anticipación. La Tabla 4.13 lista las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que prevalezca un tiempo No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.12.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR8 entre Jun-1980 y Dic-2001.

Índice	Q ₂	Q ₄
ATLS	-0.15	0.32
QBO50	-0.92	0.83
ZON200	-0.60	0.60
ACAR	-0.079	0.147

Tabla 4.13.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR8. Período Jun-1980 a Dic-2001.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLS	QBO50	ZON200	ACAR	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
-1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	83.33	8.33	8.33	0.00
-1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	80.00	20.00	0.00	0.00
-1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	0	25.00	50.00	0.00	25.00
-1	-1	0	1	75.00	0.00	25.00	0.00
-1	-1	-1	0	85.71	14.29	0.00	0.00
-1	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	1	66.67	33.33	0.00	0.00
-1	1	-1	0	50.00	0.00	0.00	50.00
-1	1	-1	1	50.00	50.00	0.00	0.00
-1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	-1	90.00	10.00	0.00	0.00
0	0	0	0	89.47	10.53	0.00	0.00
0	0	0	1	87.50	12.50	0.00	0.00
0	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	75.00	12.50	0.00	12.50
0	0	-1	1	33.33	33.33	33.33	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	1	66.67	33.33	0.00	0.00
0	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	0	80.00	20.00	0.00	0.00
0	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.13.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLS	QBO50	ZON200	ACAR	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	75.00	0.00	25.00	0.00
0	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	1	75.00	25.00	0.00	0.00
1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	83.33	16.67	0.00	0.00
1	0	1	0	66.67	33.33	0.00	0.00
1	0	1	1	60.00	20.00	20.00	0.00
1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	0	0.00	100.00	0.00	0.00
1	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	-1	66.67	33.33	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.6.- Modelo de la SR5

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR5 son SOI (-0.154), ZON200 (-0.153), ATLS (-0.150) y QBO50 (-0.141), desfasados -11, -10, -20 y -16 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Sep-1980 a Dic-2001; 256 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.14 muestra los cuartiles de las variables predictoras; umbral para identificar el signo de la señal (-1, 0 o 1). El modelo predice, bajo un enfoque

probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR5, con 10 meses de anticipación. La Tabla 4.15 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que prevalezca un tiempo No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.14.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR5 entre Sep-1980 y Dic-2001.

Índice	Q ₂	Q ₄
SOI	-1.10	0.50
ZON200	-0.60	0.60
ATLS	-0.16	0.32
QBO50	-0.92	0.83

Tabla 4.15.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR5. Período Sep-1980 a Dic-2001.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ZON200	ATLS	QBO50	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	1	60.00	20.00	20.00	0.00
0	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	0	77.78	11.11	11.11	0.00
0	0	0	-1	88.24	5.88	5.88	0.00
0	0	0	1	76.92	15.38	0.00	7.69
0	0	-1	0	94.12	5.88	0.00	0.00
0	0	-1	-1	83.33	16.67	0.00	0.00
0	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	75.00	25.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	85.71	14.29	0.00	0.00
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	1	0.00	100.00	0.00	0.00

Tabla 4.15.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ZON200	ATLS	QBO50	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	-1	80.00	0.00	0.00	20.00
0	1	1	1	0.00	0.00	100.00	0.00
-1	-1	0	0	77.78	11.11	11.11	0.00
-1	-1	0	-1	83.33	0.00	16.67	0.00
-1	-1	-1	0	85.71	0.00	14.29	0.00
-1	-1	-1	-1	50.00	0.00	50.00	0.00
-1	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	88.89	0.00	11.11	0.00
-1	0	0	-1	75.00	25.00	0.00	0.00
-1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	0.00	0.00	100.00	0.00
1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	88.89	11.11	0.00	0.00
1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	50.00	25.00	25.00	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	83.33	0.00	0.00	16.67
1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.15.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ZON200	ATLS	QBO50	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	1	1	0	60.00	20.00	0.00	20.00
1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	71.43	14.29	0.00	14.29

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.7.- Modelo de la SR3

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR3 son SOI (-0.224), ACAR (-0.201), ATLS (-0.194) y ZON200 (-0.166), desfasados -6, -23, -13 y -4 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Dic-1980 a Dic-2001; 253 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.16 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR3, con 4 meses de anticipación. La Tabla 4.17 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común junto a la probabilidad de ocurrencia observada, para cada combinación, de que prevalezca un tiempo No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.16.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR3 entre Dic-1980 y Dic-2001.

Índice	Q ₂	Q ₄
SOI	-1.000	0.500
ACAR	-0.077	0.147
ATLS	-0.140	0.320
ZON200	-0.600	0.600

Tabla 4.17.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR3. Período Dic-1980 a Dic-2001.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ACAR	ATLS	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	0	0	81.48	7.41	7.41	3.70
0	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.17.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ACAR	ATLS	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	0	-1	33.33	66.67	0.00	0.00
0	0	-1	0	88.89	0.00	11.11	0.00
0	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	87.50	12.50	0.00	0.00
0	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	0	81.25	12.50	6.25	0.00
0	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	-1	66.67	33.33	0.00	0.00
0	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	1	0.00	100.00	0.00	0.00
0	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	1	75.00	25.00	0.00	0.00
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	1	75.00	25.00	0.00	0.00
0	1	1	-1	0.00	100.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	80.00	0.00	20.00	0.00
-1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	0.00	100.00	0.00	0.00
-1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.17.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ACAR	ATLS	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
-1	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	66.67	11.11	11.11	11.11
1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	1	0.00	100.00	0.00	0.00
1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	80.00	20.00	0.00	0.00
1	0	1	1	85.71	0.00	14.29	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	33.33	50.00	16.67	0.00
1	1	0	1	0.00	50.00	25.00	25.00
1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	80.00	0.00	20.00	0.00
1	1	1	1	81.82	9.09	0.00	9.09

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.8.- Modelo de la SR4

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR4 son SOI (+0.203), ACAR (+0.222), ATLS (+0.178) y ZON200 (+0.226), desfasados -1, -12, -20 y -1 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Sep-1980 a Dic-1996; 196 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.18 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, en la SR4, con un mes de anticipación. La Tabla 4.19 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común junto a la probabilidad de ocurrencia observada,

en cada combinación, de que prevalezca un tiempo No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.18.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR4 entre Sep-1980 y Dic-1996.

Índice	Q ₂	Q ₄
SOI	-1.150	0.200
ACAR	-0.081	0.123
ATLS	-0.195	0.280
ZON200	-0.600	0.600

Tabla 4.19.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR4. Período Sep-1980 a Dic-1996.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ACAR	ATLS	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	-1	0	0	71.43	14.29	14.29	0.00
0	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	-1	66.67	0.00	33.33	0.00
0	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	1	0.00	0.00	0.00	100.00
0	-1	1	0	85.71	14.29	0.00	0.00
0	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	0	78.57	14.29	7.14	0.00
0	0	0	1	50.00	0.00	50.00	0.00
0	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	90.00	10.00	0.00	0.00
0	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	88.89	0.00	11.11	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.19.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ACAR	ATLS	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	1	0.00	0.00	100.00	0.00
-1	-1	0	0	75.00	25.00	0.00	0.00
-1	-1	0	-1	66.67	33.33	0.00	0.00
-1	-1	-1	0	50.00	0.00	0.00	50.00
-1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	83.33	0.00	16.67	0.00
-1	0	0	-1	57.14	42.86	0.00	0.00
-1	0	-1	0	83.33	16.67	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	66.67	16.67	16.67	0.00
-1	0	1	0	0.00	0.00	100.00	0.00
-1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	-1	66.67	0.00	33.33	0.00
-1	1	-1	-1	0.00	0.00	100.00	0.00
-1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	1	0.00	100.00	0.00	0.00
1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	0	66.67	0.00	0.00	33.33
1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	1	80.00	0.00	20.00	0.00
1	0	-1	0	0.00	100.00	0.00	0.00
1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	66.67	33.33	0.00	0.00
1	0	1	1	66.67	33.33	0.00	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.19.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ACAR	ATLS	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.9.- Modelo de la SR19

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR19 son SOI (+0.115), ATLN (+0.114), QBO50 (-0.105) y ZON200 (+0.095), desfasados -4, -9, -19 y -7 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Ago-1980 a Dic-2001; 257 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.20 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, en la SR19, con 4 meses de anticipación. La Tabla 4.21 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que prevalezca un tiempo No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.20.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR19 entre Ago-1980 y Dic-2001.

Índice	Q ₂	Q ₄
SOI	-1.000	0.500
ATLN	-0.190	0.330
QBO50	-0.920	0.840
ZON200	-0.600	0.600

Tabla 4.21.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR19. Período Ago-1980 a Dic-2001.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ATLN	QBO50	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	0	86.96	8.70	0.00	4.35

Tabla 4.21.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ATLN	QBO50	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	0	-1	75.00	0.00	12.50	12.50
0	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	91.67	0.00	0.00	8.33
0	0	-1	-1	75.00	0.00	25.00	0.00
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	-1	33.33	33.33	33.33	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	66.67	33.33	0.00	0.00
0	1	-1	-1	75.00	0.00	25.00	0.00
0	1	-1	1	66.67	33.33	0.00	0.00
0	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	1	66.67	0.00	0.00	33.33
0	-1	0	0	66.67	16.67	16.67	0.00
0	-1	0	-1	75.00	25.00	0.00	0.00
0	-1	0	1	87.50	12.50	0.00	0.00
0	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	-1	50.00	50.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	-1	33.33	0.00	33.33	33.33
-1	0	0	0	68.75	12.50	18.75	0.00
-1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	1	75.00	25.00	0.00	0.00
-1	0	-1	0	66.67	0.00	33.33	0.00
-1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	0	0.00	0.00	100.00	0.00
-1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	-1	-1	66.67	33.33	0.00	0.00
-1	-1	1	0	80.00	0.00	20.00	0.00
-1	-1	1	-1	66.67	33.33	0.00	0.00
-1	-1	0	0	66.67	0.00	33.33	0.00
-1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.21.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ATLN	QBO50	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	0	1	0	50.00	25.00	0.00	25.00
1	0	1	-1	0.00	0.00	100.00	0.00
1	0	1	1	66.67	0.00	33.33	0.00
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	1	66.67	0.00	16.67	16.67
1	0	-1	0	66.67	0.00	33.33	0.00
1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	80.00	20.00	0.00	0.00
1	1	1	1	66.67	33.33	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	1	75.00	25.00	0.00	0.00
1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.10.- Modelo de la SR15

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR15 son ATL N (+0.130), ZON200 (+0.128), ACAR (-0.171) y QBO50 (-0.105), desfasadas -1, -10, -18 y -14 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Ago-1980 a Dic-1991; 137 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.22 muestra los cuartiles de las variables predictoras; umbral para identificar el signo de la señal (-1, 0 o -1). El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR15, con un mes de anticipación. La Tabla 4.23 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que prevalezca un tiempo No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.22.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR15 entre Ago-1980 y Dic-1991.

Índice	Q ₂	Q ₄
ATLN	-0.290	0.220
ZON200	-0.400	0.800
ACAR	-0.086	0.114
QBO50	-0.930	0.770

Tabla 4.23.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR15. Período Ago-1980 a Dic-1991.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLN	ZON200	ACAR	QBO50	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	0	0	75.00	25.00	0.00	0.00
0	0	0	-1	88.89	0.00	11.11	0.00
0	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	0	71.43	28.57	0.00	0.00
0	-1	0	-1	66.67	0.00	33.33	0.00
0	-1	0	1	50.00	0.00	0.00	50.00
0	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	75.00	0.00	25.00	0.00
0	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	80.00	0.00	20.00	0.00
0	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.22.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLN	ZON200	ACAR	QBO50	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	85.71	0.00	14.29	0.00
1	-1	0	-1	50.00	0.00	0.00	50.00
1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	66.67	33.33	0.00	0.00
-1	0	0	1	80.00	0.00	0.00	20.00
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	71.43	28.57	0.00	0.00
-1	0	1	1	0.00	0.00	0.00	100.00
-1	-1	0	0	0.00	100.00	0.00	0.00
-1	-1	0	1	0.00	0.00	0.00	100.00
-1	-1	-1	0	0.00	100.00	0.00	0.00
-1	-1	1	0	50.00	50.00	0.00	0.00
-1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.11.- Modelo de la SR2

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR2 son ZON200 (+0.162), ATLN (-0.144), ATLS (-0.125) y ACAR (-0.104), desfasados -15, -22, -14 y -17 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Nov-1980 a Dic-2001; 254 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.24 muestra los cuartiles de las variables predictoras; umbral para identificar el signo de la señal (-1, 0 o 1). El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR2, con 14 meses de anticipación. La Tabla 4.25 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada

combinación, de que un mes sea clasificado como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.24.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR2 entre Nov-1980 y Dic-2001.

Índice	Q ₂	Q ₄
ZON200	-0.600	0.600
ATLN	-0.180	0.340
ATLS	-0.140	0.320
ACAR	-0.080	0.148

Tabla 4.25.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR2. Período Nov-1980 a Dic-2001.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ZON200	ATLN	ATLS	ACAR	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
-1	0	0	0	64.71	35.29	0.00	0.00
-1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	0	91.67	8.33	0.00	0.00
-1	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	0	74.19	3.23	16.13	6.45
0	0	0	-1	88.24	11.76	0.00	0.00
0	0	0	1	85.71	14.29	0.00	0.00
0	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	0	91.67	4.17	4.17	0.00
0	-1	-1	-1	75.00	0.00	25.00	0.00
0	-1	-1	1	80.00	20.00	0.00	0.00
0	1	1	0	92.31	0.00	7.69	0.00
0	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	1	77.78	11.11	11.11	0.00
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	86.67	6.67	0.00	6.67
1	0	0	1	81.82	9.09	0.00	9.09

Tabla 4.25.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ZON200	ATLN	ATLS	ACAR	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	75.00	25.00	0.00	0.00
1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.12.- Modelo de la SR35

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR35 son ZON200 (-0.207), SOI (-0.201), ATLS (-0.195) y ATLN (-0.133), desfasados -4, -7, -14 y -24 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Ene-1981 a Dic-2001; 252 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.26 muestra los cuartiles de las variables predictoras; umbral para identificar el signo de la señal (-1, 0 o 1). El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR35, con 4 meses de anticipación. La Tabla 4.27 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que un mes sea clasificado como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.26.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR35 entre Ene-1981 y Dic-2001.

Índice	Q ₂	Q ₄
ZON200	-0.600	0.600
SOI	-1.100	0.500
ATLS	-0.145	0.320
ATLN	-0.180	0.340

Tabla 4.27.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR35. Período Ene-1981 a Dic-2001.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ZON200	SOI	ATLS	ATLN	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	0	0	90.48	9.52	0.00	0.00
0	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	84.62	7.69	7.69	0.00
0	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	-1	80.00	20.00	0.00	0.00
0	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	1	75.00	25.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	85.71	0.00	0.00	14.29
0	-1	0	0	80.00	0.00	10.00	10.00
0	-1	0	1	0.00	0.00	100.00	0.00
0	-1	0	-1	83.33	16.67	0.00	0.00
0	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	1	71.43	0.00	28.57	0.00
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	0.00	100.00	0.00	0.00
0	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	1	80.00	20.00	0.00	0.00
0	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	83.33	0.00	16.67	0.00
1	0	0	1	80.00	20.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	50.00	50.00	0.00	0.00
1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.27.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ZON200	SOI	ATLS	ATLN	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	1	0	0	75.00	25.00	0.00	0.00
1	1	0	1	66.67	33.33	0.00	0.00
1	1	0	-1	0.00	100.00	0.00	0.00
1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	87.50	12.50	0.00	0.00
1	1	1	1	55.56	0.00	11.11	33.33
-1	0	0	0	85.71	14.29	0.00	0.00
-1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	75.00	0.00	25.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	0	87.50	0.00	12.50	0.00
-1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	0	91.67	8.33	0.00	0.00
-1	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.13.- Modelo de la SR9

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR9 son ATLN (+0.151), ACAR (+0.116), SOI (-0.110) y ZON200 (-0.110), desfasados -16, -12, -5 y -4 meses, respectivamente. El período común de estas series va de May-1980 a Dic-1999; 236 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.28 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR9, con 4 meses de anticipación. La Tabla 4.29 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de

ocurrencia observada, en cada combinación, de que un mes sea clasificado como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, de acuerdo al valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.28.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR9 entre May-1980 y Dic-1999.

Índice	Q ₂	Q ₄
ATLN	-0.195	0.330
ACAR	-0.078	0.133
SOI	-1.200	0.300
ZON200	-0.600	0.600

Tabla 4.29.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR9. Período May-1980 a Dic-1999.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLN	ACAR	SOI	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	0	0	89.47	5.26	0.00	5.26
0	0	0	-1	50.00	16.67	33.33	0.00
0	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	80.00	20.00	0.00	0.00
0	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	1	33.33	33.33	33.33	0.00
0	-1	0	0	85.71	0.00	14.29	0.00
0	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	-1	50.00	50.00	0.00	0.00
0	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	1	80.00	20.00	0.00	0.00
0	1	0	0	81.25	12.50	6.25	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	25.00	75.00	0.00	0.00

Tabla 4.29.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLN	ACAR	SOI	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	1	88.89	11.11	0.00	0.00
1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	0	75.00	25.00	0.00	0.00
1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	80.00	20.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	72.73	0.00	27.27	0.00
-1	0	0	-1	50.00	25.00	0.00	25.00
-1	0	0	1	66.67	0.00	33.33	0.00
-1	0	-1	0	80.00	20.00	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	80.00	0.00	0.00	20.00
-1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	0	92.86	0.00	0.00	7.14
-1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	1	75.00	0.00	25.00	0.00
-1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	-1	50.00	0.00	50.00	0.00
-1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.14.- Modelo de la SR24

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR24 son ATLN (+0.209), QBO50 (-0.206), ZON200 (+0.147) y SOI (+0.138), desfasados -1, -11, -3 y -18 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Dic-1980 a Dic-1991; 133 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.30 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR24, con un mes de anticipación. La Tabla 4.31 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que un mes sea clasificado como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.30.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR24 entre Dic-1980 y Dic-1991.

Índice	Q ₂	Q ₄
ATLN	-0.290	0.200
QBO50	-0.830	0.830
ZON200	-0.400	0.800
SOI	-0.800	0.400

Tabla 4.31.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR24. Período Dic-1980 a Dic-1991.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLN	QBO50	ZON200	SOI	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	1	75.00	0.00	25.00	0.00
0	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	0	72.73	18.18	9.09	0.00
0	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.31.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLN	QBO50	ZON200	SOI	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	-1	0	75.00	0.00	0.00	25.00
0	1	0	0	66.67	0.00	33.33	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	-1	0.00	100.00	0.00	0.00
1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	0	60.00	20.00	20.00	0.00
1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	0	50.00	50.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.31.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLN	QBO50	ZON200	SOI	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	0	75.00	0.00	0.00	25.00
-1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	0	66.67	33.33	0.00	0.00
-1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	-1	-1	33.33	66.67	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.15.- Modelo de la SR12

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR12 son SOI (-0.211), ZON200 (-0.188), ATLN (+0.159) y QBO50 (+0.155), desfasados -17, -19, -15 y -9 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Sep-1980 a Dic-1997; 208 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.32 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR12, con 9 meses de anticipación. La Tabla 4.33 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que un mes sea clasificado como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.32.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR12 entre Sep-1980 y Dic-1997.

Índice	Q ₂	Q ₄
SOI	-1.100	0.200
ZON200	-0.600	0.600
ATLN	-0.240	0.265
QBO50	-1.010	0.770

Tabla 4.33.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR12. Período Sep-1980 a Dic-1997.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ZON200	ATLN	QBO50	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	1	-1	75.00	25.00	0.00	0.00
0	0	1	0	91.67	8.33	0.00	0.00
0	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	0	86.67	13.33	0.00	0.00
0	0	0	1	87.50	0.00	12.50	0.00
0	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	1	66.67	33.33	0.00	0.00
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	50.00	25.00	25.00	0.00
0	1	0	1	80.00	20.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	1	75.00	25.00	0.00	0.00
0	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	0.00	0.00	100.00	0.00
1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	80.00	0.00	20.00	0.00
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	-1	66.67	33.33	0.00	0.00
1	1	0	-1	83.33	0.00	16.67	0.00

Tabla 4.33.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
SOI	ZON200	ATLN	QBO50	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	1	0	0	50.00	25.00	25.00	0.00
1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	-1	66.67	33.33	0.00	0.00
1	1	-1	0	75.00	0.00	0.00	25.00
1	1	-1	1	50.00	50.00	0.00	0.00
1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	-1	75.00	25.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	80.00	0.00	20.00	0.00
-1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	-1	66.67	0.00	33.33	0.00
-1	-1	0	0	80.00	20.00	0.00	0.00
-1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.16.- Modelo de la SR28

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR28 son QBO50 (-0.234), ZON200 (+0.160), ACAR (+0.126) y SOI (+0.120), desfasados -20, -3, -9 y -7 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Sep-1980 a Dic-1996; 196 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.34 muestra los cuartiles de las variables predictoras, usados en la identificación del signo de la señal. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR28, con 3 meses de anticipación. La Tabla 4.35 resume las combinaciones categóricas de las variables

predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que un mes se clasifique como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.34.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR28 entre Sep-1980 y Dic-1996.

Índice	Q ₂	Q ₄
QBO50	-0.885	0.770
ZON200	-0.600	0.600
ACAR	-0.080	0.123
SOI	-1.200	0.100

Tabla 4.35.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR28. Período Sep-1980 a Dic-1996.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
QBO50	ZON200	ACAR	SOI	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	80.00	0.00	20.00	0.00
1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	-1	33.33	66.67	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	33.33	0.00	33.33	33.33
1	-1	0	1	0.00	0.00	100.00	0.00
1	-1	0	-1	75.00	25.00	0.00	0.00
1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	0	81.25	12.50	6.25	0.00
0	0	0	1	75.00	0.00	25.00	0.00
0	0	0	-1	83.33	16.67	0.00	0.00

Tabla 4.35.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
QBO50	ZON200	ACAR	SOI	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	1	0	72.22	11.11	16.67	0.00
0	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	1	85.71	0.00	14.29	0.00
0	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	66.67	0.00	33.33	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	1	66.67	16.67	16.67	0.00
0	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	-1	81.82	9.09	0.00	9.09
0	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	0	60.00	0.00	40.00	0.00
0	-1	-1	1	0.00	0.00	0.00	100.00
-1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.17.- Modelo de la SR22

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR22 son ATL N (+0.210), ZON200 (-0.210), ACAR (+0.188) y SOI (+0.186), desfasados -17, -20, -20 y -9 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Jan-1981 a Dic-1996; 192 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.36 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR22, con 9 meses de anticipación. La Tabla 4.37 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que un mes sea clasificado como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.36.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR22 entre Jan-1981 y Dic-1996.

Índice	Q ₂	Q ₄
ATLN	-0.255	0.200
ZON200	-0.600	0.600
ACAR	-0.087	0.112
SOI	-1.200	0.100

Tabla 4.37.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR22. Período Jan-1981 a Dic-1996.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLN	ZON200	ACAR	SOI	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	0	0	89.47	10.53	0.00	0.00
0	0	0	1	75.00	0.00	25.00	0.00
0	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	-1	33.33	33.33	33.33	0.00
0	0	1	0	83.33	16.67	0.00	0.00
0	0	1	1	75.00	0.00	0.00	25.00
0	0	1	-1	75.00	0.00	25.00	0.00
0	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.37.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLN	ZON200	ACAR	SOI	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	-1	0	-1	83.33	16.67	0.00	0.00
0	-1	-1	0	80.00	20.00	0.00	0.00
0	-1	-1	-1	50.00	0.00	0.00	50.00
0	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	80.00	0.00	20.00	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	-1	33.33	33.33	33.33	0.00
0	1	-1	0	50.00	0.00	0.00	50.00
0	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	1	33.33	33.33	0.00	33.33
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	80.00	0.00	20.00	0.00
1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	40.00	40.00	20.00	0.00
-1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	-1	60.00	20.00	20.00	0.00
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	75.00	25.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	-1	33.33	66.67	0.00	0.00

Tabla 4.37.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLN	ZON200	ACAR	SOI	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
-1	-1	0	0	66.67	0.00	33.33	0.00
-1	-1	0	1	50.00	50.00	0.00	0.00
-1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	0	0.00	100.00	0.00	0.00
-1	1	-1	0	71.43	14.29	14.29	0.00
-1	1	-1	1	75.00	25.00	0.00	0.00
-1	1	-1	-1	50.00	0.00	50.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.18.- Modelo de la SRS2

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SRS2 son ATLS (-0.210), ACAR (+0.216), QBO50 (-0.257) y ZON200 (+0.213), desfasados -20, -19, -22 y -3 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Nov-1980 a Dic-2001; 254 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.38 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SRS2, con 3 meses de anticipación. La Tabla 4.39 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que un mes sea clasificado como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.38.- Cuartiles de las variables predictoras en la SRS2 entre Nov-1980 y Dic-2001.

Índice	Q ₂	Q ₄
ATLS	-0.150	0.320
ACAR	-0.079	0.148
QBO50	-0.930	0.830
ZON200	-0.600	0.600

Tabla 4.39.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SRS2. Período Nov-1980 a Dic-2001.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLS	ACAR	QBO50	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	58.33	8.33	25.00	8.33
0	0	1	1	75.00	25.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	0	75.00	15.00	0.00	10.00
0	0	0	1	77.78	11.11	11.11	0.00
0	0	0	-1	75.00	8.33	8.33	8.33
0	0	-1	0	85.71	0.00	0.00	14.29
0	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	0	57.14	28.57	14.29	0.00
0	-1	1	1	66.67	33.33	0.00	0.00
0	-1	1	-1	80.00	20.00	0.00	0.00
0	-1	0	0	85.71	14.29	0.00	0.00
0	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.39.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLS	ACAR	QBO50	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	-1	0	-1	60.00	20.00	20.00	0.00
0	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	-1	50.00	0.00	0.00	50.00
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	0.00	0.00	0.00	100.00
1	0	0	0	88.89	11.11	0.00	0.00
1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	50.00	25.00	0.00	25.00
1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	0	50.00	0.00	50.00	0.00
1	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	77.78	22.22	0.00	0.00
1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	-1	33.33	0.00	66.67	0.00
1	-1	-1	0	75.00	25.00	0.00	0.00
1	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	66.67	33.33	0.00	0.00
1	1	0	1	80.00	20.00	0.00	0.00
1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.19.- Modelo de la SR6

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR6 son ZON200 (+0.161), ACAR (+0.155), SOI (+0.148) y ATLS (+0.142), desfasados -1, -23, -4 y -6 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Dic-1980 a Dic-1996; 193 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.40 muestra los cuartiles de las variables predictoras; usados en la identificación del signo de la señal. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR6, con un mes de anticipación. La Tabla 4.41 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que un mes se clasifique como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.40.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR6 entre Dic-1980 y Dic-1996.

Índice	Q ₂	Q ₄
ZON200	-0.600	0.600
ACAR	-0.086	0.106
SOI	-1.200	0.200
ATLS	-0.140	0.310

Tabla 4.41.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR6. Período Dic-1980 a Dic-1996.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ZON200	ACAR	SOI	ATLS	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	0	-1	60.00	20.00	20.00	0.00
0	0	0	0	76.92	15.38	0.00	7.69
0	0	0	1	90.91	9.09	0.00	0.00
0	0	-1	-1	50.00	50.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	88.89	11.11	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	-1	0.00	100.00	0.00	0.00
0	-1	0	0	80.00	6.67	6.67	6.67
0	-1	0	1	60.00	20.00	0.00	20.00

Tabla 4.41.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ZON200	ACAR	SOI	ATLS	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	0	60.00	40.00	0.00	0.00
0	-1	1	0	50.00	50.00	0.00	0.00
0	-1	1	1	0.00	100.00	0.00	0.00
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	87.50	12.50	0.00	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	75.00	0.00	0.00	25.00
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	80.00	0.00	20.00	0.00
1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	-1	0.00	100.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	0.00	100.00	0.00	0.00
1	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	1	50.00	0.00	0.00	50.00
-1	0	-1	-1	90.00	0.00	10.00	0.00
-1	0	-1	0	50.00	25.00	25.00	0.00
-1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	0	66.67	33.33	0.00	0.00
-1	-1	-1	0	40.00	0.00	40.00	20.00

Tabla 4.41.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ZON200	ACAR	SOI	ATLS	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
-1	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	-1	66.67	33.33	0.00	0.00
-1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	-1	-1	66.67	0.00	0.00	33.33
-1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.20.- Modelo de la SR20

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SR20 son ATLN (+0.120), SOI (+0.112), ZON200 (-0.131) y ATLS (-0.171), desfasados -1, -23, -5 y -1 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Ene-1981 a Dic-1995; 180 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.42 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SR20, con un mes de anticipación. La Tabla 4.43 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que un mes sea clasificado como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.42.- Cuartiles de las variables predictoras en la SR20 entre Ene-1981 y Dic-1995.

Índice	Q ₂	Q ₄
ZON200	-0.600	0.600
ACAR	-0.086	0.106
SOI	-1.200	0.200
ATLS	-0.140	0.310

Tabla 4.43.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SR20. Período Ene-1981 a Dic-1995.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLN	SOI	ZON200	ATLS	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
-1	1	0	-1	87.50	0.00	0.00	12.50
-1	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	-1	66.67	0.00	33.33	0.00
-1	0	-1	-1	87.50	12.50	0.00	0.00
-1	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	91.67	8.33	0.00	0.00
0	1	1	0	83.33	0.00	16.67	0.00
0	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	-1	71.43	28.57	0.00	0.00
0	0	0	0	75.00	18.75	0.00	6.25
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	83.33	16.67	0.00	0.00
0	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	0	81.82	0.00	18.18	0.00
0	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	1	33.33	33.33	33.33	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	90.00	10.00	0.00	0.00
1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	75.00	25.00	0.00	0.00
1	0	1	1	60.00	20.00	0.00	20.00
1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	1	50.00	33.33	0.00	16.67
1	-1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	1	90.00	10.00	0.00	0.00
1	-1	1	0	80.00	20.00	0.00	0.00

Tabla 4.43.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ATLN	SOI	ZON200	ATLS	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	-1	1	1	71.43	14.29	0.00	14.29
1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	1	80.00	0.00	20.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.21.- Modelo de la SRS3

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SRS3 son ACAR (+0.195), ATLS (+0.154), QBO50 (-0.129) y ZON200 (-0.186), desfasados -12, -3, -15 y -4 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Sep-1980 a Dic-2001; 256 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.44 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SRS3, con 3 meses de anticipación. La Tabla 4.45 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que un mes sea clasificado como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.44.- Cuartiles de las variables predictoras en la SRS3 entre Sep-1980 y Dic-2001.

Índice	Q ₂	Q ₄
ACAR	-0.079	0.148
ATLS	-0.130	0.320
QBO50	-0.925	0.835
ZON200	-0.600	0.600

Tabla 4.45.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SRS3. Período Sep-1980 a Dic-2001.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	ATLS	QBO50	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
-1	-1	0	0	90.00	0.00	0.00	10.00
-1	-1	0	1	75.00	25.00	0.00	0.00
-1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.45.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	ATLS	QBO50	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
-1	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	71.43	14.29	0.00	14.29
-1	0	0	1	83.33	0.00	16.67	0.00
-1	0	-1	0	87.50	12.50	0.00	0.00
-1	0	-1	1	0.00	100.00	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	1	75.00	0.00	25.00	0.00
-1	0	1	-1	80.00	20.00	0.00	0.00
-1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	0	66.67	22.22	0.00	11.11
0	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	0	25.00	0.00	50.00	25.00
0	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	0	85.71	0.00	14.29	0.00
0	0	0	1	90.91	9.09	0.00	0.00
0	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	87.50	12.50	0.00	0.00
0	0	-1	-1	80.00	20.00	0.00	0.00
0	0	1	0	91.67	0.00	8.33	0.00
0	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	75.00	25.00	0.00	0.00
0	1	0	0	70.00	30.00	0.00	0.00
0	1	0	1	80.00	20.00	0.00	0.00
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.45.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	ATLS	QBO50	ZON200	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	1	62.50	37.50	0.00	0.00
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.22.- Modelo de la SRS1

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SRS1 son ACAR (+0.196), ATLS (+0.174), ZON200 (+0.135) y ATLN (+0.134), desfasados -21, -7, -12 y -15 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Oct-1980 a Dic-1997; 207 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.46 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SRS1, con 7 meses de anticipación. La Tabla 4.47 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la

probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que un mes sea clasificado como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.46.- Cuartiles de las variables predictoras en la SRS1 entre Oct-1980 y Dic-1997.

Índice	Q ₂	Q ₄
ACAR	-0.080	0.118
ATLS	-0.190	0.310
ZON200	-0.600	0.600
ATLN	-0.240	0.260

Tabla 4.47.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SRS1. Período Oct-1980 a Dic-1997.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	ATLS	ZON200	ATLN	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	0	55.56	22.22	0.00	22.22
0	-1	0	1	66.67	0.00	0.00	33.33
0	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	77.78	11.11	0.00	11.11
0	0	-1	1	50.00	50.00	0.00	0.00
0	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	0	94.12	5.88	0.00	0.00
0	0	0	1	80.00	20.00	0.00	0.00
0	0	0	-1	85.71	14.29	0.00	0.00
0	1	1	0	80.00	20.00	0.00	0.00
0	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	0	25.00	75.00	0.00	0.00
0	1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	1	1	0.00	100.00	0.00	0.00

Tabla 4.47.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	ATLS	ZON200	ATLN	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
-1	-1	-1	0	0.00	0.00	100.00	0.00
-1	-1	0	0	75.00	25.00	0.00	0.00
-1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	-1	0	0.00	100.00	0.00	0.00
-1	0	-1	-1	40.00	40.00	20.00	0.00
-1	0	0	0	90.00	0.00	10.00	0.00
-1	0	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	-1	60.00	20.00	0.00	20.00
-1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	0	83.33	16.67	0.00	0.00
1	-1	0	1	66.67	0.00	33.33	0.00
1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	50.00	50.00	0.00	0.00
1	0	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	50.00	50.00	0.00	0.00
1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	1	66.67	33.33	0.00	0.00
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.3.23.- Modelo de la SRS4

Los índices con mayor fuerza correlacional sobre la serie SPI de la ER asociada a la SRS4 son ACAR (+0.241), ATLN (+0.148), SOI (-0.146) y QBO50 (-0.189), desfasados -23, -1, -11 y -11 meses, respectivamente. El período común de estas series va de Dic-1980 a Dic-1994; 169 meses, sin meses faltantes. La Tabla 4.48 muestra los cuartiles de las variables predictoras. El modelo predice, bajo un enfoque probabilístico, la condición prevaleciente en la ER y por ende, generalizable a la SRS4, con un mes de anticipación. La Tabla 4.49 resume las combinaciones categóricas de las variables predictoras observadas durante el período común y la probabilidad de ocurrencia observada, en cada combinación, de que un mes sea clasificado como No Seco, Moderadamente Seco, Severamente Seco y Extremadamente Seco, según el valor del SPI (Tabla 2.4)

Tabla 4.48.- Cuartiles de las variables predictoras en la SRS4 entre Dic-1980 y Dic-1994.

Índice	Q ₂	Q ₄
ACAR	-0.086	0.114
ATLN	-0.280	0.170
SOI	-1.200	0.100
QBO50	-0.810	0.820

Tabla 4.49.- Condición observada según la estructura de las variables predictoras en la ER de la SRS4. Período Dic-1980 a Dic-1994.

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	ATLN	SOI	QBO50	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	0	1	-1	50.00	50.00	0.00	0.00
0	0	1	0	80.00	0.00	0.00	20.00
0	0	1	1	50.00	50.00	0.00	0.00
0	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0	0	90.91	0.00	9.09	0.00
0	0	0	1	80.00	0.00	20.00	0.00
0	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	0	-1	0	85.71	0.00	14.29	0.00
0	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.49.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	ATLN	SOI	QBO50	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
0	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0	1	50.00	50.00	0.00	0.00
0	1	-1	-1	75.00	25.00	0.00	0.00
0	-1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	1	0	80.00	0.00	0.00	20.00
0	-1	1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
0	-1	0	0	57.14	42.86	0.00	0.00
0	-1	0	1	87.50	0.00	12.50	0.00
0	-1	-1	1	33.33	66.67	0.00	0.00
-1	0	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	-1	80.00	20.00	0.00	0.00
-1	0	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	0	0	1	50.00	25.00	0.00	25.00
-1	0	-1	-1	66.67	0.00	0.00	33.33
-1	0	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	1	0	0.00	100.00	0.00	0.00
-1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	1	-1	-1	50.00	50.00	0.00	0.00
-1	1	-1	0	75.00	25.00	0.00	0.00
-1	-1	1	1	0.00	0.00	100.00	0.00
-1	-1	0	0	33.33	33.33	33.33	0.00
-1	-1	0	1	80.00	0.00	20.00	0.00
-1	-1	-1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
-1	-1	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	1	0	87.50	12.50	0.00	0.00
1	0	1	1	50.00	50.00	0.00	0.00
1	0	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0	0	40.00	0.00	60.00	0.00

Tabla 4.49.- Continuación

Estructura Observada				Probabilidad de Ocurrencia Observada (%)			
ACAR	ATLN	SOI	QBO50	NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
1	0	-1	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0	-1	0	87.50	12.50	0.00	0.00
1	0	-1	1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	50.00	50.00	0.00	0.00
1	1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0	0	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	1	1	0.00	100.00	0.00	0.00
1	-1	0	-1	100.00	0.00	0.00	0.00
1	-1	0	1	100.00	0.00	0.00	0.00

Nota: de las combinaciones posibles (Tabla 3.8), se muestra únicamente las observadas

4.4.- Validación parcial de los modelos asociados a las ER

Se validaron las Estaciones de Referencias (ER), utilizando 20 estaciones pluviométricas administradas por el Servicio de Meteorología de la Aviación Militar Bolivariana (ver Anexo 2). Siete de estas estaciones, están dentro de una Subregión Homogénea (SH), por tanto permiten validar las ERs allí contenidas. Durante la validación, un modelo tiene un acierto cuando pronostica correctamente la ocurrencia de eventos Extremadamente Seco (ES), Severamente Seco (SS), Moderadamente Seco (MS) o No Seco (NS), sin importar la probabilidad de ocurrencia que le asocie, en caso contrario, se asume la emisión de una falsa alarma.

Los modelos validados pronostican con precisión la ocurrencia de eventos ES, no así, aquellos clasificados como SS, NS o MS; 21.16% de los pronósticos, asociados a estas categorías, son falsas alarmas. El porcentaje de acierto de la categoría ES, en las ERs validadas, varía de 85.19% en la SR4 a 100.00% en la SRS3; en general, las ERs validadas y situadas en las regiones insular y costera del país muestran un menor porcentaje de acierto que las estaciones continentales; tal vez, los mecanismos generadores de eventos ES en la región insular y costera tienen una génesis de mayor complejidad que su contraparte continental. Por otro lado, la validación indica que el porcentaje de acierto de los eventos ES, es directamente proporcional a la longitud de los registros considerados en el desarrollo del modelo (Tabla 4.50), por tanto la extensión de las

series pluviométricas en las ERs empleando métodos avanzados como Redes Neuronales o Algoritmo Genético, pudiese mejorar la precisión de los pronósticos (González *et al.*, 2002).

Hansen *et al.* (2001), evidenciaron un patrón periódico de calentamiento y enfriamiento a escala global; calentamiento entre 1900 y 1940, enfriamiento de 1940 a 1965 y calentamiento desde 1965 a 2000. Esto sugiere que los mecanismos termodinámicos en los subsistemas océano y atmósfera, así como su acoplamiento varían temporalmente. En consecuencia, los 23 modelos deben ser calibrados en la medida que se obtengan nuevas mediciones, mejorando así la estructura entre las señales de las variables macroclimáticas (Tabla 3.8) y la probabilidad de ocurrencia de los estados del sistema (NS, MS, SS y ES).

Tabla 4.50.- Resumen de la validación de las siete Subregiones Homogéneas evaluadas.

Modelo	Longitud (Meses)	Porcentaje de Aciertos			
		NO SECO	MOD. SECO	SEV. SECO	EXT. SECO
MODELO SR8-E1282	259	88.89	70.37	82.72	93.83
MODELO SR2-E2299	254	88.89	72.84	72.84	93.83
MODELO SR4-E4099	196	80.25	75.31	80.25	85.19
MODELO SR7-E871	247	81.48	86.42	85.19	90.12
MODELO SRS4-E6524	169	64.20	64.20	81.48	86.42
MODELO SRS3-E4404	255	87.65	80.25	93.83	100.00
MODELO SR3-E544	253	83.95	79.01	88.89	91.36

Nota: el modelo se emplea para pronosticar la condición prevaleciente en la estación usada para validar (se representa con la letra E más el serial de la estación). La longitud indica el número de meses considerados en la generación del modelo.

El Servicio de Meteorología de la Aviación Militar Bolivariana (SEMETAVIA) usa el Climate Predictability Tool (CTP) para generar un pronóstico climático estacional. El CTP, se basa en tres tipos de análisis estadístico: Correlación Canónica, Regresión de los Componentes Principales y Regresión Lineal Múltiple. Usa como predictor la Temperatura de la Superficie del Mar (TSM) en el Caribe, región Niño 3 y Atlántico Norte y Sur, del mes anterior al trimestre que se va a pronosticar. La TSM es obtenida de la librería del Instituto Internacional de Investigación para la Predicción Climática y la Sociedad de la Universidad de Columbia (IRI, por sus siglas en inglés; el IRI desarrolló el CTP). El CTP es usado por los servicios meteorológicos e hidrológicos de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina (CIIFEN, 2010).

Al contrastar el método propuesto con el CTP, destacan ciertas diferencias: 1) El CTP, considera sólo variables oceánicas, obviando los índices asociados al subsistema atmósfera. Los resultados de esta investigación, derivados del análisis de correlación cruzada, indican que en algunas Subregiones Homogéneas (SH), el índice zonal a 200 mb y el QBO50 (índices atmosféricos) tienen mayor grado de correlación con el SPI que las variables oceánicas, por tanto son mejores predictores (Tabla 3.7); 2) En el CTP, el predictor y el predictante tienen un desfase temporal constante de 3 meses. El análisis de correlación cruzada señala que la mayor correlación lineal entre las variables macroclimáticas y la respuesta pluviométrica en las SHs, puede ser igual, mayor o menor a 3 meses (Tabla 3.7); 3) Las tablas de contingencia (Estructura Observada versus Probabilidad de Ocurrencia Observada), muestran que el SPI en una SH es multifactorial, en consecuencia, una señal en una VM puede generar múltiples respuestas en el SPI; este aspecto no se considera en el CTP.

Para incorporar los 23 modelos a un Sistema de Alerta Temprana de sequías meteorológicas, debe desarrollarse una plataforma computacional para recolectar, almacenar y procesar los índices macroclimáticos, generar un pronóstico en cada ER y crear un mapa temático que facilite el uso de esta información por parte de los tomadores de decisión y el público en general, utilizando redes sociales o un soporte WEB. Sistemas de ese tipo, son muy exitosos como mecanismo de divulgación en instituciones como el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno El Niño (CIIFEN) de Ecuador, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de la República de Cuba (INRH), el Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Venezolana (SEMETFV) y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Venezuela (INAMEH), por nombrar algunos.

4.5.- Organización general del sistema de pronóstico para su implementación operativa

Una vez generados y validados los modelos de pronósticos en las ERs, el paso siguiente, es su implementación operativa desde un punto de vista experimental. En este sentido, la Fig. 4.12, muestra un diagrama de flujo, con la organización general del sistema de pronóstico estacional de sequías meteorológicas, basado en el uso de los modelos probabilísticos asociados a las ERs. El sistema, consta de dos sub-rutinas: pronóstico y validación-calibración. La subrutina de pronóstico, comprende lo siguiente:

1.- El usuario, selecciona la SH donde se desea realizar el pronóstico. Por ejemplo, SRS3 (Apure)

2.- El sistema, identifica las cuatro VMs predictoras de la SH de interés; la información se extrae de una base de datos que contiene las 4 VMs predictoras de cada SH. En el caso ejemplificado, ACAR, ATLS, QBO50 y ZON200.

3.- El sistema, identifica el desfase de cada una de las VMs predictoras en la SH de interés; esta información se obtiene de una base de datos con los desfases de las VM predictoras en cada SH. En el ejemplo, dichos desfases son (en meses):-12 (ACAR), -3 (ATLS), -15 (QBO50) y -4 (ZON200).

4.- El sistema, selecciona los cuartiles, Q_2 y Q_4 , de cada una de las VMs predictoras en la SH de interés; esta información forma parte de una base de datos que contiene los desfases de las VMs predictoras en cada SH. En el caso de ejemplo, se indica en la Tabla 4.51

Tabla 4.51.- Cuartiles de las variables predictoras en la SRS3

Índice	Q_2	Q_4
ACAR	-0.079	0.148
ATLS	-0.130	0.320
QBO50	-0.925	0.835
ZON200	-0.600	0.600

5.- El sistema, lee la anomalía de las VMs predictoras en la SH (debidamente desfasadas); esta información está contenida en una base de datos, que se actualiza mensualmente con las fuentes originales de las series de anomalías: ACAR, ATLS, QBO50 y ZON200. Retomando el ejemplo y, asumiendo que se desee pronosticar la condición prevaleciente, en la SRS3, para mayo de 2011, las anomalías desfasadas son: 0.375 (ACAR), 0.450 (ATLS), 0.070 (QBO50) y 2.600 (ZON200)

6.- El sistema, transforma cada una de las anomalías mencionadas en el paso anterior, en un valor trinario; -1, 0 ó +1, de acuerdo a la posición que tenga la medición, con relación al Q_2 y Q_4 .

7.- El sistema, determina la estructura de la señal de entrada, usando los valores del paso anterior; así, una señal tendrá cuatro números enteros y trinaros (uno por cada VM predictora). En el caso de ejemplo, la señal de entrada es: +1, +1, 0, +1.

8.- El sistema, contrasta el código del paso anterior con las estructuras contenidas en el modelo de la SH. Si el código forma parte del modelo de la SH, se informa al usuario, para el mes evaluado, la probabilidad de ocurrencia, observada, de una condición: no seca, moderadamente

seca, severamente seca y extremadamente seca. Si el código no está contenido en el modelo de la SH (significa, que no se observó durante el período en que se contrastaron las series SPI y las VMs predictoras), se advierte al usuario, que el sistema no puede emitir un pronóstico. En el ejemplo, el pronóstico probabilístico para mayo de 2011 en la SRS3 es:

100.00% No Seco,

0.00% Moderadamente Seco,

0.00 % Severamente Seco

0.00 % Extremadamente Seco

Cabe destacar que en mayo del 2011, se registró en la SRS3, abundantes lluvias debido a recurrentes perturbaciones atmosféricas tropicales y la actividad de la zona de convergencia intertropical, por lo que el pronóstico del modelo, fue acertado.

En cuanto a la subrutina de validación-calibración (ver Fig. 4.13), incluye los siguientes procesos:

- 1.- En principio, se requiere cargar al sistema, las series pluviométricas mensuales de las estaciones administradas por el Servicio de Meteorología de la Aviación Militar Bolivariana (SEMETAVIA), contenidas dentro de las SHs; estas estaciones se denominan, estaciones de validación.
- 2.- El sistema, calcula las series SPI en las estaciones de validación.
- 3.- El sistema, convierte las series SPI en una variable nominal, usando las categorías definidas por McKee *et al.* (1993).
- 4.- El sistema, calcula el porcentaje de aciertos del modelo en cada SH, con relación a la condición observada en la estación de validación. Si el promedio de aciertos del modelo en una SH, es inferior al 60%, se deberán actualizar las bases de datos, usando los registros del SEMETAVIA o los del cualquier ente que dispongas de series pluviométricas largas y confiables dentro de la SH.

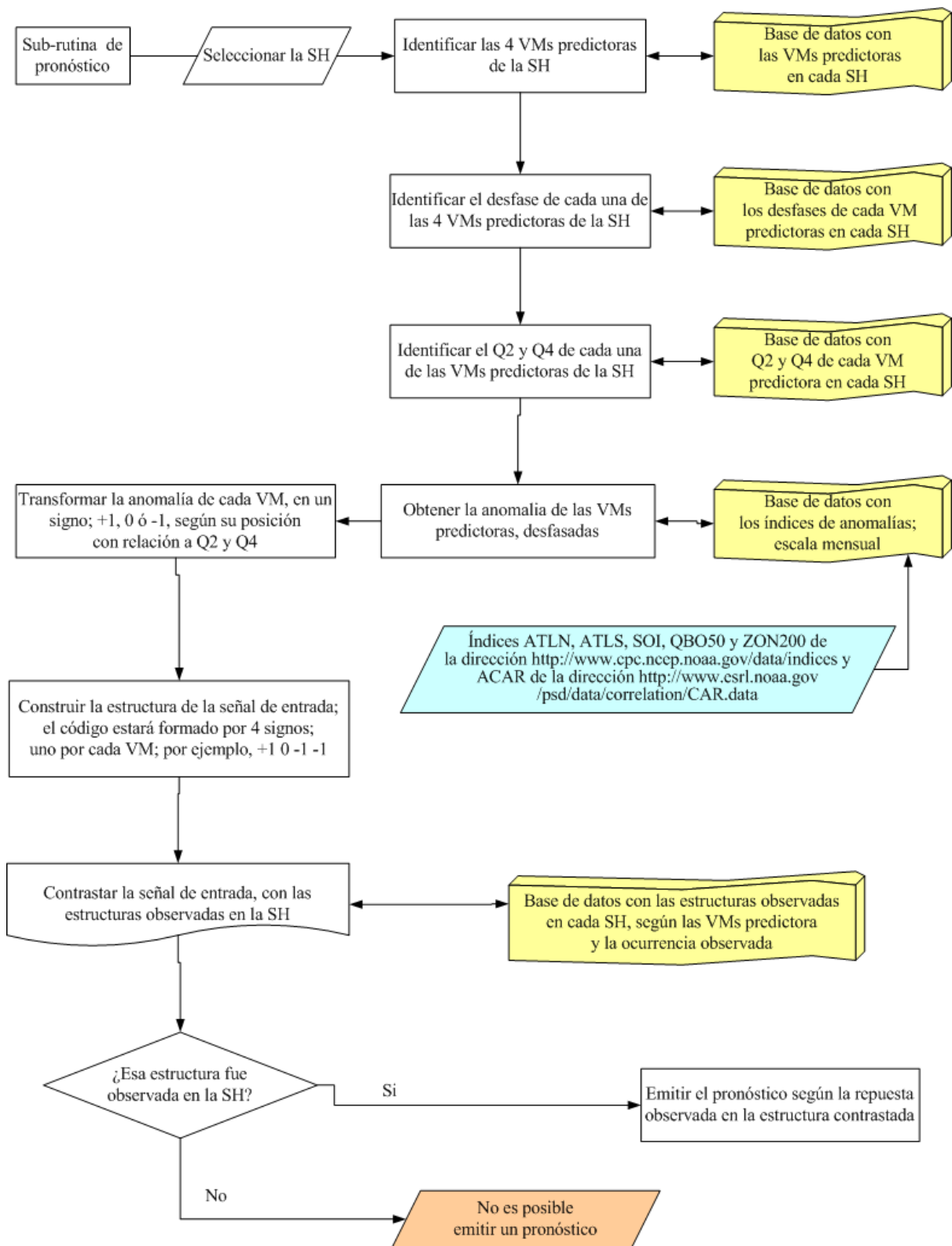


Fig. 4.12.- Diagrama de flujo simplificado sobre la organización del sistema de pronóstico estacional de sequías meteorológicas, basado en el uso de los modelos probabilísticos asociados a las ERs.

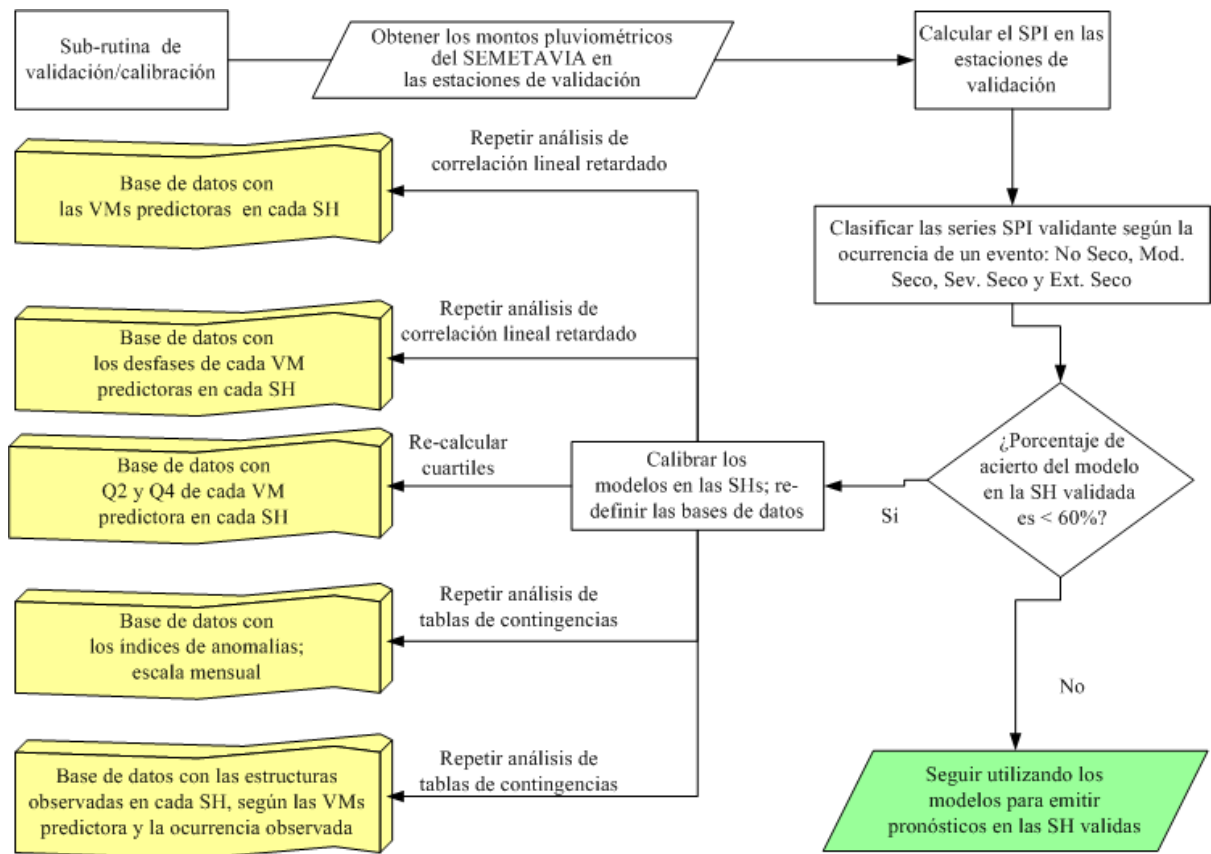


Fig. 4.13.- Diagrama de flujo simplificado de la subrutina de validación y calibración del sistema de pronóstico estacional de sequías meteorológicas, basado en el uso de los modelos probabilísticos asociados a las ERs.

4.6.- Aportación social de la Tesis Doctoral

La Tesis Doctoral presenta un nuevo método para pronosticar, a corto plazo, la ocurrencia de sequías meteorológicas en varias regiones del país. Los modelos generados en estas regiones, pueden integrarse a un Sistema Nacional para la Alerta Temprana de Sequías Meteorológicas (SNATSM). La alta precisión para pronosticar eventos extremadamente secos, les confiere confiabilidad, por tanto son una herramienta útil para tomar decisiones en torno a la gestión de los recursos hídricos. La emisión de una alerta temprana, permitirá al Estado, desarrollar con antelación, planes de contingencia que afronten los principales impactos sociales de las sequías: desabastecimiento, perturbaciones en el mercado agroalimentario, la falla de los sistemas de abastecimiento hídrico poblacional y de generación hidroeléctrica. A diferencia de los muy complejos Modelos de Circulación General Acoplados Atmósfera–Océano, este método usa algoritmos muy sencillos y fáciles de programar (Fig. 4.12 y Fig. 4.13), por ende, cualquier país,

puede adaptarlo con relativa facilidad. Todo lo anterior, brindará seguridad social y una mejor calidad de vida.

La Tesis Doctoral incorpora una nueva línea de investigación al Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC). En este sentido, se prevé ampliarel método propuesto, a fin de pronosticar, a corto plazo, la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos, sequías y lluvias extraordinarias, en las regiones del país evaluadas. El CIHAM-UC, promoverá el desarrollo de una estructura computacional, on line, para operar, en fase experimental, un Sistema Nacional para la Alerta Temprana de Eventos Hidrometeorológicos Extremos, basado en el uso de modelos probabilísticos condicionales y su complementación con métodos tradicionales. Por último, el CIHAM-UC realizará una campaña de divulgación del método en revistas especializadas, congresos y simposios, además prevé realizar reuniones interinstitucionales entre la Universidad de Carabobo y los entes del Estado que administran los recursos hídricos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sobre la base de los resultados obtenidos en la investigación, se pueden extraer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Las estaciones climáticas en Venezuela pueden regionalizarse de acuerdo a la magnitud y signo de las anomalías pluviométricas, expresadas por medio del índice SPI. El Análisis de Componentes Principales (ACP) con una rotación Normalizada Varimax con Kaiser, permite identificar las estaciones cuyas series temporales de SPI están intercorrelacionadas y forman un grupo con un alto grado de homogeneidad. Al representar estos grupos, con un Sistema de Información Geográfica, es posible delimitar regiones geográficas continuas; Subregiones Homogéneas (SH). Las estaciones incluidas en una SH pueden ser representada por una Estación de Referencia (ER), seleccionada en base a su amplitud de registro, ocurrencia de la temporada seca, altitud y la precipitación media anual. El ACP genera grupos homogéneos de diferentes tamaños; la primera componente agrupa el mayor número de estaciones. La precipitación media anual y en menor grado, la orientación de las estaciones con relación a las barreras orográficas, parecen influir en la conformación de las SHs.
- Las anomalías térmicas extremas en los océanos Pacífico (regiones Niño), Atlántico Tropical Norte y Sur, y Mar Caribe tienen un efecto diferencial sobre las precipitaciones. Estos eventos climáticos alteran temporalmente los totales pluviométricos considerados normales e incluso pueden llegar a modificar el patrón de distribución espacial de las lluvias a escala regional. Entre el inicio de una anomalía oceánica extrema y la respuesta pluviométrica, existe un desfase temporal que varía de uno a 23 meses. Bajo ciertas condiciones, los cambios en el patrón de circulación y la intensidad de las corrientes de aire en la alta troposfera y estratosfera tropical, modulan la ocurrencia de las sequías meteorológicas. Las sequías meteorológicas de mayor cobertura espacial y persistencia, son producto de la interacción de varias anomalías macroclimáticas de diferentes magnitud, signo, origen (oceánico o atmosférico) y desfase temporal.
- Los modelos de predicción basados en tablas de probabilidad condicional, que contrastan categóricamente, el índice SPI y los cuatro índices macroclimáticos con mayor grado de correlación (desfasados temporalmente con respecto al índice SPI), permiten pronosticar con una precisión superior al 90%, la ocurrencia de eventos secos extremos en varias zonas

geográficas del país, con una antelación de entre uno a catorce meses. Para minimizar la incertidumbre del pronóstico de estos eventos, la estación de referencia usada en el desarrollo del modelo debe contar con una serie pluviométrica de, al menos, 30 años de registros continuos.

- Se sugiere desarrollar una plataforma computacional que incluya los modelos desarrollados para emitir un pronóstico mensual en cada Subregiones Homogéneas (SH); se deben validar los pronósticos con los reportes pluviométricos del Servicio de Meteorología de la Aviación Militar Bolivariana, haciendo uso de las estaciones contenidas en las SHs.
- Se recomienda reevaluar y ampliar el estudio a medida que se disponga de mayor información, sobre todo, de registros pluviométricos en las estaciones de referencia.

REFERENCIAS

- Aceituno P. (1988): "On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I. Surface Climate". *Monthly Weather Review*. Vol. 116, pp. 505-524.
- Alley W. (1984): "The Palmer Drought Severity index: limitations and assumptions". *Journal of Climate and Applied Meteorology*. Vol. 23, pp. 1100-1109.
- Anderson M., Kavvas M. y Mierzwa M. (2000): "Assessing hydrologic drought risk using simplified climate model". *Journal of Environmental Engineering*. Vol. 5. N° 4, pp. 393-401
- Askew A. and Rooda J. (1996): "Addressing arid zone problems. L'hydrologie tropicale: séoscience et outil pour le développement (Actes de la conférence de Paris, mai 1995)". IAHS Publ. No. 238.
- Ayllón T. (2003): "Elementos de meteorología y climatología". Editorial Trillas, México. 211 p.
- Barlow M., Nigam S. y Berbery E. (2001): "ENSO, Pacific Decadal variability, and U.S. summertime precipitation, drought and stream flow". *Journal of Climate*. Vol. 14. N° 9, pp. 2105-2128.
- Bass S., Ramasamy S., Dey Deprick J. and Battista F. (2008): "Disaster risk management systems analysis". Environment, Climate Change and Bioenergy Division. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 250 p.
- Below R., Grover-Kopec E. and Dilley M. (2007): "Documenting drought-related disasters a global reassessment". *The Journal of Environment and Development*. Vol. 16 N° 3, pp. 328-344
- Bergman M. y Delleur J. (1985): "Kalman filter estimation and prediction of daily streamflow: 1-review, algorithm, and simulation experiments; 2-application to the Potomac river". *Water Resources Bulletin*. Vol. 21. N° 5, pp. 815-832.
- Bhalme H. y Mooley D. (1980): "Large-scale drought/floods and monsoon circulation". *Monthly Weather Review*. Vol. 108. N° 8, pp. 1179-1211.
- Bobba M. y Minetti J. (2010): "South American atmospheric circulation anomalies related to droughts in the northwest of Argentina (1951-1980)". *Atmosphere*. Vol. 23. N° 3, pp. 263-275.
- Bounoua L., Collatz G., Los S., Sellers P., Dazlich D., Tucker C. y Randall D. (2000): "Sensitivity of Climate to Changes in NDVI". *Journal of Climate*. Vol. 13. N° 13, pp. 2277-2292.
- Bowles D., Hughes T., James W., Jensen D. y Haws F. (1980): "Vulnerability of water supply systems to droughts". Water Research Laboratory, College of Engineering, Utah State University. Logan, Utah. 67 p.
- Burke T. y Rao R. (2000): "Regionalization of droughts". Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management 2000. Rollin H. Hotchkiss, Michael Glade Editors, July 30 – August 2, Minneapolis, Minnesota, USA

- Burton I., Kates R. y White G. (1978): "The environment as hazard". Oxford University Press. New York. 240 p.
- Byun R-R. y Wilhite D. (1999): "Objective quantification of drought severity and duration". Journal of Climate. Vol. 12. Nº 9, pp. 2747-2756.
- Campos D. (2005): "Agroclimatología cuantitativa de cultivos". Editorial Trillas, México, pp. 267-282.
- Cancelliere A., Di Mauro G., Bonaccorso B. y Rossi, G. (2007): "Investigating the potential of NAO index to forecast droughts in Sicily". Memories in CD-ROM of Hydrology Days 2007. Fort Collins, Colorado, EUA.
- Cárdenas P., García L. y Gil A. (2002): "Impacto de los eventos El Niño – Oscilación del Sur en Venezuela". Corporación Andina de Fomento, Caracas, 130 p.
- Cárdenas P., Gil A. y Colón E. (1999): "Impacto de los eventos El Niño y La Niña en los caudales de la cuenca del río Caroní". Documento técnico de EDELCA. Caracas, 33 p.
- Carrillo J. (1999): "Agroclimatología". Editorial Innovación Tecnológica. Universidad Central de Venezuela, Caracas, pp. 213-246
- Casas M. y Alarcón M. (1999): "Meteorología y clima". Ediciones UPC, Madrid, España. 162 p.
- Cegarra J. (2004): "Metodología de la investigación científica y tecnológica". Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España. 376 p.
- Centro Internacional para la Investigación de Fenómeno de El Niño [CIIFEN] (2010): "Memorias técnicas del taller: Integración de los pronósticos estacionales con la información hidrológica para los sectores vinculados al agua en el oeste de Sudamérica". Documento técnico del CIFEN. Guayaquil, Ecuador. 115 p.
- Cofiño A., Cano R., Sordo C. y Gutiérrez J. (2002): "Bayesian networks for probabilistic weather prediction". Memories of proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence. IOS Press. Madrid, pp. 695 - 700
- Cofiño D. (2003): "Técnicas estadísticas y neuronales de agrupamiento adaptativo para la predicción probabilística de fenómenos meteorológicos locales. Aplicación en el corto plazo y en la predicción estacional". Tesis doctoral del Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria, España. 188 p.
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999, Diciembre 15): "Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5.453(Extraordinario)", Marzo 24, 2000.
- Cook E., Meko D. y Stockton Ch. (1997): "A new assessment of possible solar and lunar forcing of the bidecadal drought rhythm in the western United States". Journal of Climate. Vol. 10. Nº 6. pp. 1343-1356.
- De la Fuente, C. M. (2005): "Métodos estadísticos avanzados con SPSS". Editorial Thomson, Madrid. 775 p.

- De Witt D. (2005): "Retrospective forecasts of interannual Sea Surface Temperature Anomalies from 1982 to present using a directly Coupled Atmosphere–Ocean General Circulation Model". *Monthly Weather Review*. Vol. 133, pp. 2972–2995.
- Dewar R. y Wallis J. (1999): "Geographical patterning of interannual rainfall variability in the tropics and near tropics: an L-Moments approach". *Journal of Climate*. Vol. 12. N° 12, pp. 3457-3466.
- Deza R., Pérez-Muñuzuri V. y Lozano N. (2003): "Variabilidad climática y procesos estocásticos". Memorias en CD-ROM del XII Congreso de Física Estadística. Pamplona, España.
- Dhar O., Rakhecha P. y Kulkarni A. (1979): "Rainfall study of severe drought years of India". Memories in CD-ROM of the Symposium on Hydrological Aspects of Drought, Nueva Delhi, India.
- Dracup J., Lee K. y Paulson Jr., E. (1980): "On the statistical characteristics of drought events". *Water Resources Research*. Vol. 16. N° 2, pp. 289-296.
- Easterling R., Peterson C. y Karl T. (1996): "On the development and use of homogenized climate data sets". *Journal of Climate*. Vol. 9, pp. 1429-1434.
- Edwards D. y McKee T. (1997): "Characteristics of 20th Century drought in the United States at multiple time scales". *Climatology Report N° 97-2*, Colorado State University, Fort Collins. Colorado
- Erasmí S., Propastin P., Kappas M. y Panferov O. (2009): "Spatial patterns of NDVI variation over Indonesia and their relationship to ENSO warm events during the period 1982–2006". *Journal of Climate*. Vol. 22. N° 24, pp. 6612-6623.
- Escalante C. (2003): "La vulnerabilidad ante los extremos: la sequía". *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. 18. N° 2, pp. 133-155.
- Evans Michael J. (2005): "Probabilidad y estadística: la ciencia de la incertidumbre". Editorial Reverté. Barcelona, España. 758 p.
- García M. (2004): "Respuesta de la vegetación a variaciones climáticas en praderas y sistemas adehesados mediterráneos: metodología de análisis utilizando datos hiperspectrales y multiespectrales". *Revista Ecosistemas*. Vol. 12. N° 2, pp. 103-107
- Gibbs W. (1987): "A drought watch system". WCP-134, WMO, Geneva. 23 p.
- Gibbs W. y Maher J. (1967): "Rainfall deciles as drought indicators". *Bureau of Meteorology. Bulletin 48*. Commonwealth of Australia, Melbourne. 84 p.
- Giddings L. y Soto M. (2006): "Teleconexiones y precipitación en América del Sur". *Revista de Climatología*. Vol. 6, pp. 13-20.
- Goldbrunner A. (1984): "Atlas Climatológico de Venezuela, período 1951-1970". Documento técnico de la Fuerza Aérea Venezolana. CDU 551.582.3. Caracas, Venezuela. 68 p.
- González J. y Valdés J. (2003): "Bivariate drought recurrence analysis using tree ring reconstructions". *Journal of Hydrologic Engineering*. Vol. 8. N° 5, pp. 247-258.

- González J., De Luís M., Štěpánek P., Ravento S. y Cuadrat J. (2002): "Reconstrucción, estabilidad y proceso de homogeneizado de series de precipitación en ambientes de elevada variabilidad pluvial". Memorias en CD-ROM de la VII Reunión Nacional de Climatología. Grupo de Clima AEG, Albarracín, España.
- Goudie A. (1985): "Encyclopedic dictionary of physical geographic". Blackwell. Oxford, Reino Unido. 528 p.
- Griffiths G. (1990): "Rainfall deficits: distribution of monthly runs". Journal of Hydrology. Vol. 115. pp. 219-229.
- Guerrero-Salazar P. y Yevjevich V. (1975): "Analysis of drought. Characteristic for theory of runs". Hydrologic Paper N° 80. Colorado State University. 35 p.
- Guevara E. (1992): "Métodos hidrológicos para el análisis de sequías". Revista Ingeniería UC. Vol. 1, N° 1. pp. 25-34.
- Guevara E. y Paredes F. (2007): "Influencia de variables macroclimáticas sobre el régimen pluviométrico en el Estado Cojedes, Venezuela". Revista Ingeniería UC. Vol. 14. N° 3, pp. 49-56.
- Guevara J. M. (2004): "Meteorología". CDCH-UCV. Caracas, Venezuela. 377 p.
- Gutiérrez E. (2006): "Umbrales de índices de estabilidad para la predicción de tormentas eléctricas en dos regiones de Venezuela". Documento técnico del Centro de Modelado Científico de la Universidad del Zulia. 25 p.
- Gutiérrez J., Cofiño A., Cano R. y Rodríguez M. (2004): "Clustering methods for statistical downscaling in short-range weather forecasts". Monthly Weather Review. Vol. 132, pp. 2169-2183.
- Gutman N. (1998a): "Homogeneity, data adjustments and Climatic Normals". National Climatic Data Center. Asheville, United State, 18 p.
- Guttman N. (1993): "The use of L-Moments in the determination of regional precipitation climates". Journal of Climate. Vol. 6. N° 12, pp. 2309-2325.
- Guttman N. (1998b): "Comparing the Palmer drought Index and the Standardized Precipitation Index". Journal of American Water Resources association. Vol. 34. N° 1, pp. 113-121.
- Guttman N., Hosking J. y Wallis J. (1993): "Regional precipitation quantile values for the continental United States computed from L-Moments". Journal of Climate. Vol. 6. N° 12, pp. 2326-2340.
- Hansen J., Ruedy R., Sato M., Imhoff M., Lawrence W., Easterling D., Peterson T. y Karl T. (2001): "A closer look at United States and global surface temperature change". Journal of Geophysical Research. Vol. 106, pp. 23947-23963.
- Hastenrath S. (1976): "Variations in low-latitude circulations and extreme climatic events in the tropical Americas". Journal of the Atmospheric Sciences. Vol. 33, pp. 202-215.
- Hastenrath S. (1990): "Prediction of northeast Brazil rainfall anomalies". Journal of Climate. Vol. 3. N° 8, pp. 743-758.

- Heim R. (2002): "A review of twentieth-century drought indices used in the United States". American Meteorological Society. Vol. 83. N° 8, pp. 1149–1165.
- Hernández R., Fernández C. y Baptista O. (2003): "Metodología de la investigación". 3^{ra} edición. McGraw Hill Interamericana. México, 705 p.
- Hu Q. y Willson G. (2000): "Effects of temperature anomalies on the Palmer Drought Severity Index in the central United States". International Journal Climatology. Vol. 20, pp. 1899–1911.
- Hudson H. y Hazen R. (1964): "Drought and low stream flow". En: Chow, V.T. (Ed.): Handbook of applied hydrologic. Mc Graw-Hill. New York.
- Hulme M., Wigley T., Barrow E. Raper S., Cetella A., Smith S. y Chipanshi A. (2000): "Using a climate scenario generator for vulnerability and adaptation assessments: MAGICC and SCENGEN version 2.4 Workbook". Climate Research Unit, Norwich, Reino Unido. 52 p.
- Ibarra E. y Mendoza N. (2004): "Caracterización de la sequía meteorológica en la cuenca alta del río Guárico". Memoria en CD-ROM del VII Congreso Venezolano de Ingeniería Agrícola, Maracay, Venezuela.
- IPCC [Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático] (2007): "Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático". Ginebra, Suiza: IPCC. 300 p.
- Izenman A. (2008): "Modern multivariate statistical techniques". Editorial board: George Casella, Stephen Fienberg and Ingram Olkin. Springer. New York, USA. 756 p.
- Ji L. y Peters A. (2002): "Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought index". Remote Sensing of Environment. Vol. 87. N° 1, pp. 85–98.
- Jianjun Y. y Stouffer R. (2007): "Comparison of the stability of the Atlantic Thermohaline Circulation in two Coupled Atmosphere–Ocean General Circulation Models". Journal of Climate. Vol. 20. N° 17, pp. 4293–4315.
- Kalma J. y Franks S. (2003): "Rainfall in arid and semiarid regions". Chapter 2. In: Simmers, I (Ed). Understanding water in a dry environment. Hydrological processes in arid and semiarid zones. International Association of Hydrogeologists. BALKEMA. Lissier, pp. 15–63.
- Karl T. (1986): "The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to their calibration coefficients including Potential Evapotranspiration". Journal of Climate and Applied Meteorology. Vol. 25. N° 1, pp. 77–86.
- Karnieli A., Agam N., Pinker R., Anderson M., Imhoff M., Gutman G., Panov N. and Goldberg A. (2010): "Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: merits and limitations". Journal of Climate. Vol. 23. N° 3, pp. 618–633.
- Kendall D. y Dracup J. (1992): "On the generation of drought events using an alternating renewal-reward model". Stochastic Hydrology and Hydraulics. Vol. 6, pp. 55–68.

- Keyantash J. y Dracup A. (2002): "The quantification of drought: an evaluation of drought indices". *Bulletin of the American Meteorological Society*. Vol. 83. N° 8, pp. 1167-1180.
- Kim T. y Valdés J. (2003): "Nonlinear model for drought forecasting based on a conjunction of wavelet transforms and neural networks". *Journal of Hydrologic Engineering*. Vol. 8. N° 6, pp. 319-328.
- Kim T., Valdés J. y Yoo Ch. (2003): "Nonparametric approach for estimating return periods of droughts in arid regions". *Journal of Hydrologic Engineering*. Vol. 8. N° 5, pp. 237-246.
- Kingtse C., Jae-Kyung E. y Schemm Soo-Hyun. (2009): "Influence of ENSO and the Atlantic Multidecadal Oscillation on drought over the United States". *Journal of Climate*. Vol. 22. N° 22, pp. 5962-5982.
- Komuscu A. (1999): "Using the SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey". *Drought Network New*. Vol. 11. N° 1, pp. 7-13.
- Krishnan A. (1979): "Definition of droughts and factors relevant to specification on agricultural and hydrological droughts". *Memories in CD-ROM of Symposium on hydrological aspects of drought*, Nueva Delhi, India.
- Lapinel B. y Báez R. (2007): "Sistema de diagnóstico y vigilancia regional de la sequía". *Memorias de la V Conferencia Mundial Proyecto FRIEND AMIGO para América Latina y el Caribe*. La Habana, Cuba. pp. 30-40.
- Linsley Jr., Kohler M. y Paulhus J. (1982): "Hydrologic for engineers". 3th edition. McGraw-Hill College Division. New York. 512 p.
- Loukas A. y Vasiliades L. (2004): "Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece". *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Vol. 4, pp. 719-731.
- Madsen H. y Rosbjerg D. (1998): "A regional Bayesian method for estimation of extreme streamflow droughts", en E. Parent, B. Bobée, P. Hubert and J. Miquel, eds, *Studies and reports in Hydrology*, UNESCO, pp. 327-40.
- Madsen H., Rosbjerg D. y Harremoes, P. (1994): "PDS-modelling and regional Bayesian estimation of extreme rainfalls". *Nordic Hydrology*. Vol. 25. N° 4, pp 279-300.
- Maracara L. y Mendoza N. (2007): "Evaluación del efecto de la sequía meteorológica sobre el caudal medio del Río Tuy para un periodo de tiempo de 25 años (1951-1975)". Tesis de Grado no publicada de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 230 p.
- Marengo J., Nobre C., Tomasella J., Oyama M., de Oliveira G., de Oliveira R., Camargo H., Alves L. y Brown F. (2008): "The drought of Amazonia in 2005". *Journal of Climate*. Vol. 21 N° 3, pp. 495-516.
- Marengo J., Nobre C., Tomasella J., Oyama M., de Oliveira G., de Oliveira R., Camargo H., Alves L. y Brown F. (2008): "The drought of Amazonia in 2005". *Journal of Climate*. Vol. 21 N° 3, pp. 495-516.

- Martelo M. (2005): "Influencia de las variables macroclimáticas en el clima de Venezuela". Universidad Central de Venezuela. Ponencia en CD-ROM del VII Congreso Venezolano de Ingeniería Agrícola, Maracay-Venezuela.
- Martelo M. (2007): "Consecuencias ambientales generales del Cambio Climático en Venezuela". Memorias en CD-ROM del I Congreso Venezolano de Agrometeorología y V Reunión Latinoamericana de Agrometeorología. Maracay, Venezuela
- Martín-Vide, J. (1998): "Cambios en el sistema climático: escalas, métodos y efectos (desertificación)". Memorias del Seminario Internacional sobre Inserción del Semiárido Latinoamericano en el Proceso de Globalización de la Economía Mundial. IPA - UNIFACS. Salvador de Bahía. pp. 515-528.
- MAT [Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras] (2008): "Presentado balance del Plan Integral de Desarrollo Agrícola 2007-2008". Boletín Nacional N° 21 del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras.
- McKee T., Doeksen N. y Kleist J. (1993): "The relationship of drought frequency and duration to time scales". Preprints 8th Conference on Applied Climatology 17-22, Anaheim (California, EE.UU.), pp. 179-184.
- Melesse A., Jordan J. y Graham W. (2001): "Enhancing land cover mapping using Landsat derived surface temperature and NDVI". Memories in CD-ROM of World Water and Environmental Resources Congress 2001. Don Phelps, Gerald Sehlke Editors, May 20-24, Orlando, Florida, USA
- Mendoza M. y Puche M. (2007): "Evaluación de la ocurrencia de sequía en localidades de Venezuela". Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia. Vol. 24, pp. 661-678.
- Mendoza N. (2006): "Evaluación de la cobertura espacial de la sequía en Venezuela". Memoria en CD-ROM de la I Jornadas de Ingeniería Agrícola del Siglo XXI. Maracay. Estado Aragua.
- Mendoza N. y Puche M. (2005): "Evaluación de los eventos de sequía meteorológica en Venezuela: período 1950-1998". Trabajo de ascenso de la Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto y Departamento de Ingeniería Agrícola. 195 p.
- Mendoza N., Méndez M. y Lobo D. (2007): "Influencia de la capacidad de almacenamiento del suelo en la evaluación de la sequía agrícola". Memoria en CD-ROM del VII Congreso Venezolano de Ingeniería Agrícola, Maracay, Venezuela.
- Meshcherskaya A. y Blazhevich V. (1997): "The drought and excessive moisture indices in a historical perspective in the principal grain-producing regions of the former Soviet Union". Journal of Climate. Vol. 10. N° 10, pp. 2670-2682.
- Meyer S. y Hubbard K. (1995): "Extending the crop-specific drought index to soybean". En: Preprints, Ninth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society. Dallas, Texas. pp. 233-236

- Minetti J., Vargas W., Poblete A., de la Zerda L. y Acuña L. (2010): "Regional droughts in southern South America. Theoretical and Applied Climatology". Vol. 102. N° 3-4, pp. 403-415.
- Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales [MARN] (2004): "Programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y mitigación de la sequía de la República Bolivariana de Venezuela". Documento técnico del MARN, Caracas. 112 p.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente [MPPA] (2005): "Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela". Documento técnico del MPPA. Caracas, Venezuela. 164 p.
- Mo K. y Berbery E. (2011): "Drought and persistent wet spells over South America based on observations and the U. S. CLIVAR drought experiments". Journal of Climate. En revisión.
- Modarres R. (2010): "Regional Dry Spells Frequency Analysis by L-Moment and Multivariate". Water Resources Management. Vol. 24. N° 1, pp. 2365-2380.
- Moyé L., Kapadia A. y Cech I. (1988): "The theory of runs with application to drought prediction". Journal of Hydrologic. Vol. 103, pp. 127-137.
- Nagai T., Tokioka, T., Endoh M. y Kitamura Y. (1992): "El Niño–Southern Oscillation simulated in an MRI Atmosphere–Ocean Coupled General Circulation Model". Journal of Climate. Vol. 5. N° 11, pp. 1202-1233.
- National Drought Mitigation Center [NDMC] (1996): "Drought indices" [En línea]. Página web, Eincoln (Nebraska): National Drought Mitigation Center – University of Nebraska. <<http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/indices.htm>>. Actualización 3 de julio de 1996. [Consulta, 27 de septiembre de 1996].
- National Drought Mitigation Center [NDMC] (1999): "Drought Monitor: State of the Art Blend of Science and Subjectivity" [En línea]. Página web, Lincoln (Nebraska): National Drought Mitigation Center - University of Nebraska. <<http://enso.unl.edu/momtor/archive/99/classify.htm>>. Actualización semanal. [Consulta, 18 de octubre de 1999].
- Nazemosadat M. y Ghasemi A. (2004): "Quantifying the ENSO-related shifts in the intensity and probability of drought and wet periods in Iran". Journal of Climate. Vol. 17. N° 20, pp. 4005-4018.
- Núñez J. y Verbist K. (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 p.
- Ojeda R. y Espinoza J. (1985): "Análisis de los caudales mínimos en la región sur de Venezuela". Tesis de pregrado en Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. Venezuela. 85 p.
- Olcina J. (1994): "Riesgos climáticos en la Península Ibérica. Acción Divulgativa". Colección Libros Penthalon. Madrid, España. 440 p.

- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (1994): “Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación en los Países afectados por Sequía Grave o desertificación, en Particular en África”. Doc. A/AC.241/15/Rev 17. Paris. 125 p.
- Organización Meteorológica Mundial [OMM] (1990): “Guía de prácticas climatológicas”. Publicación N° 100. Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial [OMM] (1992): “Vocabulario Meteorológico Internacional”. Publicación N° 182. Ginebra, Suiza. 85 p.
- Organización Meteorológica Mundial [OMM] (2006): “Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros”. OMM N° 1006. 28 p.
- Ovalles F., Cortez A., Rodríguez M., Rey J. y Cabrera-Bisbal E. (2007): “Variación geográfica del impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela”. Memorias en CD-ROM del I Congreso Venezolano de Agrometeorología y V Reunión Latinoamericana de Agrometeorología. Maracay, Venezuela
- Palmer W. (1965): “Meteorological drought”. Research Paper N° 45. U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington DC. 58 p.
- Palmer W. (1968): “Keeping track of crop moisture conditions nationwide: the new crop moisture index”. Weatherwise. Vol. 21, pp. 156-161.
- Paredes F. y Guevara E. (2007): “Influencia de variables macroclimáticas sobre el régimen pluviométrico del Estado Cojedes, Venezuela”. Revista Ingeniería UC. Vol. 14. N° 3, pp. 49-56.
- Paredes F. y Guevara E. (2008): “Regionalización de Los Llanos de Venezuela en base a la severidad del período seco aplicando un análisis clúster jerárquico”. Memoria en CD-ROM del VI Congreso de Investigación de la Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
- Paredes F. y Guevara E. (2010): “Desarrollo y evaluación de un modelo para predecir sequías meteorológicas en Los Llanos de Venezuela”. Revista Bioagro. Vol. 22. N° 1, pp. 3-10.
- Paredes F., Millano J. L. y Guevara E. (2008): “Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996”. Revista de Climatología. Vol. 8, pp. 15-27.
- Paredes F., Millano J. y Vivas I. (2007): “Efecto de la Oscilación Meridional (ENSO) y la temperatura superficial del océano Atlántico sobre la distribución espacio-temporal de las lluvias en el estado Cojedes”. Revista de Ciencia y Tecnología Agrollanía. Vol. 4, pp. 103-116.
- Paredes F., Rumbo L., Guevara E. y Carballo N. (2006): “Caracterización histórica de las sequías extremas del río Tirgua en el estado Cojedes”. Revista de ciencia y tecnología Agrollanía. Vol. 3, pp. 101-113.
- Patrick E. (2003): “Sequía: Vulnerabilidad y crisis en tierras áridas. Estrategia internacional para la reducción de desastres”. Documento On line. Consultado el 15-02-2006. Disponible en:

http://www.unisdr.org/eng/public_aware/world_camp/2003/spanish/19_Article_UNDP_spa.pdf

- Pérez C. (2004): "Técnicas de análisis multivariante de datos: aplicaciones con SPSS". Pearson Prentice Hall, Madrid. 672 p.
- Pichardo G. (2006): "Comparación de dos metodologías para el cálculo del índice de severidad de sequía para doce reservas de la biosfera mexicana". Tesis de Licenciatura. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp. 31-59.
- Pineda N., Jaimes E. y Mendoza J. (2006): "Aplicación del índice de homogeneidad múltiple a datos climatológicos de Venezuela". Revista Interciencia. Vol. 31. N° 11, pp. 817-821.
- Ponce V., Pandey R. y Ercan S. (2000): "Characterization of drought across Climatic Spectrum". Journal of Hydrologic Engineering. Vol. 5. N° 2, pp. 222-224.
- Ponvert-Delisle D., Lau A. and Balamaseda C. (2007): "La vulnerabilidad del sector agrícola frente a los desastres: Reflexiones generales". Zonas Áridas. Vol. 11 N° 1, pp. 174-194.
- Poveda G. y Meza O. (1997): "Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena". Journal of Climate. Vol. 10. N° 10, pp. 2690-2702.
- Prudhomme C., Reynard N. y Crooks S. (2002): "Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now?". Hydrological Processes. Vol. 16, pp. 1137-1150.
- Pulwarty R. y Díaz H. (1993): "A study of the seasonal cycle and its perturbation by ENSO in the tropical Americas". IV International Conference South Hemisphere Meteorology Ocean, American Meteorological Society. pp. 262-263.
- Pulwarty R., Barry R. y Riehl H. (1992): "Annual and seasonal patterns of rainfall variability over Venezuela". Erdkunde. Vol. 46, pp. 273-289.
- Rajagopalan B., Cook E., Lal U. y Ray B. (2000): "Spatiotemporal variability of ENSO and SST teleconnections to summer drought over the United States during the twentieth century". Journal of Climate. Vol. 13. N° 24, pp. 4244-4255.
- Ramdas D. (1960): "Crops and weather in India". Indian Council of Agricultural Research. Nueva Delhi, India. 130 p.
- Rasmussen P. y Akintug B. (2004): "Drought frequency analysis with a hidden state Markov model". Memories in CD-ROM of the World Water and Environmental Resources Congress 2004. June 27-July, 1 Utah, USA
- Raziei T., Saghaian B., Paulo A., Pereira L. y Bordi I. (2009): "Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran". Water Resources Management. Vol. 23. N° 3, pp. 439-455.
- Rind D., Goldberg R., Hansen J., Rosenzweig C. y Ruedy R. (1990): "Potential evapotranspiration and the likelihood of future drought". Journal of Geophysical Research. Vol. 95(D7), pp. 9983-10004.

- Rivera J. (2006): “Un modelo no-lineal estocástico multivariado para la exploración de escenarios de sequía”. Memorias en CD-ROM del XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela
- Russell C., Arey D. y Kates R. (1970): “Drought and water supply”. Johns Hopkins University Press. Baltimore, EE.UU. 232 p.
- Salas J. (1986): “State of the art of statistical techniques for describing drought characteristics”. International seminar on drought analysis. Perugia, Italia. 180 p.
- Salas J., Fu Ch., Cancelliere A., Dustin D., Bode D., Pineda A. y Vincent E. (2005): “Characterizing the severity and risk of drought in the Poudre River, Colorado”. Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 131. N° 5, pp. 383-393.
- Saldariaga J. y Yevjevich V. (1970): “Application of run-lengths to hydrologic series”. Hydrology Papers. Colorado State University.
- Sánchez C. (2011): “Modelo de pronóstico de sequía meteorológica basado en redes neuronales artificiales”. Memorias en CD-ROM del III Congreso Nacional del Agua, Lima, Perú.
- Sendiña I. y Pérez V. (2006): “Fundamentos de meteorología”. Universidad Santiago de Compostela, España. 194 p.
- Sene K. (2010): “Hydrometeorology: Forecasting and Applications”. Springer. pp. 239-267
- Seth S. (2003): “Human impacts and management issues in arid and semi-arid regions”. Chapter 8. In: Simmers, I(Ed). Understanding water in a Dry Environment. Hydrological processes in arid and semiarid zones. International Association of Hydrogeologists. BALKEMA. Lissier. pp. 289-341
- Shiau J. y Shen H. (2001): “Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity”. Journal Water Resources Planning and Management. Vol. 127. N° 1, pp. 30-40.
- Shin H. y Salas J. (2000): “Regional drought analysis based on Neural Networks”. Journal of Hydrologic Engineering. Vol. 5. N° 2, pp. 145-155.
- Soule P. (1992): “Spatial patterns of drought frequency and duration in the contiguous USA based on multiple droughts event definitions”. International Journal of Climatology. Vol. 12. N° 6, pp. 11-24.
- Steila D. (1972): “Drought in Arizona”. Department of Economics Business Research. University of Arizona, Tucson.
- Štěpánek P. (2005): “AnClim - software for time series analysis”. Department of Geography, Facultad of Natural Sciences, MU, Brno. 1.47 MB.
- Subrahmanyam V. (1967): “Incidence and spread of continental drought”. (WMO/THD Report N° 2). Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, 52 p.
- Superintendency for the Development of the Northeast [SUDENE] (1981): “As secas do Nordeste. Uma abordagem histórica de causas e efeitos”. Recife. 82 pp + 38 mapas.

- Superintendency for the Development of the Northeast [SUDENE] (1999): "O fenômeno das secas". [En línea]. Disponible en: <http://www.sudene.gov.br/nordeste/Seca.html>. [Consulta, 14 de enero de 2000].
- Svoboda M. (2000): "An introduction to the Drought Monitor". Drought Network News. Vol. 12, pp. 15–20.
- Thom H. (1971): "Some methods of climatological analysis". Nota técnica N° 81. OMM N° 199. TP. 103. Secretaría de la OMM. Ginebra, Suiza pp. 1-11
- Tootle G. y Piechota T. (2003): "Drought and the 2002-2003. El Niño in the southwest U.S." Memories in CD-ROM of World Water and Environmental Resources Congress 2003.
- Türkes M. (1996): "Meteorological drought in Turkey: a historical perspective, 1930-1993". Drought Network News. Vol. 8. N° 3, pp. 17-21.
- Valiente O. (2001): "Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación". Investigaciones Geográficas. Vol. 26, pp. 59-80.
- Velásquez R. (2000): "Mecanismos físicos de variabilidad climática y de eventos extremos en Venezuela". Tesis de grado para optar al título de Licenciado en Meteorología. Universidad de Costa Rica. San José de Costa Rica. 118 p.
- Velásquez R. (2002): "Variabilidad interanual de la precipitación y las temperaturas extremas en Venezuela y su correlación con los eventos cálidos y fríos en los Océanos Pacífico y Atlántico". Documento técnico del INAMEH. Caracas. 26 p.
- Vicente-Serrano S. (2006): "Differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of the Iberian Peninsula". Water Resources Management. Vol. 20. N° 1, pp. 37-60.
- Vicente-Serrano S. (2007): "Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, semi-arid region". Natural Hazards. Vol. 40. N° 1, pp. 173–208.
- Wilby R. y Wigley T. (2000): "Precipitation predictors for downscaling observed and general circulation models relationships". International Journal of Climatology. Vol. 20. N° 6, pp. 641-661.
- Wilhite D. (1999): "Objective quantification of drought severity and duration". Journal of Climate. Vol. 12. N° 9, pp. 2747-2756.
- Wilhite D. y Buchanan-Smith M. (2005): "Drought as hazard: understanding the natural and social context". In: Wilhite D. Editor: Drought and Water Crises Science, Technology, and Management Issues. 120 p.
- Wilhite D. y Glantz M. (1985): "Understanding the drought phenomenon; the role of definitions". Water International. Vol. 10. N° 3, pp. 111-120.
- Yevjevich V. (1967): "An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic drought". Colorado State University. Hydrologic Paper N° 23. 120 p.
- Zanvettor R. (2000): "Using the SPI to monitor the 1999-2000 droughts in northeastern Argentina". Drought Network News. Vol. 12. N° 3, pp. 2-4.

ANEXOS

Anexo 1. Estaciones que forman parte de las Subregiones Homogéneas.

Anexo 2. Estaciones pluviométricas de la FAV preseleccionadas para la validar los modelos de las ER.

Anexo 3. Mapa de localización geográfica de la Subregiones Homogéneas.

Anexo 1. Estaciones que forman parte de las Subregiones Homogéneas.

Longitud	Latitud	Serial	Nombre	Estado	Subregión
-72.0647	11.3647	51	Guarero	Zulia	SR10

-71.9667	11.3533	52	Paraguaipoa Guana	Zulia	SR10
-69.6519	11.1761	263	Curimagua-Siburua	Falcón	SR5
-69.7106	11.0669	283	La Cruz Taratara	Falcon	SR8
-67.8844	10.2361	452	Guacara	Carabobo	SR3
-67.5750	10.1839	460	Pereya	Aragua	SR3
-67.6731	10.2583	463	La Cabrera-Planta	Aragua	SR3
-67.6500	10.2500	466	Maracay Base Aérea Sucre	Aragua	SR3
-67.5206	10.2233	468	Gonzalito	Aragua	SR3
-67.6658	10.0506	487	Guacamaya	Aragua	SR3
-67.7000	9.9939	495	El Caruto Belén	Carabobo	SR3
-66.8964	10.6003	508	Macuto	Distrito Federal	SR11
-66.9275	10.5069	531	Observatorio Cagigal	Distrito Federal	SR3
-66.6164	10.4675	548	Guarenas	Miranda	SR3
-66.9583	10.2672	560	Paracotos	Miranda	SR13
-66.9392	10.1281	570	Macaguita	Miranda	SR13
-66.9461	10.0469	585	Caña Brava	Miranda	SR13
-67.0303	10.0042	590	San Casimiro	Aragua	SR3
-64.2906	11.0250	795	San Francisco Macan	Nueva Esparta	SR7
-63.8661	11.0303	897	La Asunción	Nueva Esparta	SR7
-71.7297	10.9667	1007	San Rafael De Mojan	Zulia	SR1
-72.2042	10.7917	1019	Hacienda Manantialitos	Zulia	SR1
-72.2236	10.8597	1031	Santa María	Zulia	SR1
-72.3983	10.6178	1032	El Diluvio	Zulia	SR16
-72.4269	10.6036	1033	Las Lajas	Zulia	SR16

Anexo 1. Continuación

Longitud	Latitud	Serial	Nombre	Estado	Subregión
-72.5903	10.2139	1073	Puerto Nuevo	Zulia	SR25

-72.6550	10.0550	1090	Medellín	Zulia	SR25
-72.5622	10.0564	1092	Machiques-Granja	Zulia	SR25
-70.1981	10.4289	1147	Los Pedernales	Lara	SR1
-70.3039	10.2933	1176	San Francisco	Lara	SR1
-70.2039	10.3489	1177	Altagracia	Lara	SR1
-70.2442	10.1061	1186	Burere	Lara	SR1
-70.0819	10.1628	1187	Carora-Granja	Lara	SR1
-70.0519	10.0272	1199	Los Aragues	Lara	SR1
-69.5297	10.0197	1204	Canape	Lara	SR8
-69.2756	10.8214	1216	Santa Cruz Bucaral	Falcon	SR5
-69.6925	10.5769	1233	Siquisiqui	Lara	SR8
-69.9333	10.2686	1261	Río Tocuyo	Lara	SR1
-69.4633	10.2903	1265	Bobare	Lara	SR8
-69.1469	10.2828	1268	Duaca	Lara	SR5
-69.9064	10.1567	1271	Arenales	Lara	SR1
-69.5919	10.1469	1272	Banco De Baragua	Lara	SR8
-69.7058	10.1425	1273	Turturia San Pablo	Lara	SR1
-69.6786	10.0414	1274	Guadalupe	Lara	SR8
-69.3125	10.0658	1282	Barquisimeto/B.A.	Lara	SR8
-68.9928	10.4286	1321	Cayure	Yaracuy	SR5
-68.8925	10.4356	1322	Aroa Dispensario	Yaracuy	SR5
-68.5447	10.4250	1334	Taria	Yaracuy	SR5
-68.3117	10.4633	1336	Urama	Carabobo	SR5
-68.8169	10.2853	1342	Guama	Yaracuy	SR5
-68.7378	10.3639	1343	San Felipe	Yaracuy	SR5

Anexo 1. Continuación

Longitud	Latitud	Serial	Nombre	Estado	Subregión
-68.0678	10.2242	1358	Compañía Inglesa	Carabobo	SR3

-68.2592	10.1697	1368	Bejuma Panamericana	Carabobo	SR3
-68.4311	10.2592	1380	Temerla	Yaracuy	SR33
-68.8697	10.1442	1381	Central Matilde	Yaracuy	SR33
-68.4197	10.1756	1385	Miranda La Trinidad	Carabobo	SR33
-68.0511	10.13916667	1387	Valencia San Luis	Carabobo	SR3
-68.1617	10.0036	1397	Campo De Carabobo	Carabobo	SR3
-67.1833	10.4167	1435	Colonia Tovar	Aragua	SR3
-67.3208	10.3233	1444	Pie Del Cerro	Aragua	SR3
-67.4794	10.2622	1451	Guayabita	Aragua	SR3
-67.2278	10.2917	1457	Buen Paso	Aragua	SR3
-67.4667	10.1889	1472	Cagua Grupo Escolar	Aragua	SR3
-67.4400	10.1433	1483	Casupito	Aragua	SR3
-67.1500	10.1303	1487	Tiara	Aragua	SR3
-67.4572	10.0253	1492	Hacienda El Montero	Aragua	SR3
-67.4997	10.1469	1494	Embalse Taiguaiguay	Aragua	SR3
-66.1219	10.5383	1508	Carenero	Miranda	SR11
-66.2394	10.4822	1515	Birongo	Miranda	SR11
-66.1658	10.4767	1516	Curiepe	Miranda	SR11
-66.1219	10.3508	1546	El Tigre	Miranda	SR11
-66.0117	10.3064	1662	San José Río Chico	Miranda	SR11
-64.1764	10.4267	1709	Brasil Canal N° 2	Sucre	SR18
-64.1794	10.9667	1718	Boca Del Río	Nueva Esparta	SR7
-64.1394	10.4461	1749	Cerro Sabino	Sucre	SR18

Anexo 1. Continuación

Longitud	Latitud	Serial	Nombre	Estado	Subregión
-63.9058	10.9517	1812	San Antonio	Nueva Esparta	SR7

-63.0222	10.6500	1820	Chacaracual	Sucre	SR4
-63.2278	10.5750	1823	Río Seco	Sucre	SR4
-63.2000	10.6000	1824	El Rincón	Sucre	SR4
-63.1517	10.5517	1825	El Pilar	Sucre	SR4
-63.1061	10.5778	1828	Tunapuy	Sucre	SR4
-63.1167	10.4917	1838	Valle Solo	Sucre	SR4
-63.1833	10.4500	1839	Las Palomas	Sucre	SR4
-63.1625	10.5125	1840	Guatamare	Sucre	SR4
-63.3250	10.4783	1841	El Cangrejal	Sucre	SR4
-63.4208	10.5333	1844	Casanay	Sucre	SR4
-63.2894	10.4603	1845	Agua Fría Arriba	Sucre	SR4
-63.4917	10.3667	1855	Catuario	Sucre	SR4
-63.5497	10.3083	1857	Amanita	Sucre	SR4
-63.5167	10.1625	1886	Caripe	Monagas	SR4
-63.0889	10.1042	1889	Caripito	Monagas	SR4
-62.3167	10.5833	1928	Guiria-Aeropuerto	Sucre	SR4
-71.7508	9.0186	2095	Concha	Zulia	SR22
-70.1197	9.8125	2106	El Jabón	Lara	SR1
-70.1106	9.9506	2108	Estacion Sicarigua	Lara	SR1
-70.4067	10.0175	2110	Prieto - Los López	Lara	SR1
-70.2733	9.8681	2118	El Empedrado	Lara	SR1
-70.1781	9.8122	2119	Trentino La Pastora	Lara	SR1
-70.0139	9.7392	2124	Las Cuatro	Lara	SR19
-70.2825	9.6686	2126	Valle Hondo	Trujillo	SR1
-70.4475	9.7272	2129	San Antonio	Trujillo	SR1

Anexo 1. Continuación

Longitud	Latitud	Serial	Nombre	Estado	Subregión
-70.6253	9.5597	2132	Agua Viva	Trujillo	SR1

-70.4589	9.5500	2133	Monay	Trujillo	SR1
-69.8600	9.5872	2139	Sabana Grande Guago	Lara	SR2
-70.6739	9.5353	2141	Ceizo Campamento Vivian	Trujillo	SR1
-70.4681	9.4092	2144	Pampan	Trujillo	SR1
-70.1681	9.5303	2148	Cende	Trujillo	SR1
-70.8417	9.5000	2149	Cenizo Canal Principal	Trujillo	SR15
-70.7756	9.5056	2150	Rápido Dos	Trujillo	SR15
-70.7583	9.5500	2152	Cenizo Secundario D3	Trujillo	SR15
-70.4453	9.3064	2162	Escuque	Trujillo	SR1
-70.3500	9.3236	2167	Paramo La Cristalina	Trujillo	SR1
-70.2619	9.3542	2168	San Rafael De Bocono	Trujillo	SR2
-69.9325	9.2500	2170	Guafas	Portuguesa	SR2
-69.7278	9.2000	2171	Suruguapo	Portuguesa	SR2
-70.0500	9.2667	2173	La Concepcion	Portuguesa	SR2
-70.2772	9.2536	2176	Bocono	Trujillo	SR2
-70.5283	9.2511	2185	Santiago De Trujillo	Trujillo	SR1
-70.5869	9.1614	2186	La Quebrada	Trujillo	SR1
-70.3275	9.1956	2187	Tostos	Trujillo	SR2
-70.6561	9.0833	2195	Jajo	Trujillo	SR1
-69.9186	9.9992	2201	Cararigua	Lara	SR1
-69.6275	9.9197	2204	Quibor	Lara	SR8
-69.1922	9.9097	2208	Maporal	Lara	SR2
-69.5175	9.8778	2215	San Miguel	Lara	SR8

Anexo 1. Continuación

Longitud	Latitud	Serial	Nombre	Estado	Subregión
-69.2392	9.7108	2228	Auro	Lara	SR2

-69.6567	9.7425	2234	Sanare	Lara	SR19
-69.6500	9.7333	2235	Sanare	Lara	SR19
-69.0981	9.6669	2239	Agua Blanca	Portuguesa	SR35
-69.9881	9.6256	2251	Humocaro Alto Vivero	Lara	SR2
-69.9981	9.5647	2252	La Mesa	Lara	SR2
-69.7208	9.2958	2260	Potreros	Portuguesa	SR2
-69.4875	9.4000	2266	Ospino La Estación	Portuguesa	SR2
-69.8758	9.1517	2282	Desembocadero	Portuguesa	SR2
-68.9708	9.6811	2331	San Rafael De Onoto	Portuguesa	SR35
-68.7397	9.6508	2333	La Ceiba Camoruco	Cojedes	SR9
-68.5964	9.6922	2335	Morena	Cojedes	SR6
-68.4400	9.7033	2336	Tinaco	Cojedes	SR9
-68.9194	9.6464	2340	Cojeditos	Cojedes	SR9
-68.2583	9.6553	2348	Morita-Caserío	Cojedes	SR9
-68.8086	9.5058	2362	Guayabito	Cojedes	SR9
-68.6328	9.5081	2364	Las Vegas-Charcote	Cojedes	SR9
-68.6272	9.5456	2365	Las Vegas	Cojedes	SR9
-68.1528	9.3311	2378	Caño Benito	Cojedes	SR9
-67.8056	9.9661	2404	Manaure	Carabobo	SR3
-67.1781	9.9481	2409	San Sebastián	Aragua	SR3
-67.3619	9.9197	2417	San Juan De Los Morros	Guárico	SR3
-67.4319	9.7903	2423	Cata Gallo	Guárico	SR3
-67.5167	9.7833	2424	Paso Pelao	Guárico	SR3
-67.5778	9.7722	2427	Hato Paradero	Guárico	SR3

Anexo 1. Continuación

Longitud	Latitud	Serial	Nombre	Estado	Subregión
-67.2922	9.7028	2430	Parapara	Guárico	SR3

-67.2833	9.6167	2448	Ortiz	Guárico	SR3
-66.8250	9.3908	2471	Kilómetro 25	Guárico	SR3
-67.2167	9.0667	2493	Palo Seco	Guárico	SR3
-67.4347	9.0644	2495	El Rastro	Guárico	SR3
-66.9194	9.9222	2511	Valle Morín	Aragua	SR3
-66.3956	9.9139	2519	Orocoyal-Venado	Guarico	SR3
-66.9653	9.4806	2551	Barbacoas	Aragua	SR3
-65.5019	9.9194	2605	Guanape	Anzoátegui	SR24
-65.1639	9.9639	2608	Clarines	Anzoátegui	SR24
-64.5764	9.9583	2713	Curataquiche	Anzoátegui	SR12
-64.5333	9.8853	2715	Quiamare	Anzoátegui	SR12
-64.7444	9.7853	2722	El Carito	Anzoátegui	SR12
-64.2925	9.5811	2755	Santa Rosa	Anzoátegui	SR18
-64.4828	9.3000	2764	San Joaquín	Anzoátegui	SR12
-63.1833	9.7500	2827	Maturín Aeropuerto	Monagas	SR4
-63.1472	9.6486	2829	El Tamarindo	Monagas	SR28
-61.0944	9.1861	2911	San José De Yaruara	Delta Amacuro	SRS2
-62.0556	9.0889	2914	Tucupita-Granja	Delta Amacuro	SRS2
-62.8139	9.1736	2980	El Silencio	Monagas	SR28
-71.0833	8.7167	3024	Valle Grande	Mérida	SR1
-71.7367	8.7606	3025	Caracoli	Zulia	SR22
-71.6297	8.6075	3035	El Vigía	Mérida	SR1
-71.0692	8.6353	3038	Tabay	Mérida	SR1
-71.2850	8.5500	3042	Mesa De Ejido	Mérida	SR1
-71.1833	8.6000	3047	Mérida Aeropuerto	Mérida	SR1

Anexo 1. Continuación

Longitud	Latitud	Serial	Nombre	Estado	Subregión
----------	---------	--------	--------	--------	-----------

-72.2653	8.2406	3061	La Fría Aeropuerto	Táchira	SR1
-71.5733	8.3086	3070	Paramo El Molino	Mérida	SR1
-71.9453	8.2000	3073	Sabana Grande	Táchira	SR1
-71.1844	8.4514	3080	El Morro	Mérida	SR1
-71.9942	8.1472	3083	La Grita	Táchira	SR1
-72.0750	8.1492	3085	Seboruco	Táchira	SR1
-71.7647	8.0228	3097	Pregonero	Táchira	SR6
-70.1481	8.4472	3155	Hato Caroní	Barinas	SR2
-70.0711	8.3564	3156	Toreo-Socony	Barinas	SR2
-70.0894	8.4989	3158	Torunos	Barinas	SR2
-70.1889	8.5728	3183	Punta Gorda Card	Barinas	SR2
-69.9911	8.8494	3213	Bocono Caserío	Portuguesa	SR2
-69.6528	8.7883	3214	Puerto Las Animas	Portuguesa	SR2
-69.9272	8.8869	3216	Sipoporo	Portuguesa	SR2
-69.7822	8.8186	3217	San Nicolás	Portuguesa	SR2
-69.8639	8.6708	3222	San Hipólito	Barinas	SR2
-68.2475	8.9944	3309	El Baúl-Carretera	Cojedes	SR9
-64.3528	8.0000	3751	Moitaco	Bolívar	SRS1
-60.9917	8.5708	3905	Curiapo	Delta Amacuro	SRS2
-61.9750	8.6986	3906	Boca De Araguaio	Delta Amacuro	SRS2
-72.2436	7.9606	4003	Michelena	Táchira	SR1
-72.2456	7.9333	4014	La Botera	Táchira	SR6
-72.1242	7.9189	4018	Los Laureles	Táchira	SR6
-72.4500	7.8500	4022	San Antonio Del Táchira B.A.	Táchira	SR1
-72.3750	7.7883	4024	El Recreo	Táchira	SR6
-72.2667	7.8000	4026	Zorca	Táchira	SR6

Anexo 1. Continuación

Longitud	Latitud	Serial	Nombre	Estado	Subregión
-72.2267	7.8417	4027	Palmira	Táchira	SR6
-72.1672	7.8208	4028	El Junco	Táchira	SR6
-72.2958	7.6556	4032	HaciendaAltagracia	Táchira	SR27
-72.2297	7.8000	4038	San Cristóbal	Táchira	SR6
-72.2336	7.7000	4040	El Ron	Táchira	SR6
-72.3944	7.6561	4041	Bramón Escuela	Táchira	SR27
-71.5667	7.5667	4051	Las Delicias	Táchira	SR6
-72.0433	7.5703	4055	Santo Domingo Aeropuerto	Táchira	SR20
-71.9378	7.5556	4057	Doradas	Táchira	SR20
-71.5586	7.5492	4059	Navay	Táchira	SR20
-71.4333	7.0333	4175	La Victoria	Apure	SRS3
-70.7667	7.1167	4194	El Amparo	Apure	SRS3
-67.4167	7.9000	4404	San Fernando De Apure-Aeropuerto	Apure	SRS3
-65.6406	7.4833	4660	Santa Rosalía	Bolívar	SRS1
-65.5111	7.3167	4661	La Raya	Bolívar	SRS1
-63.9569	7.6444	4662	Los Hicoteos	Bolívar	SRS1
-64.8486	6.9833	4663	Las Trincheras	Bolívar	SRS1
-65.1306	7.5894	4664	La Aurora	Bolívar	SRS1
-65.6056	7.1167	4665	La Candelaria	Bolívar	SRS1
-65.1811	7.4208	4667	Maripa	Bolívar	SRS1
-64.1875	7.7306	4711	La Hortalita	Bolívar	SRS1
-61.1167	7.3000	4974	Turmero- Aeropuerto	Bolívar	SRS2
-63.5639	6.7875	5884	Vergarana	Bolívar	SRS1
-71.8472	8.4994	8052	Caño Negro	Táchira	SR1
-65.8017	3.1436	9402	Tama-Tama	Amazonas	SRS4

Longitud	Latitud	Serial	Nombre	Estado	Subregión
-67.1400	3.9353	9404	Santa Bárbara-Orinoco	Amazonas	SRS4
-65.2167	5.0667	9408	Yekuana	Amazonas	SRS4
-67.4167	5.9500	9423	El Limón De Parhuena	Amazonas	SRS3

Anexo 2. Estaciones pluviométricas de la FAV preseleccionadas para validar los modelos de las ER.

Estación	Serial	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)
Barquisimeto	1282	10.233	-69.317	613
Caracas-La Carlota	0544	10.500	-66.883	835
Ciudad Bolívar	3882	8.150	-63.550	43
Colon	8092	8.033	-72.250	825
Coro	0232	11.417	-69.683	16
Guanare	2299	9.083	-69.733	163
Guasdalito	4172	7.233	-70.800	130
Guiria	4099	10.583	-62.300	13
La Cañada	1141	10.517	-71.650	26
Maiquetía	0503	10.600	-66.983	63
Maracaibo	1015	10.233	-71.733	65
Maracay	0466	10.250	-67.650	436
Maturín	2827	9.750	-63.183	68
Mene Grande	2117	9.817	-70.933	27
Mérida	3047	8.600	-71.183	1479
Porlamar	0871	10.917	-63.967	24
Puerto Ayacucho	6524	5.600	-67.500	73
San Fernando de Apure	4404	7.683	-67.417	47
Santa Elena de Uairen	7947	4.600	-61.117	868
Tumeremo	4974	7.300	-61.450	180

Nota: FAV, Servicio de Meteorología de la Aviación Militar Bolivariana.